

**APLICAÇÃO DO 1-MCP EM FRUTOS DO MAMOEIRO 'GOLDEN'  
EM DIFERENTES ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO**

**Maximiliano Silva de Souza**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO - UENF  
CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ  
FEVEREIRO / 2008**

**APLICAÇÃO DO 1-MCP EM FRUTOS DO MAMOEIRO 'GOLDEN'  
EM DIFERENTES ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO**

**Maximiliano Silva de Souza**

“Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal”.

Orientador: Prof. Dr. Jurandi Gonçalves de Oliveira

**CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ  
FEVEREIRO / 2008**

*“ Não se contente em trilhar um caminho estabelecido.  
Ao contrário, vá para onde não há caminho algum e deixe seu rastro”.*

*Muriel Strode*

## **AGRADECIMENTO**

Primeiramente a Deus, por me guiar em todos os momentos da minha vida.

Aos meus pais Dário e Maria Elisa e ao meu irmão Rodrigo, pelo incentivo e carinho no decorrer da minha vida.

Ao professor Jurandi G. de Oliveira, pelo aprendizado, apoio e incentivo nas minhas atividades acadêmicas e pela amizade durante todo o tempo da minha formação.

À professora Maura da Cunha (LBCT–CBB/UENF), pela colaboração nas etapas de avaliação anatômica.

Ao professor Ângelo Cortelazo da UNICAMP, pela colaboração nas etapas anatômicas.

Ao professor Adimilson Bosco Chitarra e aos técnicos do laboratório de Tecnologia de Alimentos da UFLA, pela colaboração no treinamento para as avaliações enzimáticas.

À minha querida e adorável companheira Francyne, pelo apoio, confiança e compreensão nos momentos de dificuldades.

À equipe do Prof. Marcelo Gomes da Silva e ao Sávio Figueira Corrêa, pela colaboração e paciência nas etapas de avaliação de gases no Laboratório de Ciências Físicas do CCT-UENF.

À grande amiga Inga, pela colaboração e paciência.

Aos amigos do Setor de Fisiologia Vegetal, pela amizade e estímulo.

À UENF, por fornecer as condições para a realização deste trabalho.

Ao programa de Pós-graduação em Produção Vegetal, por ter-me concedido a oportunidade para realização deste projeto.

À FINEP, por meio do projeto Frutimamão, pelo apoio financeiro e logístico.

À CAPES, pela bolsa concedida.

À Caliman Agrícola S/A, pela parceria e apoio técnico para realização desta pesquisa.

À Empresa Rohm and Haas, que cedeu, gentilmente, o 1-MCP para esse trabalho.

Aos professores do Setor de Fisiologia Vegetal, pelo aprendizado diário.

A todos os amigos que, de uma forma ou outra, contribuíram para a realização deste trabalho.

## Sumário

<b>RESUMO.....</b>	<b>viii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>x</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>01</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>04</b>
2.1. A cultura do mamoeiro.....	04
2.2. Enzimas atuantes no processo de amolecimento da polpa de frutos.....	05
2.3. Tecnologia de uso e aplicação do 1-Metilciclopropeno (1-MCP).....	07
2.4. Aspectos anatômicos e estruturais da parede celular.....	08
<b>3. TRABALHOS.....</b>	<b>10</b>
3.1. Aplicação do 1-MCP em frutos do mamoeiro ‘Golden’ em diferentes estádios de maturação: aspectos físicos e químicos.....	10
3.1.1. RESUMO.....	10
3.1.2. ABSTRACT.....	12
3.1.3. INTRODUÇÃO.....	13
3.1.4. MATERIAL E METODOS.....	14
3.1.4.1. Material vegetal.....	14
3.1.4.2. Aplicação do 1- Metilciclopropeno (1-MCP).....	15
3.1.4.3. Descrição do experimento.....	15
3.1.4.4. Determinação da coloração do fruto.....	16
3.1.4.5. Determinação da produção de etileno e taxa respiratória.....	16
3.1.4.6. Determinação da firmeza do mesocarpo.....	17

3.1.4.7. Delineamento experimental.....	17
3.1.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	18
3.1.6. CONCLUSÕES.....	34
3.1.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	35
3.2. Aplicação de 1-MCP em frutos do mamoeiro ‘Golden’ em diferentes estádios de maturação: aspectos bioquímicos e anatômicos.....	40
3.2.1. RESUMO.....	40
3.2.2. ABSTRACT.....	42
3.2.3. INTRODUÇÃO.....	43
3.2.4. MATERIAL E METODOS.....	45
3.2.4.1. Material vegetal.....	45
3.2.4.2. Aplicação do 1-metilciclopropeno.....	45
3.2.4.3. Descrição dos experimentos.....	46
3.2.4.4. Determinação da firmