

CONTRIBUIÇÃO DE TÉCNICAS FOTOTÉRMICAS AO ESTUDO PÓS-  
COLHEITA DE MAMÃO: DIFUSÃO GASOSA E ARMAZENAMENTO EM  
ATMOSFERA MODIFICADA

**TALITA PEREIRA**

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY  
RIBEIRO

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ  
MARÇO - 2008

CONTRIBUIÇÃO DE TÉCNICAS FOTOTÉRMICAS AO ESTUDO PÓS-  
COLHEITA DE MAMÃO: DIFUSÃO GASOSA E ARMAZENAMENTO EM  
ATMOSFERA MODIFICADA

**TALITA PEREIRA**

Tese apresentada ao Centro de Ciência e  
Tecnologia da Universidade Estadual do  
Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte  
das exigências para obtenção do título de  
Doutor em Ciências Naturais.

Orientador: Prof. Helion Vargas  
Co-Orientador: Marcelo Gomes da Silva

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ  
MARÇO – 2008

A minha mãe, pelo apoio incondicional durante todos os momentos da minha vida, dedico esse trabalho.

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Sandra e Armando, ao “Tio” Artur, a Sandra, aos meus irmãos Tatiana, Taciana e Armando,

Ao professor Helion Vargas, pela orientação, apoio e confiança,

Aos professores Marcelo Gomes da Silva e Jurandi Gonçalves de Oliveira, pelas sugestões que contribuíram para o aprimoramento deste trabalho,

Aos amigos do Laboratório de Ciências Físicas (LCFIS) Savio, Milton, Paulo (Belo), Gustavo, Wily, Carla, Guilherme e Ana Paula, pela amizade e ajuda na realização deste trabalho,

Aos técnicos do LCFIS Luiz Antonio e Sérgio,

Às amigas Gleícia, Cláudia, Inga, Luciana Konda e Thaís, pelo convívio e amizade,

À professora Maura da Cunha e às técnicas do Laboratório de Biologia Celular e Tecidual (LBCT) Giovana e Bia, pela ajuda na preparação e análise microscópica das amostras,

Dr. Frans Harren bedank ik voor de kans om aan de Radboud Universiteit Nijmegen, The Netherlands, te werken bij de Trace Gas Facility groep. Ik bedank Bas Moeskops, Stephan Persijn, Anthony Ngai, Mitrayana en Elena Crespo voor de vriendschap en alle hulp in het lab. Dank u well! E em especial Mark van der Loo, que tornou esses nove meses longe de casa muito especiais,

À empresa Soloeste S/A, que cedeu os sachês para a realização deste trabalho,

À empresa Caliman Agrícola S/A, pela disponibilização dos frutos para os experimentos,

À UENF, ao CCT e à FAPERJ, pela oportunidade de realização do curso e concessão da bolsa de estudos,

A todos que, direta ou indiretamente, colaboraram para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

RESUMO.....	v
ABSTRACT.....	vii
1. INTRODUÇÃO.....	01
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	
2.1. Fruticultura.....	03
2.2. Exportação.....	03
2.3. A Fruta.....	04
2.4. Espectroscopia fotoacústica.....	05
2.5. Hexafluoreto de enxofre.....	08
2.6. Trocas gasosas.....	09
2.7. Etileno.....	10
2.8. Absorvedor de etileno.....	11
2.9. Transformações físico-químicas dos frutos.....	13
2.10. Enzimas no amadurecimento de frutos.....	15
3. TRABALHOS	
1. Mudanças na difusão gasosa na polpa de mamão ‘Golden’ durante o amadurecimento.	
Resumo.....	17
Abstract.....	17
1.1. Introdução.....	18
1.2. Material e Métodos.....	19
1.3. Resultados e Discussão.....	23
1.4. Conclusão.....	33
1.5. Referências Bibliográficas.....	34
2. Determinação da eficiência de um absorvedor comercial de etileno na pós-colheita de mamão – armazenamento à temperatura ambiente sob atmosfera modificada.	
Resumo.....	38

Abstract.....	38
2.1.Introdução.....	39
2.2.Material e Métodos.....	40
2.3.Resultados e Discussão.....	46
2.4.Conclusão.....	59
2.5.Referências Bibliográficas.....	59
3. Determinação da eficiência de um absorvedor comercial de etileno na pós-colheita de mamão – armazenamento sob refrigeração.	
Resumo.....	66
Abstract.....	66
3.1.Introdução.....	67
3.2.Material e Métodos.....	68
3.3.Resultados e Discussão.....	73
3.4.Conclusão.....	82
3.5.Referências Bibliográficas.....	83
4. Análise da vida de prateleira de frutos de mamoeiro após armazenamento sob atmosfera modificada e refrigeração.	
Resumo.....	86
Abstract.....	86
4.1.Introdução.....	87
4.2.Material e Métodos.....	88
4.3.Resultados e Discussão.....	94
4.4.Conclusão.....	101
4.5.Referências Bibliográficas.....	101
4. CONCLUSÕES FINAIS E PERSPECTIVAS.....	104
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	106
6. ANEXOS	

## CONCLUSÕES FINAIS

As principais conclusões do presente trabalho foram:

\* A diminuição da difusão do gás sonda SF<sub>6</sub> parece estar relacionada ao preenchimento dos espaços intercelulares com o processo de amadurecimento dos frutos;

\* Diferenças nas características anatômicas da polpa de mamões foram observadas no decorrer da maturação, como o afrouxamento do tecido e acúmulo de substâncias pécticas nos espaços intercelulares. A maturação foi acompanhada de decréscimo no valor do ângulo de cor “hue” e redução da firmeza da polpa.

\* A técnica fotoacústica foi eficiente no monitoramento da emissão de traços de gases e pode ser utilizada no monitoramento do amadurecimento de frutos em tempo real atingindo limite de detecção de partes por bilhão.

\* Diferenças no estágio de maturação têm efeito sobre as propriedades de difusão de gases em frutos.

\* O armazenamento de mamão em atmosfera modificada com sachê contendo absorvedor de etileno foi eficiente na manutenção da qualidade sob temperatura ambiente.

\* Frutos armazenados sob refrigeração tiveram seu metabolismo retardado, o que foi evidenciado pela manutenção da cor verde da casca, baixos valores na taxa de emissão de etileno e respiração.

\* Mamões armazenados sob refrigeração e na presença de sachê contendo absorvedor de etileno mantiveram boas características até o 26º dia de armazenamento, período de tempo suficiente para alcançar mercados consumidores mais distantes.

\* A utilização de sachê no armazenamento de mamões ‘Golden’ foi eficiente no retardo do desenvolvimento de doenças pós-colheita. Depois de retirados da câmara fria, a vida útil dos frutos foi de 6 dias à temperatura ambiente.

## RECOMENDAÇÕES E PERSPECTIVAS

Para o mamão, o principal problema em pós-colheita parece estar relacionado com a aparência após longo período de armazenamento. A desidratação, injúrias causadas pelo frio e o desenvolvimento de podridões após a retirada dos frutos do armazenamento sob refrigeração impedem sua comercialização.

Outro ponto é o controle da temperatura durante o armazenamento. Durante os procedimentos normais da colheita ao mercado consumidor, a ausência de instalações de refrigeração, flutuações de temperatura e falta de informação sobre as características e necessidades do produto podem resultar na perda de qualidade e vida útil. Ainda, a condensação de água sobre a superfície da mercadoria, potencialmente causadora de aumento no desenvolvimento de podridões também deve ser evitada.

A técnica fotoacústica pode ser útil no estudo de outras espécies vegetais como parte integrante de pesquisas na área de Fisiologia Pós-colheita. Por meio da técnica, podem-se caracterizar frutos com relação a seu padrão respiratório e de emissão de etileno e, assim, aplicar e desenvolver tecnologias para o armazenamento, garantindo atributos de qualidade exigidos pelo mercado consumidor.

Novos trabalhos devem ser realizados com relação ao período de armazenamento refrigerado, simulando o transporte marítimo para diferentes mercados consumidores e com saídas de diferentes pontos no país, para tornar futuros trabalhos mais fiéis à realidade.

A regulação na composição gasosa das câmaras de armazenamento pode ser sugerida como futuro trabalho, com o objetivo de compensar as alterações decorrentes do amadurecimento dos frutos. A determinação de açúcares (frutose, glicose e sacarose) também pode ser sugerida em futuros trabalhos, já que a determinação de sólidos solúveis totais não foi eficiente para caracterizar estádios de maturação. Geralmente, os frutos são encontrados fora de embalagens plásticas nos pontos de comercialização. Futuros trabalhos com a retirada dos mesmos da embalagem após o armazenamento refrigerado podem ser sugeridos.

A análise sensorial dos frutos após o tratamento (embalagem e absorvedor de etileno) é necessária em futuros trabalhos. Informações sobre a aceitação do produto pelo consumidor podem tornar a metodologia uma inovação tecnológica.



## ABSTRACT

PEREIRA, Talita D.Sc., Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, March of 2008. Contributions of photothermal techniques to the study of papaya postharvest physiology: gas diffusion and modified atmosphere storage. Advisor: Helion Vargas.

Preservation and maintenance of postharvest quality of papaya is necessary to extend the market period and long distance transport. The aim of this study was to assess papayas 'Golden' characteristics such as the physiology, anatomy and extension of postharvest life. During postharvest ripening a series of physiological and biochemical changes modify the composition of fruits allowing their consumption. The evaluation of the physicochemical properties, together with structural changes, is critical to the understanding of the ripening process. An important indicator for the condition of the fruit under postharvest conditions is the emission of trace gases by the fruit. Thus, determination of these gases and their concentrations can improve the understanding of biochemical reactions that occur in the fruit. Photoacoustic spectroscopy is a technique which enables non-destructive detection of these gases in real-time at concentrations down to a few parts per billion. The technique is based on selective excitation of the molecules by a laser, followed by energy loss by acoustic wave generation. In this work, diffusion of a probe gas ( $\text{SF}_6$ ) through papaya skin was compared with a histological analysis at different stages of maturity. With the advance of maturity a decrease in  $\text{SF}_6$  diffusion was found. This decrease can be related to a reduction of the diffusion process in fruit by pectic substance accumulation into the intercellular spaces and cell wall destruction. An increase in fruit shelf life can be obtained by using flexible plastic film, ethylene absorber substances, cooling, among others. Thus, studies were made showing the efficiency of a commercial ethylene absorber associated with modified atmosphere. The physico-chemical characteristics, ethylene and carbon dioxide emission from fruits stored under room temperature and refrigeration were investigated. The storage under room temperature with the presence of a sachet containing ethylene absorber was effective in retarding the development of post-harvest diseases. With the use of ethylene absorber there was a delay in the development of skin color and pulp softening. The fruits in the presence of the sachet remained marketable for a period of 17 days which is about 6 days longer than the untreated papayas. The storage

under refrigeration associated with modified atmosphere and ethylene absorber sachet was effective in the maintenance of green skin color and firmness. The metabolism of the fruit was delayed providing 29 days of storage. Still, the fruit stored in the presence of the sachet remained marketable for 6 days after the withdrawal of refrigeration condition.

## RESUMO

PEREIRA, Talita D.Sc., Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Março de 2008. Contribuição de técnicas fototérmicas ao estudo pós-colheita de mamão: difusão gasosa e armazenamento em atmosfera modificada. Professor orientador: Helion Vargas.

Este trabalho teve por objetivo avaliar as características de mamões 'Golden' no que diz respeito à anatomia, fisiologia e prolongamento da vida pós-colheita. Durante o amadurecimento, uma série de mudanças fisiológicas e bioquímicas altera a composição dos frutos, permitindo o consumo destes. A avaliação das propriedades físico-químicas, em conjunto com as alterações estruturais é de suma importância para a compreensão de tais mudanças. A espectroscopia fotoacústica é uma técnica que possibilita a detecção de gases em baixas concentrações, de forma não destrutiva e em tempo real de um grande número de espécies químicas com exatidão de algumas partes por bilhão. De forma geral, a técnica é baseada na conversão da energia de excitação luminosa em calor, seguida por geração de ondas mecânicas devido à absorção de luz. A determinação de gases e suas concentrações podem melhorar o entendimento de reações bioquímicas que ocorrem num dado organismo. A comparação entre medidas de difusão de um gás sonda ( $\text{SF}_6$ ) e análise histológica ao longo do amadurecimento de mamões foi realizada. Foi observada a diminuição da difusão do  $\text{SF}_6$  com o avanço da maturação. Essa diminuição pode estar relacionada com uma redução das vias de difusão nos frutos, pelo preenchimento dos mesmos por substâncias pécticas provenientes da desestruturação de membranas e parede celular. A preservação e a manutenção da qualidade pós-colheita do mamão são ações desejáveis para ampliar o período de comercialização e o transporte à longa distância. Aumentos na vida útil de frutos podem ser obtidos pelo uso de filmes plásticos flexíveis, uso de absorvedor de etileno e refrigeração, entre outros. Portanto, foram realizados estudos que retratam a eficiência de um absorvedor de etileno comercial associado à atmosfera modificada. As características físico-químicas, emissão de etileno e respiração de frutos armazenados sob temperatura ambiente e sob refrigeração foram investigadas. O armazenamento de frutos sob temperatura ambiente e na presença de sachê contendo absorvedor de etileno foi eficiente no retardo do desenvolvimento de doenças pós-colheita. Nestas condições, verificou-se atraso no

desenvolvimento da cor da casca e no amolecimento da polpa. O tratamento manteve os frutos em padrão comercializável pelo período de 17 dias, prolongando-se por, aproximadamente, 10 dias o período de comercialização de frutos não tratados. O armazenamento sob refrigeração associado à atmosfera modificada e sachê foi eficiente na manutenção da cor verde da casca e firmeza da polpa. O metabolismo dos frutos foi retardado, proporcionando 29 dias de armazenamento. Após o período de refrigeração de 29 dias, a vida útil dos frutos foi de, aproximadamente, uma semana à temperatura ambiente, na presença do sachê.

## 1. INTRODUÇÃO

As fronteiras da fruticultura no Brasil têm sido significativamente ampliadas nos últimos anos. O padrão tecnológico empregado nesta atividade também se elevou permitindo ganhos em produtividade e qualidade dos produtos. Com a colheita de 40 milhões de toneladas no ano de 2006 (IBGE, 2007), o Brasil é o terceiro maior produtor mundial de frutas frescas, o que representa 8% da produção mundial. Apesar de ser um dos maiores produtores mundiais de frutas, o Brasil tem participação inexpressiva no comércio internacional. Entre os principais fatores apontados, estão: frutas fora dos padrões exigidos pelo mercado importador e falta de divulgação de frutas exóticas.

Dentro da fruticultura, a cultura do mamão vem registrando acréscimos significativos no país, tanto na área cultivada quanto na produtividade. Essa expansão tem sido consequência de inovação na cultura, vantagens econômico-financeiras e expansão de mercado (Martins e Da Costa, 2003). O Brasil é o maior produtor mundial de mamão, mas não é o maior exportador, ocupando o terceiro lugar (AGRIANUAL, 2008).

As perdas pós-colheita, estimadas entre 20 e 50%, dependem da espécie vegetal e do nível tecnológico aplicado no armazenamento e transporte, como o uso de refrigeração, atmosfera modificada ou controlada, absorvedores de etileno, entre outros. A utilização de diferentes métodos na conservação pós-colheita é de grande importância na obtenção de máxima extensão do período de armazenamento e qualidade do produto.

A espectroscopia fotoacústica é uma técnica que possibilita a detecção de gases em baixas concentrações. As características especiais inerentes à técnica permitem executar medidas não-destrutivas e, praticamente, em tempo real, na detecção de um grande número de espécies químicas com exatidão de algumas partes por bilhão. De forma geral, a técnica é baseada na conversão da energia de excitação luminosa em calor, seguida por geração de ondas mecânicas, som, devido à absorção de luz. O estudo de traços de gases liberados por organismos vivos é um bom exemplo da utilização desta técnica não-evasiva. A determinação de gases e suas concentrações podem melhorar o entendimento de reações bioquímicas que ocorrem num dado organismo.

Esta técnica, associada ao estudo anatômico da polpa de frutos, pode ser útil na compreensão das alterações celulares que acompanham o amadurecimento deste órgão. Além da identificação dos diferentes estádios de maturação, o estudo anatômico permite caracterizar também sintomas de distúrbio fisiológico, danos causados pelo frio, etc.

O presente trabalho teve como objetivo o estudo da pós-colheita de frutos de mamoeiro 'Golden', no que diz respeito à anatomia, fisiologia e prolongamento do período de armazenamento.

O capítulo 2 traz uma revisão bibliográfica sobre os diversos temas abordados na tese. Os resultados foram divididos em 4 artigos independentes, mas com assuntos interligados, apresentados no capítulo 3.

O trabalho 1 apresenta os resultados sobre a comparação entre medidas de difusão de um gás sonda e a análise histológica ao longo do amadurecimento de frutos de mamoeiro. Com o objetivo de aumentar o tempo de conservação do mamão sob temperatura ambiente, o uso de sache contendo absorvedor de etileno foi utilizado e os resultados são apresentados no trabalho 2. Resultados e discussão sobre a utilização do sache de absorvedor de etileno associado à refrigeração no armazenamento do mamão são apresentados no trabalho 3. Já no trabalho 4, o objetivo foi avaliar o resultado do armazenamento de frutos em câmara fria após 29 dias.

As conclusões finais e perspectivas futuras são relatadas no capítulo 4.

Ainda, em anexo, encontram-se os artigos relacionados ao tema, publicados e aceitos para publicação, realizados durante o período de estudo. Finalmente, os artigos resultantes deste trabalho serão publicados oportunamente.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Fruticultura

As fronteiras da fruticultura no Brasil têm sido significativamente ampliadas nos últimos anos. O padrão tecnológico (melhoramento genético, produção de sementes, manejo pós-colheita, etc.) empregado nesta atividade também se elevou permitindo ganhos em produtividade e qualidade dos produtos.

Segundo dados do BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social), cada hectare ocupado com fruticultura emprega diretamente, em média, três a seis pessoas e indiretamente outras duas ou três. A fruticultura é considerada, portanto, uma atividade que possui uma das relações mais altas de emprego por investimento (David et al., 1999) indicando, assim, sua importância e necessidade de expansão.

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de frutas frescas, atrás apenas da China e da Índia, representando 8% da produção mundial, de acordo com a FAO (Food Agriculture Organization). Os principais destinos do produto brasileiro são Holanda, Reino Unido e Estados Unidos. Atualmente, 70% da produção nacional de frutas segue para a Europa, e 18% para o Mercosul (IRRIGAR, 2005).

### 2.2. Exportação

Embora as exportações brasileiras de frutas frescas tenham crescido mais de 200% nos últimos seis anos, a participação do país no mercado mundial é pequena (IBRAF, 2005). No ranking do comércio exterior, o Brasil ocupa o 20º lugar entre os países exportadores, segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Apesar de ser um dos maiores produtores mundiais de frutas, o Brasil tem participação inexpressiva no comércio internacional. Entre os fatores apontados estão: frutas fora dos padrões exigidos pelo mercado importador, e falta de divulgação de frutas exóticas (Filho et al., 1998).

O mamão, dentre as culturas tropicais, foi aquela cuja produção apresentou crescimento significativo nos últimos 10 anos (AGRIANUAL, 2002). Essa expansão foi consequência da aplicação de tecnologia e vantagens econômico-financeiras proporcionadas pela elevada produção do mamoeiro.

De acordo com a Secretaria de Comércio Exterior (Secex), o volume total de mamão exportado em 2007 foi 2% inferior ao embarcado em 2006. Os principais

entraves à exportação no último ano foram: oferta reduzida e falta de frutos com qualidade suficiente para atender às exigências dos EUA e Europa. Ainda, dados do Secex indicam uma queda na exportação do mamão devido ao câmbio (desvalorização do dólar americano no cenário mundial) (Toralles, 2007).

A necessidade de aplicação de inovações na cultura para, deste modo, aumentar as exportações do fruto, não só trará divisas ao país, mas também resultará em impacto social positivo, já que o mamoeiro produz o ano inteiro, o que exige mão-de-obra constante.

Atualmente, o Brasil ocupa o terceiro lugar na exportação de mamão, precedido pelo México e Malásia. Outros países produtores da fruta são Nigéria, Índia e Indonésia (BRAPEX, 2005; AGRIANUAL, 2008).

### **2.3. A Fruta**

O mamoeiro (*Carica papaya* L.) é pertencente à classe Dicotiledônea, família *Caricaceae* e gênero *Carica*. Dentro do gênero *Carica*, a espécie *Carica papaya* L. é a única conhecida comercialmente (Jolly, 1977). A espécie é uma planta herbácea, tipicamente tropical, cujo centro de origem não foi precisamente determinado. Alguns autores acreditam que o fruto é originário do sul do México ou de terras baixas da América Central e Antilhas. Possui plantas masculinas, femininas e hermafroditas, caule cilíndrico, ereto, marcado por numerosas cicatrizes foliares, terminando com um grupo denso de grandes folhas na região apical. O fruto do mamoeiro é uma baga de forma variável de acordo com o tipo de flor, podendo ser arredondado, cilíndrico ou periforme, de polpa amarelada, alaranjada ou avermelhada. As sementes são pequenas, redondas e recobertas por uma camada mucilaginosa (Martins e Da Costa, 2003).

O mamão é um fruto nutritivo que apresenta boas qualidades sensoriais. O fruto apresenta quantidades consideráveis de provitamina A, vitaminas B1, B2, C, substâncias com atividade antioxidante e minerais como ferro, cobre, zinco e selênio (Cook e Samman, 1996). O fruto é classificado ainda como climatérico, extremamente sensível a danos mecânicos, ao frio e a altas temperaturas, fazendo-se necessário rigor na colheita e acondicionamento adequado para estender sua vida pós-colheita.



Acredita-se que sua introdução no Brasil date da época pós-descobrimto, mas como cultura comercial teve grande impulso a partir de 1977, com a introdução do mamoeiro do grupo Solo (FrutiSeries, 2000).

O mamoeiro é classificado em dois grupos distintos, Formosa e Solo. Dentre as variedades do grupo Solo, destaca-se a Golden, originária de uma mutação natural de 'Sunrise Solo', a mais exportada pelo Brasil. Como característica, os frutos possuem amarelecimento mais uniforme, formato piriforme, polpa rosa-salmão e, aparentemente, vida de prateleira menor que a 'Sunrise Solo' (Fonseca, 2002). Tem também boa aceitação no mercado internacional, mesmo com teor de sólidos solúveis totais e produtividade inferior aos do 'Sunrise Solo'. Outra vantagem é que o 'Golden' é, aparentemente, mais tolerante à mancha fisiológica (Oliveira et al., 2005). Atualmente, o cultivo do mamão concentra-se no sul da Bahia, norte do Espírito Santo e em expansão no estado do Rio Grande do Norte, abastecendo tanto o mercado externo como o interno.

## **2.4. Espectroscopia Fotoacústica**

### **2.4.1. Histórico**

O efeito fotoacústico foi descoberto há mais de um século por Alexander Graham Bell quando trabalhava em um de seus inventos (Bell, 1880). Bell trabalhava no fonofone, um dispositivo que permitia a transmissão e reprodução de sons por meio de feixes de luz modulada. Bell explorou a transmissão da voz por um feixe de luz do sol entre um emissor (um tubo em cuja extremidade era conectado um espelho plano flexível, que funcionava como um diafragma de microfone) e um receptor (um sensor feito de selênio por apresentar propriedades fotossensíveis). Estes, perfeitamente alinhados, dependiam da disponibilidade da luz solar. Bell atribuiu corretamente tal fenômeno ao processo de absorção da luz, que aquecia o material e provocava sua dilatação térmica. Sucessivas dilatações produziam vibrações no ar dentro do tubo, gerando som. Mas, qualquer obstáculo opaco que se interpusesse no trajeto dos raios, cortaria a comunicação, daí uma das razões do insucesso de Bell.

No ano seguinte, Rayleigh (1881), Röntgen (1881) e Tyndall (1881) estudaram este novo fenômeno em detalhes. Mas somente no final da década de 30, Viengerov (1938) apresentou a primeira análise de gás utilizando a espectroscopia fotoacústica. Mais tarde, Luft (1943) melhorou a sensibilidade da

técnica que permitiu o monitoramento de concentrações de gases na escala de partes por milhão (ppm).

O efeito fotoacústico foi “redescoberto” com os progressos feitos nos campos de desenvolvimento de lasers e eletrônica, disponibilizando fontes de radiação monocromática, microfones sensíveis e amplificador síncrono *lock-in*, no final da década de 60. Em 1968, Kerr e Atwood utilizaram a detecção fotoacústica para obtenção do espectro de absorção de moléculas gasosas.

As aplicações atuais da técnica fotoacústica incluem a avaliação não-destrutiva de materiais, em sistemas biológicos, na agricultura, em análise ambiental, na medicina, entre outros (Groot et al., 2003; Persijn et al., 2004; Kuster et al., 2005; Moeskops et al., 2006).

#### **2.4.2. O Efeito Fotoacústico**

O efeito fotoacústico, primeiro da família das técnicas fototérmicas, consiste na geração de um sinal acústico devido à absorção de radiação modulada (ou pulsada) por parte de uma amostra (Vargas e Miranda, 1988; Harren e Reuss, 1997). Ao absorver radiação, a amostra tem seus níveis internos de energia (eletrônicos, vibracionais e rotacionais) excitados, que, ao decaírem na forma de relaxação térmica, causam aquecimento periódico local.

O aquecimento periódico de uma amostra gasosa leva à produção de som que tem intensidade proporcional à quantidade da mesma. Assim, utilizando-se luz com um comprimento de onda que seja apenas absorvida por um dos componentes da amostra gasosa e com um sistema de amplificação acústica, por meio de microfones sensíveis, é possível detectar o som gerado unicamente por um componente. Durante as medidas, as moléculas da amostra gasosa absorvem a radiação eletromagnética, proveniente de um laser de CO<sub>2</sub>, por exemplo, e são levadas a um estado de energia mais excitado, transições nos níveis vibracionais e rotacionais no caso da radiação infravermelha. Quando a radiação do laser é cortada por um modulador (*chopper*) acoplado ao espectrômetro, as moléculas da amostra retornam ao seu estado de equilíbrio. Durante esse decaimento de energia, essas moléculas emitem energias radiativas (fluorescência e fosforescência) e não-radiativas (calor), ou seja, ondas térmicas. Com a oscilação devido à modulação da radiação, ocorre aumento da temperatura dentro da célula fotoacústica, que causa, por sua vez, expansão local do volume que pode ser observada como uma onda de

pressão, gerando o efeito fotoacústico. A intensidade desta onda da pressão é proporcional à concentração da amostra (Almond e Patel, 1996).

De modo geral, o sinal fotoacústico ( $S = P \cdot C_e \cdot N_{tot} \cdot \sigma \cdot C_n$ ) é proporcional à potência do laser  $P$  (W), à constante da célula  $C_e$  (V.cm/W), ao número total de moléculas por unidade de volume  $N_{tot}$  ( $\text{cm}^{-3}$ ), à seção de choque  $\sigma$  ( $\text{cm}^2$ ) da molécula absorvedora e à quantidade de moléculas absorvedoras ( $C_n$ ). O espectro de absorção de uma molécula representa sua impressão digital, podendo ser utilizado para sua identificação. O sinal gerado e captado pelo microfone pode ser melhorado, por exemplo, com o aumento da potência do laser (Sigrist, 1994).

Atualmente, boa parte das aplicações da técnica fotoacústica envolve arranjos experimentais baseados em fontes de luz laser, especialmente aqueles que podem transmitir vários comprimentos de onda. O laser é a fonte de radiação apropriada para a espectroscopia fotoacústica, uma vez que a radiação é monocromática, coerente e de alto brilho espectral.

Produzido na Universidade Católica de Nijmegen, Holanda, o espectrômetro utilizado neste estudo trabalha na região espectral do  $\text{CO}_2$ . O laser de  $\text{CO}_2$  possui, em média, 80 linhas de emissão na faixa do infravermelho (9-10  $\mu\text{m}$ ) nas quais muitas moléculas orgânicas e algumas inorgânicas absorvem, por exemplo, etileno, amônia e ozônio. No caso específico do etileno, são utilizadas as linhas 10P12 ( $951,192 \text{ cm}^{-1}$ ) e 10P14 ( $949,479 \text{ cm}^{-1}$ ). No comprimento de onda correspondente à linha 10P14, a molécula de etileno tem coeficiente de absorção elevado que permite sua detecção em concentrações de partes por trilhão (ppt). Neste espectrômetro, a célula fotoacústica está localizada dentro da cavidade óptica do laser, estando a amostra sujeita a uma potência de, aproximadamente, 70W (Figura 1). No laser de  $\text{CO}_2$ , o meio ativo contido no tubo de descarga é constituído por uma mistura de, aproximadamente, 12% de dióxido de carbono, 23% de nitrogênio e 65% de hélio.



Figura 1 - Fotografia do espectrômetro fotoacústico utilizado para a detecção de etileno.

O princípio de funcionamento do analisador de  $\text{CO}_2$  (URAS 14) é também considerado uma técnica fototérmica. O processo de detecção está baseado na excitação molecular devido à absorção infravermelha seguida por decaimento não-radiativo, resultando em um aumento diferencial na pressão. Este sistema permite que baixas concentrações de  $\text{CO}_2$  provenientes da amostra sejam detectadas com uma precisão de, aproximadamente, 0,1% (v/v).

## 2.5. Hexafluoreto de Enxofre

O hexafluoreto de enxofre ( $\text{SF}_6$ ) é um gás presente na atmosfera em baixas concentrações, 4,2 ppt (Schneider, 1998). As suas propriedades elétricas, físicas, químicas e térmicas combinadas oferecem muitas vantagens na produção industrial, sendo utilizado, por exemplo, em interruptores de eletricidade, no isolamento e revestimento de fios elétricos (Rinsland, 1990). O gás é adicionado à atmosfera devido ao escapamento e acidentes com estes equipamentos. Apesar do seu potencial para contribuir com o aquecimento global, o  $\text{SF}_6$  é um gás não-tóxico e não-inflamável (Gas Encyclopaedia, 1976), além de ser biologicamente inerte. O gás parece ser ideal para estudos relacionados a sistemas biológicos porque não

influencia no metabolismo. Este tem forte absorção na emissão do laser de CO<sub>2</sub> e a escala de detecção pela técnica fotoacústica está entre 0,005 e 400 ppb.

## 2.6. Trocas gasosas

As trocas gasosas que ocorrem entre as células e a atmosfera é um sistema regulado por atividades metabólicas, resistência de membranas e a composição da atmosfera que rodeia o fruto. A composição da atmosfera interna de frutos pode ser determinada diretamente para aqueles que possuem cavidades ou submergindo os mesmos em água, e por meio de vácuo extrair ar dos espaços intercelulares (Salveit, 1982). Essa atmosfera também pode ser analisada indiretamente por meio de medidas de resistência de um gás à difusão através dos tecidos (Banks, 1985).

Um método prático para a determinação da resistência de tecidos de frutos é colocá-lo dentro de um recipiente fechado com um gás inerte e verificar a diminuição da concentração deste num dado tempo devido à difusão através do fruto (Peppelenbos e Jeksrud, 1998). Gases atravessam a superfície por difusão, processo que se dá na direção em que a concentração decresce e, portanto, tende a se igualar em todo o espaço.

Burg e Burg (1965) e Cameron e Yang (1982) citam que a difusão gasosa na polpa de frutos (tecidos internos) é muito mais rápida do que na casca. Rajapakse et al. (1990) mediram o gradiente de concentração de oxigênio em pêras e concluíram que a resistência da casca é a maior barreira para a difusão. Groot (2001) e Rajapakse et al. (1992) salientam, ainda, que esta seja influenciada pelas condições de cultivo, época de colheita, cultivar e estágio de maturação dos frutos.

Grandes volumes nos espaços intercelulares existem geralmente para fornecer meios eficientes de “arejar” os tecidos dos frutos. Entretanto, a continuidade, a distribuição e o grau na quais estes são preenchidos influenciam a efetividade desses espaços no processo (Burton, 1982). Se os canais de ar intercelulares ficam bloqueados, a resistência à difusão do O<sub>2</sub> e outros gases é aumentada devido à menor difusividade desses em líquidos quando comparada ao ar (Armstrong, 1979).

Durante o amadurecimento dos frutos a resistência interna à difusão de gás aumenta, já que as membranas celulares se rompem e os espaços intercelulares são preenchidos com o conteúdo celular (Ben-Yehoshua et al., 1963; Burton, 1982; Kader et al., 1989; Rajapakse et al., 1990). Schotsmans et al. (2004) relacionaram

diferenças na difusividade do O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> em diferentes cultivares de maçã, durante o armazenamento com mudanças no volume do espaço intercelular e no tamanho das células.

Para a determinação da difusão em cherimóias, Martinez et al. (1993) armazenaram frutos em recipiente contendo etano. Os frutos foram transferidos para um segundo recipiente livre do gás e determinadas as concentrações deste. Os autores observaram que a resistência do gás à difusão aumentou consideravelmente com a maturação dos frutos. Os autores sugerem que isto aconteceu devido à redução do volume livre nos espaços intercelulares em consequência da perda de rigidez das membranas. Foram consideradas ainda mudanças na epiderme. Os autores concluíram que mudanças ocorridas na casca são mais importantes do que as nos tecidos internos na redução das trocas gasosas.

## **2.7. Etileno**

Na Antigüidade, se sabia que frutos de figo amadureciam mais rapidamente quando se realizavam pequenos cortes na casca. Em 1864, Girardin mostrou que o gás usado para iluminação causava senescência e abscisão foliar de árvores usadas na arborização urbana. Na época se pensou que tal fato era devido ao efeito da poluição. Em 1901, o fisiologista russo Neljubow mostrou que o etileno era o componente ativo do gás de iluminação e que causava tais efeitos nas plantas. Ele também identificou o etileno como causador da tríplice resposta (redução no alongamento do caule, aumento do crescimento lateral e crescimento horizontal anormal) (Taiz e Zeiger, 2004).

A primeira menção de que o etileno é um produto natural de tecidos vegetais foi publicada em 1910, por Cousins, que relatou que 'vapores' de laranjas estocadas causavam o amadurecimento de bananas. Em 1934, Gane identificou quimicamente o etileno como um produto natural do metabolismo vegetal e foi classificado como hormônio (Abeles et al., 1992). Após 1959, com a introdução da cromatografia gasosa, a importância do hormônio foi redescoberta e seu significado fisiológico reconhecido (Taiz e Zeiger, 2004).

O etileno pode ser produzido em quase todas as partes dos vegetais, embora a taxa de produção dependa do tipo de tecido e do estágio de desenvolvimento. Em geral, regiões meristemáticas são as mais ativas na síntese. Contudo, a produção de etileno aumenta também durante a abscisão foliar e amadurecimento dos frutos.

Qualquer tipo de lesão pode induzir a biosíntese do etileno, assim como o estresse provocado por temperatura e ataque de patógenos. O etileno é facilmente liberado dos tecidos e se difunde como gás através dos espaços intercelulares para o exterior. A produção de etileno nos vegetais é mais elevada nos tecidos senescentes e nos frutos em amadurecimento e é biologicamente ativo em concentrações muito baixas (Taiz e Zeiger, 2004).

O etileno é conhecido por participar na modulação de uma variedade de respostas fisiológicas. A concentração de etileno aumenta no período climatérico, podendo este anteceder ou não a elevação da taxa respiratória, dependendo do fruto. Esse comportamento gera controvérsia quanto ao fato de ser ou não o etileno o iniciador do climatério, ou seja: se a sua produção endógena é ou não o sinal para desencadear mudanças bioquímicas e fisiológicas.

O precursor chave do etileno nas plantas superiores é o aminoácido L-metionina, que se converte a S-adenosilmetionina (SAM) depois de reagir com ATP. A molécula SAM é quebrada em dois compostos diferentes, sendo uma parte reciclada, regenerando a L-metionina e a outra parte convertida a ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC). O ACC em condições aeróbicas, por meio de enzimas no tonoplasto, forma etileno, dióxido de carbono, amônia e ácido fórmico. A síntese de etileno é limitada pelo suprimento de seu precursor imediato, o ACC. Durante o amadurecimento com o aumento maciço da produção de etileno, há um aumento pronunciado na atividade de enzimas ACC sintase e no conteúdo de ACC (Salisbury e Ross, 1992).

Como no caso de outros reguladores de crescimento, o etileno parece se ligar a uma proteína (receptor) da membrana plasmática, formando um complexo ativo que inicia as modificações na expressão gênica (síntese de RNA e proteínas) e uma série de reações que provocam variadas respostas fisiológicas, as quais, no conjunto, realizam a maturação dos frutos (Salisbury e Ross, 1992). O entendimento destes processos tem permitido o desenvolvimento de técnicas para controle da maturação e otimização no armazenamento dos frutos.

## **2.8. Absorvedor de etileno**

As perdas pós-colheita dependem da espécie vegetal e do nível tecnológico aplicado desde a colheita até o armazenamento (Wills et al., 1998) e são estimadas

entre 5 e 25% nos países desenvolvidos, e entre 20 e 50% nos países em desenvolvimento (Kader, 1992).

Para reduzir essas perdas, é necessário melhorar os processos de classificação, conhecer a fisiologia e fatores ambientais envolvidos na deterioração. Várias tecnologias de armazenamento disponíveis para retardar o amadurecimento e preservar a qualidade dos produtos hortícolas vêm sendo utilizadas. Dentre elas, pode-se destacar o uso de refrigeração, o armazenamento em atmosfera modificada ou controlada e a utilização de substâncias capazes de absorver etileno. Essas substâncias são usadas durante o armazenamento, o transporte e a comercialização de frutos, hortaliças e flores com o objetivo de reduzir perdas.

Geralmente, absorvedores de etileno comerciais são compostos por permanganato de potássio, que tem efeito oxidante sobre o etileno. Assim, o etileno transforma-se em água e gás carbônico, enquanto o permanganato converte-se em dióxido de manganês e potássio.

Amarante e Blum (2000) utilizaram absorvedor de etileno por filtro em câmara fria associada à atmosfera controlada no armazenamento de maçãs. Para a cultivar Gala, após 5 meses de armazenamento, a concentração de etileno na câmara com absorvedor foi reduzida em 75%. Já para 'Fuji' a redução foi de 99%. O absorvedor, além de reduzir a concentração do fitormônio, retardou a maturação, resultando em frutos com maior retenção da cor verde da casca e firmeza, além da redução na incidência de mofo azul.

Num segundo experimento, Amarante (2000) avaliou o emprego de sachês na absorção de etileno, à temperatura ambiente, de maçãs 'Gala' em diferentes estádios de maturação. Para frutos nos estádios de maturação 1 e 2, o emprego do sachê (10g) no interior da embalagem de polietileno reduziu a concentração de etileno (menor que 10 ppm). Nos frutos correspondentes aos estádios 3 e 4, o sachê reduziu a concentração de etileno em relação ao controle, mas ainda assim, esta foi alta (entre 30 e 70 ppm nas embalagens com sachê). Os resultados demonstram que o estágio de maturação interfere na eficiência do produto em retardar a maturação, sendo mais eficiente quanto menor for o estágio de maturação.

Pfaffenbach et al. (2003) estudaram o efeito da atmosfera modificada e de absorvedor de etileno (4,7g/kg de fruto) na conservação pós-colheita de manga espada. A embalagem PEBD (polietileno de baixa densidade) com sachê teve influência positiva no controle do aparecimento de manchas na casca, menor perda



de massa e na manutenção da qualidade de frutos sob refrigeração por 14 dias seguidos de 4 dias em temperatura ambiente.

Sachês contendo absorvedor de etileno também foram utilizados na conservação de banana 'Prata'. Brackmann et al. (2006) adotaram sachê (10g/2400g de fruto) associado à atmosfera modificada (filme de PEBD) e observaram frutos com maior firmeza, menor escurecimento da casca e extensão no período de armazenamento, à temperatura ambiente e refrigeração, quando comparados a frutos controle (sem embalagem e sachê).

Wills e Kim (1995) estudaram o efeito de uma preparação comercial de permanganato de potássio na conservação de diferentes cultivares de morango. A adição do sachê em atmosfera modificada reduziu o acúmulo de etileno e, como consequência, gerou aumento na vida pós-colheita para oito dias em comparação com o controle. Frutos nesta condição apresentaram, também, menor suscetibilidade ao ataque do mofo cinzento (*Botrytis cinerea*).

No ensaio realizado por Resende et al. (2001), frutos de maracujazeiro amarelo foram acondicionados em bandejas plásticas envoltas por filme de PVC, contendo ou não sachês de absorvedor de etileno (9,5g/kg de fruto). A utilização do filme associado ao sachê, sob refrigeração, propiciou a conservação dos frutos até o 35º dia de armazenamento, com boa aparência, redução na perda de água e ausência de manchas na casca.

A utilização de absorvedores de etileno associados à atmosfera modificada é também um método eficiente para aumentar a vida pós-colheita de outras espécies hortícolas, como kiwi, goiaba, caqui, couve-flor, entre outros (Mitchell et al., 1982; Durigan e Lima, 1997; Ferri e Rombaldi, 2004; Brackmann et al., 2005).

## **2.9. Transformações físico-químicas dos frutos**

A composição química dos frutos frescos pode variar em função do cultivar, fertilidade do solo, época do ano, estágio de maturação, porção do fruto, entre outros. Sob condições normais, o amadurecimento dos frutos ocorre como uma seqüência integrada de mudanças como hidrólise de amido, formação de compostos voláteis, amolecimento da polpa, mudanças na coloração, acúmulo de açúcares, declínio de ácidos orgânicos, entre outros (Tucker e Grierson, 1987; Speirs e Brady, 1991). A maturação e a senescência podem ser retardadas, mas são eventos irreversíveis na fisiologia do fruto desde que o mesmo esteja fisiologicamente

maduro (Chitarra e Chitarra, 2005). A maioria das técnicas aplicadas no armazenamento visa ao retardo da maturação e a redução da perda de água (Awad, 1993).

A cor é uma das características mais utilizadas para indicar a maturidade dos frutos. Os frutos normalmente perdem a cor verde quando amadurecem, sendo esse desverdecimento resultado da degradação da clorofila e síntese/revelação de pigmentos como carotenóides e antocianinas (Borsheim, 1980; Wills et al., 1981). Essas mudanças ocorrem como consequência da quebra da estrutura da clorofila, provocada por mudanças no pH, presença de ácidos orgânicos e pela atividade de clorofilases (Awad, 1993). No entanto, Watada (1986) afirma que a perda da cor verde é consequência da síntese de outros pigmentos e não da perda propriamente dita da clorofila.

A avaliação da firmeza constitui outro método para determinação do estágio de maturação de frutos, assim como o potencial para o armazenamento (Lesage e Destain, 1996). A perda da firmeza durante a maturação é atribuída à ação de enzimas, principalmente a poligalacturonase, sobre substâncias pécticas da parede celular (Chan et al., 1981). No mamão, as principais enzimas atuantes na parede celular são poligalacturonases, pectinametilesterase, xilanases e celulases (Paull et al., 1999). Embora o efeito das modificações da parede celular no amadurecimento dos frutos já tenha sido desvendado por meio de microscopia eletrônica, alguns fenômenos, como a dissolução da região da lamela média bem como desordem geral do material remanescente da parede celular, ainda não estão elucidados (O'Donoghue et al., 1997).

A acidez depende das características de cada espécie e cultivar. Segundo Silva e Medina (1997), os ácidos diminuem, com algumas exceções, com a maturação, como consequência da sua utilização no processo respiratório e na conversão de açúcares, constituindo-se reserva energética. O ácido cítrico e o málico são os encontrados em maior abundância nas frutas tropicais. Arriola et al. (1980) revelaram que, para o mamão, o ácido orgânico predominante é o cítrico e o seu teor diminui com a maturação. A polpa do mamão possui, em média, valores de pH de 5,0 a 5,5, e acidez total titulável de 0,096 a 0,12 g de ácido cítrico/100g de matéria fresca, caracterizando, assim, baixa acidez na fruta.

A maioria dos processos biológicos é dependente de pH. Uma pequena variação no meio produz mudanças na velocidade da maioria dos processos

biológicos ou, ainda, afeta a estrutura e atividade de enzimas. A redução do pH, que ocorre durante o amadurecimento, é decorrente do aumento da concentração de ácidos orgânicos (Leningher et al., 1995).

O teor de sólidos solúveis totais (SST) é um atributo importante associado à qualidade dos frutos, sendo de rápida e fácil determinação. O índice de SST estabelece a quantidade, em gramas, de sólidos que se encontram dissolvidos no suco ou polpa, e são expressos em graus Brix, cuja tendência é aumentar conforme a maturação (Chitarra e Chitarra, 2005). Para a comercialização, frutos de mamoeiro devem ter um teor de sólidos solúveis entre 13 e 15°Brix (Manica, 1982; Kader, 1992).

## **2.10. Enzimas no amadurecimento de frutos**

A atividade de diversas enzimas tem sido observada em frutos durante o amadurecimento, e está relacionada com o decréscimo na firmeza, alterações na parede celular e conseqüente aumento de pectinas solúveis (Ahrens e Huber, 1990). A pectinametilesterase (PME) e a poligalacturonase (PG) são enzimas capazes de degradar substâncias pécticas e estão correlacionadas com a perda de firmeza dos frutos durante o amadurecimento, pois reduzem a força coesiva que liga as células. A PME tem papel importante no amaciamento de frutos pelo aumento da suscetibilidade das pectinas à PG durante o amadurecimento (Koch e Nevins, 1989). A PME cliva metil ésteres de pectina, produzindo metanol e ácido péctico. Este último é parcialmente degradado a ácido galacturônico, através da poligalacturonase. A PG é classificada em dois grupos, com base na sua ação sobre o substrato: a endo-PG, com típico rompimento aleatório das ligações glicosídicas e a exo-PG, com rompimento terminal (Awad, 1993).

As beta-galactosidases são outra classe de enzimas que podem contribuir de forma significativa para modificações na parede celular e amaciamento durante o amadurecimento (Lazan et al., 1995). Foi sugerido que elas são responsáveis pela solubilização de pectinas e liberação de resíduos de galactose da parede celular (Seymour e Gross, 1996; Redgwell et al., 1997). Taiz e Zeiger (2004) citam, ainda, que a atividade desta enzima possa explicar o amaciamento de frutos na ausência da PG. Recentemente, foram realizados registros de aumento na atividade desta enzima durante o amadurecimento de uva, mamão, pêra, entre outros (Barnavon et al., 2000; Karakurt e Huber, 2003; Ali et al., 2004; Mwaniki et al., 2005).

Em razão da complexidade da estrutura da parede celular, é improvável que uma única enzima seja capaz de modificá-la significativamente e responder pelo amaciamento. Portanto, a ação coletiva de várias enzimas é necessária para promover mudanças texturais relevantes.

### 3. TRABALHOS

#### 1. Mudanças na difusão gasosa na polpa de mamão 'Golden' durante o amadurecimento.

**Resumo** – O presente trabalho objetivou avaliar a difusão de gás em mamões (*Carica papaya* L.) 'Golden' em diferentes estádios de maturação. O estágio de maturação dos frutos foi caracterizado por avaliações anatômicas, integridade de membranas, firmeza da polpa e coloração da casca. A análise anatômica foi realizada por meio de microscopia óptica. Para a determinação da difusão de um gás sonda ( $SF_6$ ), foi utilizado um espectrômetro fotoacústico acoplado a um laser de  $CO_2$ . Os resultados mostraram significativa diminuição do coeficiente de difusão do gás com amadurecimento dos frutos. Verificou-se que os frutos no estágio zero de maturação apresentavam células parenquimáticas túrgidas, de contorno regular, tamanhos distintos e, relativamente, poucos espaços intercelulares. Já frutos no estágio de maturação 5 (Tabela 1, ANEXO) apresentaram como característica o afastamento entre paredes celulares adjacentes e acúmulo de substâncias pécticas nos espaços intercelulares. Com relação à cor da casca, com o avanço do amadurecimento foram observados a redução nos valores de ângulo de cor "hue" e aumento nos valores de cromaticidade  $a^*$  e  $b^*$ , caracterizando a perda da coloração verde. A perda de firmeza da polpa foi observada durante o amadurecimento dos frutos.

**Palavras-chave:** *Carica papaya* L., difusão gasosa na polpa, microscopia, amadurecimento.

**Abstract** – The aim of the present study was to evaluate gas diffusion from papayas (*Carica papaya* L.) 'Golden' at different maturity stages. The maturity stages were characterized by the anatomical characteristics, membrane integrity, pulp firmness, and skin color. The micro structural analysis was performed by means of optical microscopy. To determine the gas diffusion rate ( $SF_6$ ) a photoacoustic spectrometer was used. A significant decrease in the diffusion rate with ripening was observed. Under the experimental conditions it was found that fruits in maturity stage 0 had turgid, regular shape parenchyma cells, and relatively little intercellular spaces.

However, fruits in maturation stage 5 showed separation of cell walls and pectic substance accumulation into the intercellular spaces. The skin color showed a reduction in hue angle values and an increase in chromaticity parameters  $a^*$  and  $b^*$ , characterizing the loss of green color during ripening. A loss of firmness of the pulp was also observed during fruit ripening.

**Keywords:** *Carica papaya* L., gas diffusion in the pulp, microscopy, ripening.

### 1.1. Introdução

O amadurecimento de frutos envolve uma série de mudanças fisiológicas e bioquímicas que alteram sua composição e permitem seu consumo. A avaliação das propriedades físico-químicas, em conjunto com as alterações estruturais é de suma importância para a compreensão de tais mudanças. Entre os sinais mais evidentes do amadurecimento do mamão, estão a mudança na firmeza da polpa, degradação de clorofilas e síntese de carotenóides na casca (Lazan et al., 1989).

A perda de firmeza do fruto é consequência de alterações nos constituintes da parede celular que mantêm as células unidas entre si. Com a menor ligação célula-célula, o tecido perde a rigidez, e a polpa, a firmeza. Dentre os elementos que constituem a parede celular, responsáveis pela cimentação entre as células, destacam-se os pectatos de cálcio. Este é insolúvel e denominado protopectina, predominante nos tecidos de frutos imaturos, porém, que já tenham atingido o seu pleno desenvolvimento. Com a maturação, há liberação de cálcio e solubilização da protopectina da parede celular por ação enzimática. Portanto, a transformação (hidrólise parcial) de protopectina insolúvel em pectina solúvel em água é uma das causas do amaciamento da polpa de frutos durante o amadurecimento (CETEC, 1985; Chitarra e Chitarra, 2005). As pectinas, freqüentemente, constituem mais de 50% da parede celular dos frutos (Carpita e McCann, 2000).

A análise microscópica dos tecidos de frutos vem auxiliar a observação das modificações estruturais como na lamela média, parede celular, entre outros, durante o amadurecimento. A técnica já foi utilizada para a observação da estrutura celular de frutos como maçã, pêssigo, manga, ameixa e caqui (Glenn e Poovaiah, 1990; Luza et al., 1992; Evangelista et al., 2002; Nunes et al., 2005; Salvador et al., 2007).

Já a avaliação das mudanças na coloração da casca com o avanço da maturação é facilmente observada, podendo, também, ser quantificada. A quantificação de pigmentos pode ser realizada com auxílio de espectrofotômetro, cromatografia líquida de alta eficiência e também de forma indireta por meio de medidas de reflectometria, empregando-se equipamentos como o colorímetro, sem a necessidade da retirada de amostra do tecido.

Os processos metabólicos envolvem trocas gasosas entre o fruto e o meio que o circunda. As propriedades de transporte do gás nos tecidos são importantes para compreender o processo de aeração e respiração dos frutos. Acredita-se que os espaços intercelulares são a via de difusão através da qual, plantas têm fornecimento adequado de  $O_2$  para a respiração e  $CO_2$  para a fotossíntese (Terashima et al., 2001). O transporte de gases em frutos ocorre através da camada de cera sobre a epiderme, poros (por exemplo, estômatos e lenticelas) e, principalmente, através dos espaços intercelulares nos tecidos (Banks, 1985; Peppelenbos e Jeksrud, 1998). O preenchimento dos espaços intercelulares pelo conteúdo intracelular proveniente da ruptura de membranas durante o amadurecimento de frutos representa uma barreira à difusão gasosa.

O processo de difusão de moléculas no tecido vegetal está relacionado à morfologia, ou seja, quantidade e tamanho de canais de difusão e, também, ao metabolismo do fruto. O etileno, fitormônio produzido em quase todas as células da planta adulta, é removido dos tecidos por difusão na atmosfera que o cerca.

O objetivo deste trabalho foi o de estudar a difusão gasosa do gás sonda hexafluoreto de enxofre ( $SF_6$ ), correlacionando-a a fenômenos ligados ao amadurecimento de frutos de mamoeiro 'Golden' como, firmeza, coloração da casca, integridade de membranas e por meio de cortes histológicos, mudanças nas características anatômicas da polpa.

## **1.2. Material e Métodos**

Para a realização do experimento foram utilizados frutos de mamoeiro 'Golden' em diferentes estádios de maturação (0, 1, 2 e 5) (Tabela 1, Anexo), provenientes de um pomar comercial (Caliman Agrícola S/A) situado no município de Linhares, ES. Os frutos receberam tratamento hidrotérmico (água aquecida a  $48^\circ C$  por 20 minutos seguidos de imersão em água a  $12^\circ C$  por 20 minutos), na própria empresa. Após o tratamento os frutos foram acondicionados em caixas de papelão e

transportados para o Laboratório de Ciências Físicas da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, em Campos dos Goytacazes, RJ.

O experimento foi realizado em arranjo fatorial 2x4 cujos fatores e níveis foram: tratamento (sem ou com gás inerte SF<sub>6</sub>) e estádios de maturação (0, 1, 2 e 5) com três repetições. Os dados foram interpretados por meio de análise de variância com auxílio do sistema SISVAR. As médias dos fatores foram comparadas utilizando-se o teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

### **1.2.1. Coeficiente de difusão**

Para a determinação do coeficiente de difusão do SF<sub>6</sub> foi utilizado um espectrômetro fotoacústico acoplado a um laser de CO<sub>2</sub>. A linha de emissão 10P14 (949,479 cm<sup>-1</sup>) foi utilizada por ser intensamente absorvida pelas moléculas de SF<sub>6</sub>.

O fruto no estádio de maturação zero foi colocado individualmente em um recipiente de volume igual a 1L contendo a mistura gasosa de ar sintético e SF<sub>6</sub>, na concentração de 1,03 % mol/mol, por 30 minutos. Após a retirada do fruto do recipiente, um pequeno coletor de volume igual a 10mL foi selado sobre a casca, na região equatorial (Figura 1). Por meio de tubos conectados ao coletor, gases emitidos foram arrastados com ar comprimido, num fluxo de, aproximadamente, 2 L.h<sup>-1</sup>, controlado por controladores eletrônicos de fluxo, modelo 5850S (Brooks Instrument). A amostra gasosa foi, então, carregada através de filtros contendo KOH, CaCl<sub>2</sub> com o objetivo de eliminar CO<sub>2</sub> e água, respectivamente. Foi, ainda, utilizada uma armadilha fria contendo nitrogênio líquido. Para os frutos nos outros estádios de maturação foi realizado o mesmo procedimento, mas em dias diferentes, conforme o avanço no amadurecimento dos mesmos. Para cada condição experimental, foram realizadas três repetições em condições de laboratório (24±2°C, 70±5% UR).



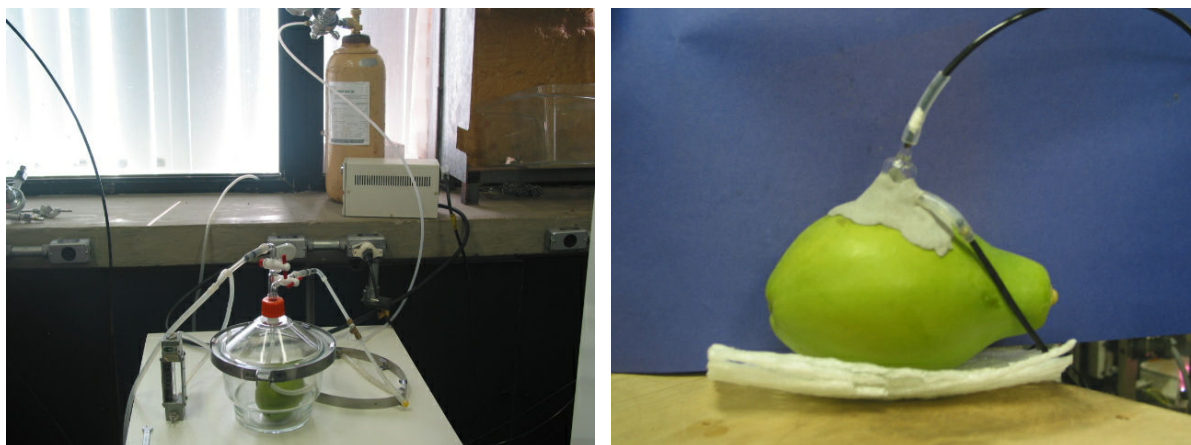


Figura 1 - Fotografias do arranjo experimental para a determinação do coeficiente de difusão do gás SF<sub>6</sub> na polpa de mamões 'Golden'.

Supondo que as moléculas do gás sonda saiam de uma profundidade (L) de 1 mm (Cameron e Yang, 1982; Rajapakse et al., 1990), os valores do coeficiente de difusão (D) foram calculados por meio da expressão:

$$\text{Sinal fotoacústico} = \exp(-t/\tau) \quad (1)$$

onde  $\tau$  é o tempo característico de difusão que está relacionado com o coeficiente de difusão através de:

$$\tau = L^2/2D \quad (2)$$

## 1.2.2. Análises físico-químicas

### 1.2.2.1. Coloração da casca

A coloração da casca foi determinada utilizando-se um colorímetro Minolta modelo CR-300. Medidas em três pontos equidistantes na região equatorial dos frutos foram realizadas e os resultados foram expressos por meio do ângulo de cor "hue" e dos parâmetros de Hunter. Nesta escala o índice L\* refere-se à luminosidade, variando de 0 (para amostra perfeitamente preta) a 100 (para amostra perfeitamente branca); já o índice a\* varia da cor verde (sinal negativo) ao vermelho (sinal positivo), e b\* do azul (sinal negativo) ao amarelo (sinal positivo) (Figura 2). Valores de a\* e b\* iguais a zero equivalem à cor cinza. O ângulo de cor "hue" (h°) define a coloração básica, onde 0° = vermelho, 90° = amarelo, 180° = verde e 270° = azul (McGuire, 1992).

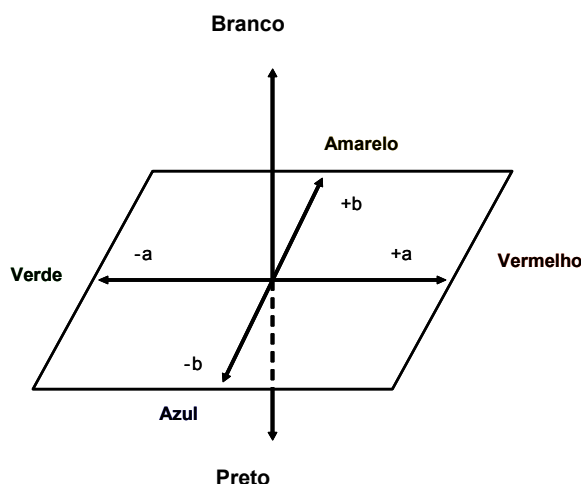


Figura 2 - Esquema representativo do espaço colorido de Hunter.

### 1.2.2.2. Firmeza

As medidas foram realizadas em três pontos equidistantes na região equatorial da polpa dos frutos. Foi utilizado um penetrômetro digital de bancada TR Turoni, modelo 53205, com sonda de 8 mm de diâmetro e 8 cm de altura. A resistência à penetração da ponteira tem variação de 0,05 a 196 N.

### 1.2.2.3. Determinação de integridade de membranas

A determinação de integridade de membranas foi realizada como descrito por Vasquez-Tello et al. (1990) com modificações. Foram coletados da polpa dos frutos três cilindros de 1 cm de diâmetro. Estes foram lavados duas vezes em água deionizada e imersos em 30 mL de água ultra pura por 24 horas à temperatura de 8°C. Após as 24 horas de repouso, as amostras foram retiradas do refrigerador e, assim que a temperatura da solução entrou em equilíbrio com a temperatura ambiente, foram realizadas leituras da condutividade livre (CL), em um condutímetro Quimis, modelo Q-405 A2. Após a determinação da CL, as amostras foram submetidas à temperatura de 80°C por 1 hora e retornaram para o refrigerador por mais 24 horas. Depois deste segundo repouso, foram realizadas leituras da condutividade total (CT). A integridade de membranas foi obtida por meio da seguinte equação:

Porcentagem de integridade (PIA):  $PIA = [1 - (CL/CT)] \times 100$

### 1.2.3. Análise anatômica

#### Microscopia Óptica

Pequenos fragmentos de forma retangular foram retirados na região de maior diâmetro dos frutos. As amostras de, aproximadamente, 0,8 mm a partir do epicarpo foram fixadas, à temperatura ambiente, em uma solução aquosa contendo glutaraldeído 2,5%, paraformaldeído 4,0% e tampão cacodilato de sódio [0,05 M] em pH 7,2 por 24 horas e pós-fixados em tetróxido de ósmio 1%. Em seguida, foram lavadas três vezes, por 45 minutos, em tampão cacodilato de sódio [0,05 M]. Após as lavagens, seguiu-se uma série de desidratação em acetona: 30%, 50%, 70%, 90% e três vezes 100%, por uma hora cada. Em seguida, a acetona foi substituída, gradualmente, pela resina Epon. As amostras foram dispostas em moldes e levadas à estufa (60°C) por 48 horas para polimerização (Spurr, 1969). Utilizando-se um ultramicrotomo (Reichert ultracut) e facas de diamante, foram obtidos cortes de  $\pm 0,5$   $\mu\text{m}$  de espessura. Os cortes foram corados com azul de toluidina 0,1%, colocados em lâminas e seladas com Entellan (Merck) e lamínulas. O material foi documentado em microscópio Axioplan ZEISS acoplado a um sistema digital de análise de imagem. Três fragmentos de cada fruto foram retirados.

### 1.3. Resultados e Discussão

Na Figura 3, pode-se observar a evolução temporal da quantidade de  $\text{SF}_6$  liberado para frutos de diferentes estádios de maturação. As variações ocorrem de forma exponencial, satisfazendo a condição de diminuição progressiva da quantidade de gás no interior do fruto expresso pela Equação 1.

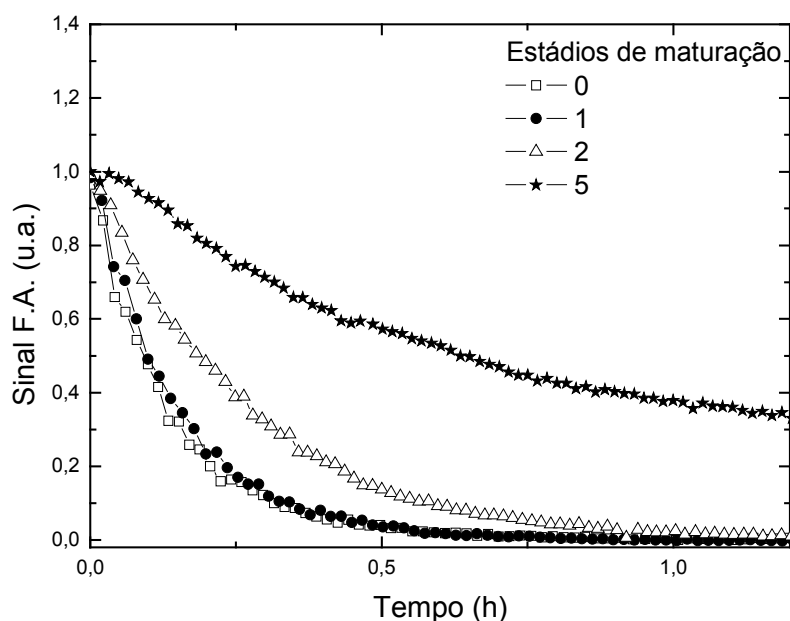


Figura 3 - Variação temporal da quantidade de SF<sub>6</sub> liberado por frutos de mamoeiro 'Golden', em diferentes estádios de maturação.

Ajustando a Equação 1 aos dados experimentais e tendo o tempo característico como parâmetro de ajuste, os coeficientes de difusão do SF<sub>6</sub> foram determinados com a Equação 2. Os resultados mostram significativa diminuição do coeficiente de difusão com o aumento do estágio de maturação dos frutos, assim como o aumento do tempo característico de difusão  $\tau$  (Tabela 1). Os dados do sinal foram normalizados para  $t = 0h$ .

Como o gás é inerte ao meio, essa diminuição pode estar relacionada a uma redução das vias de difusão (espaços intercelulares) e/ ou ao preenchimento dos mesmos pelo conteúdo intracelular proveniente da ruptura das membranas celulares como resultado do amadurecimento.

Tabela 1 – Valores de tempo característico de difusão ( $\tau$ ) e coeficiente de difusão (D) para o SF<sub>6</sub> em frutos de mamoeiro em diferentes estádios de maturação. Os valores de D foram estimados considerando que o gás sai de uma profundidade de 1 mm em relação a epiderme do fruto.

Estádios de maturação	$\tau$ (h)	D (10 <sup>-6</sup> cm <sup>2</sup> /s)
0	0,13 <b>c</b>	10,60 <b>a</b>
1	0,15 <b>c</b>	9,40 <b>a</b>
2	0,26 <b>b</b>	5,32 <b>b</b>
5	0,58 <b>a</b>	2,40 <b>c</b>

Médias seguidas das mesmas letras na coluna, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

As taxas de trocas gasosas dependem das propriedades das moléculas, do gradiente de concentração e das propriedades físicas da cutícula que atua como barreira natural nos vegetais (Burg e Burg, 1965).

As trocas gasosas têm papel fundamental no armazenamento sob atmosfera controlada. O conhecimento incompleto sobre a difusividade nos tecidos vegetais pode levar à falta de precisão na determinação das concentrações de gases a serem utilizados nessa forma de armazenamento. Kader (1986) cita que algumas desordens fisiológicas são conseqüências de níveis de etileno e concentrações de O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> inadequadas no armazenamento.

O longo período de armazenamento sob atmosfera controlada pode resultar na perda da capacidade de difusão de gases no tecido dos frutos. A variação de composição gasosa na atmosfera devido, por exemplo, ao amadurecimento dos frutos, deve ser compensada para que não resulte em desordens fisiológicas ou perda de atributos de qualidade.

Nos dois estádios iniciais de maturação, os valores de PIA refletem maior integridade membranar, isto é, as alterações nas membranas celulares ainda não foram acentuadas. Provavelmente, a partir do estágio 2 de maturação, nos frutos controle, a atividade de enzimas relacionadas ao amadurecimento foi máxima e, conseqüentemente, as alterações nas membranas foram maiores. Como conseqüência do avanço da maturação, houve a redução nos valores da PIA no estágio 5 (Figura 4).

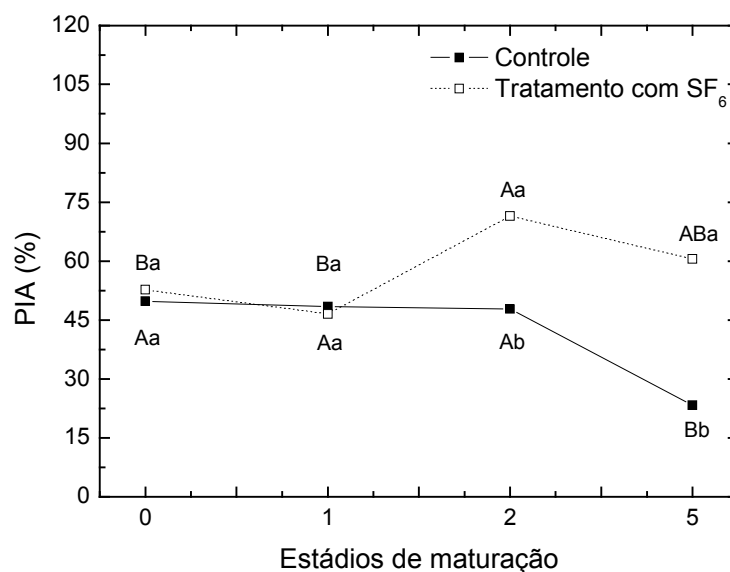


Figura 4 - Percentagem de integridade de membranas (PIA) de frutos de mamoeiro 'Golden' em diferentes estádios de maturação. Médias seguidas das mesmas letras maiúsculas (comparação no período) e minúsculas (comparação entre tratamentos) não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

A porcentagem de integridade de membranas (PIA) mede o aumento do extravasamento do conteúdo intracelular (extravasamento de eletrólitos), devido ao aumento da permeabilidade das membranas em decorrência de injúrias, dentre elas estresse hídrico (Pimentel et al., 2002) e salino (Ben-Amor et al., 2006). Ainda, o amadurecimento e senescência de frutos são acompanhados pela perda de integridade de membrana em função do colapso celular (Sacher, 1962; Ben-Yehoshua, 1964; Azevedo et al., 2007). O amaciamento da polpa pode estar associado ao aumento de pectina solúvel (Kays, 1991) e à perda de integridade da membrana das células mesocárpicas (Lester e Stein, 1993).

Para frutos tratados com SF<sub>6</sub>, foi observado aumento não esperado na integridade de membranas a partir do estágio 1 de maturação. Como nos estádios 2 e 5 o gás SF<sub>6</sub> apresentou menor difusividade, este provavelmente estava em maior concentração no interior do tecido (Tabela 1). Este acúmulo pode ter afetado a permeabilidade das membranas, resultando em aparente melhora na integridade, já que não houve diferença significativa entre os tratamentos na perda da firmeza dos frutos (Figura 5). Porém, para ser conclusivo, devem ser realizados estudos adicionais. O gás SF<sub>6</sub> tem, aparentemente, elevada solubilidade em substâncias

hidrofóbicas (lipídeos), podendo interagir, então, com a fração lipídica de membranas (Meyer et al., 1980).

Os resultados do presente trabalho, com relação aos frutos controle, podem estar de acordo com Wang et al. (2005), que estudaram a integridade de membranas na pós-colheita de pêssegos. Os autores relataram que a integridade de membranas de frutos armazenados sem atmosfera controlada diminuiu de aproximadamente 48 para 16%, após 15 dias de armazenamento. Já para frutos sob atmosfera controlada, esta só diminuiu após a remoção dos frutos da câmara fria para a temperatura de 20°C, o que sugere a ausência de diferença deste trabalho.

A perda de integridade de membranas também foi observada por Lacan e Baccou (1996) no amadurecimento de melões 'Clipper' e 'Jerac'. Esses autores relatam, ainda, que a maior integridade de membranas de frutos 'Clipper' confere maior vida pós-colheita.

Maalekuu et al. (2006) também afirmaram que a perda de integridade de membranas no amadurecimento de pimentas tem como consequência o extravasamento de eletrólitos. Os autores verificaram uma relação entre a perda de massa fresca na pós-colheita e a perda de integridade de membranas nos frutos de pimenta. Ainda, Ben-Yehoshua et al. (1983), investigando a relação entre a integridade de membrana e o amadurecimento de pimentas e limões, constataram que o envolvimento dos frutos em filme plástico resultou em atraso na desintegração de membranas e redução da perda de água dos frutos.

A Figura 5 mostra a perda de firmeza da polpa de frutos com o amadurecimento. No estágio 5 o amaciamento progressivo atingiu os mais baixos valores ( $P < 0,05$ ) para ambos os tratamentos. Não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos durante o período de análise.

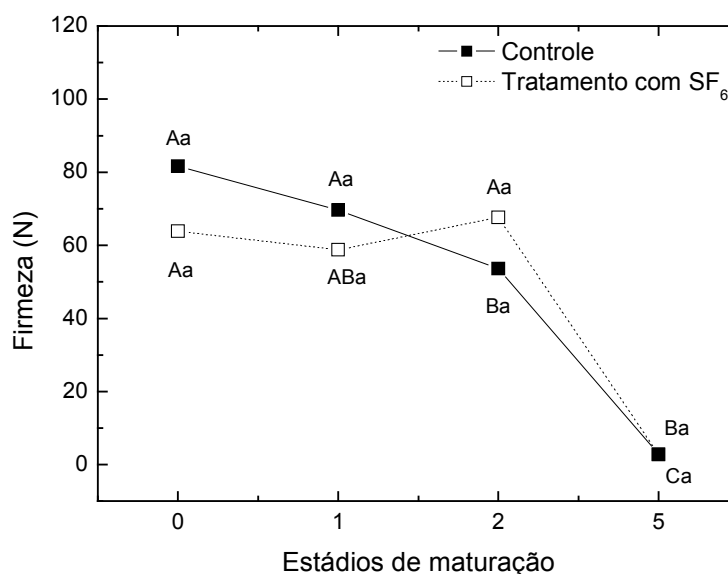


Figura 5 – Firmeza (N) da polpa de frutos de mamoeiro ‘Golden’ em diferentes estádios de maturação, armazenados em temperatura ambiente, tratados ou não com SF<sub>6</sub>. Médias seguidas das mesmas letras maiúsculas (comparação entre estádios de maturação) e minúsculas (comparação entre tratamentos) não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

A perda de firmeza, aliada à mudança da cor da casca, é a transformação mais característica que ocorre durante o amadurecimento do mamão. A perda da consistência do fruto é resultado de vários processos, mas ocorre predominantemente devido à hidrólise de substâncias pécticas e hemicelulose, enfraquecendo a parede celular e a força coesiva que liga as células. Tal efeito foi observado por meio das fotomicrografias. As mudanças estruturais observadas nos tecidos dos frutos após a colheita estão intimamente relacionadas com a redução na firmeza.

O fruto do mamoeiro apresenta, em corte anatômico (Figura 6), uma camada de células compactas no epicarpo e células parenquimáticas de preenchimento. Entre as células parenquimáticas ocorrem também feixes vasculares.



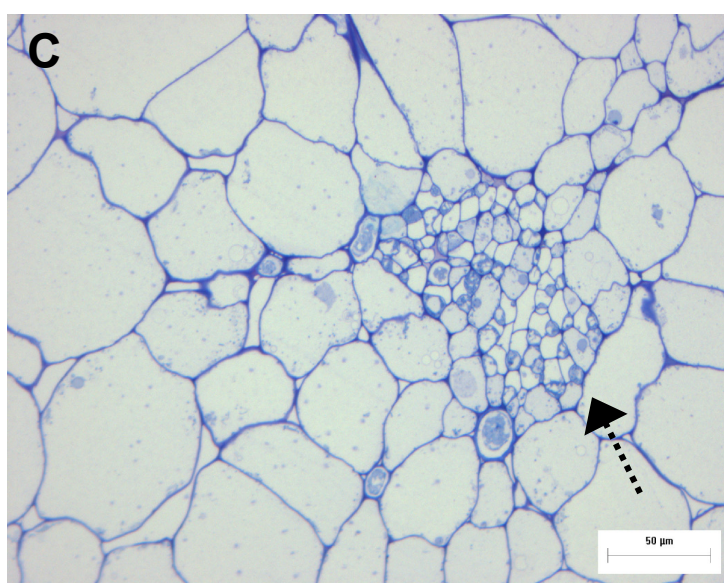
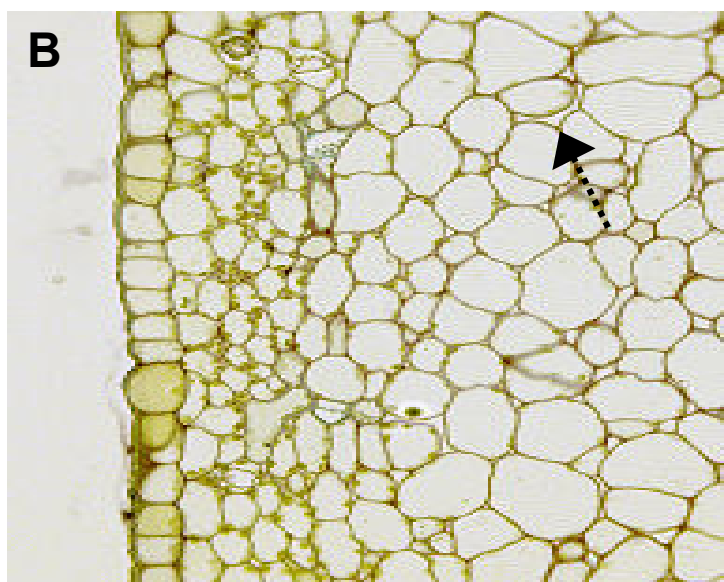
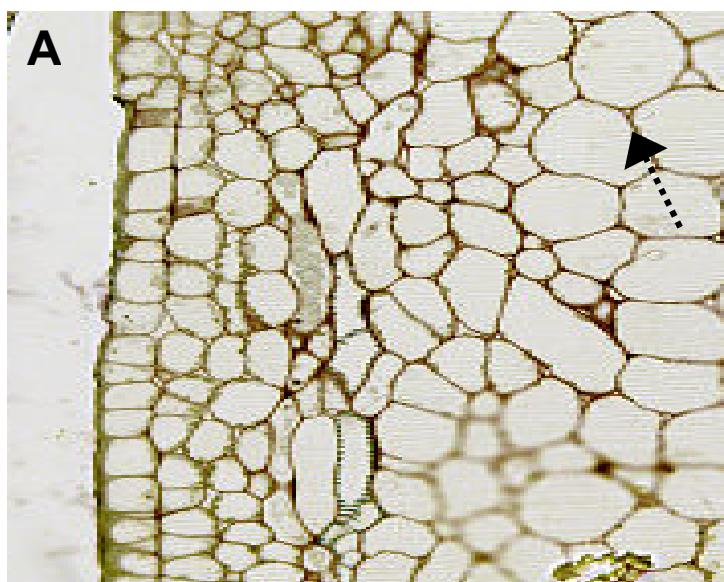


Figura 6 - Fotomicrografias de corte de epiderme de mamão 'Golden' no estágio 0 (A) e 5 (B) de maturação. A seta tracejada indica espaços intercelulares. Aumento 10x. (C) Feixe vascular no mesocarpo de mamão. Aumento 20x. Barra = 50  $\mu\text{m}$ .

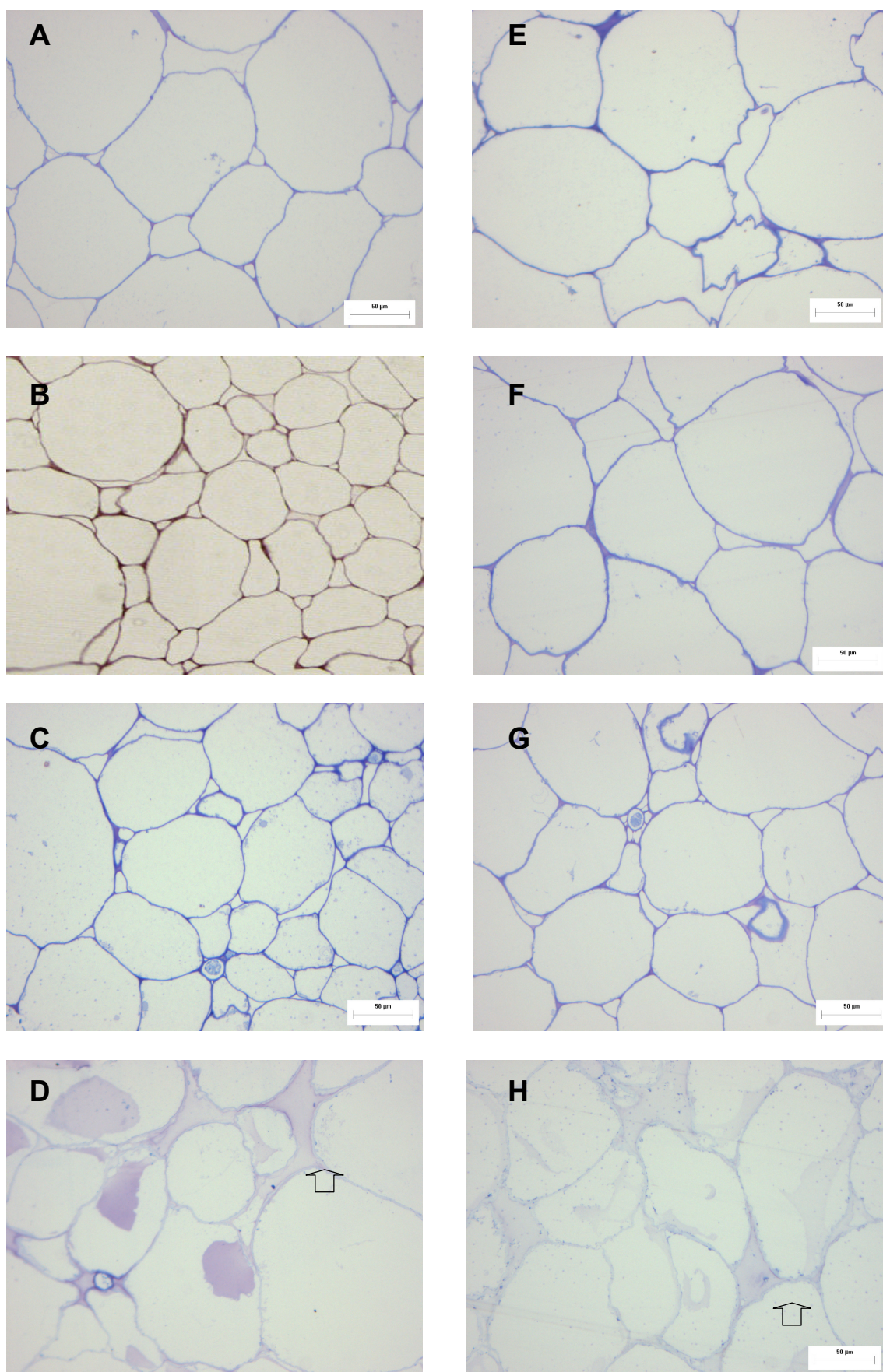


Figura 7 - Fotomicrografias de corte do mesocarpo de mamão controle nos estádios 0, 1, 2 e 5 (A, B, C e D) de maturação; frutos com tratamento com SF<sub>6</sub> (E, F, G e H).

As setas indicam a presença de substâncias pécticas nos espaços intercelulares. Aumento 10x Figura B, restante aumento 20x. Barra = 50  $\mu$ m.

De acordo com a Figura 7A, o tecido do mesocarpo no estágio zero de maturação apresenta células parenquimáticas, túrgidas, de contorno regular, tamanhos distintos e, relativamente, poucos espaços intercelulares. Características semelhantes foram observadas em mesocarpo de maçã (Quiles et al., 2004) e caqui (Salvador et al., 2007).

Com o processo de amadurecimento, as células perdem a adesão célula-célula se separando e o tecido se apresenta mais solto, resultando em afrouxamento das células e aumento nos espaços intercelulares (Figura 7D), no estágio 5. Podemos observar as mesmas características para as células do mesocarpo próximas ao epicarpo com o avanço da maturação (Figura 6A e 6B), dos estádios 0 ao 5.

Com a maturação, há liberação de cálcio e solubilização da protopectina. O cálcio é essencial para manter a integridade de membranas e parede celular, mas quando a ligação entre este e a pectina da parede celular é afetada a compartimentalização celular é rompida (Ferguson, 1984; Marangoni et al., 1996).

O mesmo tipo de resposta de perda de integridade celular, degradação de parede e aumento de espaços intercelulares também foi observado no processo de amadurecimento de bananas e mamão (Prabha e Bhagyalakshmi, 1998; Souza et al., 2007).

As imagens sugerem que houve um acúmulo de substâncias pécticas, principalmente, nos espaços intercelulares do mesocarpo dos frutos em estágio de maturação mais avançado (Figura 7D). Nesse tecido, algumas células apresentavam contorno irregular e perda de adesão entre paredes celulares adjacentes, ampliando, dessa forma, os espaços intercelulares, os quais, provavelmente, foram preenchidos, dentre outros, por substâncias pécticas. Essas substâncias são resultantes da ação de enzimas como as pectinametilesterases (PME), poligalacturonases (PG) e xilanase (Paull e Chen, 1983), atuando sobre os componentes da parede celular. Tais substâncias são caracterizadas pelo baixo grau de esterificação e alto peso molecular e, por esse motivo, têm a capacidade de se ligar à água livre dos tecidos e formar gel, reduzindo a firmeza da polpa (Buescher e Furmanski, 1978; Ben-Arie e Sonogo, 1980). Nakano et al. (2003) sugerem, ainda, que a desintegração da lamela

média e membrana plasmática como resultado da maturação dos frutos é desencadeada pela ação do etileno.

Em amostras retiradas de frutos nos estádios de maturação 1 e 2, a observação estrutural (Figuras 7B e 7C) não apresenta mudanças pronunciadas comparadas ao estágio zero. Em geral, a degradação tecidual se torna progressivamente mais pronunciada com o avanço do estágio de maturação. Resultados semelhantes foram observados por Salvador et al. (2007) em caquis. Entretanto, os cortes foram analisados somente por meio de microscopia óptica com aumento máximo de 20 vezes. Também, por meio de microscopia óptica não foram observadas diferenças entre os frutos controle e tratados com SF<sub>6</sub> (Figuras 7E, 7F, 7G e 7H).

O estágio de maturação dos frutos foi avaliado pela medição da coloração da casca, por meio dos parâmetros de Hunter L\*, a\*, b\* e ângulo de cor "hue" e da firmeza da polpa. Esses resultados mostram a evolução da maturação dos frutos, conforme observado pelas análises histológicas. Segundo McGuirre (1992), o ângulo de cor é a medida mais apropriada para expressar a variação da coloração durante o amadurecimento. Os dados mostram decréscimo de ângulo de "hue" de aproximadamente 23% (variação de 110 para 86) entre os estádios 0 e 5 de maturação para os frutos controle, o que representa a evolução da cor do verde para o amarelo (Figura 8). Tal resultado é confirmado pela tendência de valores crescentes de a\* e b\* (Tabela 2), que também demonstram a perda da coloração verde da casca, com o decorrer do amadurecimento. Observou-se uma tendência de incremento da variável L (luminosidade) com o avanço da maturação. Os frutos analisados apresentaram valores médios de L acima de 50, correspondente a tonalidades claras.

Tal mudança deve-se à degradação das clorofilas e à síntese de carotenóides (Wills e Widjanarko, 1995). Os resultados referentes aos parâmetros de cor avaliados indicam que não houve diferença entre os frutos sem e com tratamento com SF<sub>6</sub>.

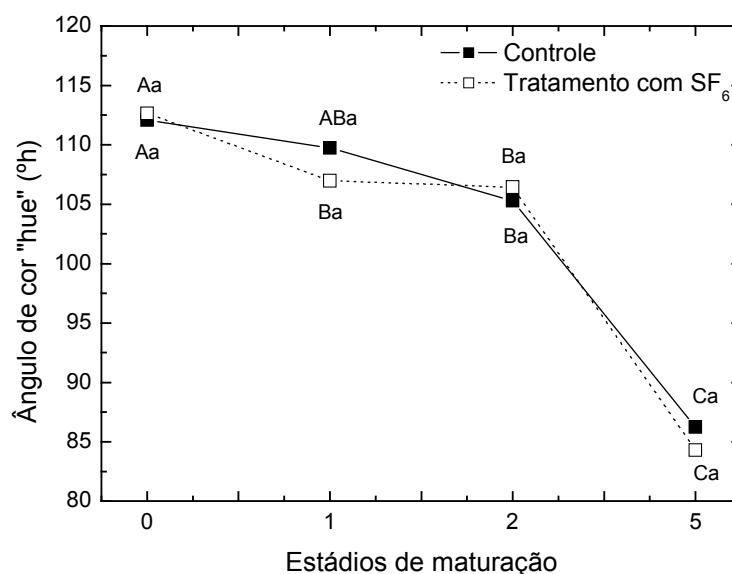


Figura 8 - Ângulo de cor "hue" da casca de mamão 'Golden' em diferentes estádios de maturação, armazenados em temperatura ambiente, tratados ou não com SF<sub>6</sub>. Médias seguidas das mesmas letras maiúsculas (comparação entre estádios de maturação) e minúsculas (comparação entre tratamentos) não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tabela 2 – Características de cor da casca de frutos de mamoeiro 'Golden' armazenados em temperatura ambiente, tratados ou não com SF<sub>6</sub>. L\*, luminosidade; a\* e b\*, cromaticidade.

Variável	Tratamento	Estádios de maturação			
		0	1	2	5
L*	Controle	59,62 <b>Ba</b>	61,12 <b>Ba</b>	60,51 <b>Ba</b>	73,20 <b>Aa</b>
	Tratamento	58,78 <b>Ba</b>	62,17 <b>Ba</b>	61,67 <b>Ba</b>	73,34 <b>Aa</b>
a*	Controle	-17,59 <b>Ca</b>	-15,37 <b>CBa</b>	-12,20 <b>Ba</b>	4,30 <b>Aa</b>
	Tratamento	-17,17 <b>Ca</b>	-13,39 <b>CBa</b>	-13,01 <b>Ba</b>	6,57 <b>Aa</b>
b*	Controle	43,23 <b>Ba</b>	42,59 <b>Ba</b>	44,45 <b>Ba</b>	63,93 <b>Aa</b>
	Tratamento	40,95 <b>Ba</b>	43,74 <b>Ba</b>	44,05 <b>Ba</b>	65,20 <b>Aa</b>

Médias seguidas das mesmas letras maiúsculas na linha e minúsculas na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

#### 1.4. Conclusão

A difusão do SF<sub>6</sub> diminuiu com o avanço da maturação. Ou seja, as diferenças nos estádios de maturação têm efeito sobre as propriedades de difusão de gases em frutos. Outros gases podem também ter sua difusão reduzida de forma

particular, resultando em acúmulo no interior dos tecidos. A necessidade de estudos relacionados à difusão de gases é importante, para tornar ótima a concentração de espécies gasosas a serem utilizadas nas câmaras de armazenamento, em conjunto com os diferentes estádios de maturação dos frutos e cultivares. A regulação na composição gasosa das câmaras de armazenamento pode ser sugerida para compensar as alterações decorrentes do amadurecimento dos frutos.

Com o processo de amadurecimento, foi observada a redução da integridade de membranas, o afrouxamento do tecido, acúmulo de substâncias pécticas nos espaços intercelulares que também podem contribuir com a redução na difusão do gás sonda, concomitantes à perda da coloração verde com o amadurecimento e redução na firmeza da polpa.

### 1.5. Referências Bibliográficas

Azevedo, I.G., Oliveira, J.G., da Silva, M.G., Pereira, T., Corrêa, S.F., Vargas, H., Façanha, A.R. (2008) P-type H<sup>+</sup>-ATPases activity, membrane integrity, and apoplastic pH during papaya fruit ripening. *Postharvest Biology and Technology* 48: 242-247.

Banks, N.H. (1985) Estimating skin resistance to gas diffusion in apples and potatoes. *Journal of Experimental Botany* 36 (173): 1842-1850.

Ben-Amor, N., Jimenez, A., Megdiche, W., Lundqvist, M., Sevilla, F., Abdelly, C. (2006) Response of antioxidant systems to NaCl stress in the halophyte *Cakile maritima*. *Physiologia Plantarum* 126: 446-457.

Ben-Arie, R., Sonogo, L. (1980) Pectolytic enzyme activity involved in wooly breakdown of stored peaches. *Phytochemistry* 19: 2553-2555.

Ben-Yehoshua, S., Shapiro, B., Chen, Z.E., Lurie, S. (1983) Mode of action of plastic film in extending shelf life of lemon and bell pepper fruit by alleviation of water stress. *Plant Physiology* 73: 87-93.

Ben-Yehoshua, S. (1964) Respiration and ripening of the avocado fruit. *Physiologia Plantarum* 77: 71-89.

Buescher, R.W., Furmanski, R.J. (1978) Role of pectinesterase and polygalacturonase in the formation of woolliness in peaches. *Journal of Food Science* 43 (1): 264-266.

Burg, S.P., Burg, E.A. (1965) Gas exchange in fruits. *Physiologia Plantarum* 18: 870-884.

- Cameron, A.C., Yang, S. F. (1982) A simple method for the determination of resistance to gas diffusion in plant organs. *Plant Physiology* 70: 21-23.
- Carpita, N., McCann, M. (2000) The cell wall. In: Buchanan, B.B., Gruissem, W., Jones, R. L. (Eds.). *Biochemistry & molecular biology of plants*. Rockville: American Society of Plant Physiologists, p.52-108.
- CETEC – Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. *Manual para fabricação de geléias*. Belo Horizonte: CETEC, 1985. 42p. (Série Publicações Técnicas, 15).
- Chitarra, M.I.F., Chitarra, A.B. (2005) *Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio*. 2ª ed. Lavras: UFLA, 785p.
- Evangelista, R.M., Chitarra, A.B., Chitarra, M.I.F. (2002) Mudanças na ultra-estrutura da parede celular de mangas 'Tommy atkins' tratadas com cloreto de cálcio na pré-colheita. *Revista Brasileira de Fruticultura* 24 (1): 254-257.
- Ferguson, J.B. (1984) Calcium in plant senescence and fruit ripening. *Plant Cell Environment* 7: 477-489.
- Glenn, G. M., Poovaiah, B.W. (1990) Calcium mediated postharvest changes in texture and cell wall structure and composition in 'Golden Delicious' apples. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 115 (6): 962-968.
- Kays, J.S. (1991) Postharvest physiology of perishables plant products. New York: AVI, 543p.
- Kader, A.A. (1986) Biochemical and physiological basis for effects of controlled and modified atmospheres on fruits and vegetables. *Food Technology* 5 (40): 99-104.
- Lacan, D., Baccou, J.C. (1996). Changes in lipids and electrolyte leakage during nonnetted muskmelon ripening. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 121: 554-558.
- Lazan, H., Ali, Z.M., Liang, K.M., Yee, K.L. (1989) Polygalacturonase activity and variation in ripening of papaya fruit tissue depth and heat treatment. *Physiologia Plantarum* 77: 93-98
- Lester, G.E., Stein, E. (1993) Plasma membrane physicochemical changes during maturation on postharvest storage of muskmelon fruit. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 118 (2): 223-227.
- Luza, J.G., Van Gorsel, R., Polito, V.S., Kader, A.A. (1992) Chilling Injury in Peaches: A Cytochemical and Ultrastructural Cell Wall Study. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 117 (1): 114-118.
- Maalekuu, K., Elkind, Y., Leikin-Frenkel, A., Lurie, S., Fallik, E. (2006) The relationship between water loss, lipid content, membrane integrity and LOX activity in ripe pepper fruit after storage *Postharvest Biology and Technology* 42: 248–255.

- Marangoni, A.G., Palma, T., Stanley, D.W. (1996) Membrane effects in postharvest physiology. *Postharvest Biology and Technology* 7: 193–217.
- McGuire, R.G. (1992) Reporting of objective color measurements. *HortScience* 27: 1254-1255.
- Meyer, M., Tebbe, U., Piiper, J. (1980) Solubility of inert gases in dog blood and skeletal muscle. *Pflügers Archiv European Journal of Physiology* 384 (2): 131-134.
- Nakano, R., Kubo, Y., Harima, S., Inaba, A. (2003) Involvement of stress-induced ethylene biosynthesis in fruit softening of 'Saijo' persimmon fruit. *Acta Horticulturae* 601: 219-226.
- Nunes, C., Da Silva, J.A.L., Santos, C., Rato, A.E., Barroso, J.M., Rocha, S.M., Saraiva, J., Coimbra, M.A. (2005) Estudo das modificações físico-químicas ocorridas durante a confitagem da Ameixa d'Elvas. 7º Encontro de Química dos Alimentos, Viseu, Portugal.
- Paull, R.E., Chen, N.J. (1983) Postharvest variation in cell wall-degrading enzymes of papaya (*Carica papaya* L.) during fruit ripening. *Plant Physiology* 72: 382-385.
- Peppelenbos, H.W., Jeksrud, W.K. (1998) A method for the simultaneous measurement of gas exchange and diffusion resistance under various gas conditions. *Acta horticulturae* 464. Postharvest 96: 333-338.
- Pimentel, C., Sarr, B., Diouf, O., Abboud, A.C.S., Macauley, H.R. (2002) Tolerância protoplasmática foliar à seca, em dois genótipos de caupi cultivados em campo. *Revista Universidade Rural* 22 (1): 07-14.
- Prabha, T.N., Bhagyalakshmi, N. (1998) Carbohydrate metabolism in ripening banana fruit. *Phytochemistry* 48 (6): 915-919.
- Quiles, A., Hernando, I., Perez-Munuera, I., Llorca, E., Larrea, V., Lluch, M.A. (2004) The effect of calcium and cellular permeabilization on the structure of the parenchyma of osmotic dehydrated 'Granny Smith' apple. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 84: 1765–1770.
- Rajapakse, N.C., Banks, N.H., Hewett, E.W., Cleland, D.J. (1990) Development of oxygen concentration gradients in flesh tissues of bulky plant organs. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 115 (5): 793-797.
- Sacher, J. (1962) Relations between changes in membrane permeability and the climacteric in banana and avocado. *Nature* 195: 577-578.
- Salvador, A., Arnal, L., Besada, C., Larrea, V., Quiles, A., P´erez-Munuera, I. (2007) Physiological and structural changes during ripening and deastringency treatment of persimmon fruit cv. 'Rojo Brillante'. *Postharvest Biology and Technology* (in press).
- Souza, M.S., Oliveira, I.G., Oliveira, J.G. (2007) Alterações ultra-estruturais em frutos de mamão (*Carica papaya* L. 'Golden') tratados com 1-metilciclopropeno (1-MCP)



Boletim técnico da III Reunião de pesquisa do FRUTIMAMÃO Campos dos Goytacazes, RJ. p.93-96.

Spurr, A.R. (1969) A low-viscosity epoxy resin embedding medium for electron microscopy. *Journal of Ultrastructure Research* 26: 31-43.

Terashima, I., Miyazawa, S., Hanba, T.Y. (2001) Why are sun leaves thicker than shade leaves? Consideration based on analyses of CO<sub>2</sub> diffusion in the leaf. *Journal of Plant Research* 114: 93-105.

Vasquez-Tello, A.Y., Zuily-Fodil, A.,T., Pham Thi,, Vieira da Silva, J. (1990) Electrolyte and Pi leakages and soluble sugar content as physiological tests for screening resistance to water stress in *Phaseolus* and *Vigna* species. *Journal of Experimental Botany* 41: 827-832.

Wang, Y.S., Tian, S.P., Xu, Y. (2005) Effects of high oxygen concentration on pro- and anti-oxidant enzymes in peach fruits during postharvest periods. *Food Chemistry* 91: 99-104.

Wills, R.B.H., Widjanarko, S.B. (1995) Changes in physiology, composition and sensory characteristics of Australian papaya during ripening. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 53: 1173-1176.

## **2. Determinação da eficiência de um absorvedor comercial de etileno na pós-colheita de mamão – armazenamento à temperatura ambiente sob atmosfera modificada.**

**Resumo** – O presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência de um absorvedor de etileno comercial associado à atmosfera modificada (filme de PVC). As características físicas, químicas, a taxa de emissão de etileno e de dióxido de carbono de mamões ‘Golden’, armazenados sob temperatura ambiente foram investigados. Para a determinação da emissão de etileno, foi utilizado um espectrômetro fotoacústico acoplado a um laser de CO<sub>2</sub>. Disposto em série ao espectrômetro um analisador infravermelho comercial de gás foi utilizado para monitorar a emissão de CO<sub>2</sub>. Após a colheita, os frutos apresentaram um padrão climatérico típico, independente da presença do sachê contendo o absorvedor de etileno. Frutos armazenados na presença do absorvedor apresentaram pico climatérico atrasado comparado aos frutos nas mesmas condições de temperatura e umidade, fato que prolongou o período de armazenamento. A emissão máxima de etileno e CO<sub>2</sub> ocorreram no mesmo período, para os dois tratamentos. Verificou-se atraso no desenvolvimento da cor amarela da casca e no amaciamento da polpa em frutos armazenados na presença do sachê. A diferença entre tratamentos com relação à perda de massa fresca foi observada a partir do 5º dia após a colheita. Os frutos armazenados na presença do sachê permaneceram comercializáveis por um período de 17 dias, 6 dias a mais que aqueles armazenados sem sachê.

**Palavras-chave:** *Carica papaya* L., absorvedor de etileno, armazenamento, amadurecimento.

**Abstract** - The aim of the present study was to assess of the efficiency of a commercial ethylene absorber in an atmosphere modified by the presence of PVC film. Physico-chemical characteristics and ethylene and carbon dioxide emission from papayas ‘Golden’, stored under room temperature were investigated. Ethylene production was monitored in a laser driven photoacoustic detection system based on infrared absorption. The CO<sub>2</sub> evolution was determined by a commercial gas analyzer. After harvest the fruits showed a typical climacteric pattern, regardless of the presence of a sachet filled with ethylene absorber. Fruit stored in the presence of the sachet had a climacteric peak delayed compared to fruits under the same

temperature and humidity conditions. The maximum emissions of ethylene and CO<sub>2</sub> occurred in the same period for both treatments. There was also a delay in the development of the skin color, pulp softening, and a reduction in total acidity in fruits stored in the presence of the sachet. The difference between treatments related to mass loss was observed after the fifth day after harvest. The fruits in the presence of the sachet remained marketable for a period of 17 days which is about 6 days longer than the fruit stored without ethylene absorber.

**Keywords:** *Carica papaya* L., ethylene absorber, storage, ripening.

## 2.1. Introdução

O mamão é um fruto climatérico que apresenta alta taxa respiratória e produção de etileno após a colheita (Medina e Oliveira, 2000). Frutos climatéricos são aqueles que, com o início do amadurecimento, apresentam rápido aumento na intensidade respiratória, ou seja, as reações relacionadas com o amadurecimento ocorrem rapidamente e com grande demanda de energia. A intensidade e duração do pico climatérico variam de acordo com a espécie e cultivar (Awad, 1993). O mamão é caracterizado como um fruto bastante perecível e cuidados durante o amadurecimento são fundamentais para o aumento da sua vida útil (Paull, 1993).

Os principais fatores que depreciam a qualidade pós-colheita do mamão são o rápido amaciamento da polpa associado à elevada incidência de podridões. À medida que o amadurecimento ocorre os frutos vão perdendo a consistência, como consequência da atividade enzimática (Watada, 1986). No mamão, as principais enzimas atuantes na perda de firmeza são poligalacturonases, pectinametilesterases, xilanases e celulases (Paull et al., 1999). Ali et al. (2004) e Lazan et al. (2004) ressaltam, ainda, a importância das  $\beta$ -galactosidasas no amaciamento de frutos.

A preservação do mamão à temperatura ambiente é desejável, uma vez que a quase totalidade da fruta comercializada no varejo, no Brasil, encontra-se sem refrigeração. A manutenção da qualidade do mamão nesta condição pode facilitar o transporte a longas distâncias e ampliar o período de comercialização (Jacomino et al., 2002).

O aumento da vida útil de frutos pode ser obtido pelo uso de filmes plásticos flexíveis, que agem como embalagem de atmosfera modificada. Esta técnica promove o abaixamento da taxa respiratória pelo aumento do nível de CO<sub>2</sub> e

decréscimo do nível de O<sub>2</sub> (Al-Ati e Hotchkiss, 2003). Além disso, minimiza a perda de água (Cisnero-Zevallos e Krochta, 2002), o crescimento microbiano (Hotchkiss e Banco, 1992), retarda a deterioração enzimática (Koski, 1998) e a degradação da clorofila. Em especial, destaca-se a utilização de filmes como o cloreto de polivinila (PVC), que se caracteriza por apresentar boa barreira ao vapor de água e permeabilidade relativa ao O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> (Kader et al., 1986). Associado à atmosfera modificada, o uso de absorvedor de etileno é uma tecnologia que pode ser eficiente para o aumento na vida pós-colheita. Entretanto, a atmosfera modificada é apenas uma técnica suplementar para condições ótimas de temperatura e umidade, uma vez que qualquer mudança no ambiente de estocagem pode elevar a taxa de respiração, resultando na deterioração do produto (Rai et al., 2002).

A espectroscopia fotoacústica é uma técnica não-destrutiva que possibilita a detecção de um grande número de gases, em baixas concentrações e em tempo real, atingindo um limite de detecção da ordem de partes por bilhão. A técnica vem sendo largamente aplicada em diferentes áreas da Biologia como Fisiologia Vegetal, Entomologia, Fisiologia Pós-Colheita, entre outras (Thain et al., 2004; Persijn et al., 2006; Da Silva et al., 2005; Azevedo et al., 2007).

O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar a eficiência de um absorvedor de etileno comercial, associado à atmosfera modificada, na manutenção de características físico-químicas, emissão de etileno e dióxido de carbono de mamões 'Golden'.

## **2.2. Material e Métodos**

Para a realização deste trabalho foram utilizados frutos de mamoeiro 'Golden', em diferentes estádios de maturação (Tabela 1, Anexo), provenientes de um pomar comercial (Caliman Agrícola S/A) situado em Linhares, ES. Os frutos depois de receberem tratamento hidrotérmico na própria empresa foram acondicionados em caixas de papelão e transportados para o Laboratório de Ciências Físicas da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, em Campos dos Goytacazes, RJ.

As caixas contendo 9 frutos de, aproximadamente, 400g cada foram envoltas com filme flexível de cloreto de polivinila (PVC), de 10µm de espessura, na presença ou não do sachê contendo absorvedor de etileno (10g) de nome comercial "Always Fresh<sup>®</sup>". O material presente no interior do sachê é o permanganato de potássio

impregnado em argilas de alta porosidade. As caixas foram armazenadas em câmara com temperatura e umidade controladas ( $24\pm 2^{\circ}\text{C}$ ,  $70\pm 5\%$  UR).

Os frutos foram analisados no primeiro dia após a colheita e em diferentes estádios de maturação com intervalos de dois dias. Os frutos foram retirados aleatoriamente das caixas para a determinação das taxas de emissão de etileno,  $\text{CO}_2$  e realização de análises físico-químicas.

O experimento seguiu arranjo fatorial  $2 \times 9$  cujos fatores e níveis foram: formas de acondicionamento (caixa sem e com sachê contendo absorvedor de etileno) e períodos de armazenamento (1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 dias após a colheita) com três repetições. A unidade experimental consistiu de uma caixa contendo nove frutos, da qual três eram retirados aleatoriamente para análises físico-químicas. Os dados foram interpretados por meio de análise de variância com auxílio do sistema SISVAR. As médias dos fatores foram comparadas utilizando-se o teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

A umidade relativa e a temperatura do ar, dentro e fora da embalagem, foram monitoradas por meio de um termohigrômetro digital marca Spectrum Technologies INC. modelo 250.

### **2.2.1. Determinação da taxa de emissão de etileno e atividade respiratória**

Para a determinação da emissão de etileno foi utilizado um espectrômetro fotoacústico acoplado a um laser de  $\text{CO}_2$ . Um analisador infravermelho comercial de gás modelo URAS 14 (marca ABB), que monitora a emissão de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), foi disposto em série ao equipamento (Figura 1).

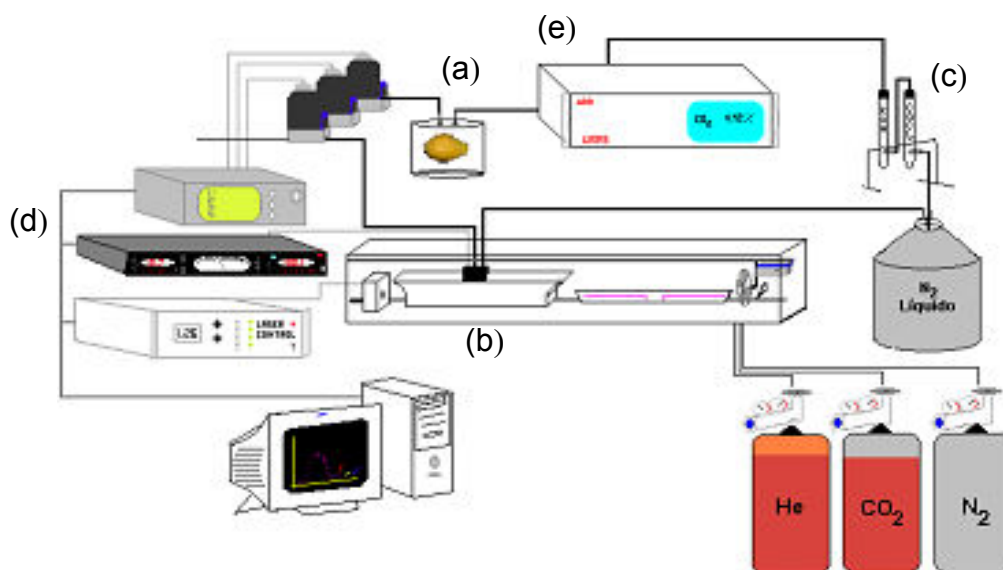


Figura 1 - Diagrama da montagem experimental do espectrômetro fotoacústico e URAS 14 usado para monitorar a emissão de etileno e  $\text{CO}_2$ , respectivamente. (a) cubeta; (b) célula fotoacústica; (c) filtros; (d) processador de sinal *lock-in*; (e) URAS 14.

Os frutos foram colocados individualmente em cubetas (1L) sendo os gases emitidos pelos frutos arrastados num fluxo de aproximadamente  $2 \text{ L.h}^{-1}$  para o analisador URAS 14. Em seguida, a amostra gasosa foi carregada através de filtros contendo  $\text{KOH}$ ,  $\text{CaCl}_2$  com o objetivo de eliminar  $\text{CO}_2$  e água, respectivamente, além de uma armadilha fria contendo nitrogênio líquido. Com os valores de fluxo (F), massa dos frutos (m) e concentração do gás analisado (C), as taxas de emissão de etileno e  $\text{CO}_2$  foram calculadas ( $\text{Taxa} = C(\text{ppm}) * F(\text{L.h}^{-1}) / m(\text{Kg})$ ). O sistema foi ainda calibrado usando-se mistura gasosa de etileno sintético, na concentração de 1 ppm. Para cada condição experimental, três repetições foram realizadas em condições de laboratório.

## 2.2.2. Análises físico-químicas

### 2.2.2.1. Coloração da casca

A coloração da casca foi determinada utilizando-se um colorímetro Minolta modelo CR-300. Medidas foram realizadas em três pontos equidistantes na região equatorial dos frutos e os resultados foram expressos por meio do ângulo de cor “hue” e dos parâmetros de Hunter. Nesta escala, o índice  $L^*$  refere-se a luminosidade, variando de 0 (para amostra perfeitamente preta) a 100 (para amostra perfeitamente branca); já o índice  $a^*$  varia da cor verde (sinal negativo) ao vermelho

(sinal positivo), e  $b^*$  do azul (sinal negativo) ao amarelo (sinal positivo) (Figura 2). Valores de  $a^*$  e  $b^*$  iguais a zero equivalem à cor cinza. O ângulo de cor “hue” ( $h^\circ$ ) define a coloração básica, onde  $0^\circ$  = vermelho,  $90^\circ$  = amarelo,  $180^\circ$  = verde e  $270^\circ$  = azul (McGuire, 1992).

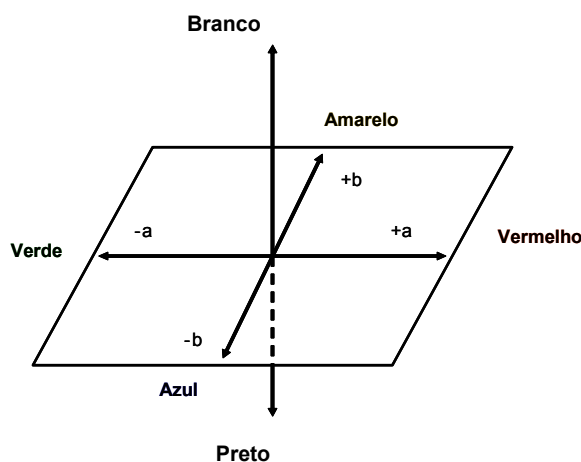


Figura 2 - Esquema representativo do espaço colorido de Hunter.

#### 2.2.2.2. Firmeza

As medidas foram realizadas em três pontos eqüidistantes na região equatorial da polpa dos frutos. Foi utilizado um penetrômetro digital de bancada TR Turoni, modelo 53205, com sonda de 8 mm de diâmetro e 8 cm de altura. A resistência à penetração da ponteira tem variação de 0,05 a 196 N.

#### 2.2.2.3. Sólidos solúveis totais (SST)

O teor de sólidos solúveis totais foi obtido por meio de um refratômetro manual (SAMMAR) que fornece medidas diretas em  $^\circ$ Brix, a partir da extração de suco da polpa.

#### 2.2.2.4. pH e acidez total titulável (ATT)

Para as análises de pH e acidez total titulável, 30g de polpa foram retiradas e homogeneizadas em 50 mL de água destilada. As medidas de pH foram realizadas por meio de determinação potenciométrica, utilizando-se um pHmêtro digital marca pH 330/SET. Em seguida, a determinação da acidez foi realizada por meio de titulação com solução de hidróxido de sódio 0,1N de acordo com A.O.A.C. (1998). Em função da coloração da polpa dos frutos (rósea), utilizou-se o valor de pH 8,2

para determinar o ponto final da titulação. Os resultados foram expressos em percentagem de ácido cítrico, utilizando-se a fórmula:

$$\text{ATT (\% de ácido cítrico)} = \frac{V * f * N * PE}{P} \times 100$$

Onde: V= volume (mL) de NaOH gasto na titulação, f= fator de correção, N= normalidade do NaOH, PE= peso equivalente grama do ácido cítrico, P= massa da amostra (g).

#### **2.2.2.5. Perda de massa fresca**

Frutos de cada um dos tratamentos foram reservados para o monitoramento da perda de massa durante o armazenamento. Esta foi determinada pela equação:

$$\text{Perda de massa (\%)} = (1 - M_f / M_o) \times 100$$

Sendo,  $M_o$  a massa dos frutos no tempo inicial do armazenamento e  $M_f$  a massa nos dias de análise.

#### **2.2.2.6. Ensaio enzimáticos**

##### **Poligalacturonase (PG) – E.C. 3.2.1.15**

Para a extração da PG, dez gramas da polpa foram homogeneizadas em 30 mL de solução tampão de acetato de sódio 50 mM, pH 5,0 gelado, contendo 1 M de NaCl e 10% de polivinilpolipirrolidona (PVPP). Após 2 horas, a solução foi filtrada em tecido de algodão e o filtrado centrifugado em centrífuga refrigerada (Hermele Z 382K, Alemanha) a 15.000 g por 30 minutos (Vicente et al., 2005). O sobrenadante foi dialisado em solução tampão de acetato de sódio 50 mM, pH 4,5 para dosagem da atividade da enzima. Todo o processo foi realizado à temperatura de, aproximadamente, 4°C.

A atividade da PG foi determinada por incubação do extrato enzimático com solução de tampão acetato de sódio 0,04 M (pH 5,0) contendo 0,45% de ácido poligalacturônico a 37°C, por 1 hora (Pressey e Avants, 1973). A reação foi interrompida pela adição de 1,0 mL de ácido 3,5-dinitrossalicílico (DNS) e, posteriormente, a mistura foi fervida por 5 minutos. A coloração desenvolvida foi determinada em espectrofotômetro SHIMADZU UV-mini 1240 no comprimento de



onda de 540 nm. Os grupos redutores liberados foram determinados segundo o método de Miller (Miller, 1959) usando-se a glicose anidra como padrão. A unidade de atividade enzimática foi definida como a capacidade da enzima catalisar a formação de um nmol de açúcar redutor por minuto e por grama de fruto nas condições do ensaio.

#### **$\beta$ -galactosidase – E.C. 3.2.1.23**

Para a extração da  $\beta$ -galactosidase, foi utilizado o mesmo procedimento descrito para a PG. A atividade da  $\beta$ -galactosidase foi determinada incubando-se 1,5 mL de 50 mM de tampão acetato de sódio, pH 4,5, contendo 3 mM de p-nitrofenil  $\beta$ -D-galactopiranosídeo com 0,5 mL do extrato enzimático a 40°C, durante 20 minutos. A reação foi paralisada retirando-se alíquotas de 0,15 mL e a estas foram adicionados 0,5 mL de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 0,4 M. A coloração desenvolvida foi determinada por meio de espectrofotômetro SHIMADZU UV-mini 1240 no comprimento de onda de 410 nm. A unidade da enzima foi definida como a variação da absorbância por minuto (Vicente et al., 2005).

#### **Pectinametilesterase (PME) – E.C. 3.1.1.11**

A extração da enzima foi realizada de acordo com Hagerman e Austin (1986). Amostras de 5g de polpa foram homogeneizadas em 40 mL de solução de NaCl 1,0M, pH 7,5 contendo 1,0% de polivinilpolipirrolidona (PVPP). Esta solução foi centrifugada a 15.000 g por 30 minutos. No sobrenadante obtido foi determinada a atividade da PME.

A determinação da atividade foi realizada por meio de espectrofotometria, baseada na troca de cor do indicador de pH durante a realização de catálise da PME. À medida que as ligações ésteres da pectina são hidrolisadas, grupos ácidos são produzidos provocando uma redução no pH e, como consequência ocorre uma alteração na cor do indicador (azul de bromotimol). Esta mudança de cor foi monitorada de forma contínua por meio de espectrofotômetro (Hitachi, modelo U 2000). A atividade da PME corresponde à velocidade inicial da reação.

Como substrato, foi utilizada uma mistura de pectina cítrica na qual se adicionou azul de bromotimol, ajustado o pH para 7,5. Para a determinação da atividade da PME, 0,8 mL do extrato enzimático foi adicionado a 2,0 mL da solução de pectina contendo o azul de bromotimol e 0,2 mL de NaCl 1 M. Esta solução foi

incubada a 25°C e o decréscimo da absorvância a 620 nm foi monitorada por meio do espectrofotômetro por um período de 1 minuto, com leituras em intervalos de 10 segundos. A variação da absorvância por minuto foi convertida para  $\mu\text{mol}$  de ácido produzido por minuto através de curva de calibração, utilizando-se o ácido galacturônico como padrão. Uma unidade da PME foi definida como a quantidade de enzima que libera 1  $\mu\text{mol}$  de ácido galacturônico por minuto por miligrama de proteína. A dosagem de proteína no sobrenadante foi realizada pelo método de Bradford (1976).

### 2.3. Resultados e Discussão

Após a colheita, como esperado, os frutos apresentaram padrão climatérico típico, independente da presença do sachê de absorvedor de etileno. Os valores encontrados para a atividade respiratória máxima foi de 8,86 para frutos sem sachê e 9,81  $\text{mg.kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$  para frutos com sachê. Frutos armazenados na presença do absorvedor apresentaram pico climatérico atrasado em 6 dias, comparado aos frutos nas mesmas condições de temperatura e umidade (Figura 3).

Na Figura 4 observa-se a emissão de etileno dos frutos nas duas condições de armazenamento. Os valores encontrados para os picos de emissão de etileno foram de 6,01  $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$  no 9º dia e 8,05  $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$  no 15º dia, para frutos na ausência e presença de sachê, respectivamente. Na presença de sachê, os mamões tiveram atraso de 6 dias também para o pico de emissão de etileno. Foi também observado que a emissão máxima do etileno e  $\text{CO}_2$  ocorre no mesmo período, para os dois tratamentos.

Os picos de emissão de  $\text{CO}_2$  foram coordenados com os de etileno aos 9 dias após a colheita. Por isso, provavelmente, houve maior consumo de oxigênio. A queda posterior em frutos armazenados sem o sachê pode estar relacionada à restrição por  $\text{O}_2$ , retornando ao nível de equilíbrio observado para frutos com sachê (Figura 3). Para frutos armazenados com sachê, o aumento na emissão de etileno a partir dos 13 dias após a colheita pode estar ligado ao desenvolvimento de novos sítios ativos nos frutos (Figura 4).

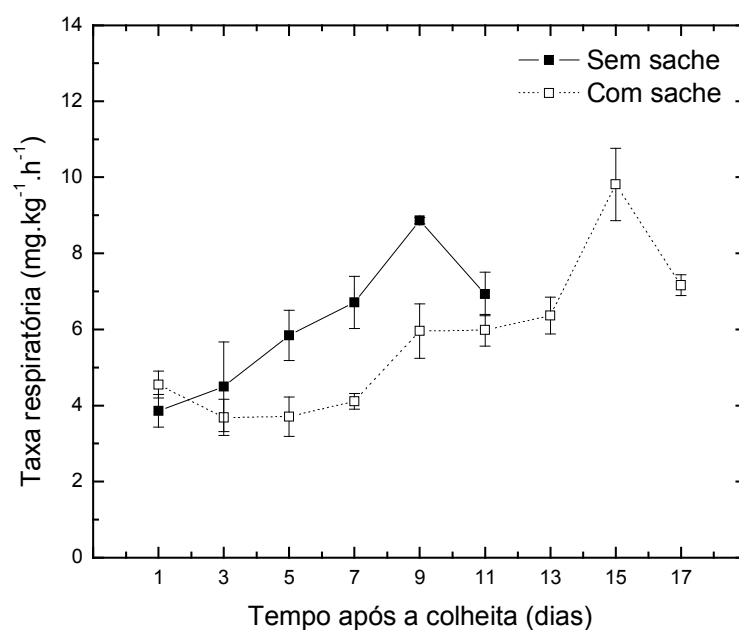


Figura 3 - Taxa respiratória de mamão 'Golden' em diferentes estádios de maturação, armazenados em condição ambiente ( $24\pm 2^{\circ}\text{C}$ ,  $70\pm 5\%$  UR), sem e com sachê contendo absorvedor de etileno.

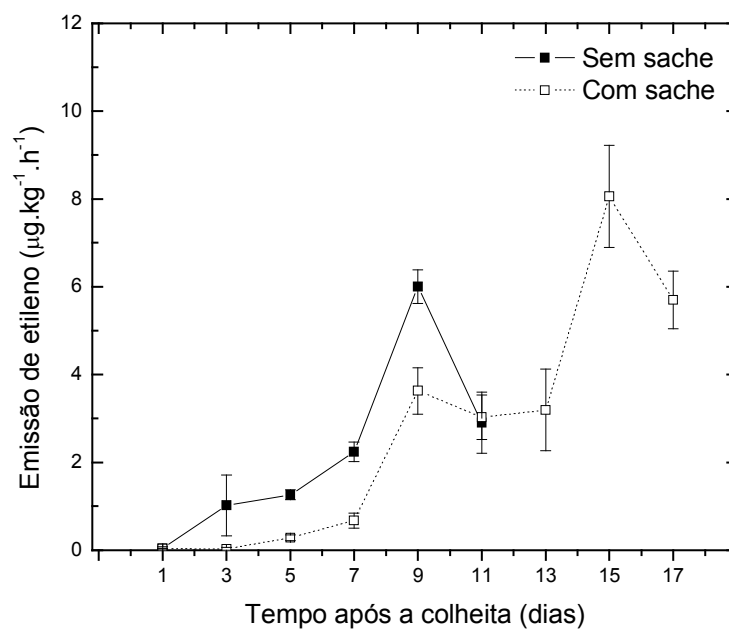


Figura 4 – Taxa de emissão de etileno em mamão 'Golden' em diferentes estádios de maturação, armazenados em condição ambiente ( $24\pm 2^{\circ}\text{C}$ ,  $70\pm 5\%$  UR), sem e com sachê contendo absorvedor de etileno.

O retardo no amadurecimento dos frutos armazenados na presença do sachê se deu, provavelmente, devido à redução da concentração de etileno na atmosfera em torno dos frutos. Esta se deu pela absorção direta do etileno pelo absorvedor reduzindo, assim, o efeito autocatalítico do etileno.

Taxas crescentes de emissão de etileno e padrão respiratório climatérico para diferentes cultivares de mamão também foram observados por outros autores. Wills e Widjanarko (1995) encontraram pico respiratório de 36 mL de  $\text{CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  e de etileno de  $5 \mu\text{l} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ , para mamões australianos armazenados a  $25^\circ\text{C}$ . Bron e Jacomino (2006) encontraram um valor máximo para a emissão de etileno de  $2,0 \mu\text{l} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ , para mamões 'Golden' armazenados a  $23^\circ\text{C}$ . Da Silva et al. (2003) e Corrêa et al. (2005), por meio da técnica fotoacústica, encontraram emissão máxima de etileno em mamões (cultivar não especificada) de  $10 \mu\text{L} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  e  $8,5 \mu\text{L} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ , a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$ , respectivamente.

Segundo Kader (2005), o mamão, de forma geral, apresenta taxas respiratória e de liberação de etileno de  $15\text{-}35 \text{ mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  e de  $1,0\text{-}15 \mu\text{L C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  a  $20^\circ\text{C}$ , respectivamente. A diferença entre os valores está relacionada a cultivares, estádios de maturação, região de cultivo, entre outros.

Já o pico de emissão de etileno de mamões Solo, analisados por Fabi et al. (2007) e Jacomino et al. (2002), foi verificado anteriormente ao pico da respiração, resultados que diferem dos encontrados neste estudo, onde os picos foram registrados no mesmo dia após a colheita para os dois tratamentos.

Na literatura, normalmente, as referências citam que ocorre um único pico em mamão, como neste trabalho. Mas Fonseca et al. (2006) observaram dois picos respiratórios coincidentes e dois picos de emissão de etileno para mamões 'Golden' armazenados à temperatura ambiente. A observação do segundo pico foi relacionada pelos autores ao início do amadurecimento excessivo do mamão.

No presente estudo os picos de emissão de etileno e  $\text{CO}_2$  foram retardados na presença de sachê. Resultados semelhantes foram observados por Jiang et al. (1997) na conservação de bananas embaladas com PVC e absorvedor de etileno. Corrêa et al. (2005) observaram redução no pico de etileno em até 40% quando mamões 'Golden' foram analisados na presença de permanganato de potássio (20g).

No mamão, a cor da casca é considerada um índice de maturidade bastante confiável, sendo utilizada, também, na determinação do ponto de colheita.

Observaram-se, neste trabalho, o incremento significativo da luminosidade ( $L^*$ ) dos frutos com o decorrer do período de armazenamento, para ambos os tratamentos. Somente a partir do 5º dia após a colheita foi observada diferença significativa entre frutos armazenados com e sem sachê (Tabela 1). Os frutos analisados apresentaram valores médios de  $L^*$  acima de 50, correspondente a tonalidades claras, desde o primeiro dia após a colheita.

Os valores observados para os parâmetros de cromaticidade  $a^*$  e  $b^*$  também apresentaram incremento significativo durante o período analisado (Tabela 1). Os valores de  $a^*$  passaram de -6,2 a 10,4 a partir do quinto dia de pós-colheita e coincidiram com o período que antecedeu o pico de emissão de etileno e  $CO_2$ , para frutos sem sachê. O aumento nos valores do parâmetro  $a^*$ , acompanhado do parâmetro  $b^*$ , indica a perda da coloração verde da casca, com o decorrer do amadurecimento, confirmados pelos valores positivos. Para frutos com sachê esta mudança só foi observada entre o nono e o décimo primeiro dia após a colheita (Tabela 1), também anterior à ocorrência do pico de etileno e  $CO_2$ . A diferença entre os tratamentos também foi observada a partir do 5º dia após a colheita.

Tabela 1 – Características de cor da casca de frutos de mamoeiro ‘Golden’ armazenados à temperatura ambiente, sem (SS) ou com sachê (CS) contendo absorvedor de etileno.

Dias após a colheita	Variáveis/Tratamentos					
	$L^*$		$a^*$		$b^*$	
	SS	CS	SS	CS	SS	CS
1	57,91 <b>Ba</b>	58,70 <b>Da</b>	-17,00 <b>Ca</b>	-16,33 <b>Da</b>	40,66 <b>Ca</b>	42,66 <b>Da</b>
3	58,62 <b>Ba</b>	58,66 <b>Da</b>	-16,03 <b>Ca</b>	-16,45 <b>Da</b>	44,09 <b>Ca</b>	43,57 <b>Da</b>
5	68,43 <b>Aa</b>	60,63 <b>DCb</b>	-6,23 <b>Ba</b>	-16,04 <b>Db</b>	55,50 <b>Ba</b>	43,36 <b>Db</b>
7	72,37 <b>Aa</b>	66,50 <b>CBb</b>	10,46 <b>Aa</b>	-10,22 <b>DCb</b>	66,69 <b>Aa</b>	49,82 <b>Cb</b>
9	71,04 <b>Aa</b>	71,16 <b>BAa</b>	13,26 <b>Aa</b>	-6,24 <b>Cb</b>	64,40 <b>Aa</b>	60,40 <b>Bb</b>
11	68,67 <b>Ab</b>	74,81 <b>Aa</b>	16,80 <b>Aa</b>	1,71 <b>Bb</b>	62,73 <b>Aa</b>	63,59 <b>BAb</b>
13		71,81 <b>BA</b>		8,82 <b>BA</b>		64,90 <b>BA</b>
15		72,39 <b>BA</b>		9,74 <b>A</b>		65,52 <b>BA</b>
17		70,53 <b>BA</b>		14,42 <b>A</b>		67,20 <b>A</b>

Médias seguidas das mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.



Figura 5 - Fotografias de mamões 'Golden' em diferentes estádios de maturação, armazenados na presença ou não de sachê contendo absorvedor de etileno à temperatura ambiente. (A) Frutos um dia após a colheita; (B) Frutos 9 dias após a colheita. CS – armazenados com sachê. SS – armazenados sem sachê.

Na Figura 5, observa-se a perda da coloração verde de casca de frutos armazenados na ausência do sachê, que evidencia o aumento nos valores de cromaticidade  $a^*$  e  $b^*$  observados na Tabela 1.

Na Figura 6, pode-se observar o decréscimo significativo dos valores do ângulo de cor "hue" com o decorrer do período pós-colheita para os dois tratamentos. A partir do 5º dia de armazenamento, foi observada uma diferença significativa entre os frutos na presença ou não do sachê, permanecendo essa tendência até o final do experimento. Aumento de  $L^*$  e a redução do ângulo "hue" também foram observados por Hernández et al. (2006) no decorrer do amadurecimento de mamões 'Baixinho de Santa Amália'.

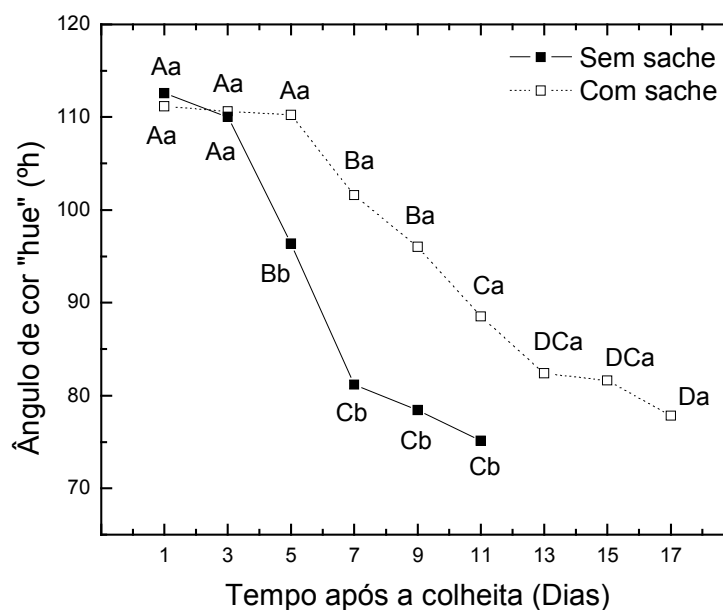


Figura 6 – Ângulo de cor “hue” da casca de mamões em diferentes estágios de maturação, armazenados em condição ambiente, sem e com sachê contendo absorvedor de etileno. Médias seguidas das mesmas letras maiúsculas (comparação no período) e minúsculas (comparação entre tratamentos) não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Vale ressaltar que o aumento da produção de etileno ocorreu quando os frutos sem sachê já apresentavam o ângulo de cor “hue” aproximadamente igual a 80°, o que representa a cor da casca amarela. Isto foi também observado por Bron e Jacomino (2006), que sugerem que a mudança da cor da casca não pode ser somente dependente de altas concentrações de etileno, mas que este simplesmente coordena eventos que já foram iniciados durante o amadurecimento. Frutos na presença de sachê também apresentaram essa resposta, mas posteriormente. Selvaraj et al. (1982) observaram, também, a ocorrência do pico de etileno quando frutos de mamoeiro estavam maduros, com casca amarela e polpa não-firme. Ainda, Da Silva et al. (2005) relataram uma correlação entre o pico de emissão de etileno e a saturação da cor da casca de mamões Solo durante o amadurecimento.

A firmeza do fruto é um importante atributo de qualidade que pode indicar o seu estágio de maturação refletindo no potencial para o armazenamento. Frutos com baixa firmeza apresentam menor resistência ao transporte, ao armazenamento e manuseio. Os frutos armazenados com sachê apresentaram perda mais lenta de firmeza durante o período de avaliação comparados aos frutos armazenados sem a presença do sachê (Figura 7). Para frutos armazenados sem sachê, a diferença foi

observada já no 3º dia após a colheita. Resultados semelhantes foram observados por Cenci et al. (1999) e Oliveira Junior (2002), que avaliaram o uso de permanganato de potássio na pós-colheita de mamões ‘Sunrise’ e ‘Golden’, respectivamente.

Frutos armazenados com sachê 9 dias após a colheita ainda apresentavam coloração da casca verde ( $a^* = -6,24$ ) mesmo com baixos valores de firmeza. A vida útil dos frutos parece ser de 11 dias após a colheita, quando os valores de cromaticidade  $a^*$  tornam-se positivos e os de firmeza são praticamente constantes e sem diferença significativa. Frutos armazenados sem sachê apresentavam coloração da casca amarela aos 9 dias após a colheita, mas sem diferença significativa com relação à firmeza. A vida útil de frutos sem sachê parece ser de 6 dias após a colheita, com valores crescentes de cromaticidade  $a^*$  e reduzida firmeza da polpa. Baixos valores na firmeza dos frutos podem resultar em problemas no transporte dos frutos do ponto de comercialização até a residência do consumidor.

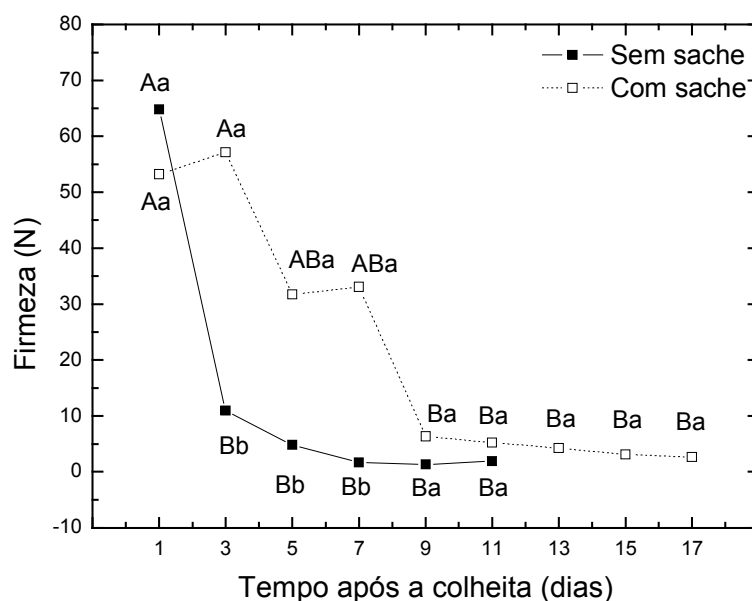


Figura 7 – Firmeza da polpa (N) de mamões em diferentes estágios de maturação, armazenados em condição de ambiente, sem e com sachê contendo absorvedor de etileno. Médias seguidas das mesmas letras maiúsculas (comparação no período) e minúsculas (comparação entre tratamentos) não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

No presente trabalho, o aumento na produção de etileno ocorreu quando os frutos atingiram uma firmeza abaixo de 2N, resultado também observado por Bron e Jacomino (2006). Blankenship e Unrath (1988) observaram redução na firmeza de



maçãs antes de qualquer aumento na emissão de etileno. Paull et al. (1983) sugeriram que o etileno só acelera ou coordena as mudanças na firmeza durante o amadurecimento de graviola, quando o aumento da emissão de etileno ocorreu em estádios mais avançados de maturação. Portanto, é razoável supor que outros processos dependentes de etileno estejam envolvidos no amadurecimento dos frutos. A perda da firmeza tem relação estreita com a atividade de enzimas pécticas, como pectinametilesterase e poligalacturonase, cujas atividades estão relacionadas com a ação do etileno (Chan et al., 1981; Paull e Chen, 1983; Jeong et al., 2002). A firmeza do tecido é determinada pela força de coesão da lamela média, composta principalmente de pectinas. Com a evolução do amadurecimento, ocorre a atuação de enzimas pectinolíticas, que transformam a pectina insolúvel em solúvel, promovendo o amaciamento da polpa dos frutos.

Junto com a perda da firmeza dos frutos, o conteúdo de sólidos solúveis totais é outro atributo de qualidade para o mamão, mas que discrimina poucas diferenças entre tratamentos de qualquer natureza. O teor de sólidos solúveis totais variou pouco durante o amadurecimento ou entre os tratamentos (Tabela 2). Resultado semelhante foi observado por Oliveira Júnior (2006) e Azevedo (2006). Os valores médios do teor de SST encontrados neste trabalho variaram de 11,5 a 14°Brix e estão de acordo com Fagundes e Yamanishi (2001) que avaliaram frutos do grupo 'Solo'. Devido ao baixo teor de amido presente em mamões, observa-se pouca ou nenhuma mudança no teor de sólidos solúveis totais durante o período pós-colheita (Bron e Jacomino, 2006).

Com os dados apresentados na Tabela 2, pode-se observar também que os valores de acidez titulável dos frutos armazenados sem o sachê mostraram tendência de incremento com o amadurecimento, apesar de não haver diferença significativa. Este resultado é, provavelmente, devido à liberação de ácidos galacturônicos provenientes da hidrólise da pectina presente na parede celular pela pectinametilesterase (Paull e Gross, 1999). De fato, como mostrado anteriormente, foi observada a perda de firmeza dos frutos no início da estocagem. As mudanças na ATT em frutos de mamão, bem como em outras espécies, durante o amadurecimento, têm sido relatadas como bastante variável, como observado por Pinto et al. (2006) e Azevedo (2006) entre outros.

Os valores médios de ATT do presente trabalho estão de acordo com Hinojosa e Montgomery (1998) e Fagundes e Yamanishi (2001), que relatam valores

de acidez de mamões entre 0,12 e 0,15% e entre 0,04 e 0,16% de ácido cítrico, respectivamente.

Bari et al. (2006) e Hernández et al. (2006) relataram valores de pH de 5,42 a 6,01 e 5,62 a 5,79, em mamões de cultivares locais e baixinho de Santa Amália, respectivamente. Tais valores também estão de acordo com os encontrados no presente trabalho.

Tabela 2 – Características físico-químicas da polpa de frutos de mamoeiro ‘Golden’ armazenados à temperatura ambiente, sem (SS) ou com sachê (CS) contendo absorvedor de etileno.

Dias após a colheita	Variáveis/Tratamentos					
	SST (°Brix)		ATT (% Ac. cítrico)		pH	
	SS	CS	SS	CS	SS	CS
1	11,5 <b>Ba</b>	12,1 <b>Aa</b>	0,091 <b>Aa</b>	0,101 <b>ABa</b>	5,4 <b>Ab</b>	5,6 <b>Aa</b>
3	12,8 <b>ABa</b>	13,2 <b>Aa</b>	0,092 <b>Aa</b>	0,092 <b>ABa</b>	5,4 <b>Ab</b>	5,6 <b>ABb</b>
5	14,0 <b>Aa</b>	13,0 <b>Aa</b>	0,099 <b>Aa</b>	0,095 <b>ABa</b>	5,5 <b>Ab</b>	5,7 <b>Aa</b>
7	13,3 <b>ABa</b>	14,0 <b>Aa</b>	0,098 <b>Aa</b>	0,109 <b>ABa</b>	5,5 <b>Ab</b>	5,7 <b>Aa</b>
9	13,6 <b>ABa</b>	13,0 <b>Aa</b>	0,107 <b>Aa</b>	0,087 <b>ABa</b>	5,5 <b>Aa</b>	5,7 <b>ABa</b>
11	12,6 <b>ABa</b>	12,1 <b>Aa</b>	0,082 <b>Aa</b>	0,078 <b>Ba</b>	5,6 <b>Aa</b>	5,5 <b>ABa</b>
13		13,1 <b>A</b>		0,103 <b>AB</b>		5,5 <b>AB</b>
15		13,0 <b>A</b>		0,095 <b>AB</b>		5,4 <b>B</b>
17		12,2 <b>A</b>		0,119 <b>A</b>		5,4 <b>B</b>

Médias seguidas das mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

A perda de massa fresca foi significativamente crescente durante todo o período de armazenamento dos frutos para ambos os tratamentos. A diferença ( $P < 0,05$ ) entre os tratamentos foi observada a partir do 5º dia após a colheita (Figura 8). No 11º dia após a colheita, os frutos sem sachê apresentaram valor de 6,78% de perda de massa, enquanto que aqueles armazenados na presença do absorvedor apresentaram perdas próximas a 5%. Resultados semelhantes foram observados por Solon et al. (2005), que avaliaram frutos do grupo Formosa submetidos à atmosfera modifica.

Perda de massa em mamões igual ou superior a 5% já caracteriza frutos fora do padrão comercial. Portanto, aos 11 e 15 dias de armazenamento de frutos sem e com sachê, respectivamente estes valores já tinham sido alcançados, acrescidos de

baixos valores de firmeza e coloração da casca amarela. Frutos nestes períodos já não apresentavam características ideais para comercialização.

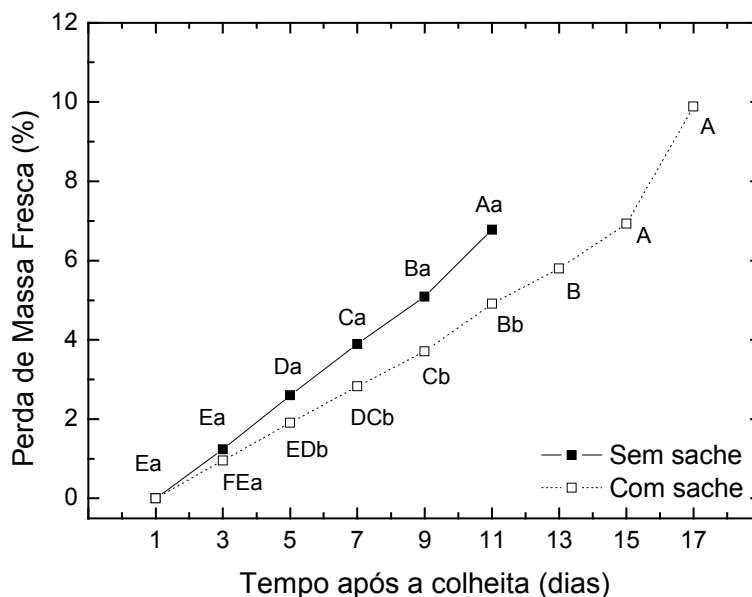


Figura 8 – Perda de massa fresca (%) de frutos de mamoeiro em diferentes estágios de maturação, armazenados ou não na presença de sachê contendo absorvedor de etileno. Médias seguidas das mesmas letras maiúsculas (comparação no período) e minúsculas (comparação entre tratamentos) não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

A inibição da perda de água é importante para a conservação dos frutos, pois impede o processo de murchamento e, conseqüentemente, a perda da firmeza, que diminui a qualidade para comercialização (Awad, 1993). De acordo com Chitarra e Chitarra (2005), a taxa de água que pode ser perdida, sem haver deterioração, é variável para cada vegetal, não devendo ultrapassar os 10%, dependendo do produto.

Em estudos desenvolvidos com mamão ‘Sunrise Solo’, verificou-se perda de massa média de 14,19%, sob condição ambiente até o 8º dia de armazenamento. Após este período, os frutos se mostraram impróprios para a comercialização devido ao enrugamento acentuado, depressões e manchas escuras na casca (Lopes, 1997).

A perda de massa fresca pode ser atribuída, principalmente, à perda de umidade e, também, à perda de material de reserva pela respiração (Carvalho, 2000). Gutierrez (2005) avaliou a perda de massa fresca de pêssegos como medida

da intensidade do manuseio na pós-colheita. Este efeito foi registrado pela maior intensidade na respiração e produção inicial de etileno.

A manutenção da firmeza da polpa é crítica para o armazenamento, transporte e aceitação do mamão pelo consumidor. Como acontece com outros frutos, a firmeza está associada a mudanças bioquímicas devido à degradação estrutural da parede celular e lamela média (Gross, 1984). Várias enzimas ligadas ao metabolismo de parede celular parecem estar envolvidas nestas mudanças de uma forma ainda não bem estabelecida (Hadfield et al., 1998). Em frutos como tomate, melão e abacate, a atividade da poligalacturonase (PG), pectinametilesterase (PME) e  $\beta$ -galactosidase foram associadas a mudanças na firmeza (Harriman et al., 1991; O'Donoghue e Huber, 1992; Ranwala et al., 1992) e a ação destas enzimas parece ser interdependente.

Em mamões, as enzimas pectinolíticas mais investigadas são PME, PG, celulase e  $\beta$ -galactosidase (Lazan et al., 1995; Ali et al., 2004). A PME é uma das enzimas mais bem caracterizadas em mamão (Fayyaz et al., 1995) e apresenta grandes variações durante o amadurecimento e amaciamento da polpa dos frutos (Paull e Chen, 1983; Lazan et al., 1995).

A enzima PME, na polpa dos frutos, mostrou decréscimo na atividade a partir do primeiro dia após a colheita nos dois tratamentos (Tabela 3). Esse decréscimo acompanhou a perda significativa de firmeza da polpa e antecederam ao pico de atividade da PG para ambos os tratamentos. A atividade total da PME é bastante variável, podendo diminuir, permanecer constante ou aumentar durante a maturação, dependendo do fruto e do método de extração. Paull e Chen (1983) encontraram atividade crescente com o avanço da maturação de mamões.

Taiz e Zaiger (2004) afirmam, também, que, durante o amaciamento de frutos, há alta atividade de PME, a qual hidrolisa os ésteres metílicos de pectinas. Essa hidrólise torna a pectina mais suscetível à atuação subsequente pela PG, observada pelo aumento de sua atividade. Padrão de resposta semelhante foi observado neste trabalho.

Os frutos armazenados sem sachê apresentaram máxima atividade da enzima PG no 9º dia após a colheita, coincidindo com os picos de emissão de etileno e de CO<sub>2</sub>. Para frutos com sachê, esta resposta foi semelhante, com o tempo de ocorrência da máxima atividade atrasado (Tabela 3). A atividade desta enzima variou ( $P < 0,05$ ) ao longo do período de armazenamento e entre os tratamentos, a

partir do 7º dia após a colheita (Tabela 3). Paull e Chen (1983) observaram aumento na atividade da PG em mamões a partir do 5º dia de armazenamento pós-colheita, também observado neste trabalho. Evangelista et al. (2000) também observaram aumento na atividade da PG ao longo do amadurecimento de mangas.

Huber et al. (2001) mencionaram que mudanças significativas na firmeza de alguns frutos ocorrem mesmo na ausência de relevante atividade de PG e que a máxima atividade da enzima ocorre nos estádios finais do amadurecimento. No presente trabalho, tal resultado também foi observado, com máxima atividade da enzima quando os frutos tinham valores médios de firmeza de 4,81 e 4,23N para frutos armazenados sem e com sachê, respectivamente. O aumento de atividade da PG pode ser uma resposta ao incremento da produção de etileno já que o pico de emissão do hormônio ocorreu no mesmo período da atividade máxima da enzima para frutos de ambos os tratamentos. Estes dados estão de acordo com os observados por Karakurt e Huber (2003) para diferentes frutos e Morgutti et al. (2005) para pêssigo, estudando a degradação de pectina no amadurecimento dos frutos com relação à produção de etileno.

Tabela 3 – Atividade das enzimas PME e PG em frutos de mamoeiro ‘Golden’ armazenados à temperatura ambiente, sem (SS) ou com sachê (CS) contendo absorvedor de etileno.

Dias após a colheita	Enzima/Tratamento			
	PME (nmol.g <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> )		PG (nmol de glicose.min <sup>-1</sup> .mL <sup>-1</sup> )	
	SS	CS	SS	CS
1	58,48 <b>Aa</b>	58,48 <b>Aa</b>	2,11 <b>CBa</b>	2,10 <b>DCa</b>
3	17,76 <b>Ba</b>	23,38 <b>Ba</b>	2,40 <b>CBAa</b>	1,20 <b>DCa</b>
5	9,75 <b>Ba</b>	19,18 <b>BCb</b>	2,70 <b>CBAa</b>	1,38 <b>DCBa</b>
7	12,75 <b>Ba</b>	16,32 <b>BCa</b>	3,70 <b>BAa</b>	1,88 <b>Db</b>
9	10,11 <b>Ba</b>	8,05 <b>Ca</b>	4,80 <b>Aa</b>	3,07 <b>DCBAb</b>
11	19,08 <b>Ba</b>	20,55 <b>CBa</b>	4,11 <b>BAa</b>	3,55 <b>CBAa</b>
13		17,28 <b>CB</b>		4,11 <b>A</b>
15		12,65 <b>CB</b>		3,85 <b>BA</b>
17		14,97 <b>CB</b>		2,40 <b>DCBA</b>

Médias seguidas das mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

No presente trabalho, o pico de atividade da beta-galactosidase ocorreu, aproximadamente, no 7º dia após a colheita para os dois tratamentos. A atividade da enzima apresentou diferença significativa durante o período pós-colheita e entre os tratamentos (Figura 9). O pico de atividade da enzima antecedeu o pico respiratório e de etileno. Ainda, o pico para frutos armazenados na presença no sachê teve valores inferiores aos armazenados sem sachê.

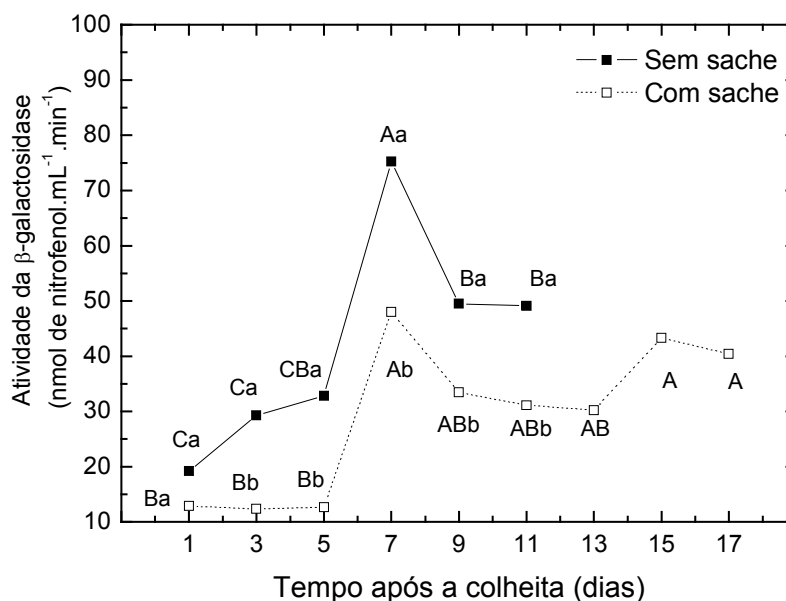


Figura 9 – Atividade da enzima  $\beta$ -galactosidase em frutos de mamoeiro 'Golden' armazenados à temperatura ambiente, na presença ou não de sachê contendo absorvedor de etileno. Médias seguidas das mesmas letras maiúsculas (comparação no período) e minúsculas (comparação entre tratamentos) não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Lazan et al. (2004; 1995) também observaram aumento da atividade da  $\beta$ -galactosidase com o amadurecimento de mamões. Os mesmos resultados foram observados em abacate (Tateishi et al., 2007), kiwi (Ogawa et al., 1990) e manga (Evangelista et al., 2000).

Em frutos de mamoeiro analisados por D'Innocenzo e Lajolo (2001), a atividade da PG e  $\beta$ -galactosidase aumentaram continuamente durante o amadurecimento até o pico climatérico entre o 8º e 10º dia. Já para a enzima PME, o pico máximo de atividade ocorreu antes, no 6º dia após a colheita, precedendo os picos respiratório e de emissão de etileno. Estes autores ressaltaram, ainda, que a máxima atividade da PME ocorreu no mesmo período em que se observou uma

redução brusca da firmeza. Resultados semelhantes foram observados no presente trabalho.

Verificou-se, também, uma perda da qualidade da aparência externa dos frutos com o aumento do período de armazenamento. Os frutos armazenados sem sachê tiveram maior deterioração devido ao aparecimento de manchas relacionadas à senescência e doenças pós-colheita a partir do 9º dia. O surgimento de doenças nos frutos armazenados na presença do sachê ocorreu tardiamente. Jacomino et al. (2002) observaram que, em mamões 'Sunrise Solo linhagem 72/12', colhidos no estágio verde, as podridões aumentaram sensivelmente com 6 dias de conservação a 20°C sendo que, aos 8 dias, encontravam-se impróprios para o consumo.

Segundo Liberato e Tatagiba (2001), as principais doenças pós-colheita do mamão são a antracnose e a podridão peduncular, causada por *Colletotrichum gloeosporioides* e *Phoma caricae-papayae*, e causam importantes perdas em pós-colheita. Os fungos encontrados nos frutos do presente trabalho foram os dos gêneros *Colletotrichum* e *Phomopsis* caracterizados na Clínica Fitossanitária da UENF. O desenvolvimento de fungos dos gêneros citados neste trabalho também foi relatado por Solon et al. (2005).

## **2.4. Conclusão**

O aumento no período de conservação sob condições ambientais é importante, considerando-se a alta perecibilidade do mamão após a colheita. O armazenamento de mamão em atmosfera modificada com sachê foi muito eficiente na manutenção da qualidade e no controle de doenças pós-colheita dos frutos, mesmo sob temperatura ambiente. Verificou-se atraso no desenvolvimento da cor da casca, do amaciamento da polpa dos frutos e da atividade de enzimas relacionadas ao amadurecimento em frutos armazenados na presença do sachê. O tratamento com sachê manteve frutos comercializáveis por 9 dias, consumíveis até 17 dias (6 a mais que o controle). O aumento de dois a três dias no armazenamento pode proporcionar o transporte dos frutos a maiores distâncias e a ampliação do período de comercialização dos mesmos.

## **2.5. Referências Bibliográficas**

Awad, M. (1993) *Fisiologia pós-colheita de frutos*. São Paulo: Nobel, 114p.

Ali, Z.M., Chin, L.H., Lazan, H. (2004) A comparative study on wall degrading enzymes, pectin modifications and softening during ripening of selected tropical fruits. *Plant Science* 167: 317- 327.

Al-Ati, T., Hotchkiss, J.H. (2003) The role of packaging film perm selectivity in modified atmosphere packaging. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51 (14): 4133-4138.

Association of Official Analytical Chemists (1998) – A.O.A.C. Official methods of analyses. 16 Ed. Washington, DC: 1018 p.

Azevedo, I.G., Oliveira, J.G., da Silva, M.G., Pereira, T., Corrêa, S.F., Vargas, H., Façanha, A.R. (2008) P-type H<sup>+</sup>-ATPases activity, membrane integrity, and apoplastic pH during papaya fruit ripening. *Postharvest Biology and Technology* 48: 242-247.

Azevedo, I.G. (2006) *Caracterização das bombas de prótons da polpa de frutos de mamão (Carica papaya L.) e relação com a ocorrência do distúrbio da gelificação*. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) Campos dos Goytacazes - RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, 68p.

Bari, L., Hassan, P., Absar, N., Haque, M.E., Khuda, M.I.I.E., Pervin, M.M., Khatun, S., Hossain, M.I. (2006) Nutritional analysis of two local varieties of papaya (*Carica papaya L.*) at different maturation stages. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 9 (1): 137-140.

Bradford, M.M. (1976) A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Annals Biochemistry* 72: 248-254.

Bron, I.U., Jacomino, A.P. (2006) Ripening and quality of 'Golden' papaya fruit harvested at different maturity stages. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 18 (3): 389-396.

Bron, I.U., Jacomino, A.P., Pinheiro, A.L. (2006) Influence of ripening stage on physical and chemical attributes of 'Golden' papaya fruit treated with 1-Methylcyclopropene. *Bragantia* 65 (4): 553-558.

Blankenship, S.M., Unrath, C.R. (1988) Internal ethylene levels and maturity of 'Delicious' and 'Golden delicious' apples destined for prompt consumption. *Journal of the American Society of Horticultural Science* 113: 88-91.

Carvalho, A.V. (2000) *Avaliação da qualidade de kiwis c.v. Hayward minimamente processados*. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Alimentos) Lavras – MG, Universidade Federal de Lavras, 86p.

Cisnero–Zevallos L.; Krochta, J.M. (2002) Internal modified atmosphere of coated fresh fruit and vegetables: Understanding relative humidity effects. *Journal of Food Science* 67 (8): 2792-2797.



- Chitarra, M.I.F., Chitarra, A.B. (2005) *Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio*. Lavras: UFLA, 785p.
- Cook, N.C., Samman, S. (1996) Flavonoids - chemistry, metabolism, cardioprotective effects, and dietary sources. *Journal of Nutritional Biochemistry* 7 (2): 66-76.
- Correa, S. F., Filho, M. B., da Silva, M. G., Oliveira, J. G., Aroucha, E. M. M., Silva, R. F., Pereira, M. G., Vargas, H. (2005) Effect of the potassium permanganate during papaya fruit ripening: ethylene production. *Journal de Physique IV* 125: 869-871.
- Cenci, S.A., Soares, A.G., Sousa, M.L. (1999) Efecto de la aplicación de absorvedor de etileno  $KMnO_4$  en las características de calidad y conservación de la papaya cv. Sunrise. *Revista Iber. Tecnologia Postcosecha* 1 (2): 150-155.
- Chan Jr, H.T., Tam, S.Y.T., Seo, S.T. (1981) Papaya poligalacturonase and its role in thermally injured ripening fruit. *Journal of Food Science* 46 (1): 190-197.
- Da Silva, M.G., Oliveira, J.G., Vitoria, A.P., Corrêa, S.F., Pereira, M.G., Campostrini, E., Santos, E.O., Cavalli, A., Vargas, H. (2005) Correlation between ethylene emission and skin color changes during papaya (*Carica papaya* L.) fruit ripening. *Journal de Physique IV* 125: 877-879.
- Da Silva, M. G.; Santos, E. O.; Sthel, M. S.; Cardoso, S. L.; Cavalli, A.; Monteiro, A. R.; De Oliveira, J. G.; Pereira, M. G.; Vargas, H. (2003) Effect of heat treatment on ethylene and  $CO_2$  emissions rates during papaya (*C. papaya* L.) fruit ripening. *Review of Scientific Instruments* 74 (1): 703-705.
- D'Innocenzo, M., Lajolo, F.M. (2001) Effect of gamma irradiation on softening changes and enzyme activities during ripening of papaya fruit. *Journal of Food Biochemistry* 25: 425-438.
- Evangelista, R.M., Chitarra, A.B., Chitarra, M.I.F. (2000) Influencia da aplicação pré-colheita de cálcio na textura e na atividade das enzimas poligalacturonase, pectinametilesterase e b-galactosidase de mangas 'Tommy Atkins' armazenadas sob refrigeração. *Ciência e Agrotecnologia* 24: 174-181.
- Fabi, J.P., Cordenunsi, B.R., Barreto, G.P.M., Mercadante, A.Z., Lajolo, F.M., Nascimento, J.R.O. (2007) Papaya Fruit Ripening: Response to Ethylene and 1-Methylcyclopropene (1-MCP). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 55: 6118-6123.
- Fagundes, G.R., Yamanishi, O.K. (2001) Características físicas e químicas de frutos de mamoeiro do grupo 'Solo' comercializados em 4 estabelecimentos de Brasília-DF. *Revista Brasileira de Fruticultura* 23 (3): 541-545.
- Fayyaz, A., Asbi, B.A., Ghazali, H.M., Cheman, Y.B., Jinap, S. (1995). Kinetics of papaya pectinesterase. *Food Chemistry* 53: 129-135.
- Fonseca, M.J.O., Leal, N.R., Cenci, S.A., Cecon, P.R., Bressan-Smith, R.E., Soares, A.G. (2006) Emissão de etileno e de  $CO_2$  em mamão 'Sunrise Solo' e 'Golden'. *Revista Brasileira de Fruticultura* 28 (2): 322-324.

Gross, K.C. (1984) Fractionation and partial characterization of cell walls from normal and non-ripening mutant tomato fruit. *Physiologia Plantarum* 62: 25-32.

Gutierrez, A.S.D. (2005) *Danos mecânicos pós-colheita em pêssego fresco*. Tese (Doutorado) Piracicaba – SP, Universidade de São Paulo, 123p.

Hadfield, K.A., Rose, J.K.C., Yaver, D.S., Berka, R.M., Bennett, A.B. (1998) Polygalacturonase gene expression in ripe melon fruit supports a role for polygalacturonase in ripening-associated pectin disassembly. *Plant Physiology* 11 (7): 363-373.

Hagerman, A.E., Austin, P.J. (1986) Continuous spectrophotometric assay for plant pectin methylesterase. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 34 (3): 440-444.

Harriman, R.W., Tieman, D.M., Handa, A.K. (1991) Molecular cloning of tomato pectin methylesterase gene and its expression in rutgers, ripening inhibitor, nonripening and never ripe tomato fruits. *Plant Physiology* 97: 80-97.

Hernández, Y., Lobo, M.G., González, M. (2006) Determination of vitamin C in tropical fruits: A comparative evaluation of methods. *Food Chemistry* 96: 654-664.

Hinojosa, R.L., Montgomery, M.W. (1998) Industrialização do mamão: aspectos químicos e tecnológicos da produção de purê asséptico. In: Simpósio sobre a cultura do mamoeiro, Jaboticabal. Anais... Jaboticabal, FCAV/UNESP: p.89-110.

Huber, D.J., Karakurt, Y., Jeong, J. (2001) Pectin degradation in ripening and wounded fruits. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal* 13: 224-241.

Hotchkiss, J.H., Banco, M.J. (1992) Influence of new packaging technologies on the growth of microorganism in produce. *Journal of Food Protection* 55 (10): 815-820.

Jacomino, A.P., Kluge, R.A., Brackmann, A., Camargo e Castro, P.R. (2002) Amadurecimento e senescência de mamão com 1-Metilciclopropeno. *Scientia Agricola* 59 (2): 303-308.

Jiang, Y.M., Chen, F., Liu, S.X., Li, Y.Y.B. (1997) Effect of pre and post-harvest treatments on the keeping quality of banana. *Journal of Fruit Science* 14 (2): 115-116.

Jeong, J., Huger, D. J., Sargent, S. A. (2002) Influence of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on ripening and cell-wall matrix polysaccharides of avocado (*Persea americana*) fruit. *Postharvest Biology and Technology* 25: 241-256.

Kader, A.A. (1986) Biochemical and physiological basis for effects of controlled and modified atmosphere on fruit and vegetables. *Food Technology* 40 (5): 99-104.

Kader, A. A. Recommendations for maintaining postharvest quality “papaya”; <http://postharvest.ucdavis.edu/produce/producefacts/fruits/papaya.html> em 10/09/2005 página mantida por Department of Pomology, University of California, Davis, CA.

Karakurt, Y., Huber, D.J. (2003) Activities of several membrane and cell-wall hydrolases, ethylene biosynthetic enzymes, and cell wall polyuronide degradation during low-temperature storage of intact and fresh-cut papaya (*Carica papaya*) fruit. *Postharvest Biology and Technology* 28: 219-229.

Koski, D.V. (1998) Is current modified/controlled atmosphere packaging technology applicable to U. S. food market? *Food Technology* 42 (9): 54-54.

Lazan, H., Ng, S.Y., Goh, L.-Y., Ali, Z.M., (2004) Papaya  $\beta$ -galactosidase/galactanase isoforms in differential cell wall hydrolysis and fruit softening during ripening. *Plant Physiology and Biochemistry* 42: 847–853.

Lazan, H., Selamat, M.K., Ali, Z.M. (1995)  $\beta$ -Galactosidase polygalacturonase and pectinesterase in differential softening and cellwall modification during papaya fruit ripening. *Physiologia Plantarum* 95 (1): 106-112.

Lazan, H., Selamat, M.K. (1993) The underlying biochemistry of the effect of modified atmosphere and storage temperature on firmness decreased in papaya. *Acta Horticulturae* 343: 141–147.

Liberato, J.R., Tatagiba, J.S. (2001) Avaliação de fungicidas *in vitro* e em pós-colheita para o controle da antracnose e da podridão peduncular e frutos de mamão. *Summa Phytopathologica* 27 (4): 409-414.

Lopes, M.A. (1997) *Conservação do mamão em condições ambiente submetido à aplicação de cera e cloreto de cálcio*. Tese (Mestrado em Fitotecnia) Mossoró – RN, Escola Superior de Agricultura de Mossoró, 39p.

Martins, D.S., Da Costa, A.F.S. (2003) A cultura do mamoeiro: tecnologias de produção. (eds.) Vitória, ES: Incaper, 497p.

McGuire, R.G. (1992) Reporting of objective color measurements. *HortScience* 27: 1254-1255.

Medina, V.M., Oliveira, J.R.P. (2000) *Colheita e pós-colheita* In: Mamão. Produção: aspectos técnicos. Embrapa Mandioca e Fruticultura, Brasília: Embrapa comunicação para transferência de tecnologia.

Miller, G.L. (1959) Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical Biochemistry* 31: 426-428.

Morgutti, S., Negrini, N., Mignani, I., Bassi, D., Cocucci, M. (2005) Flesh softening and phosphorylation of soluble polypeptides in relation to ethylene production in *Prunus persica* fruits with different ripening pattern. *Acta Horticulturae* 682: 155-162.

Nakamae, I.J. (ed.) (2003) *Anuário da Agricultura Brasileira*. São Paulo: Argos comunicação, 378-386.

Oliveira Junior, L. F. G. (2002) *Conservação pós-colheita de mamão (Carica papaya L.) utilizando atmosfera modificada em diferentes temperaturas de armazenamento*.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes –RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, 73p.

Oliveira Jr., L.F.G., Coelho, E.M., Coelho, F.C. (2006) Caracterização pós-colheita de mamão armazenado em atmosfera modificada. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 10 (3): 660–664.

O'Donoghue, E.M., Huber, D.J. (1992) Modification of matrix polysaccharides during avocado (*Persea uericunu*) fruit ripening: an assessment of the role of C,-cellulase. *Physiologia Plantarum* 86: 33-42.

Ogawa, H., Fukumoto, H., Yano, T., Yanamoto, K., Tochikura, T. (1990) Purification and characterisation of i3-galactosidase from kiwifruit. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi* 37, 298-305.

Paull, R.E., Gross, K., Qiu, Y. (1999) Changes in papaya cell walls during fruit ripening. *Postharvest Biology and Technology* 16 (1): 79-89.

Paull, R.E. (1993) Pineapple and papaya. In: Seymour, G.B.; Taylor, J.E.; Tucker, G.A. (Ed.) *Biochemistry of fruit ripening*. London: Chapman & Hall, p.291-323.

Paull, R.E., Deputy, J., Chen, N.J. (1983) Changes in organic acids, sugars and headspace volatiles during fruit ripening of soursop. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 108: 931-934.

Paull, R.E., Chen, N.J. (1983) Postharvest variation in cell wall-degrading enzymes of papaya (*Carica papaya* L.) during fruit ripening. *Plant Physiology* 72: 382-385.

Persijn, S.T., Oomens, J., Yu, Q., Hartando, R., Suparmo, M.A.J., Harren, F.J.M. (2004) Application of sensitive trace gas detectors in post harvest research, in 'Production Practices and Quality Assessment of Food Crops' Eds. R. Dris, S.M. Jain Vol 4, *Postharvest Treatment and Technology*. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers: pp.1-16

Pinto, L.K.A., Martins, M.L.L., Resende, E.D., Almeida, R.F., Vitorazi, L., Pereira, S.M.F. (2006) Influência da atmosfera modificada por filmes plásticos sobre a qualidade do mamão armazenado sob refrigeração. *Ciência e Tecnologia de Alimentos* 26 (4): 744-748.

Pressey, R., Avants, J.K. (1973) Separation and characterization of endopolygalacturonase and exopolygalacturonase from peaches. *Plant Physiology* 52: 252-256.

Rai, D.R., Oberoi, H.S., Bangali, B. (2002) Modified atmosphere packaging and its effect on quality and shelf life of fruits and vegetables: an overview. *Journal of Food Science and Technology* 39 (3): 199-207.

Ranwala, P.A., Suematsu, C., Masuda, H. (1992) The role of beta-galactosidases in the modification of cell wall components during muskmelon fruit ripening. *Plant Physiology* 100: 1318-1325.

Rezende, J.A.M., Fancelli, M.I. (1997) Doenças do mamoneiro (*Carica papaya* L.). In: Kimati et al. *Manual de Fitopatologia*. 3 ed. São Paulo: Ceres., v.2, cap. 46, p. 486-496.

Salvaraj, Y., Subramanyan, M.D., Iyer, C.P.A. (1982) Changes in the chemical composition of four cultivars of papaya (*Carica papaya* L.) during growth and development. *Journal of Horticultural Science* 57: 135-143.

Solon, K.N., Menezes, J.B., Medeiros, M.K.M., Aroucha, E.M.M., Mendes, M.O. (2005) Conservação pós-colheita do mamão formosa produzido no vale do Assu sob atmosfera modificada. *Caatinga* 18 (2): 105-111.

Taiz, L., Zaiger, E. (2004) Etileno: o hormônio gasoso. In: *Fisiologia vegetal*. 3 ed. Porto Alegre, RS: Artmed, 541-558p.

Tateishi, A., Shiba, H., Ogihara, J., Isobe, K., Nomuraa, K., Watanabe, K., Inoue, H. (2007). Differential expression and ethylene regulation of beta-galactosidase genes and isozymes isolated from avocado (*Persea americana* Mill.) fruit. *Postharvest Biology and Technology* 45: 56–65.

Thain, S.C., Vandenbussche, F., Laarhoven, L.J.J., Dowson-Day, M.J., Wang, Z.Y., Tobin, E.M., Harren, F.J.M., Millar, A.J., Van der Straeten, D., Millar, A.J. (2004) Circadian rhythms of ethylene emission in *Arabidopsis*. *Plant Physiology* 136: 3751-3761.

Vicente, A.R., Costa, M.L., Martinez, G.A., Chaves, A.R., Civello, P.M. (2005) Effect of heat treatment on cell wall degradation and softening in strawberry fruit. *Postharvest Biology and Technology* 38: 213-222.

Watada, A.E. (1986) Effects of ethylene on the quality of fruits and vegetables. *Food Technology* 40 (5): 82-85.

Wills, R.B.H., Widjanarko, S.B. (1995) Changes in physiology, composition and sensory characteristics of Australian papaya during ripening. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 35: 1173-1176.

### 3. Determinação da eficiência de um absorvedor comercial de etileno na pós-colheita de mamão – armazenamento sob refrigeração.

**Resumo** - Visando estudar o efeito da associação entre embalagem (filme de PVC), sachê contendo absorvedor de etileno e refrigeração sobre o amadurecimento de mamões 'Golden', foram realizadas avaliações físico-químicas, determinação de emissão de etileno e respiração do fruto, entre outros. Para frutos embalados na presença de sachê, a atividade respiratória permaneceu em torno de 3,61 e 6,2 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>, até o 25º dia após a colheita. Uma elevação ocorreu no final do período de armazenamento, com valor máximo de 10,02 mg.kg<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>. Já para frutos armazenados na ausência do sachê, foi observada máxima atividade respiratória no 19º dia de armazenamento. Com relação à emissão de etileno, o pico coincidiu com o de CO<sub>2</sub> para frutos armazenados sem sachê. Após 29 dias de armazenamento os frutos apresentaram cor da casca verde. A presença do sachê combinado com a refrigeração teve efeito positivo no retardo do amaciamento da polpa dos frutos e na perda de massa durante o tempo de armazenamento. Frutos armazenados em atmosfera modificada na presença de sachê contendo absorvedor de etileno mantiveram boas características, podendo, assim, ser comercializáveis por um período de tempo suficiente para alcançar mercados consumidores mais distantes.

**Palavras-chave:** *Carica papaya* L., absorvedor de etileno, refrigeração, amadurecimento.

**Abstract** – The aim of this study was to investigate the effect of the presence of an ethylene absorber on the ripening of papaya 'Golden'. In this experiment, the fruits were stored under refrigeration in a PVC film package in the presence of the absorber. The ripening process was followed for 29 days by determining ethylene and CO<sub>2</sub> emission as well as various physico-chemical characteristics. For fruits packaged in the presence of the sachet the CO<sub>2</sub> emission remained with values around 3,61 e 6,2 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>, till the 25<sup>th</sup> day after harvest . For fruits in the absence of the sachet a maximum CO<sub>2</sub> emission was observed in the 19<sup>th</sup> day of storage. In the experiment without the sachet the ethylene and CO<sub>2</sub> emission peaks coincided. After 29 days of storage both samples still had green skin color, reflected in the negative values of the chromaticity parameter a. The presence of sachet also decreased fruit pulp softening and the rate of mass loss rate during the time of

storage. Both samples were still marketable after 29 days of refrigerated storage. However, the results indicate that the fruit stored with the ethylene absorber sachet ripens slower than the control sample.

**Keywords:** *Carica papaya* L., ethylene absorber, refrigeration, ripening.

### 3.1. Introdução

O padrão de qualidade de produtos perecíveis pode ser mais facilmente obtido com base em informações de sua fisiologia. Esse conhecimento permite manipular seu metabolismo, por meio de um conjunto de técnicas aplicadas nas fases da cadeia produtiva e, assim, manter características desejáveis do produto, conforme as exigências do mercado. O manejo adequado dos perecíveis possibilita ainda a redução nas perdas pós-colheita (Chitarra e Chitarra, 2005).

Para atingir o mercado externo com maior eficiência e qualidade do produto, faz-se necessário adotar condições especiais de manuseio, transporte e armazenamento. Um dos métodos mais comuns de conservação de frutas e hortaliças é o acondicionamento em câmara fria. Temperatura, umidade relativa e composição atmosférica são condições que podem ser utilizadas para o controle do amadurecimento dos frutos, crescimento de microorganismos e produção de etileno (Kader et al., 1989; Botrel e Carvalho, 1993; Brackman et al., 1995). A utilização de temperaturas baixas permite, além da conservação dos frutos por maior período de tempo, a perda da cor verde muito mais lenta, comparativamente à temperatura ambiente, comprovado por Claypool e Davis (1959).

Dentre as variedades do grupo Solo, destaca-se a 'Golden', originária de uma mutação natural de 'Sunrise Solo', a mais exportada pelo Brasil. Os frutos 'Golden' possuem amarelecimento mais uniforme, formato piriforme, polpa rosa-salmão e, aparentemente, vida de prateleira menor que o 'Sunrise Solo' (Fonseca, 2002). O 'Golden' tem também boa aceitação no mercado internacional devido à qualidade sensorial e nutricional. Outra vantagem deste cultivar é sua menor susceptibilidade à mancha fisiológica do mamão (Oliveira et al., 2005).

Temperaturas compreendidas entre 9 e 12°C, com umidade mínima de 80% são geralmente as mais utilizadas para o armazenamento do mamão, dependendo de fatores como estágio de maturação e cultivar (Chen e Paull, 1986). Segundo Kader (2005), a temperatura ótima para o armazenamento do mamão depende do

estádio de maturação, sendo recomendado 13°C para frutos verdes com até ¼ de coloração amarela, com umidade relativa entre 90-95%.

Frutos tropicais podem ter a vida pós-colheita prolongada por meio da redução da taxa respiratória e da produção de etileno, bem como por meio da modificação da atmosfera (Chitarra e Chitarra, 2005; Awad, 1993). O uso de filme plástico à base de polietileno ou cloreto de polivinila (PVC), devido à sua praticidade, custo relativamente baixo e alta eficiência, tem sido bastante utilizado, principalmente quando associado ao armazenamento refrigerado. Além disso, a associação de embalagem de polietileno com produtos capazes de absorver etileno tem sido amplamente utilizada na exportação de mamão Solo (Yon e Rahman, 1997).

O monitoramento da taxa de emissão do etileno em frutos fornece informação útil sobre o processo de amadurecimento, além de ser ferramenta para tornar ótimo o transporte e o armazenamento dos mesmos (Kader, 1986). A técnica fotoacústica vem sendo utilizada em inúmeros estudos de sistemas biológicos na determinação das taxas de emissão deste hormônio gasoso, que pode ser detectado rapidamente com boa sensibilidade. A detecção de etileno em flores, em plantas submersas, no amadurecimento de frutas e na germinação de sementes (Woltering et al., 1988; Voesenek et al., 1997; Da Silva et al., 2003; Gianinetti et al., 2007) podem ser citados como exemplo. A técnica fotoacústica emprega uma mudança da pressão que é induzida pela excitação vibracional e rotacional das moléculas de etileno, e subsequente decaimento não-radiativo. Esta mudança de pressão é detectada por um microfone. Como o sistema é automatizado, uma quantidade grande de dados pode ser obtida continuamente por um longo período de tempo, sendo assim mais exata do que leituras únicas feitas por meio de cromatografia gasosa (Harren et al., 1990; Voesenek et al., 1990).

Este trabalho teve por objetivo a avaliação de características físico-químicas e fisiológicas de frutos de mamoeiro 'Golden' armazenados sob refrigeração, na presença ou não de absorvedor de etileno.

### **3.2. Material e Métodos**

Para a realização do trabalho foram utilizados frutos de mamoeiro 'Golden', padrão exportação, em diferentes estádios de maturação (a partir do estágio zero), provenientes de um pomar comercial (Caliman Agrícola S/A) situado em Linhares,



ES. Os frutos receberam tratamento hidrotérmico na própria empresa, acondicionados em caixas de papelão e transportados para o Laboratório de Ciências Físicas da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, em Campos dos Goytacazes, RJ.

As caixas contendo 9 frutos de, aproximadamente, 400g cada foram envoltas com filme flexível de cloreto de polivinila (PVC), de 10 $\mu$ m de espessura, na presença ou não de sachê de absorvedor de etileno (10g) de nome comercial “Always Fresh<sup>®</sup>”. As caixas foram armazenadas em câmara fria com temperatura e umidade controladas (10 $\pm$ 2°C/80 $\pm$ 5% UR).

O experimento seguiu arranjo fatorial 2x15 cujos fatores e níveis foram: formas de acondicionamento (sem e com sachê contendo absorvedor de etileno) e períodos de armazenamento (1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21, 23, 25, 27 e 29 dias após a colheita) com três repetições. A unidade experimental consistiu de uma caixa contendo nove frutos, da qual três eram retirados aleatoriamente para análises físico-químicas. Os dados foram interpretados por meio de análise de variância com auxílio do sistema SISVAR. As médias dos fatores foram comparadas utilizando-se o teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

A umidade relativa e a temperatura do ar foram monitoradas por meio de um termohigrômetro digital marca Spectrum Technologies INC. modelo 250.

### **3.2.1. Determinação da taxa de emissão de etileno e atividade respiratória**

Para a determinação da emissão de etileno foi utilizado um espectrômetro fotoacústico acoplado a um laser de CO<sub>2</sub>. Um analisador infravermelho comercial de gás modelo URAS 14 (ABB), que monitora a emissão de dióxido de carbono, foi disposto em série ao equipamento (Figura 1).

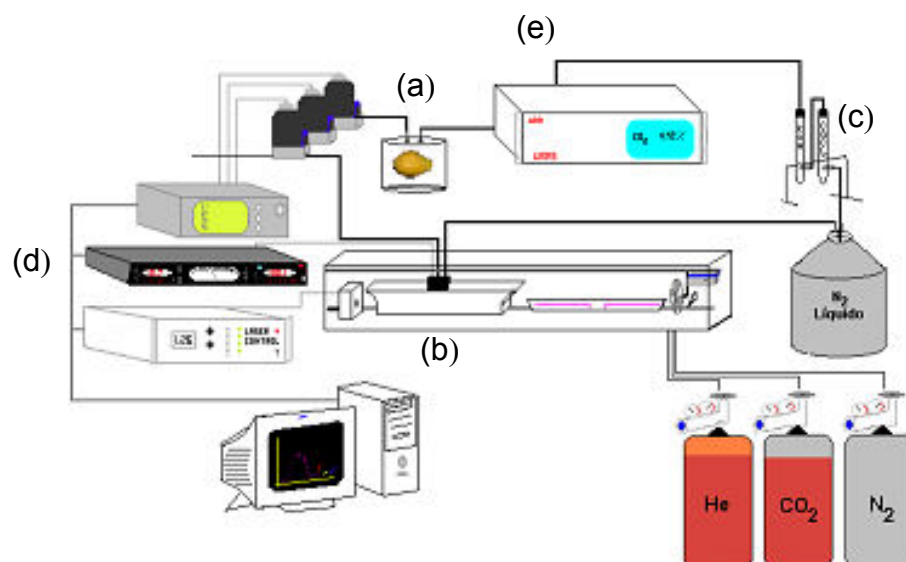


Figura 1 - Diagrama da montagem experimental do espectrômetro fotoacústico e URAS 14 usado para monitorar a emissão de etileno e CO<sub>2</sub>, respectivamente. (a) cubeta; (b) célula fotoacústica; (c) filtros; (d) processador de sinal *lock-in*; (e) URAS 14.

Os frutos foram colocados individualmente em cubetas (1L), sendo os gases emitidos arrastados num fluxo de, aproximadamente, 2L.h<sup>-1</sup> para o analisador URAS 14. A amostra gasosa foi, então, carregada através de filtros contendo KOH, CaCl<sub>2</sub> com o objetivo de eliminar CO<sub>2</sub> e água, respectivamente, além de uma armadilha fria contendo nitrogênio líquido. Com os valores de fluxo (F), massa dos frutos (m) e concentração do gás analisado (C), as taxas de emissão de etileno e CO<sub>2</sub> foram calculadas (Taxa = C(ppm) x F(L.h<sup>-1</sup>) / m(Kg)). O sistema foi, ainda, calibrado, usando-se mistura gasosa de etileno sintético, na concentração de 1 ppm. Para cada condição experimental, três repetições foram realizadas em condições de laboratório.

### 3.2.2. Análises físico-químicas

#### 3.2.2.1. Coloração da casca

A coloração da casca foi determinada utilizando-se um colorímetro Minolta modelo CR-300. Medidas em três pontos equidistantes na região equatorial dos frutos foram realizadas e os resultados foram expressos por meio do ângulo de cor “hue” e parâmetros de Hunter. Nesta escala o índice L\* refere-se à luminosidade, variando de 0 (para amostra perfeitamente preta) a 100 (para amostra perfeitamente branca); já o índice a\* varia da cor verde (sinal negativo) ao vermelho (sinal positivo), e b\* do azul (sinal negativo) ao amarelo (sinal positivo) (Figura 2). Valores

de  $a^*$  e  $b^*$  iguais a zero equivalem à cor cinza. O ângulo de cor “hue” ( $h^\circ$ ) define a coloração básica, onde  $0^\circ$  = vermelho,  $90^\circ$  = amarelo,  $180^\circ$  = verde e  $270^\circ$  = azul (McGuire, 1992).

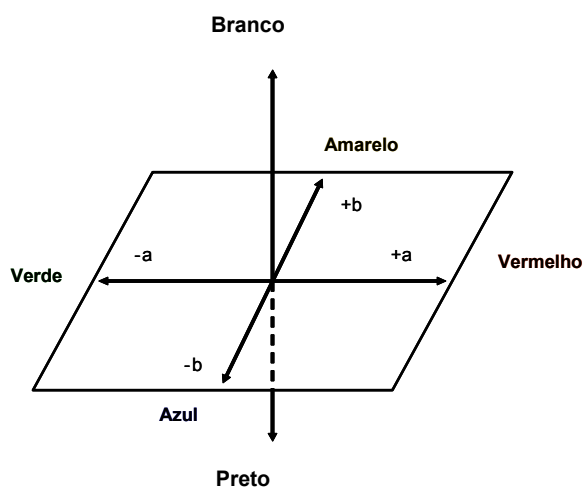


Figura 2 – Esquema representativo do espaço colorido de Hunter.

### 3.2.2.2. Firmeza

As medidas foram realizadas em três pontos eqüidistantes na região equatorial dos frutos. Foi utilizado um penetrômetro digital de bancada TR Turoni, modelo 53205, com sonda de 8 mm de diâmetro e 8 cm de altura. A resistência à penetração da ponteira tem variação de 0,05 a 196 N.

### 3.2.2.3. Sólidos solúveis totais (SST)

O teor de sólidos solúveis totais foi obtido por meio de um refratômetro manual (SAMMAR) que fornece medidas diretas em  $^\circ\text{Brix}$ , a partir da extração de suco da polpa.

### 3.2.2.4. pH e acidez total titulável (ATT)

Para as análises de pH e acidez total titulável, 30g de polpa foram retiradas e homogeneizadas em 50mL de água destilada. As medidas de pH foram realizadas por meio de determinação potenciométrica, utilizando-se um pHmêtro digital marca pH 330/SET. Em seguida, a determinação da acidez foi realizada por meio de titulação com solução de hidróxido de sódio 0,1N de acordo com A.O.A.C. (1998). Em função da coloração da polpa dos frutos (rósea), utilizou-se o valor de pH 8,2 para determinar o ponto final da titulação. Os resultados foram expressos em percentagem de ácido cítrico, utilizando-se da fórmula:

$$\text{ATT (\% de \acute{a}cido c\acute{it}rico)} = \frac{V * f * N * PE}{P} \times 100$$

Onde: V= volume (mL) de NaOH gasto na titulao, f= fator de correo, N= normalidade do NaOH, PE= peso equivalente grama do \acute{a}cido c\acute{it}rico, P= massa da amostra (g).

### 3.2.2.5. Perda de massa fresca

Frutos de cada um dos tratamentos foram reservados para o monitoramento da perda de massa durante o armazenamento. Esta foi determinada pela equao:

$$\text{Perda de massa (\%)} = (1 - M_f / M_o) \times 100$$

Sendo  $M_o$  a massa dos frutos no tempo inicial do armazenamento e  $M_f$  a massa nos dias de an\acute{a}lise.

### 3.2.2.6. Ensaio enzim\aticos

#### $\beta$ -galactosidase – E.C. 3.2.1.23

Para a extrao da  $\beta$ -galactosidase, dez gramas da polpa foram homogeneizadas em 30 mL de soluo tamp\ao de acetato de s\odcio 50 mM, pH 5,0 gelado, contendo 1 M de NaCl e 10% de polivinilpirrolidone (PVPP). Ap\os 2 horas a soluo foi filtrada em tecido de algod\ao e o filtrado centrifugado em uma centrifuga refrigerada (Hermele Z 382K, Alemanha) a 15.000 g por 30 minutos (Vicente et al., 2005). O sobrenadante foi dialisado em soluo tamp\ao de acetato de s\odcio 50 mM, pH 4,5 para dosagem da atividade da enzima. Todo o processo foi realizado \a temperatura de, aproximadamente, 4°C.

A atividade foi determinada incubando-se 1,5 mL de 50 mM de tamp\ao acetato de s\odcio, pH 4,5, contendo 3 mM de p-nitrofenil  $\beta$ -D-galactopiranosideo com 0,5 mL do extrato enzim\atico a 40°C, durante 20 minutos. A reao foi paralisada retirando-se al\quotas de 0,150 mL e a estas foram adicionadas 0,5 mL de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  0,4 M. A colorao desenvolvida foi determinada por meio de espectrof\otmetro SHIMADZU UV-mini 1240 no comprimento de onda de 410 nm. A unidade da enzima foi definida como a variao da absorb\ancia por minuto.

### 3.3. Resultados e Discussão

Para frutos embalados na presença de sachê e sob refrigeração, a atividade respiratória permaneceu em torno de 3,61 e 6,2 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>, até o 25º dia após a colheita (Figura 3). Uma elevação ocorreu no final do período de armazenamento, com valor máximo de 10,02 mg.kg<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>. Já para frutos na ausência do sachê, foi observado um máximo na emissão de CO<sub>2</sub> no 19º dia de armazenamento com valor de 12,61 mg.kg<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>. Com relação à emissão de etileno, o pico máximo coincidiu com a máxima atividade respiratória, tanto para frutos armazenados sem e com sachê. Nos frutos armazenados com sachê, a emissão máxima ocorreu com menor intensidade comparada ao tratamento controle, no 25º dia pós-colheita, 6 dias após o controle (Figura 4).

A intensidade do pico de emissão de etileno para frutos sem sachê pode estar relacionada à realização do experimento à temperatura ambiente. Os frutos mantidos sob refrigeração têm seu metabolismo retardado, mas quando expostos à temperatura ambiente, no laboratório, apresentam taxa respiratória elevada, como observado na Figura 3. Outra hipótese levantada é a do efeito da temperatura, causadora de um possível estresse devido ao longo período de armazenamento.

A liberação de etileno é dependente da temperatura e é geralmente reduzido sob refrigeração. Dependendo do tecido ou da espécie, o aumento do etileno ocorre durante a refrigeração ou após a transferência para temperaturas mais elevadas (Wang, 1989).

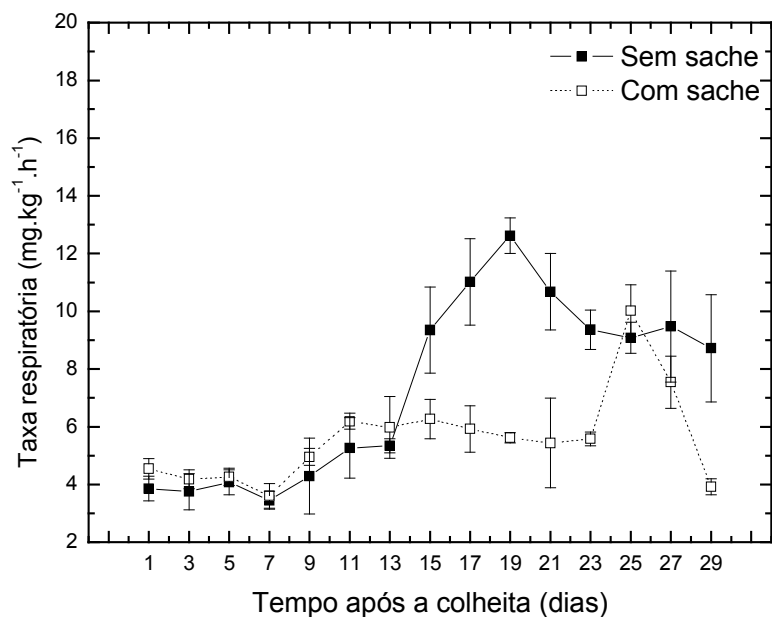


Figura 3 – Taxa respiratória em mamões em diferentes estágios de maturação, armazenados sob refrigeração, sem e com sachê contendo absorvedor de etileno.

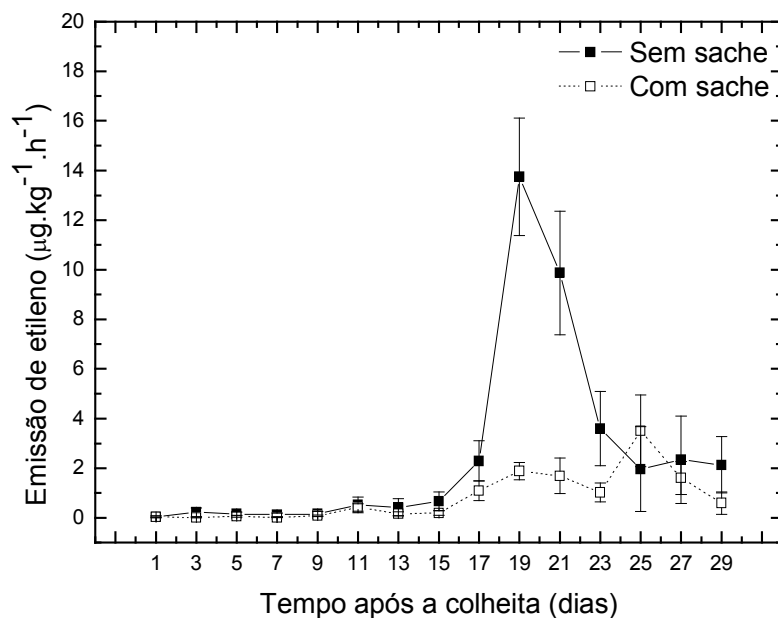


Figura 4 - Taxa de emissão de etileno em mamões em diferentes estágios de maturação, armazenados sob refrigeração, sem e com sachê contendo absorvedor de etileno.

Fonseca et al. (2006) observaram a elevação da taxa de emissão de etileno para frutos de mamoeiro 'Golden' e 'Sunrise Solo', aos 19 dias de armazenamento refrigerado, resultados que estão de acordo com os observados no presente trabalho.

Segundo Kader, (2005) o mamão, de forma geral, apresenta taxas respiratória e de emissão de etileno de 4 a 6 mL CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup> e de 0,2 a 4µL C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> kg<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup> a 10°C, respectivamente.

Diferentes produtos hortícolas têm sido armazenados sob refrigeração associada à atmosfera modificada, com resultados significativos no que diz respeito ao decréscimo na taxa respiratória e retardo no amadurecimento. Pala et al. (1994) constataram retardo em 10 dias no amadurecimento de pimentas acondicionadas em filme de polietileno de baixa densidade e sob refrigeração. Morangos submetidos à atmosfera modificada contendo absorvedor de etileno e a baixas temperaturas apresentaram redução na taxa respiratória e aumento de vida útil em 10 dias (Hao e Hao, 1993).

Foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos para os três parâmetros de cor (L\*, a\* e b\*) com o decorrer do armazenamento. O parâmetro L\* mostrou diferença (P<0,05) entre as formas de armazenamento a partir do 13º dia após a colheita, assim como para o parâmetro a\*. Para o parâmetro b\*, a diferença se deu dois dias depois, isto é, no 15º dia de armazenamento (Tabela 1).

Após 29 dias de armazenamento, os frutos apresentaram cor da casca verde, indicado nos valores sempre negativos do parâmetro de cromaticidade a\* (Tabela 1). Frutos sem sachê apresentaram aumento significativo no valor desse parâmetro, enquanto que aqueles armazenados com sachê não apresentaram diferença (P<0,05) em a\* no período de avaliação. Os valores dos parâmetros b\* e L\* também foram crescentes durante todo o período de armazenamento, sendo que para frutos na presença de sachê tais mudanças foram mais lentas.

Tabela 1 – Características de cor da casca de frutos de mamoeiro ‘Golden’ armazenados sob refrigeração, sem (SS) ou com sachê (CS) contendo absorvedor de etileno. DAC - Dias após a colheita

DAC	Variáveis/Tratamentos					
	L*		a*		b*	
	SS	CS	SS	CS	SS	CS
1	57,9Ca	58,7 EDCa	-17,0 Ea	-16,4Aa	40,7 Ga	42,4 Da
3	59,4Ca	58,1 EDa	-15,8EDa	-18,0Aa	45,2GFEa	44,2DCBa
5	57,2Ca	57,2 Ea	-17,9 Ea	-16,9Aa	43,5GFEa	44,4DCBa
7	59,0Ca	57,2 Ea	-16,6 Ea	-17,4Aa	45,8GFEa	43,7 DCa
9	59,8Ca	57,4 Ea	-15,7 EDa	-17,1 Aa	43,0 GFa	41,8 Da
11	59,5Ca	59,1 EDCBa	-16,4 Ea	-16,7 Aa	42,9 GFa	43,9 DCa
13	62,4CBa	59,1 EDCBb	-13,2EDCa	-17,4 Ab	49,8EDCa	46,9DCBAa
15	62,7CBa	59,3EDCBAb	-12,8EDCBA	-15,8 Aa	48,5FEDa	44,3DCBb
17	66,3BAa	60,9EDCBAb	-12,2 EDCBa	-15,2 Aa	49,5FEDa	45,9DCBAa
19	67,7BAa	64,8EDCBAa	-9,2 DCBAa	-14,5 Ab	53,0DCBa	50,2 CBAa
21	68,9Aa	63,5 DCBAb	-8,6 CBAa	-13,6 Ab	56,6 BAa	49,8 CBAb
23	69,9Aa	64,3 BAb	-3,8 Aa	-14,1 Ab	56,3CBAa	47,6DCBAb
25	67,0BAa	62,2EDCBAb	-6,2 BAa	-18,0 Ab	58,0 BAa	48,1 CBAb
27	71,6Aa	64,1 CBAb	-4,7 Aa	-13,3 Ab	59,7 BAa	51,0 Ab
29	71,1Aa	63,7 DCBAb	-4,6 Aa	-14,7 Ab	62,4 Aa	50,6 BAb

Médias seguidas das mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

O ângulo de cor “hue” não apresentou diferença significativa nos frutos armazenados com sachê durante o período de avaliação (Figura 5). Para frutos armazenados sem sachê, foi observado decréscimo significativo para esse parâmetro. A diferença entre os tratamentos foi observada somente a partir do 13º dia de armazenamento. A refrigeração associada ao sachê foi efetiva na manutenção da cor verde da casca.



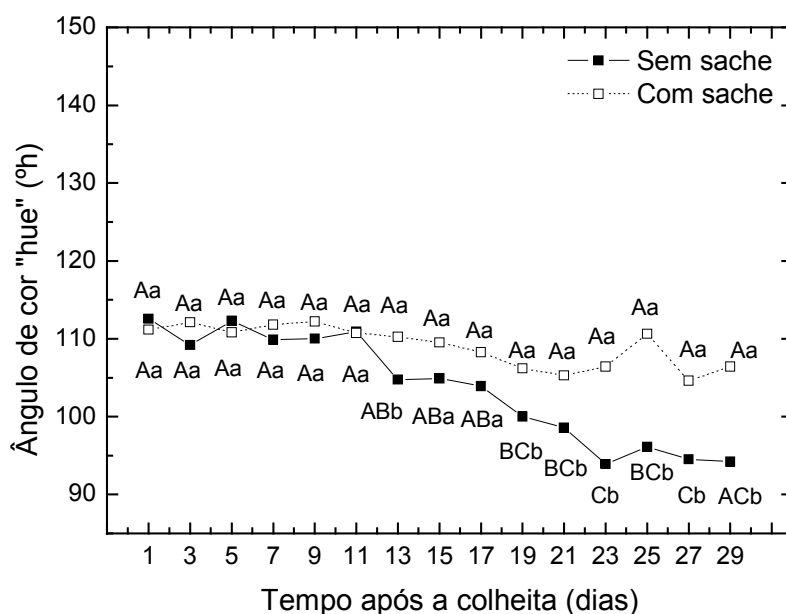


Figura 5 – Ângulo de cor “hue” da casca de mamões durante o armazenamento dos frutos sob refrigeração, sem e com sachê contendo absorvedor de etileno. Médias seguidas das mesmas letras maiúsculas (comparação no período) e minúsculas (comparação entre tratamentos) não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Na Figura 6, pode-se observar o decréscimo significativo na firmeza dos frutos ao longo do período de armazenamento, em ambos os tratamentos. A partir do 5º dia após a colheita, foi observada maior redução na firmeza dos frutos armazenados sem sachê, variando de 66,5 a 32,7N, ou seja, 50,82% de redução na firmeza. A presença do sachê foi efetiva em retardar o amolecimento dos frutos, além de manter a firmeza final em torno de 20N, ideal para o consumo de acordo com Bron et al. (2006).

Silva (1995) verificou que mamões armazenados sob refrigeração e com filme de polietileno de baixa densidade, perderam, aproximadamente, 45% da firmeza da polpa em 6 dias de armazenamento. Pinto et al. (2006) observaram redução na firmeza em 57,27%, a partir do quarto dia pós-colheita para mamões ‘Golden’ sob atmosfera modificada e refrigeração.

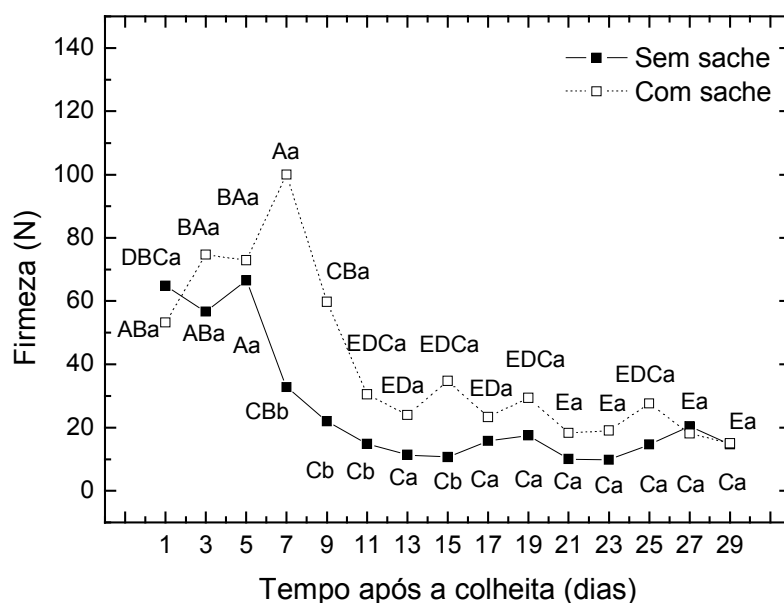


Figura 6 – Firmeza da polpa (N) de mamões durante o armazenamento dos frutos sob refrigeração, sem e com sachê contendo absorvedor de etileno. Médias seguidas das mesmas letras maiúsculas (comparação no período) e minúsculas (comparação entre tratamentos) não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

O conteúdo de sólidos solúveis totais não apresentou alterações significativas durante o período em estudo ou mesmo entre tratamentos (Tabela 2). Os valores médios observados estiveram entre 11,5 a 12,2 e 12,1 a 12,4°Brix para frutos armazenados sem e com sachê, respectivamente. Resultado semelhante foi relatado por Pinto et al. (2006) e Solon et al. (2005) para mamões armazenados sob refrigeração e atmosfera modificada.

De acordo com a Tabela 2, podemos observar que não houve diferença significativa no decorrer do período de armazenamento e entre tratamentos para a variável pH. Para a ATT, a diferença entre os tratamentos foi observada somente no 9º e 29º dias após a colheita, não mostrando qualquer tendência em função do tempo de armazenamento, nem tampouco em função da forma de armazenamento.

Tabela 2 – Características físico-químicas da polpa de frutos de mamoeiro ‘Golden’ armazenados sob refrigeração, sem (SS) ou com sachê (CS) contendo absorvedor de etileno. DAC - Dias após a colheita

DAC	Variáveis/Tratamentos					
	SST (°Brix)		ATT (% Ac. cítrico)		pH	
	SS	CS	SS	CS	SS	CS
1	11,5 <b>Aa</b>	12,1 <b>Aa</b>	0,101 <b>ABa</b>	0,101 <b>ABa</b>	5,5 <b>Aa</b>	5,5 <b>Aa</b>
3	13,0 <b>Aa</b>	12,0 <b>Aa</b>	0,116 <b>Aa</b>	0,116 <b>ABa</b>	5,5 <b>Aa</b>	5,4 <b>Aa</b>
5	12,9 <b>Aa</b>	12,4 <b>Aa</b>	0,123 <b>Aa</b>	0,103 <b>ABa</b>	5,4 <b>Aa</b>	5,5 <b>Aa</b>
7	13,6 <b>Aa</b>	12,0 <b>Ab</b>	0,098 <b>ABa</b>	0,103 <b>ABa</b>	5,5 <b>Aa</b>	5,6 <b>Aa</b>
9	12,8 <b>Aa</b>	12,8 <b>Aa</b>	0,097 <b>ABb</b>	0,102 <b>ABa</b>	5,6 <b>Aa</b>	5,5 <b>Aa</b>
11	13,4 <b>Aa</b>	13,0 <b>Aa</b>	0,114 <b>Aa</b>	0,122 <b>ABa</b>	5,5 <b>Aa</b>	5,4 <b>Aa</b>
13	13,6 <b>Aa</b>	13,6 <b>Aa</b>	0,109 <b>Aa</b>	0,105 <b>ABa</b>	5,6 <b>Aa</b>	5,6 <b>Aa</b>
15	12,4 <b>Aa</b>	12,4 <b>Aa</b>	0,113 <b>Aa</b>	0,119 <b>ABa</b>	5,5 <b>Aa</b>	5,6 <b>Aa</b>
17	12,2 <b>Aa</b>	12,8 <b>Aa</b>	0,104 <b>Aa</b>	0,115 <b>ABa</b>	5,6 <b>Aa</b>	5,6 <b>Aa</b>
19	12,5 <b>Aa</b>	12,8 <b>Aa</b>	0,098 <b>Ba</b>	0,113 <b>Ba</b>	5,7 <b>Aa</b>	5,6 <b>Aa</b>
21	13,0 <b>Aa</b>	13,5 <b>Aa</b>	0,099 <b>ABa</b>	0,112 <b>ABa</b>	5,6 <b>Aa</b>	5,6 <b>Aa</b>
23	13,3 <b>Aa</b>	13,5 <b>Aa</b>	0,111 <b>Aa</b>	0,111 <b>ABa</b>	5,6 <b>Aa</b>	5,7 <b>Aa</b>
25	13,5 <b>Aa</b>	12,4 <b>Aa</b>	0,090 <b>ABa</b>	0,090 <b>Ba</b>	5,5 <b>Aa</b>	5,5 <b>Aa</b>
27	13,0 <b>Aa</b>	13,0 <b>Aa</b>	0,092 <b>ABa</b>	0,104 <b>ABa</b>	5,7 <b>Aa</b>	5,6 <b>Aa</b>
29	12,2 <b>Aa</b>	12,4 <b>Aa</b>	0,100 <b>ABb</b>	0,128 <b>Aa</b>	5,8 <b>Aa</b>	5,5 <b>Aa</b>

Médias seguidas das mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

A desidratação dos frutos é indesejável, pois, mesmo que relativamente baixa, pode exercer sérios efeitos sobre as propriedades físicas, nutricionais, econômicas e sensoriais do produto (Pantastico et al., 1979). Segundo Wills et al. (1998), valores de 5% de perda de massa fresca são suficientes para promover murcha, enrugamento e perda de consistência na maioria dos frutos e hortaliças. A perda de massa fresca, representada principalmente pela perda de água, também influencia nas taxas em que o amaciamento da polpa ocorre e apresenta relação direta com a temperatura de armazenamento (Johnston et al., 2001).

Sigrist (1988) acrescenta que, quanto menor a temperatura e maior a umidade relativa, menor será a transpiração do fruto. Este fato justifica o uso da refrigeração associada a embalagens e controle da umidade relativa do ar.

No presente trabalho, a significativa perda de massa fresca foi observada durante todo o período em estudo. A diferença entre os tratamentos ocorreu a partir do 3º dia após a colheita, aumentando até o final do armazenamento. Os frutos armazenados sem o sachê apresentaram redução da massa fresca de 9% no 29º dia de armazenamento, enquanto que, para o mesmo período analisado, os frutos armazenados na presença do sachê mostraram redução de 6% na massa fresca (Figura 7). A perda de água e a decomposição natural do fruto foram retardadas com o uso do sachê contendo absorvedor de etileno.

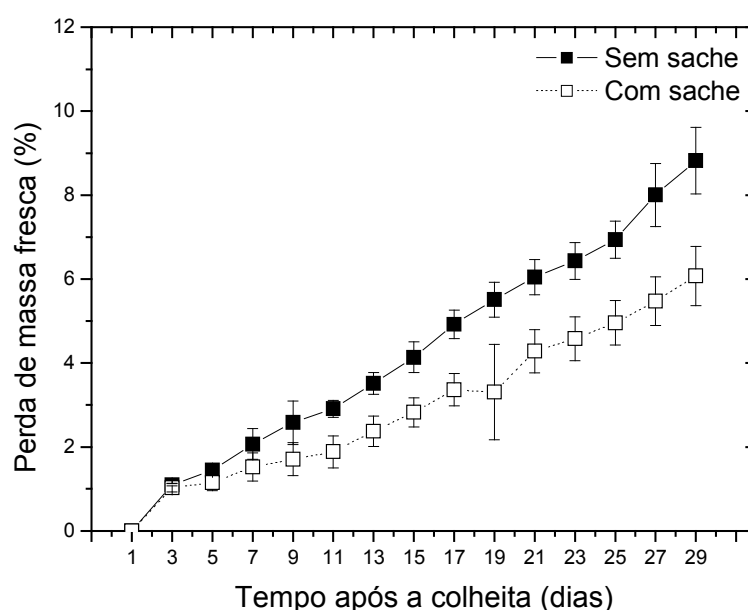


Figura 7 – Perda de massa fresca (%) de frutos de mamoeiro ‘Golden’ em diferentes estádios de maturação, armazenados na presença ou não de sachê contendo absorvedor de etileno, sob refrigeração.

Solon et al. (2005) verificaram a perda de massa fresca de mamões Formosa ‘Tainung’ armazenados sob refrigeração e atmosfera modificada. Frutos nestas condições apresentaram a menor perda (5,51%) ao final de 38 dias de armazenamento. Ainda para mamões do grupo Formosa, Rocha et al. (2005) observaram que as menores perdas foram entre 8 e 10°C. A 12°C, após 28 dias, constatou-se murchamento e perda de massa de, aproximadamente, 10% e, após 35 dias, esse valor subiu para 12%. A perda de massa fresca de frutos do grupo Solo analisada por Pinto et al. (2006) foi de 9,17 % para frutos não-embalados, enquanto que para os embalados a perda foi de 6,24% ao final do período de 32 dias de armazenamento sob refrigeração.

Yamashita et al. (2001) observaram que a taxa de perda de massa fresca de manga 'Tommy Atkins' embalada com filme de PVC sob refrigeração foi 3,5 vezes menor do que a dos frutos controle sem embalagem.

A análise conjunta dos resultados obtidos para perda de massa e redução da firmeza dos frutos permite dizer que a vida útil do mamão embalado com sachê foi de 26 dias contra o máximo de 17 dias naqueles embalados sem sachê, tomando-se por base o limite de 5% de perda de massa descrito por Bron et al. (2006). Frutos com sachê armazenados por 29 dias ainda apresentavam boa aparência, mas sem valores mínimos de firmeza necessários para garantir o transporte até a residência do consumidor.

No presente trabalho, não foi observada diferença significativa entre os tratamentos na atividade da enzima  $\beta$ -galactosidase. Frutos armazenados na presença ou ausência do sachê apresentaram a mesma tendência durante todo o período de armazenamento (Figura 8). Provavelmente, a redução na firmeza dos frutos, mesmo sob refrigeração, foi devida à elevação da atividade da PME e PG durante o amadurecimento. Foi observado, também, que, sob baixa temperatura, essa enzima mostra atividade reduzida quando comparada à dos frutos armazenados à temperatura ambiente.

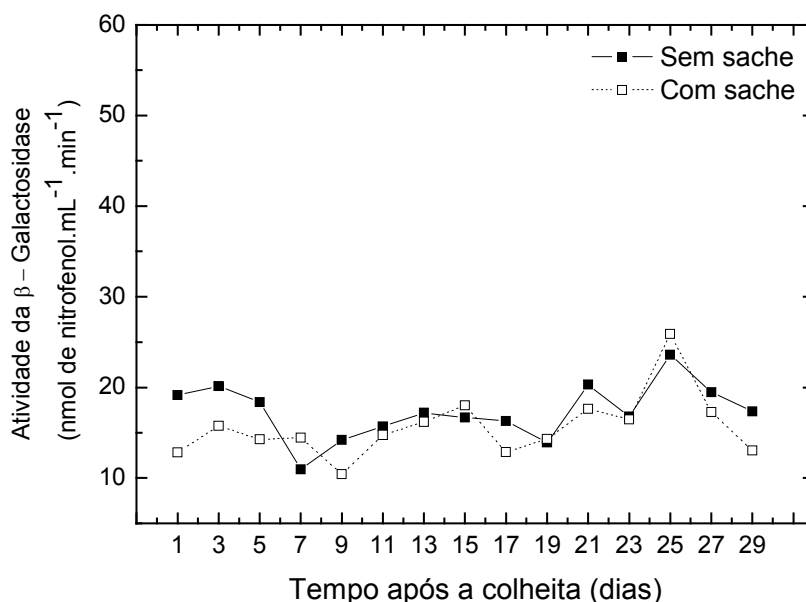


Figura 8 – Atividade da enzima  $\beta$ -galactosidase em frutos de mamoeiro 'Golden' armazenados sob refrigeração, na presença ou não de sachê contendo absorvedor de etileno.

Em geral, com a redução da temperatura de armazenamento, a atividade metabólica dos produtos diminui, minimizando as perdas dos atributos de qualidade dos frutos. Para a atividade das enzimas, esta tendência não é diferente.

Verificou-se perda da qualidade da aparência externa dos frutos sem sachê com o aumento do período de armazenamento. Os frutos armazenados sem sachê, depois de 23 dias de armazenamento refrigerado, apresentaram o início de desenvolvimento de manchas de senescência. Estas não foram observadas para frutos armazenados na presença do sachê (Figura 9).

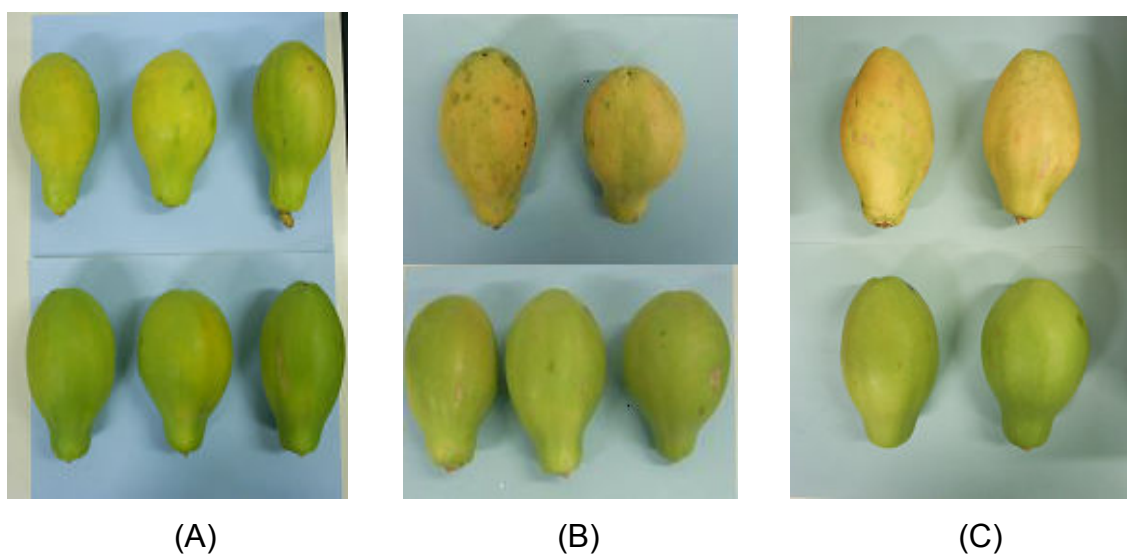


Figura 9 - Fotografias de mamão 'Golden' em diferentes estágios de maturação, armazenados na presença ou não de sachê contendo absorvedor de etileno sob refrigeração. Frutos aos 21 (A), 23 (B) e 29 (C) dias após a colheita. Frutos na parte de cima correspondem ao armazenamento sem sachê, frutos na parte de baixo, com sachê.

O armazenamento sob baixas temperaturas reduz a velocidade dos processos fisiológicos associados ao amadurecimento e também ao crescimento de fungos. No presente trabalho, não foi observado o desenvolvimento de fungos no período analisado. Resultado este que difere dos relatados por Thompson e Lee (1971), que afirmam que o armazenamento de mamão em embalagem de polietileno reduz a perda de massa, mas aumenta o desenvolvimento de fungos.

### 3.4. Conclusão

O armazenamento sob refrigeração associado à atmosfera modificada e sachê contendo absorvedor de etileno foi muito eficiente na extensão da vida útil dos frutos. O metabolismo dos frutos foi retardado, sendo mais evidente na manutenção

da cor verde da casca, na firmeza e pouca perda de massa fresca dos frutos. Ainda, não foi observado o desenvolvimento de doenças pós-colheita, alcançando 29 dias de armazenamento. Os frutos armazenados com sachê apresentaram aparência externa superior quando comparados aos armazenados sem sachê. Pode-se concluir que a vida útil do mamão embalado com sachê é de 26 dias, considerando-se a análise conjunta dos resultados.

### 3.5. Referências Bibliográficas

Association of Official Analytical Chemists (1998) - A.O.A.C. Official methods of analyses. 16 Ed. Washington, DC: 1018 p.

Awad, M. (1993) *Fisiologia pós-colheita de frutos*. São Paulo: Nobel, 114p.

Botrel, N., Carvalho, V.D. (1993) Efeito do peso do fruto no escurecimento interno e qualidade do abacaxi "Smooth Cayenne". *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 28 (6): 733-742.

Brackmann, A., Argenta, L.C., Mazaro, S.M. (1995) Concentração de O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> na qualidade de maçãs (*Malus domestica* Bork) cv Gala, armazenadas a 0,5°C e 2,5°C. *Revista Brasileira de Agrociência* 2 (1): 51-56.

Bron, I.U., Jacomino, A.P., Pinheiro, A.L. (2006) Influence of ripening stage on physical and chemical attributes of 'Golden' papaya fruit treated with 1-Methylcyclopropene. *Bragantia* 65 (4): 553-558.

Chen, N.M., Paull, R.E. (1986) Development and prevention of chilling injury in papaya fruit. *Journal America Society HortScience* 114 (4): 639-643.

Chitarra, M.I.F., Chitarra, A.B. (2005) *Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio*. 2<sup>a</sup> ed. Lavras: UFLA, 785p.

Claypool, L.L., Davis, L.D. (1959) The effect of cold and modified atmosphere storage on the canning quality of cling peaches. *Food Technology* 13 (3): 208-211.

Da Silva, M.G., Santos, E.O., Stel, M.S., Cardoso, S.L., Cavalli, A., Monteiro, A.R., De Oliveira, J.G., Pereira, M.G., Vargas, H. (2003) Effect of heat treatment on ethylene and CO<sub>2</sub> emissions rates during papaya (*C. papaya* L.) fruit ripening. *Review of Scientific Instruments* 74(1): 703-705.

Fonseca, M.J. de O. (2002) *Conservação pós-colheita de mamão (Carica papaya L.): análise das cultivares sunrise solo e Golden, sob controle de temperatura e da atmosfera*. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) Campos dos Goytacazes - RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, 177p.

Fonseca, M.J.O., Leal, N.R., Cenci, S.A., Cecon, P.R., Bressan-Smith, R.E., Soares, A.G. (2006) Emissão de etileno e de CO<sub>2</sub> em mamão 'Sunrise Solo' e 'Golden'. *Revista Brasileira de Fruticultura* 28 (2): 322-324.

Gianinetti, A., Laarhoven, L.J.J., Persijn, S.T., Harren, F.J.M., Petruzzelli, L. (2007) Ethylene production is associated to germination but not to seed dormancy in red rice. *Annals of Botany* 99: 735-745.

Harren, F.J.M., Bijnen, F.G.C., Reuss, J., Voeselek, L.A.C.J., Blom, C.W.P.M. (1990) Sensitive intracavity photoacoustic measurements with a CO<sub>2</sub> wave guide laser. *Applied Physics B* 50: 137-144.

Hao, H.P., Hao, L. (1993) Study on storing strawberry at a temperature near the freezing point of water. *Journal of Fruit Science* 10 (1): 21-24.

Johnston, J.W., Hewett, E.W., Banks, N.H., Harker, F.R., Hertog, M.L.A.T.M. (2001) Physical change in apple texture with fruit temperature: effects of cultivar and time in storage. *Postharvest Biology and Technology* 3: 13-21.

Kader, A.A. (1986) Biochemical and physiological basis for effects of controlled and modified atmosphere on fruit and vegetables. *Food Technology* 40 (5): 99-104.

Kader, A.A., Zagory, D., Kerbel, E. L. (1989) Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 28: 1-30.

Kader, A.A. Recommendations for maintaining postharvest quality "papaya"; <http://postharvest.ucdavis.edu/produce/producefacts/fruits/papaya.html>) em 10/09/2005 página mantida pelo Department of Pomology, University of California, Davis, CA.

McGuire, R.G. (1992) Reporting of objective color measurements. *HortScience* 27: 1254-1255.

Oliveira, J.G., Pereira, M.G., Martelleto, L.A.P., Ide, C.D. (2005) Mancha fisiológica do mamão: uma perspectiva de obtenção de material genético tolerante. *Revista Brasileira de Fruticultura* 27 (3): 458-461.

Pala, M., Damarli, E., Alikasifoglu, K. (1994) A study of quality parameters in green pepper packaged in polymeric films. In: Symposium International of Refrigeration, Istanbul. Anais... Istambul: p.305-316.

Pantastico, E.B., Chanttopadhyay, T.K., Subramanyam, H. (1979) Almacenamiento y operaciones comerciales de almacenaje. In: Pantastico, E.B. (Ed.). Fisiología de la postrecolección manejo y utilización de frutas y hortalizas tropicales y subtropicales. Mexico: Compañía Editorial Continental, p.375-405.

Pinto, L.K.A., Martins, M.L.L., Resende, E.D., Alameida, R.F., Vitorazi, L., Pereira, S.M.F. (2006) Influência da atmosfera modificada por filmes plásticos sobre a qualidade do mamão armazenado sob refrigeração. *Ciência e Tecnologia de Alimentos* 26 (4): 744-748.

Rocha, R.H.C., Nascimento, S.R.C., Menezes, J.B., Nunes, G.H.S., Silva, E.O. (2005) Qualidade pós-colheita do mamão formosa armazenado sob refrigeração. *Revista Brasileira de Fruticultura* 27 (3): 386-389.



Silva, E.O. (1995) Efeito da embalagem plástica e da temperatura sobre a qualidade pós-colheita do mamão. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Viçosa - MG, Universidade Federal de Viçosa – UFV, 65p.

Sigrist, J.M.M. (1988) Transpiração. In: Instituto de Tecnologia de Alimentos (Campinas, SP). *Tecnologia de pós-colheita de frutas tropicais: manual técnico*. Campinas: Cap.2, p.21-27.

Solon, K.N., Menezes, J.B., Medeiros, M.K.M., Aroucha, E.M.M., Mendes, M.O. (2005) Conservação pós-colheita do mamão formosa produzido no vale do Assu sob atmosfera modificada. *Caatinga* 18 (2): 105-111.

Thompson, A.K., Lee, G.R. (1971) Factors affecting the storage behavior of papaya fruit. *Journal of Horticultural Science* 46: 511–516.

Vicente, A.R., Costa, M.L., Martinez, G.A., Chaves, A.R., Civello, P.M. (2005) Effect of heat treatment on cell wall degradation and softening in strawberry fruit. *Postharvest Biology and Technology* 38: 213-222.

Voesenek, L.A.C.J., Harren, F.J.M., Bogemann, G.M., Blom, C.W.P.M., Reuss, J. (1990) Ethylene production and petiole growth in Rumex plants induced by soil water logging: the application of a continuous flow system and a laser-driven intracavity photoacoustic detection system. *Plant Physiology* 94: 1071-1077.

Voesenek, L.A.C.J., Banga, M., Rijnders, J.H.G.M., Visser, E.J.W., Harren, F.J.M., Brailsford, R.W., Jackson, M.B., Blom, C.W.P.M. (1997) Laser-driven photoacoustic spectroscopy: what we can do with it in flooding research. *Annals of Botany* 79: 57-65.

Wang, C.Y. (1989) *Relation of chilling stress to ethylene production* In: Li, P.H. (Ed.), Low Temperature Stress Physiology in Crops, CRC Press, Boca Raton, Florida, pp.167-189.

Wills, R., McGlasson, B., Graham, D., Joyce, D. (1998) Postharvest: an introduction to the physiology & handling of fruit, vegetables & ornamentals. 4<sup>th</sup> ed. Wallingford: New South Wales University Press, 262p.

Woltering, E.J., Harren, F.J.M., Boerrigter, H.A.M. (1988) Use of a laser driven photoacoustic detection system for measurements of ethylene production in cymbidium flowers. *Plant Physiology* 88: 506-510.

Yamashita, F., Tonzar, A.M.C., Fernandez, J.G., Morya, S., Benasi, M.T. (2001) Embalagem individual de mangas cv Tommy Atkins em filme de plástico: efeito sobre a vida de prateleira. *Revista Brasileira de Fruticultura* 23 (2): 288-292.

Yon, R.M., Rahman, A.S.A., (1997) MA shipment of papaya cv. Eksotika. In: Proceedings of the Seventh International Controlled Atmosphere Research Conference, University of California Postharvest 5 Horticulture Series 17. 3, pp. 198-224.

#### 4. Análise da vida útil de frutos de mamoeiro após armazenamento sob atmosfera modificada e refrigeração.

**Resumo** – O presente trabalho teve por objetivo a avaliação da eficiência de um absorvedor de etileno comercial associado à atmosfera modificada (filme de PVC) na conservação de mamões ‘Golden’, em temperatura ambiente, após 29 dias de refrigeração. As características físicas, químicas e fisiológicas de frutos armazenados sob temperatura ambiente ( $24\pm 2^{\circ}\text{C}$ ,  $70\pm 5\%$  UR) após 29 dias de refrigeração ( $10\pm 2^{\circ}\text{C}$ ,  $80\pm 5\%$  UR) foram investigadas. Para a determinação da emissão de etileno, foi utilizado um espectrômetro fotoacústico acoplado a um laser de  $\text{CO}_2$ . Disposto em série ao equipamento, um analisador infravermelho comercial de gás foi utilizado para monitorar a emissão de  $\text{CO}_2$ . Após a retirada dos frutos da câmara fria, verificou-se atraso no desenvolvimento da cor amarela da casca, no amaciamento da polpa e perda de massa fresca em frutos armazenados na presença do sachê. Para frutos armazenados na ausência do sachê, foi observada perda da qualidade da aparência externa logo após a retirada da câmara fria. Esses frutos tiveram maior deterioração, principalmente devido ao aparecimento de manchas de senescência, murchamento e ocorrência de podridões. Os agentes causais das doenças pós-colheita observadas foram fungos do gênero *Colletotrichum* e *Phomopsis*. Os frutos armazenados na presença do sachê permaneceram comercializáveis por 6 dias após a retirada da condição de refrigeração.

**Palavras-chave:** *Carica papaya* L., absorvedor de etileno, vida de prateleira, amadurecimento.

**Abstract** – The aim of the present study was to assess of the efficiency of a commercial ethylene absorber in an atmosphere modified by the presence of PVC film. Physico-chemical characteristics and ethylene and carbon dioxide emission from papayas ‘Golden’, stored under room temperature ( $24\pm 2^{\circ}\text{C}$ ,  $70\pm 5\%$  UR) before 29 days of refrigeration ( $10\pm 2^{\circ}\text{C}$ ,  $80\pm 5\%$  RH) were investigated. Ethylene production was monitored in a laser driven photoacoustic detection system based on infrared absorption. The  $\text{CO}_2$  evolution was determined by a commercial gas analyzer. After harvest under refrigerated condition a delay in the development of yellow skin color, softening and weight loss of fruits stored in the presence of the sachet was observed.

For fruit stored without the sachet was observed loss in the external appearance quality when transferred for room temperature conditions. These fruits have further deterioration mainly due to senescence spots, shriveling and rotting. The fungi observed were *Colletrotrichum* and *Phomopsis* and were the main cause of post-harvest decay. The fruit stored in the presence of the sachet remained marketable for 6 days after the withdrawal of refrigeration condition.

**Keywords:** *Carica papaya* L., ethylene absorber, shelf life, ripening.

#### 4.1. Introdução

De acordo com relatórios de inspeção do USDA (United States Department of Agriculture), os problemas mais freqüentemente encontrados nos carregamentos de mamões para os EUA foram a incidência de antracnose e frutos excessivamente maduros e amassados (Cappellini et al., 1988). Atualmente, os problemas de qualidade observados no mercado incluem a falta de padronização de frutos, danos mecânicos, manchas na casca (sardas), desidratação além do sabor e doçura. Outro problema freqüente é o desenvolvimento de doenças pós-colheita, associadas em alguns casos, a danos causados pelo frio (Chen et al., 2007). Dessa forma, faz-se necessário adotar condições especiais de manuseio, transporte e armazenamento dos frutos para atingir o mercado consumidor com maior eficiência e qualidade do produto.

O uso de embalagens plásticas além de reduzir a perda de água pela transpiração, também reduz o metabolismo que leva à senescência pelo ataque de fungos causadores de podridões, reduz o aparecimento de danos causados por longa exposição ao frio e aumenta a vida pós-colheita (Moleyar e Narasimham, 1994; Yahia, 1998).

Temperaturas compreendidas entre 9 e 12°C, com umidade mínima de 80% são, geralmente, as mais utilizadas para o armazenamento do mamão (Chen e Paull, 1986; Paull et al., 1997).

A injúria pelo frio é uma desordem fisiológica observada nos tecidos das plantas, resultante da exposição a temperaturas de refrigeração abaixo da crítica. Esta temperatura varia de acordo com a cultivar e tempo de exposição dos frutos (Couey, 1982). De acordo com Chen e Paull (1986), frutos em estádios de maturação mais avançados são mais resistentes ao aparecimento deste distúrbio. Entre os sintomas, observam-se lesões de superfície (escurecimento, áreas

deprimidas, despigmentação), exsudação da polpa, inibição do amadurecimento, aceleração da senescência e suscetibilidade à contaminação por microorganismos (Morris, 1982). Os sintomas mais comuns da injúria pelo frio em frutos de mamoeiro são o escurecimento e a depressão de pequenas áreas da casca, amadurecimento retardado e coloração manchada na casca (Couey, 1982). O escurecimento e a depressão de pequenas áreas da casca de mamões 'Golden' foram observados por Almeida et al. (2005) a partir do sexto dia de armazenamento a 6°C.

As doenças na fase de pós-colheita constituem o principal fator limitante ao aumento da produção e exportação do mamão. A maioria das doenças que se manifestam na etapa de pós-colheita tem início na floração como infecção latente e nos frutos em início de desenvolvimento, como por exemplo, antracnose e podridão peduncular. A penetração do fungo se dá através de ferimentos causados por insetos, de lesões que aparecem durante o manuseio do fruto e também pela cavidade floral. Pode, também, ocorrer a penetração direta pela superfície intacta do fruto, após prévia formação de apressórios (Alvarez e Nishijima, 1987; Junqueira, 2000).

As doenças de maior importância na pós-colheita de mamão são a antracnose (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz.) e a podridão peduncular, causadas por diversos fungos (*C. gloeosporioides* e *Phoma caricae-papayae* (Tar Punith.) (Liberato e Tatagiba, 2001). Tem sido relatado que a incidência e gravidade de doenças pós-colheita em mamão aumentam consideravelmente após o armazenamento refrigerado dos frutos (Nunes et al., 2006).

O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar a vida útil de mamões 'Golden' após armazenamento refrigerado associado à atmosfera modificada e ao absorvedor de etileno comercial.

## **4.2. Material e Métodos**

Para a realização deste trabalho, foram utilizados frutos de mamoeiro 'Golden', padrão exportação, provenientes de pomar comercial (Caliman Agrícola S/A) situado em Linhares, ES. Os frutos receberam tratamento hidrotérmico na própria empresa, acondicionados em caixas de papelão e transportados para o Laboratório de Ciências Físicas da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, em Campos dos Goytacazes, RJ.

Caixas contendo 9 frutos de, aproximadamente, 400g cada, no estágio de maturação zero, foram envoltas com filme flexível de cloreto de polivinila (PVC), de 10 $\mu$ m de espessura, na presença ou não de sachê contendo absorvedor de etileno (10g) de nome comercial "Always Fresh<sup>®</sup>". As caixas foram armazenadas sob refrigeração (10 $\pm$ 2°C e 80 $\pm$ 5% UR) com controle de umidade relativa e temperatura (termohigrômetro digital marca Spectrum Technologies INC. modelo 250).

Após 29 dias de armazenamento refrigerado, com o intuito de simular o tempo decorrido em transporte marítimo, os frutos foram retirados da câmara fria e armazenados em laboratório para acompanhar o amadurecimento. As caixas ainda envoltas com PVC foram mantidas à temperatura ambiente na tentativa de simular um período extra de tempo, necessário à comercialização. As análises físico-químicas, assim como a taxa de emissão de etileno e de dióxido de carbono, foram realizadas um dia após a colheita, no dia em que as caixas foram retiradas da câmara e em intervalos de dois dias.

O experimento seguiu arranjo fatorial 2x4, cujos fatores e níveis foram: formas de acondicionamento (caixa sem e com sachê contendo absorvedor de etileno) e períodos de armazenamento (0, 2, 4 e 6 dias depois de retirados da câmara fria) com três repetições. A unidade experimental consistiu de uma caixa contendo nove frutos, da qual três eram retirados aleatoriamente para análises físico-químicas. Os dados foram interpretados por meio de análise de variância com auxílio do sistema SISVAR. As médias dos fatores foram comparadas utilizando-se o teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

#### **4.2.1. Determinação da taxa de emissão de etileno e atividade respiratória**

Para a determinação da emissão de etileno, foi utilizado um espectrômetro fotoacústico acoplado a um laser de CO<sub>2</sub>. Um analisador infravermelho comercial de gás modelo URAS 14 (ABB), que monitora emissão de dióxido de carbono, foi disposto em série ao equipamento (Figura 1).

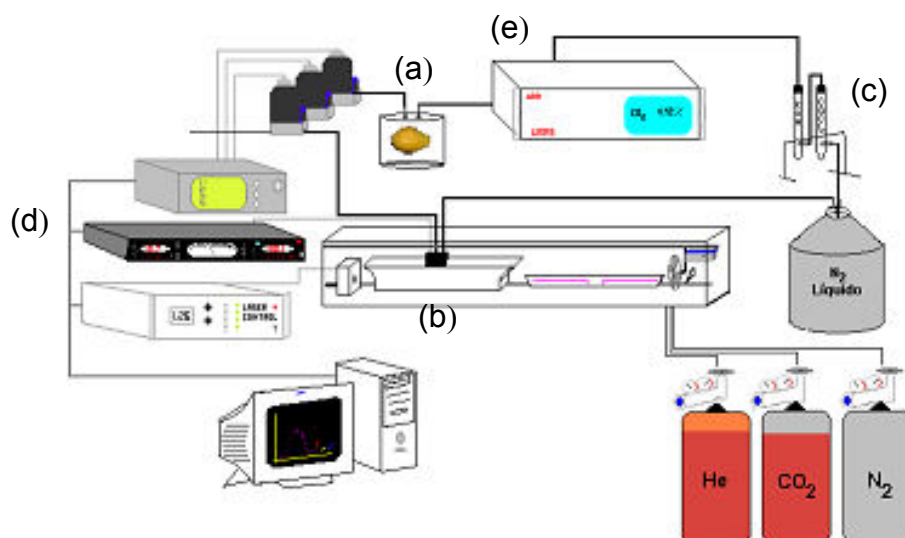


Figura 1 - Diagrama da montagem experimental do espectrômetro fotoacústico e URAS 14 usado para monitorar a emissão de etileno e CO<sub>2</sub>, respectivamente. (a) cubeta; (b) célula fotoacústica; (c) filtros; (d) processador de sinal *lock-in*; (e) URAS 14.

Os frutos foram colocados individualmente em cubetas (1L) sendo os gases emitidos arrastados num fluxo de aproximadamente 2L.h<sup>-1</sup> para o analisador URAS 14. A amostra gasosa foi, então, carregada através de filtros contendo KOH, CaCl<sub>2</sub> com o objetivo de eliminar CO<sub>2</sub> e água, respectivamente, além de uma armadilha fria contendo nitrogênio líquido. Com os valores de fluxo (F), massa dos frutos (m) e concentração do gás analisado (C), as taxas de emissão de etileno e CO<sub>2</sub> foram calculadas ( $Taxa = C(\text{ppm}) \times F(\text{L.h}^{-1}) / m(\text{Kg})$ ). O sistema foi diariamente calibrado usando-se mistura gasosa de etileno sintético, na concentração de 1 ppm. Para cada condição experimental, três repetições foram realizadas em condições de laboratório.

## 4.2.2. Análises físico-químicas

### 4.2.2.1. Coloração da casca

A coloração da casca foi determinada utilizando-se um colorímetro Minolta modelo CR-300. Medidas em três pontos equidistantes na região equatorial dos frutos foram realizadas e os resultados foram expressos por meio do ângulo de cor “hue” e parâmetros de Hunter. Nesta escala, o índice L\* refere-se à luminosidade, variando de 0 (para amostra perfeitamente preta) a 100 (para amostra perfeitamente branca); já o índice a\* varia da cor verde (sinal negativo) ao vermelho (sinal positivo), e b\* do azul (sinal negativo) ao amarelo (sinal positivo) (Figura 2). Valores de a\* e b\*

iguais a zero equivalem à cor cinza. O ângulo de cor “hue” ( $h^\circ$ ) define a coloração básica, onde  $0^\circ$  = vermelho,  $90^\circ$  = amarelo,  $180^\circ$  = verde e  $270^\circ$  = azul (McGuire, 1992).

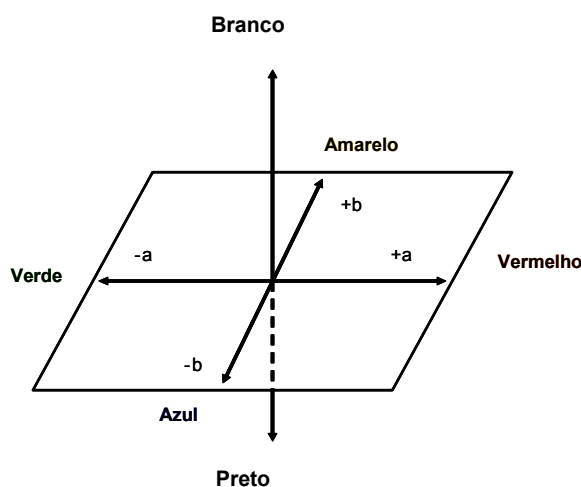


Figura 2 – Esquema representativo do espaço colorido de Hunter.

#### 4.2.2.2. Firmeza

As medidas foram realizadas em três pontos eqüidistantes na região equatorial da polpa dos frutos. Foi utilizado um penetrômetro digital de bancada TR Turoni, modelo 53205, com sonda de 8 mm de diâmetro e 8 cm de altura. A resistência à penetração da ponteira tem variação de 0,05 a 196 N.

#### 4.2.2.3. Sólidos solúveis totais (SST)

O teor de sólidos solúveis totais foi obtido por meio de um refratômetro manual (SAMMAR) que fornece medidas diretas em  $^\circ\text{Brix}$ , a partir da extração de suco da polpa.

#### 4.2.2.4. pH e acidez total titulável (ATT)

Para as análises de pH e acidez total titulável, 30g de polpa foram retiradas e homogeneizadas em 50mL de água destilada. As medidas de pH foram realizadas por meio de determinação potenciométrica, utilizando-se um pHmêtro digital marca pH 330/SET. Em seguida, a determinação da acidez foi realizada por meio de titulação com solução de hidróxido de sódio 0,1N de acordo com A.O.A.C. (1998). Em função da coloração da polpa dos frutos (rósea), utilizou-se o valor de pH 8,2 para determinar o ponto final da titulação. Os resultados foram expressos em percentagem de ácido cítrico, utilizando-se a fórmula:

$$\text{ATT (\% de ácido cítrico)} = \frac{V * f * N * PE}{P} \times 100$$

Onde: V= volume (mL) de NaOH gasto na titulação, f= fator de correção, N= normalidade do NaOH, PE= peso equivalente grama do ácido cítrico, P= massa da amostra (g).

#### 4.2.2.5. Perda de massa

Frutos de cada um dos tratamentos foram reservados para o monitoramento da perda de massa durante o armazenamento. Esta foi determinada pela equação:

$$\text{Perda de massa (\%)} = (1 - M_f / M_o) \times 100$$

Sendo  $M_o$  a massa dos frutos no tempo inicial do armazenamento e  $M_f$  a massa nos dias de análise.

#### 4.2.2.6. Ensaio enzimáticos

##### Poligalacturonase (PG) – E.C. 3.2.1.15

Para a extração da PG, dez gramas da polpa foram homogeneizadas em 30 mL de solução tampão de acetato de sódio 50 mM, pH 5,0 gelado, contendo 1 M de NaCl e 10% de polivinilpirrolidona (PVPP). Após 2 horas, a solução foi filtrada em tecido de algodão e o filtrado centrifugado em centrífuga refrigerada (Hermele Z 382K, Alemanha) a 15.000 g por 30 minutos (Vicente et al., 2005). O sobrenadante foi dialisado em solução tampão de acetato de sódio 50 mM, pH 4,5 para dosagem da atividade da enzima. Todo o processo foi realizado à temperatura de, aproximadamente, 4°C.

A atividade da PG foi determinada por incubação do extrato enzimático com solução de tampão acetato de sódio 0,04 M (pH 5,0) contendo 0,45% de ácido poligalacturônico a 37°C por 1 hora (Pressey e Avants, 1973). A reação foi interrompida pela adição de 1,0 mL de ácido 3,5-dinitrossalicílico (DNS) e, posteriormente, a mistura foi fervida por 5 minutos. A coloração desenvolvida foi determinada por um espectrofotômetro SHIMADZU UV-mini 1240 no comprimento de onda de 540 nm. Os grupos redutores liberados foram determinados segundo o método de Miller (Miller, 1959), usando-se a glicose anidra como padrão. A unidade de atividade enzimática foi definida como a capacidade de a enzima catalisar a



formação de um nmol de açúcar redutor por minuto e por grama de fruto nas condições do ensaio.

#### **$\beta$ -galactosidase – E.C. 3.2.1.23**

Para a extração da  $\beta$ -galactosidase foi utilizado o mesmo procedimento descrito para a PG. A atividade da  $\beta$ -galactosidase foi determinada incubando-se 1,5 mL de 50 mM de tampão acetato de sódio, pH 4,5, contendo 3 mM de p-nitrofenil  $\beta$ -D-galactopiranosídeo com 0,5 mL do extrato enzimático a 40°C, durante 20 minutos. A reação foi paralisada retirando-se alíquotas de 0,150 mL e a estas foram adicionadas 0,5 mL de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 0,4 M. A coloração desenvolvida foi medida por meio de espectrofotômetro SHIMADZU UV-mini 1240 no comprimento de onda de 410 nm. A unidade da enzima foi definida como a variação da absorbância por minuto (Vicente et al., 2005).

#### **Pectinametilesterase (PME) – E.C. 3.1.1.11**

A extração da enzima foi realizada de acordo com Hagerman e Austin (1986). Amostras de 5g de polpa foram homogeneizadas em 40 mL de solução de NaCl 1,0M, pH 7,5 contendo 1,0% de polivinilpirrolidona (PVPP). Esta solução foi centrifugada a 15.000 g durante 30 minutos. No sobrenadante obtido foi determinada a atividade da PME.

A determinação da atividade foi realizada por meio de espectrofotometria, baseada na troca de cor do indicador de pH durante a realização de catálise da PME. À medida que as ligações ésteres da pectina são hidrolisadas, grupos ácidos são produzidos provocando uma redução no pH e, como consequência, ocorre uma alteração na cor do indicador (azul de bromotimol). Esta mudança de cor foi monitorada de forma contínua por meio de um espectrofotômetro Hitachi, modelo U 2000. A atividade da PME corresponde à velocidade inicial da reação.

Como substrato, foi utilizada uma mistura de pectina (citrus), na qual se adicionou azul de bromotimol, ajustado o pH para 7,5. Para a determinação da atividade da PME, 0,8 mL do extrato enzimático foi adicionado a 2,0 mL da solução de pectina contendo o azul de bromotimol e 0,2 mL de NaCl 1 M. Esta solução foi incubada a 25°C e o decréscimo da absorbância a 620 nm monitorada pelo espectrofotômetro por um período de 1 minuto, com leituras em intervalos de 10 segundos. A variação da absorvância por minuto foi convertida para  $\mu$ mol de ácido produzido por minuto através de uma curva de calibração, utilizando-se o ácido

galacturônico como padrão. Uma unidade da PME foi definida como a quantidade de enzima que libera 1  $\mu\text{mol}$  de ácido galacturônico por minuto, por miligrama de proteína. A dosagem de proteína no sobrenadante foi realizada pelo método de Bradford (1976).

### 4.3. Resultados e Discussão

Na Figura 3, pode-se observar os resultados relacionados à emissão de etileno pelos frutos após a retirada da câmara fria. Frutos armazenados sem sachê apresentaram valores médios entre 2,9 e 3,07  $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$  nos quatro primeiros dias após a retirada da câmara fria. Já para frutos armazenados na presença de sachê, foi observado incremento na produção de etileno durante os 8 dias de avaliação após armazenamento refrigerado (36 dias após a colheita). Nos primeiros dias após a retirada da câmara fria, a taxa de emissão de etileno manteve-se pouco variável, com valores entre 0,72 e 0,65  $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$ . Com o decorrer do período de armazenamento à temperatura ambiente, observou-se aumento de, aproximadamente, 3,5 vezes na taxa de emissão de etileno com valor máximo de 2,68  $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$  no 8º dia após a retirada da câmara fria. Frutos embalados sem sachê já não estavam próprios para o consumo aos 6 dias após a retirada da câmara fria.

Estudando a emissão de etileno em mamões 'Golden' armazenados à temperatura ambiente após 11 dias de refrigeração, Bron (2006) relatou que a produção de etileno manteve-se constante com valor de 1,2  $\mu\text{L.kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$  durante os 2 primeiros dias a 23°C. De acordo com a autora, o aumento de, aproximadamente, 2 vezes na taxa de emissão de etileno foi observado a partir daí até o final do amadurecimento.

Na Figura 4, pode-se observar incremento também na taxa respiratória dos frutos logo após a retirada da câmara fria. No 4º dia após a retirada da câmara fria, os frutos armazenados sem sachê apresentaram média de 10,14 mg de  $\text{CO}_2.\text{kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$ , contra 4,52 mg de  $\text{CO}_2.\text{kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$  dos frutos armazenados na presença do sachê. O incremento na respiração era esperado, já que, à temperatura ambiente, os processos metabólicos relacionados ao amadurecimento de frutos climatéricos são acelerados. Este padrão de resposta foi observado também por Bron (2006).

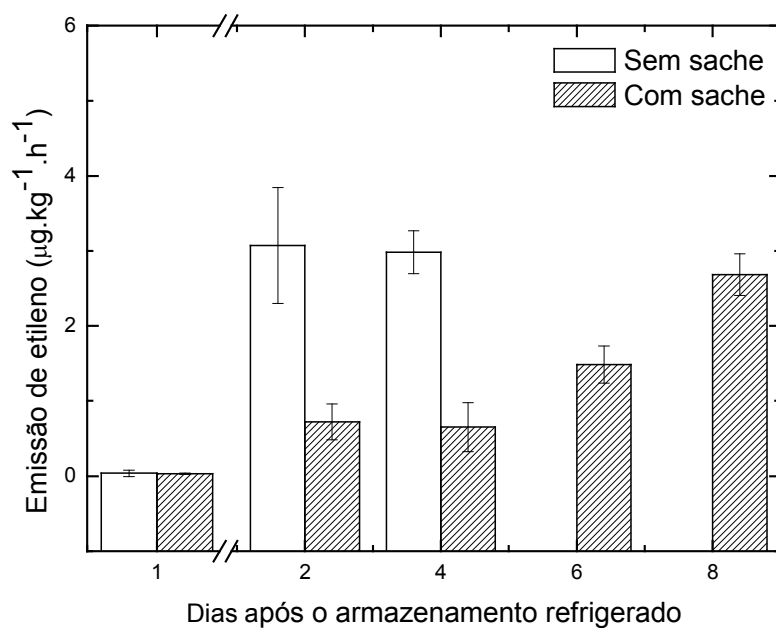


Figura 3 - Taxa de emissão de etileno em mamões 'Golden' após a retirada da câmara fria, armazenados à temperatura ambiente, sem e com sachê contendo absorvedor de etileno.

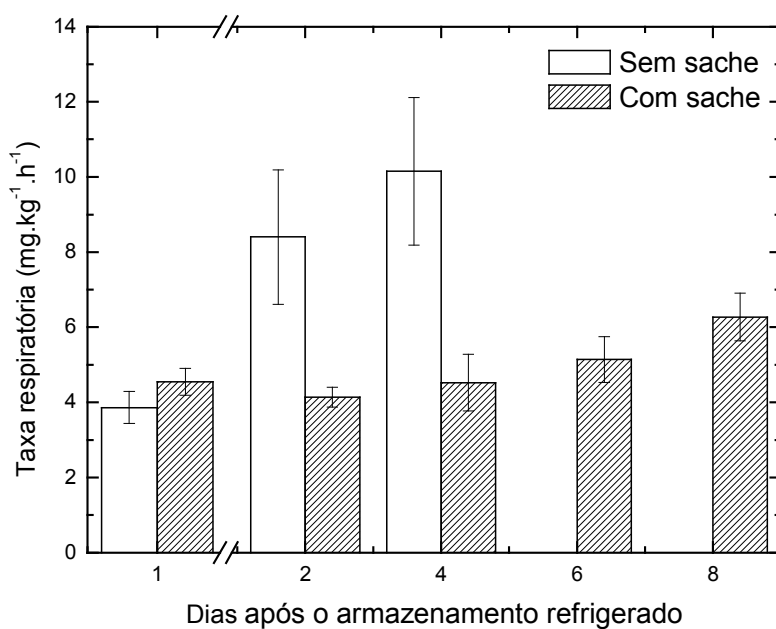


Figura 4 - Taxa respiratória em mamões 'Golden' após a retirada da câmara fria, armazenados à temperatura ambiente, sem e com sachê contendo absorvedor de etileno.

Com relação à coloração da casca, observou-se o incremento da variável L\* (luminosidade) com o decorrer do armazenamento dos frutos nos dois tratamentos (Tabela 1). Os frutos analisados apresentaram valores médios de L\* acima de 50, correspondente a tonalidades claras. Os valores observados para os parâmetros de cromaticidade a\* e b\* também apresentaram incremento significativo durante o período analisado. Os valores do parâmetro a\* indicam a perda da coloração verde da casca dos frutos armazenados sem sachê entre o 2º e 4º dia após a retirada da câmara fria. Os valores do parâmetro a\* tornaram-se positivos, enquanto que nos frutos armazenados com o sachê, esta alteração foi observada somente no 6º dia após a retirada da câmara fria.

Tabela 1 – Características de cor da casca de frutos de mamoeiro ‘Golden’ armazenados à temperatura ambiente após 29 dias sob refrigeração, sem (SS) ou com sachê (CS) contendo absorvedor de etileno.

Dias após refrigeração	Variáveis/Tratamentos					
	L*		a*		b*	
	SS	CS	SS	CS	SS	CS
1	57,9 <b>Ba</b>	58,7 <b>Ca</b>	-17,0 <b>Ca</b>	-16,4 <b>Ca</b>	40,7 <b>Ba</b>	42,4 <b>Da</b>
2	73,4 <b>Aa</b>	66,1 <b>Bb</b>	-3,3 <b>Ba</b>	-13,7 <b>Cb</b>	60,0 <b>Aa</b>	50,3 <b>Cb</b>
4	72,9 <b>Aa</b>	72,6 <b>Aa</b>	1,96 <b>Aa</b>	-4,3 <b>Bb</b>	61,7 <b>Aa</b>	58,2 <b>Ba</b>
6		72,5 <b>A</b>		7,0 <b>A</b>		63,2 <b>BA</b>
8		72,5 <b>A</b>		11,5 <b>A</b>		65,8 <b>A</b>

Médias seguidas das mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

No período posterior à refrigeração, foi observado decréscimo significativo no ângulo de cor “hue” nos frutos de ambos os tratamentos (Tabela 2). A diferença entre os tratamentos foi observada logo após a retirada dos frutos da câmara fria, quando se observaram valores superiores do ângulo de cor “hue” nos frutos armazenados com sachê. O período em que os frutos ficaram sob refrigeração não influenciou na perda de cor verde da casca quando estes foram armazenados à temperatura ambiente.

Os valores médios observados para firmeza da polpa foram decrescentes durante o período em estudo para ambos os tratamentos, mesmo após longo período sob refrigeração. O armazenamento dos frutos com a presença do sachê não influenciou na firmeza dos frutos (Tabela 2).

Tabela 2 – Características de cor ângulo “hue”, firmeza e perda de massa fresca de frutos de mamoeiro ‘Golden’ armazenados à temperatura ambiente após 29 dias sob refrigeração, sem (SS) ou com sachê (CS) contendo absorvedor de etileno.

Dias após refrigeração	Variáveis/Tratamentos					
	Ângulo de cor “hue”		Firmeza (N)		Perda de massa fresca (%)	
	SS	CS	SS	CS	SS	CS
1	112,5 <b>Aa</b>	111,1 <b>Aa</b>	64,8 <b>Aa</b>	53,2 <b>Aa</b>	0,0 <b>Ba</b>	0,0 <b>Ba</b>
2	93,2 <b>Bb</b>	105,1 <b>Ba</b>	17,4 <b>Ba</b>	19,1 <b>Ba</b>	9,91 <b>Aa</b>	6,67 <b>Ab</b>
4	88,4 <b>Bb</b>	94,2 <b>Ca</b>	15,8 <b>Ba</b>	16,5 <b>Ba</b>	11,44 <b>Aa</b>	7,92 <b>Ab</b>
6		83,7 <b>D</b>		14,0 <b>B</b>		8,95 <b>A</b>
8		80,1 <b>D</b>		5,75 <b>B</b>		9,95 <b>A</b>

Médias seguidas das mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

O desenvolvimento de sintomas resultantes da perda de água durante o armazenamento de mamões é fortemente influenciado pelas condições de armazenagem. De acordo com Paull e Chen (1989), perda de massa fresca superior a 8% reduz consideravelmente a qualidade pós-colheita de mamões, resultando em frutos com menor brilho e com aparência de murcho. No presente trabalho, os valores para perda de massa fresca nos frutos armazenados sem e com sachê podem ser considerados altos, tornando os frutos inadequados para a comercialização após a retirada da câmara fria. O armazenamento dos frutos com sachê retardou a rápida perda de massa fresca dos frutos e manteve valores abaixo de 8% até os 4 dias após a retirada da câmara fria (Tabela 2).

O teor de sólidos solúveis totais não apresentou diferença significativa após a retirada dos frutos da condição de refrigeração para ambos os tratamentos, como também, não foi observada diferença ( $P < 0,05$ ) entre os tratamentos (Tabela 3). Para frutos armazenados sem sachê não foi observada diferença na acidez total titulável durante o período analisado. Já para frutos armazenados com sachê, a ATT apresentou incremento no 4º dia após a retirada da câmara fria com posterior redução. Esse aumento está, provavelmente, associado à liberação de ácidos galacturônicos provenientes da hidrólise da pectina presente na parede celular pela pectinametilesterase (Paull et al., 1999). A diminuição da acidez é devida ao processo de respiração, em que alguns ácidos são utilizados como fonte de carbono. Segundo Draetta et al. (1975), o processo de amadurecimento do mamão é sustentado pelo consumo dos ácidos orgânicos, uma vez que o fruto não apresenta

reservas de amido. Não foi observada diferença no pH de frutos armazenados sem sachê após a retirada da câmara fria. Para frutos armazenados com sachê, a diferença foi verificada somente entre o 6º e 8º dia após a retirada da câmara fria (34º e 36º dias após a colheita).

Tabela 3 – Características físico-químicas da polpa de frutos de mamoeiro ‘Golden’ armazenados à temperatura ambiente após 29 dias sob refrigeração, sem (SS) ou com sachê (CS) contendo absorvedor de etileno.

Dias após refrigeração	Variáveis/Tratamentos					
	SST (°Brix)		ATT (% Ac. cítrico)		pH	
	SS	CS	SS	CS	SS	CS
1	11,5 <b>Aa</b>	12,1 <b>Aa</b>	0,10 <b>Aa</b>	0,10 <b>Ba</b>	5,5 <b>Ba</b>	5,5 <b>BAa</b>
2	12,3 <b>Aa</b>	12,6 <b>Aa</b>	0,09 <b>Aa</b>	0,10 <b>Ba</b>	5,8 <b>Aa</b>	5,6 <b>Ab</b>
4	11,9 <b>Aa</b>	12,5 <b>Aa</b>	0,10 <b>Ab</b>	0,15 <b>Aa</b>	5,7 <b>Aa</b>	5,6 <b>Aa</b>
6		12,2 <b>A</b>		0,10 <b>B</b>		5,6 <b>A</b>
8		12,6 <b>A</b>		0,11 <b>B</b>		5,3 <b>B</b>

Médias seguidas das mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Para a enzima  $\beta$ -galactosidase, não foi observada diferença entre os tratamentos nem no período de análise para frutos armazenados sem sachê (Tabela 4). Já para aqueles armazenados com sachê, foi observado incremento na atividade desta enzima. Este aumento da atividade coincidiu com a elevação das taxas de etileno. Para a PG, foram observadas diferenças entre os tratamentos somente no 4º dia após a retirada da câmara fria. Para a PME, foi observada atividade crescente com a maturação para frutos armazenados com e sem sachê. Souza e Oliveira (2007) também observaram aumento na atividade da PME ao longo dos dias de prateleira seguido de redução, em mamões previamente refrigerados e armazenados sob condição de ambiente.

Tabela 4 – Atividade de enzimas da polpa de frutos de mamoeiro ‘Golden’ armazenados à temperatura ambiente após 29 dias sob refrigeração, sem (SS) ou com sachê (CS) contendo absorvedor de etileno.

Dias após refrigeração	Enzima/Tratamento					
	$\beta$ -galactosidase (nmol de nitrofenol. mL <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> )		PG (nmol de glicose.min <sup>-1</sup> .mL <sup>-1</sup> )		PME (nmol.g <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> )	
	SS	CS	SS	CS	SS	CS
1	19,16 <b>Aa</b>	12,83 <b>Ca</b>	2,11 <b>Ba</b>	1,10 <b>Aa</b>	58,48 <b>Aa</b>	58,48 <b>Aa</b>
2	19,57 <b>Aa</b>	21,01 <b>CBa</b>	6,46 <b>Aa</b>	4,45 <b>Aa</b>	10,63 <b>Ba</b>	14,60 <b>BCa</b>
4	23,01 <b>Aa</b>	24,96 <b>CBa</b>	0,0 <b>Bb</b>	3,77 <b>Aa</b>	16,91 <b>Ba</b>	19,73 <b>Ba</b>
6		32,11 <b>BA</b>		0,92 <b>A</b>		13,53 <b>BC</b>
8		38,90 <b>A</b>		1,27 <b>A</b>		8,51 <b>C</b>

Médias seguidas das mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Verificou-se perda da qualidade da aparência externa dos frutos armazenados sem sachê logo após a retirada da câmara fria. Esses frutos tiveram maior deterioração, principalmente devido ao aparecimento de manchas de senescência, desidratação e podridões. As manchas puderam ser observadas depois de dois dias de armazenamento à temperatura ambiente e se apresentavam de forma aleatória na casca dos frutos (Figura 5). Para frutos armazenados na presença de sachê, tais sintomas apareceram tardiamente.



Figura 5 – Fotografias da evolução do amadurecimento de mamões ‘Golden’ após armazenamento em câmara fria. (A) dia em que os frutos foram retirados da câmara fria; (B) quatro dias após a retirada da câmara fria; (C) seis dias após a retirada da

câmara fria. Frutos na parte de cima correspondem ao armazenamento sem sachê, frutos na parte de baixo, com sachê.

Chan et al. (1985) relataram coloração escura na superfície equatorial de mamões a 24°C, previamente armazenados sob refrigeração. Mas para mamões 'Kapoho' colhidos com 60% de cor amarela da casca, esses sintomas não foram observados (Chen e Paull, 1986). An e Paull (1990) relataram que mamões colhidos no estágio verde maduro podem ser armazenados por, aproximadamente, 2-3 semanas em temperatura de 8-10°C e tem, ainda, 1 semana de vida útil quando colocados à temperatura de 22°C. Portanto, o estágio de maturação e a variabilidade entre cultivares não devem ser desprezados.

Com relação a doenças pós-colheita, os fungos encontrados foram os dos gêneros *Colletotrichum* e *Phomopsis*, identificados na Clínica Fitossanitária da UENF. A incidência de podridões em frutos sem sachê foi observada a partir do 2º dia após a retirada da câmara fria, como também observado por Nunes et al. (2006) em mamões cv. Red Lady. Já para aqueles armazenados na presença do sachê, o desenvolvimento de podridões ocorreu após 6 dias à temperatura ambiente. Aos 8 dias, os frutos encontravam-se inadequados para o consumo.

Rocha et al. (2005) observaram redução na qualidade de mamão Formosa devido a danos pelo frio, manchas de senescência e murchamento. Estes autores observaram, aos 35 dias (28 dias sob refrigeração, mais 1 semana sob temperatura ambiente), sintomas severos de doença causada por *C. gloeosporioides*. Resultados semelhantes foram observados por Silva (1995) em mamão 'Sunrise Solo Improved Line 72/12', armazenado a 8°C por 21 dias, acrescido por cinco dias a 22,5°C.

Fonseca et al. (2004) também observaram o desenvolvimento de doenças pós-colheita em mamões armazenados a 22°C após refrigeração, simulando situação de comercialização varejista no mercado europeu. Neste trabalho, verificou-se a ocorrência das doenças Pinta Preta, Antracnose, Mancha Chocolate e Podridão Peduncular.

Dickman e Alvarez (1983) relataram que em frutos ainda imaturos, os sinais de infecção por *C. gloeosporioides* não são perceptíveis. O patógeno permanece quiescente até o fruto atingir a fase pós-climatérica durante o amadurecimento. Em frutos maduros, o fungo penetra através de danos na casca sofridos durante o transporte e armazenamento (Alvarez e Nishijima, 1987).



#### 4.4. Conclusão

A utilização de sachê contendo absorvedor de etileno no armazenamento de mamões 'Golden' foi eficiente na manutenção da qualidade e controle no desenvolvimento de doenças pós-colheita, até 6 dias em temperatura ambiente após 29 dias de armazenamento refrigerado. Mesmo depois de retirados da câmara fria, a vida útil dos frutos com sachê foi de, aproximadamente, uma semana à temperatura ambiente. Assim, a comercialização de frutos por um período de tempo suficiente para alcançar mercados consumidores mais distantes pode ser realizada. Os frutos, na ausência do sachê, apresentaram sintomas de injúria pelo frio e desenvolvimento de fungos 2 dias após a retirada da câmara fria em armazenado à temperatura ambiente.

#### 4.5. Referencias Bibliográficas

Association of Official Analytical Chemists (1998) – A.O.A.C. Official methods of analyses. 16 Ed. Washington, DC: 1018 p.

Alvarez, A.M., Nishijima, W.T. (1987) Post-harvest diseases of papaya. *Plant Disease* 71: 681-686.

An, J.F., Paull, R.E. (1990) Storage temperature and ethylene influence on ripening of papaya fruit. *HortScience* 115: 949-953.

Almeida, R.F., Resende, E.D., Vitorazi, L., Carlos, L.A., Pinto, L.K.A., Da Silva, H.R.F., Martins, M.L.L. (2005) Injúria pelo frio em frutos de mamoeiro (*Carica papaya* L.) cv 'Golden'. *Revista Brasileira de Fruticultura* 27 (1): 17-20.

Bradford, M.M. (1976) A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Annals of Biochemistry* 72: 248-254.

Bron, I.U. (2006) *Amadurecimento do mamão 'Golden': ponto de colheita, bloqueio da ação do etileno e armazenamento refrigerado*. Tese (Doutorado em Agronomia) – Piracicaba – SP, Universidade Estadual Paulista – USP/ESALQ, 66p.

Chan, H.T., Sanxter, S., Couey, H.M. (1985) Electrolyte leakage and ethylene production induced by chilling injury of papayas. *HortScience* 20: 1070-1072.

Chen, N.J., Manenoi, A., Paull, R.E. (2007) Papaya Postharvest physiology and handling – problems and solutions. *Acta Horticulturae* (ISHS) 740: 285-293.

Chen, N.M., Paull, R.E. (1986) Development and prevention of chilling injury in papaya fruit. *Journal America Society HortScience* 114 (4): 639-643.

Couey, H.M. (1982) Chilling injury of crops of tropical and subtropical origin: an overview. *HortScience* 17 (2): 158-162.

Cappellini, R.A., Ceponis, M.J., Lightner, G.W., (1988) Disorders in apricot and papaya shipments to the New York market, 1972–1985. *Plant Disease* 72: 366-368.

Dantas, J.L.L., Lima, J.F. (2001) Seleção e recomendação de variedades de mamoeiro. Avaliação de linhagens e híbridos. *Revista Brasileira de Fruticultura* 23 (3): 617-621.

Dickman, M.B., Alvarez, A.M. (1983) Latent infection of papaya caused by *Colletotrichum gloeosporioides*. *Plant Disease* 67: 748-750.

Draetta, I.S., Shimokami, M., Yokomizo, Y., Fujita, J.T., Menezes, H.C., Bleinroth, E.W. (1975) Transformações bioquímicas do mamão (*Carica papaya* L.) durante a maturação. *Coletânea do Instituto de Tecnologia de Alimentos* 6 (2): 395-408.

Fonseca, M.J.de O., Leal, N.R., Cenci, S.A. (2004) Padrão de ocorrência de doenças em mamão armazenado sob atmosfera controlada. *Revista Brasileira de Fruticultura* 26 (3): 547-549.

Hagerman, A.E., Austin, P.J. (1986) Continuous spectrophotometric assay for plant pectin methyl esterase. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 34 (3): 440-444.

<http://www.ibraf.org.br> Acesso em 02/06/2005.

Junqueira, N.T.V. (2000) *Doenças e pragas*. In: Fruticultura Tropical: 6. Goiaba. Porto Alegre: Cinco Continentes.

Liberato, J.R., Tatagiba, J.S. (2001) Avaliação de fungicidas *in vitro* e em pós-colheita para o controle da antracnose e da podridão peduncular e frutos de mamão. *Summa Phytopathologica* 27 (4): 409-414.

McGuire, R.G. (1992) Reporting of objective color measurements. *HortScience* 27: 1254-1255.

Miller, G.L. (1959) Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical Biochemistry* 31: 426-428.

Moleyar, V., Narasimham, P. (1994) Modified atmosphere packaging of vegetables: an appraisal. *Journal of Food Science and Technology* 31 (4): 267-278.

Morris, L.L. (1982) Chilling injury of horticultural crops: an overview. *HortScience* 17 (2): 157-158.

Nunes, M.C.N., Emond, J.P., Brecht J.K. (2006) Brief deviations from set point temperatures during normal airport handling operations negatively affect the quality of papaya (*Carica papaya*) fruit. *Postharvest Biology and Technology* 41: 328-340.

Paull, R.E., Chen, N.J., (1989) Waxing and plastic wraps influence water loss from papaya fruit during storage and ripening. *Journal of the American Society of Horticultural Science* 114 (6): 937-942.

Paull, R.E., Gross, K., Qiu, Y. (1999) Changes in papaya cell walls during fruit ripening. *Postharvest Biology and Technology* 16 (1): 79-89.

Paull, R.E., Nishijima, W., Reyes, M., Cavaletto, C., (1997). Post-harvest handling and losses during marketing of papaya (*Carica papaya* L). *Postharvest Biology and Technology* 11: 165-179.

Pressey, R., Avants, J.K. (1973) Separation and characterization of endopolygalacturonase and exopolygalacturonase from peaches. *Plant Physiology* 53: 252-256.

Reyes, M.U., Paull, R.E. (1995) Effect of storage temperature and ethylene treatment on guava (*Psidium guajava* L.) fruit ripening. *Postharvest Biology and Technology* 6: 357-365.

Rocha, R.H.C., Nascimento, S.R.C., Menezes, J.B., Nunes, G.H.S., Silva, E.O. (2005) Qualidade pós-colheita do mamão formosa armazenado sob refrigeração. *Revista Brasileira de Fruticultura* 27 (3): 386-389.

Silva, E. de O. (1995) *Efeito da embalagem plástica e da temperatura sobre a qualidade pós-colheita do mamão*. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Viçosa - MG, Universidade Federal de Viçosa – UFV, 74p.

Souza, M.S., Oliveira, J.G. (2007) Alterações na atividade da pectinametilesterase e poligalacturonase em frutos de mamão (*Carica papaya* L.) 'Golden' armazenados a baixa temperatura. *Papaya Brasil: Manejo, qualidade e mercado do mamão*. Eds. Martins, D.S., Costa, A.N., Costa, A.F.S. Vitória: INCAPER p.622-624.

Vicente, A.R., Costa, M.L., Martinez, G.A., Chaves, A.R., Civello, P.M. (2005) Effect of heat treatment on cell wall degradation and softening in strawberry fruit. *Postharvest Biology and Technology* 38: 213-222.

Yahia, E. (1998) Modified and controlled atmospheres for tropical fruits. *Horticultural Reviews* 22: 123-183.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abeles, F.B., Morgan, P.W., Saltveit Jr., M.E. (1992) *Ethylene in plant biology*. Second edition. UK: Academic press, 414p.
- Agrianual (2008) *Anuário da Agricultura Brasileira*. São Paulo: FNP, 504p.
- Agrianual (2002) *Anuário da Agricultura Brasileira*. São Paulo: Argos Comunicação, 536p.
- Ahrens, M.J., Huber, D.J. (1990) Physiology and firmness determination of ripening tomato fruit. *Physiologia Plantarum* 78: 8-14.
- Ali, Z.M., Chin, L.H., Lazan, H. (2004) A comparative study on wall degrading enzymes, pectin modifications and softening during ripening of selected tropical fruits. *Plant Science* 167: 317- 327.
- Almond, D.P., Patel, P.M. (1996) *Photothermal Science and Techniques*. London, UK: Chapman & Hall, 241p.
- Amarante, C.V.T., Blum, L.E.B. (2000) Relatório Técnico: Avaliação da eficiência do absorvedor de etileno Free Ethylene<sup>®</sup> na preservação da qualidade pós-colheita de maçãs armazenadas em atmosfera controlada. Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, SC. 17p.
- Amarante, C.V.T. (2000) Relatório Técnico: Avaliação da eficiência de sachês Always Fresh<sup>®</sup> na absorção de etileno e preservação da qualidade pós-colheita de maçãs 'Gala'. Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, SC. 12p.
- Arriola, M.C., Calzada, J.F., Menchu, J.F., Rolz, C., Garcia, R. (1980) Papaya. In: *Tropical and subtropical fruits*. Connecticut: The AVI Publishing Co. Inc., p. 316-340.
- Armstrong, W. (1979) Aeration on higher plants. *Advances in Botanical Research* 7: 226-332.
- Awad, M. (1993) *Fisiologia pós-colheita de frutos*. São Paulo: Nobel, 114p.
- Banks, N.H. (1985) Estimating skin resistance to gas diffusion in apples and potatoes. *Journal of Experimental Botany* 36 (173): 1842-1850.
- Barnavon, L., Docoa, T., Terrierb, N., Ageorgesb, A., Romieub, C., Pellerina, P. (2000) Analysis of cell wall neutral sugar composition,  $\beta$ -galactosidase activity and a related cDNA clone throughout the development of *Vitis vinifera* grape berries. *Plant Physiology and Biochemistry* 38 (4): 289–300.
- Bell, A.G. (1880) *Philosophical Magazine and Journal of Science* XI, 510-528.
- Ben-Yehoshua, S., Robertson, N.R., Biale, J.B. (1963) Respiration and internal atmosphere of avocado fruit. *Plant Physiology* 38: 194-201.

*Boletim Frutiseries 7* Ministério da Integração Nacional. - Mamão. Brasília, 2000.

Borsheim, A. (1980) Colour development and pigments in plums Agricultural University of Norway, 59, 24p. (Scientific report, 12).

Brackmann, A., Steffens, C.A., Sestari, I., Neuwald, D.A., Giehl, R.F.H. (2006) Armazenamento em atmosfera modificada e controlada de banana 'Prata' com absorção de etileno. *Ciência e Agrotecnologia* 30 (5): 914-919.

Brackmann, A., Trevisan, J.N., Martins, G.A.K., Freitas, S.T., Mello, A.M. (2005) Qualidade pós-colheita de couve-flor 'Teresópolis gigante' tratada com etileno, absorvedor de etileno e 1-metilciclopropano. *Ciência Rural* 35 (6): 1444-1447.

BRAPEX - Associação brasileira dos exportadores de mamão. Disponível em: [www.brapex.net/index\\_1024.asp](http://www.brapex.net/index_1024.asp) Acesso em 19 de Dezembro de 2005.

Burg, S.P., Burg, E.A. (1965) Gas exchange in fruits. *Physiologia Plantarum* 18: 870-884.

Burton, W.G. (1982) *Postharvest Physiology of Food Crops*. Longman: London. 339p.

Cook, N.C., Samman, S. (1996) Flavonoids - chemistry, metabolism, cardioprotective effects, and dietary sources. *Journal of Nutritional Biochemistry* 7 (2): 66-76.

Cameron, A.C., Yang, S. F. (1982) A simple method for the determination of resistance to gas diffusion in plant organs. *Plant Physiology* 70: 21-23.

Chitarra, M.I.F., Chitarra, A.B. (2005) *Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio*. Lavras: UFLA, 785p.

Chan Jr, H.T., Tam, S.Y.T., Seo, S.T. (1981) Papaya poligalacturonase and its role in thermally injured ripening fruit. *Journal of Food Science* 46 (1): 190-197.

David, D.V., Silva, J.M.A., Silva, P.M.E. (1999) Diagnóstico de produção e comercialização de espécies frutíferas na região Nordeste do Brasil. Viçosa, MG: UFV; DER; FUNARBE. 215 p.

Durigan, J.F., Lima, M.A. (1997). Influência de diferentes embalagens na conservação de goiabas "Pedro Sato" armazenadas sob refrigeração. *Anais do XV Congresso Brasileiro de Fruticultura*, Poços de Caldas: SBF, p.384.

Ferri, V.C., Rombaldi, C.V. (2004) Resfriamento rápido e armazenamento de caquis (*Diospyrus kaki*, L.), cv. Fuyu, em condições de atmosfera refrigerada e modificada. *Revista Brasileira de Fruticultura* 26 (1): 36-39.

Filho, P.F., Ormond, J.G.P., De Paula, S.R.L. Fruticultura Brasileira: a busca de um modelo exportador. <http://www.bndes.gov.br/conhecimento/bnset/set908.pdf> Acesso em 20/09/1998.

Fonseca, M.J. de O. (2002) *Conservação pós-colheita de mamão (Carica papaya L.): análise das cultivares Sunrise solo e Golden, sob controle de temperatura e da atmosfera*. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) Campos dos Goytacazes - RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, 177p.

*Gas Encyclopaedia* (1976) The Netherlands: Elsevier Scientific Publishing Company.

Groot, T.T., Van Bodegom, P.M., Harren, F.J.M., Meijer, H.A.J. (2003) Quantification of methane oxidation in the rice rhizosphere. *Biogeochemistry* 64: 355-372.

Groot, T.T. (2001) *Trace gas exchange by rice, soil and pears. A study based on laser photoacoustic detection*. Thesis, Katholieke Universiteit Nijmegen, The Netherlands, 147p.

Harren, F., Reuss, J. (1997) Photoacoustic Spectroscopy. In: G. L. Trogg (ed.) *Encyclopedia of Applied Physics*, v. 19, VCH, Weinheim, p. 413-435.

<http://www.ibraf.org.br> Acesso em 02/06/2005.

<http://www.bndes.gov.br> Acesso em 02/06/2005.

<http://www.fao.org> Acesso em 02/06/2005.

<http://www.ibge.gov.br/home> Acesso em 10/10/2007.

[http://www.irrigar.org.br/index.php?option=com\\_content&task=view&id=49&Itemid=2](http://www.irrigar.org.br/index.php?option=com_content&task=view&id=49&Itemid=2).  
Frutas brasileiras em expansão no mercado. Acesso em 19/04/2005.

Jolly, A.B. (1977) *Botânica introdução à taxonomia vegetal*. 4 ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 777p.

Kader, A.A. (1992) Postharvest biology and technology: an overview. In: Kader, A.A. (ed.) *Postharvest technology of horticultural products*. 2 ed. Davis: Division of Agriculture and Natural Resources, p. 15-20.

Kader, A.A., Zagory, D., Kerbel, E. L. (1989) Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 28: 1-30.

Karakurt, Y., Huber, D.J. (2003) Activities of several membrane and cell-wall hydrolases, ethylene biosynthetic enzymes, and cell wall polyuronide degradation during low-temperature storage of intact and fresh-cut papaya (*Carica papaya*) fruit. *Postharvest Biology and Technology* 28: 219-229.

Kerr, R.A., Atwood, J.G. (1968) The laser illuminated absorptivity spectroscopy applied to molecular photoacoustic detection. *Applied Optics* 7: 915-921.

Koch, J.L., Nevins, D.J. (1989) Tomato fruit cell wall. I. Use of purified tomato polygalacturonase and pectinmethylesterase to identify developmental changes in pectins. *Plant Physiology* 91: 816-822.

- Kuster, W.C., Harren, F.J.M., de Gouw J. (2005) Inter-comparison of laser photoacoustic spectroscopy and gas chromatography techniques for measurements of ethene in the atmosphere. *Environmental Science & Technology* 39: 4581-4585
- Lazan, H., Selamat, M.K., Ali, Z.M. (1995)  $\beta$ -Galactosidase polygalacturonase and pectinesterase in differential softening and cellwall modification during papaya fruit ripening. *Physiologia Plantarum* 95: 106-112.
- Lehninger, A.L., Nelson, D.L., Cox, M. M. (1995) Carboidratos In: *Princípios de Bioquímica*. 2 ed. São Paulo: Sarvier, p. 222-241.
- Lesage, P., Destain, M.F. (1996) Measurement of tomato firmness by using a non-destructive mechanical sensor. *Postharvest Biology and Technology* 8: 45-55.
- Luft, K.F. (1943) Ueber eine neue Methode der registrierenden Gasanalyse mit Hilfe der Absorption ultraroter Strahlen ohne spektrale Zerlegung. *Z. Tech. Phys.* 5: 97-104.
- Manica, I. (1982) *Fruticultura Tropical: Mamão*. São Paulo: Agronômica Ceres, 276p.
- Martinez, G., Pretel, M.T., Serrano, M., Riquelme, F. (1993) Evolution of resistance to gas diffusion during cherimoya ripening. *HortScience* 28 (3): 204-206.
- Martins, D.S., Da Costa, A.F.S. (2003) *A cultura do mamoeiro: tecnologias de produção*. (eds.) Vitória, ES: Incaper, 497p.
- Mitchell, F.G., Arapia, M.L., Mayer, G. (1982) Modified atmosphere storage of kiwifruit (*A. chinensis*). In: Richardson, D.G. *Controlled atmospheres for storage and transport of perishable agricultural commodities*, Oregon State University School of Agr. Symp. Ser. 235p.
- Moeskops, B.W.M., Steeghs, M.M.L., Van Swam, K., Cristescu, S.M., Scheepers, P.T.J., Harren, F.J.M. (2006) Real-time trace gas sensing of ethylene, propanal and acetaldehyde from human skin *in vivo*. *Physiological Measurements* 27: 1187-1196.
- Mwaniki, M.W., Mathooko, F.M., Maatsuzaki, M., Hiwasa, K., Tateishi, A., Ushijima, K., Nakano, R., Inaba, A., Kubo, Y. (2005) Expression characteristics of seven members of the  $\beta$ -galactosidase gene family in 'La France' pear (*Pyrus communis* L.) fruit during growth and their regulation by 1-methylcyclopropene during postharvest ripening. *Postharvest Biology and Technology* 36: 253-263.
- Oliveira, J. G., Pereira, M. G., Martelleto, L. A. P., Ide, C. D. (2005) Mancha fisiológica do mamão: uma perspectiva de obtenção de material genético tolerante. *Revista Brasileira de Fruticultura* 27 (3): 458-461.
- O'Donoghue, E.M., Somerfield, S.D., Vré, L.A., Heyes, J.A. (1997) Developmental and ripening-related effects on the cell wall of cucumber (*S. muricatum*) fruit. *Journal of Science of Food and Agriculture* 73: 455-463.
- Paull, R.E., Gross, K., Qiu, Y. (1999) Changes in papaya cell walls during fruit ripening. *Postharvest Biology and Technology* 16: 79-89.

Peppelenbos, H.W., Jeksrud, W.K. (1998) A method for the simultaneous measurement of gas exchange and diffusion resistance under various gas conditions. *Acta horticulturae* 464: 333-338.

Persijn, S.T., Oomens, J., Yu, Q., Hartando, R., Suparmo, M.A.J., Harren, F.J.M. (2004) Application of sensitive trace gas detectors in post harvest research, in 'Production Practices and Quality Assessment of Food Crops' Eds. R. Dris, S.M. Jain Vol 4, *Postharvest treatment and Technology*. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers: pp.1-16

Pfaffenbach, L.B., De Castro, J.V., Carvalho, C.R.L., Rosseto, C.J. (2003) Efeito da atmosfera modificada e da refrigeração na conservação pós-colheita de manga espada vermelha. *Revista Brasileira de Fruticultura* 25 (3): 410-413.

Rajapakse, N.C., Banks, N.H., Hewett, E.W., Cleland, D.J. (1990) Development of oxygen concentration gradients in flesh tissues of bulky plant organs. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 115 (5): 793-797.

Rajapakse, N.C., Hewett, E.W., Banks, N.H. (1992) Vacuum infiltration with calcium chloride influences oxygen distribution in apple fruit flesh. *Postharvest Biology and Technology* 1: 221-229.

Rayleigh, J.W. (Lord) (1881), The photophone. *Nature* 23: 274-275.

Redgwell, R.J., MacRae, E., Hallett, I., Fischer, M., Perry, J., Harker, R. (1997) *In vivo* and *in vitro* swelling of cell walls during fruit ripening. *Planta* 203: 162-173.

Resende, J.M., Vilas Boas, E.V.B., Chitarra, M.I.F. (2001) Uso de atmosfera modificada na conservação pós-colheita do maracujá amarelo. *Ciência e Agrotecnologia* 25 (1): 159-168.

Rinsland, C.P. (1990) Infrared spectroscopy detection of sulfur hexafluoride (SF<sub>6</sub>) in the lower stratosphere and upper troposphere. *Journal of geophysical research* 95: 5577-5585.

Röntgen, W.C. (1881) Ueber Toene, welche durch intermittierende Bestrahlung eines Gases entstehen. *Annals of Physics* 3 (12): 155-159.

Salisbury, F.B., Ross, C.W. (1992) *Plant Physiology*. 3 ed. Belmont, California: CRC Press, 147p.

Salveit, M.E. (1982) Procedures for extracting and analyzing internal gas samples from plants tissues by gas chromatography. *HortScience* 17: 878-881.

Schneider, T. (Ed.) (1998) Air pollution in the 21<sup>st</sup> century priority issues and policy, vol. 72 studies in environmental science, Elsevier: The Netherlands.

Schotsmans, W., Verlinden, B.E., Lammertyn, J., Nicolaï, B.M. (2004) The relationship between gas transport properties and the histology of apples. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 84 (10): 1131-1140.



Seymour, G.B., Gross, K.C. (1996) Cell wall disassembly and fruit softening. *Postharvest News Info* 7: 45N-52N.

Sigrist, M.W. (1994) *Air Monitoring by Spectroscopic Techniques*. New York, USA: Wiley Interscience, 531p.

Silva, J.R.R., Medina, V.M. (1997) Alterações bioquímicas durante o desenvolvimento do fruto do mamoeiro 'sunrise solo'. *Revista Brasileira de Fruticultura* 19 (2): 149-158.

Speirs, J., Brady, C. J. (1991) Modification of gene expression in ripening fruit. *Australian Journal of Plant Physiology* 18: 519-532.

Taiz, L., Zeiger, E. (2004) Etileno: o hormônio gasoso. *In: Fisiologia vegetal*. 3 ed. Porto Alegre, RS: Artmed, 541-558p.

Toralles, M. E. (2007) Produtores do extremo sul buscam soluções para manter exportação.

<http://faeb.org.br/main/agronoticias/detalhes.jsp?codigo=1203942196304> Acesso em 14/02/2008.

Tyndall, J. (1881) Action of an intermittent beam of radiant heat upon gaseous matter. *Proceedings of the Royal Society of London* 31: 307-317.

Tucker, G.A., Grierson, D. (1987) *Fruit ripening*. In: The biochemistry of plants: *physiology of metabolism*, 12: 265-318, Davis CA, ed. Academic Press, NY.

Vargas, H., Miranda, L.C. (1988) Photoacoustic and related photothermal techniques. *Physics Reports* 161: 43.

Viengerov, M.L. (1938) Dokl. Akad. Nauk SSSR 19: 687.

Watada, A.E. (1986) Effects of ethylene on the quality of fruits and vegetables. *Food Technology* 40 (5): 82-85.

Wills, R.H., McGlasson, W.B., Graham, D., Joyce, D. (1998) *Postharvest an introduction to the physiology and handling of fruit, vegetables and ornamentals*. 4 ed. New York: CAB international, 262p.

Wills, R.B.H., Kim, G.H. (1995) Effect of ethylene on postharvest life of strawberries. *Postharvest Biology and Technology* 6: 249-255.

Wills, R.B.H., Lee, T.H., McGlasson, W.P., Hall, E.G. (1981) *Postharvest: an introduction to the physiology and handling of fruits and vegetables*. Australia: University of New South Wales Press. 162p.

## **ANEXOS**

Quadro 1 - Escala de classificação de mamão de acordo com a coloração da casca.

Estádios de maturação	Descrição
0	Fruto completamente desenvolvido, casca 100% verde.
1	A cor amarela não cobre mais de 15% da superfície da casca. O restante da casca apresenta coloração verde clara
2	¼ maduro. Fruta com até 25% da superfície da casca amarela, rodeada de verde claro.
3	1/2 maduro. Fruta com até 50% da superfície da casca amarela, com áreas próximas em verde claro.
4	3/4 maduro. Fruta com 50-75% da superfície da casca amarela, com áreas próximas em verde claro.
5	Maduro. Fruta com 76-100% da superfície da casca amarela. Somente a extremidade próxima ao pedúnculo é verde.

Fonte: Adaptado do programa de exportação do papaya brasileiro. Ministério da Agricultura, Pecuária e Meio Ambiente (Papaya Brasil) e Ritzinger e Souza, 2000.

#### Lista de publicações:

Azevedo, I.G., Oliveira, J.G., da Silva, M.G., Pereira, T., Correa, S.F., Vargas, H., Façanha, A.R. (2008) P-type H<sup>+</sup>-ATPase activity as a tool to evaluate the climacteric stage of 'Golden' papaya. *Postharvest Biology and Technology* 48: 242-247.

Pereira, T., Baptista-Filho, M., Correa, S.F., Oliveira, J.G., Da Silva, M.G., Vargas, H. (2005) Photoacoustic technique applied to ethylene emission in passion fruit seedlings: an experimental approach. *Journal de Physique IV* 125 (1): 865-867.

Pereira, T., Correa, S.F., Baptista-Filho, M., Almeida Junior, P.S.G., Cereja, B.S., Da Silva, M.G., de Carvalho, A.J.C., Vargas, H. Post harvest characterization of different banana genotypes: determination of ethylene and CO<sub>2</sub> emission rates (submetido).

Tabela 1 - Resumo da análise de variância para avaliação do tempo característico de difusão ( $\tau$ ) e de coeficiente de difusão (D) do SF<sub>6</sub> em frutos de mamoeiro 'Golden' em diferentes estádios de maturação.

Fonte de variação (FV)	Grau de liberdade (GL)	Quadrado médio (QM)	
		Tempo característico de difusão ( $\tau$ )	Coefficiente de difusão (D)
Estádios de maturação	3	0,1278*	43,4348*
Repetição	2	0,0001	0,3335
Erro	6	0,0006	0,4184
CV (%)		8,99	9,27

\* Diferença significativa a 5% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 2 - Resumo da análise de variância para avaliação de integridade de membranas (PIA), firmeza da polpa e ângulo de cor "hue" de frutos de mamoeiro 'Golden' em diferentes estádios de maturação, tratados ou não com SF<sub>6</sub>.

Fonte de variação (FV)	Grau de liberdade (GL)	Quadrado médio (QM)		
		PIA	Firmeza	°hue
Tratamento	1	1440,26 *	82,14 <sup>ns</sup>	3,30 <sup>ns</sup>
Estádios de maturação	3	331,88 *	6120,51*	878,08 *
Trat x dias	3	500,41 *	288,97 <sup>ns</sup>	5,41 <sup>ns</sup>
Repetição	2	8,86	117,66	0,63
Erro	14	47,23	111,46	4,51
CV (%)		13,72	21,07	2,06

\* Diferença significativa a 5% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 3 - Resumo da análise de variância para avaliação de características de cor da casca L\* (luminosidade), a\* e b\* (cromaticidade) de frutos de mamoeiro 'Golden' em diferentes estádios de maturação, tratados ou não com SF<sub>6</sub>.

Fonte de variação (FV)	Grau de liberdade (GL)	Quadrado médio (QM)		
		L*	a*	b*
Tratamento	1	0,85 <sup>ns</sup>	5,57 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>
Estádios de maturação	3	245,65 *	637,11*	691,60 *
Trat x dias	3	1,30 <sup>ns</sup>	3,07 <sup>ns</sup>	4,13 <sup>ns</sup>
Repetição	2	0,34	1,05	0,41
Erro	14	3,08	2,66	3,08
CV (%)		2,75	-16,75	3,62

\* Diferença significativa a 5% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 4 - Resumo da análise de variância para avaliação de características de cor da casca L\* (luminosidade), a\*, b\* (cromaticidade) e ângulo de cor "hue" de frutos de mamoeiro 'Golden' em diferentes estádios de maturação, armazenados ou não na presença de sache contendo absorvedor de etileno, sob temperatura ambiente.

FV	GL	Quadrado médio (QM)			
		L*	a*	b*	°hue
Tratamento	1	12,50 <sup>ns</sup>	140,71 *	0,0006 <sup>ns</sup>	116,42 *
Estádios de maturação	8	171,58 *	694,03 *	480,77 *	860,72 *
Trat x dias	5	37,37 *	311,76 *	135,91 *	306,80 *
Repetição	2	1,20	12,65	5,61	12,80
Erro	28	4,71	6,74	4,20	7,16
CV (%)		3,25	-132,69	3,68	2,84

\* Diferença significativa a 5% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 5 - Resumo da análise de variância para avaliação de firmeza, perda de massa, acidez total titulável (ATT) e pH de frutos de mamoeiro 'Golden' em diferentes estádios de maturação, armazenados ou não na presença de sache contendo absorvedor de etileno, sob temperatura ambiente.

FV	GL	Quadrado médio (QM)			
		Firmeza	Perda de massa	ATT	pH
Tratamento	1	194,65 <sup>ns</sup>	3,97 *	0,000097 <sup>ns</sup>	0,33 *
Estádios de maturação	8	2265,41 *	37,70 *	0,0004 *	0,02 *
Trat x dias	5	703,01 *	2,59 *	0,0001 <sup>ns</sup>	0,26 *
Repetição	2	242,29	0,54	0,0005	0,01
Erro	28	162,29	0,16	0,0001	0,008
CV (%)		64,34	10,98	13,5	1,66

\* Diferença significativa a 5% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 6 - Resumo da análise de variância para avaliação de sólidos solúveis totais e da atividade de enzimas PME, PG e beta-galactosidase de frutos de mamoeiro 'Golden' em diferentes estádios de maturação, armazenados ou não na presença de sache contendo absorvedor de etileno, sob temperatura ambiente.

FV	GL	Quadrado médio (QM)			
		SST	PME	PG	Beta-Gal
Tratamento	1	0,10 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>ns</sup>	3,60 <sup>ns</sup>	1867,93 *
Estádios de maturação	8	2,15 *	1269,16 *	7,06 *	1163,56 *
Trat x dias	5	0,76 <sup>ns</sup>	41,83 <sup>ns</sup>	3,53 *	243,89 *
Repetição	2	2,47	0,95	1,04	188,29
Erro	28	0,82	23,37	0,93	62,68
CV (%)		7,03	22,75	36,77	22,87

\* Diferença significativa a 5% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 7 - Resumo da análise de variância para avaliação de características de cor da casca L\* (luminosidade), a\*, b\* (cromaticidade) e ângulo de cor "hue" de frutos de mamoeiro 'Golden' em diferentes estádios de maturação, armazenados ou não na presença de sache contendo absorvedor de etileno, sob refrigeração.

FV	GL	Quadrado médio (QM)			
		L*	a*	b*	°hue
Tratamento	1	254,89 *	416,88 *	357,48 *	655,50 *
Estádios de maturação	14	93,53 *	58,22 *	145,57 *	129,23 *
Trat x dias	14	10,17 *	26,04 *	27,14 *	38,41 *
Repetição	2	0,33	11,37	0,42	9,53
Erro	58	3,72	5,80	5,16	9,42
CV (%)		3,09	-17,43	4,70	2,88

\* Diferença significativa a 5% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 8 - Resumo da análise de variância para avaliação de firmeza, perda de massa e sólidos solúveis totais de frutos de mamoeiro 'Golden' em diferentes estádios de maturação, armazenados ou não na presença de sache contendo absorvedor de etileno, sob refrigeração.

Fonte de variação (FV)	Grau de liberdade (GL)	Quadrado médio (QM)		
		Firmeza	Perda de massa	SST
Tratamento	1	4805,74 *	39,61 *	0,37 <sup>ns</sup>
Estádios de maturação	14	2709,08 *	29,61 *	1,25 <sup>ns</sup>
Trat x dias	14	507,97 *	1,12 *	0,65 <sup>ns</sup>
Repetição	2	5,60	0,10	1,17
Erro	58	125,20	0,22	0,88
CV (%)		34,11	12,92	7,32

\* Diferença significativa a 5% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 9 - Resumo da análise de variância para avaliação de acidez total titulável, pH e atividade da beta-galactosidase de frutos de mamoeiro 'Golden' em diferentes estádios de maturação, armazenados ou não na presença de sache contendo absorvedor de etileno, sob refrigeração.

Fonte de variação (FV)	Grau de liberdade (GL)	Quadrado médio (QM)		
		ATT	pH	Beta-Gal
Tratamento	1	0,001 *	0,65 *	117,92 *
Estádios de maturação	14	0,0008 *	0,19 *	47,26 *
Trat x dias	14	0,0002 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	9,32 <sup>ns</sup>
Repetição	2	0,00007	0,03	3,61
Erro	58	0,0002	0,06	11,09
CV (%)		13,53	4,54	19,87

\* Diferença significativa a 5% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 10 - Resumo da análise de variância para avaliação de características de cor da casca L\* (luminosidade), a\*, b\* (cromaticidade) e ângulo de cor "hue" de frutos de mamoeiro 'Golden' em diferentes estádios de maturação, armazenados ou não na presença de sache contendo absorvedor de etileno, sob temperatura ambiente após 29 dias de refrigeração.

FV	GL	Quadrado médio (QM)			
		L*	a*	b*	°hue
Tratamento	1	0,89 <sup>ns</sup>	50,10 *	20,12 <sup>ns</sup>	57,20 *
Estádios de maturação	4	210,24 *	555,78 *	441,14 *	728,24 *
Trat x dias	2	40,36 *	84,88 *	71,96 *	104,90 *
Repetição	2	9,75	1,74	8,33	1,20
Erro	14	2,63	5,28	5,39	5,53
CV (%)		2,37	-53,67	4,20	2,45

\* Diferença significativa a 5% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 11 - Resumo da análise de variância para avaliação de firmeza, perda de massa, acidez total titulável e pH de frutos de mamoeiro 'Golden' em diferentes estádios de maturação, armazenados ou não na presença de sache contendo absorvedor de etileno, sob temperatura ambiente após 29 dias de refrigeração.

FV	GL	Quadrado médio (QM)			
		Firmeza	Perda de massa	ATT	pH
Tratamento	1	674,72 *	7,84 *	0,001 *	0,09 *
Estádios de maturação	4	2281,94 *	117,16 *	0,0007 *	0,08 *
Trat x dias	2	-2,3e+0002 <sup>ns</sup>	13,30 *	0,001 *	-1,3e-0005 *
Repetição	2	64,31	0,02	0,0002	0,002
Erro	14	55,92	1,23	0,00009	0,008
CV (%)		28,92	17,34	9,00	1,61

\* Diferença significativa a 5% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 12 - Resumo da análise de variância para avaliação de sólidos solúveis totais e da atividade de enzimas PME, PG e beta-galactosidase de frutos de mamoeiro 'Golden' em diferentes estádios de maturação, armazenados ou não na presença de sache contendo absorvedor de etileno, sob temperatura ambiente após 29 dias de refrigeração.

FV	GL	Quadrado médio (QM)			
		SST	PME	PG	Beta-Gal
Tratamento	1	1,77 <sup>ns</sup>	183,26 *	1,73 <sup>ns</sup>	162,71 *
Estádios de maturação	4	0,44 <sup>ns</sup>	2280,61 *	17,86 *	332,46 *
Trat x dias	2	-1,3e-0001 <sup>ns</sup>	-7,3e+0001 <sup>ns</sup>	13,59 *	-4,6e+001 <sup>ns</sup>
Repetição	2	1,32	21,99	0,90	19,89
Erro	14	0,55	18,40	2,31	27,73
CV (%)		6,09	17,09	60,59	21,99

\* Diferença significativa a 5% de probabilidade pelo teste F.

## FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pela Biblioteca do CCT / UENF

15/2008

Pereira, Talita

Contribuição de técnicas fototérmicas ao estudo pós-colheita de mamão: difusão gasosa e armazenamento em atmosfera modificada / Talita Pereira. – Campos dos Goytacazes, 2008.

viii, 117 f. : il.

Tese (Doutorado) --Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciência e Tecnologia. Laboratório de Ciências Físicas. Campos dos Goytacazes, 2008.

Orientador: Helion Vargas.

Co-orientador: Marcelo Gomes da Silva.

Área de concentração: Física e química do meio ambiente

Bibliografia: f. 106-111

1. *Carica papaya* L. 2. Difusão gasosa 3. Amadurecimento 4. Absorvedor de etileno 5. Espectroscopia fotoacústica I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciência e Tecnologia. Laboratório de Ciências Físicas II. Título

CDD 535.84



CONTRIBUIÇÃO DE TÉCNICAS FOTOTÉRMICAS AO ESTUDO PÓS-COLHEITA DE MAMÃO: DIFUSÃO GASOSA E ARMAZENAMENTO EM ATMOSFERA MODIFICADA

TALITA PEREIRA

Tese apresentada ao Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Ciências Naturais.

Aprovada em 14 de Março de 2008.

Comissão Examinadora:



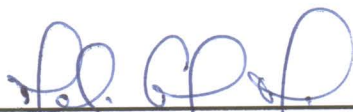
---

Dr. Marcos José de Oliveira Fonseca (D.Sc., Produção Vegetal) - EMBRAPA



---

Prof. Norberto Cella (D.Sc., Física) - UERJ



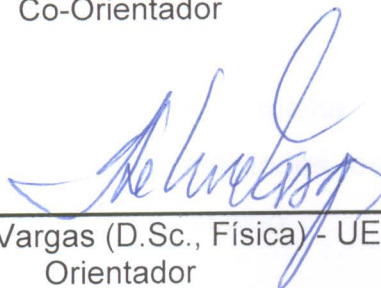
---

Prof. Jurandi Gonçalves de Oliveira (D.Sc., Biologia Vegetal) - UENF



---

Prof. Marcelo Gomes da Silva (D.Sc., Física) - UENF  
Co-Orientador



---

Prof. Helion Vargas (D.Sc., Física) - UENF  
Orientador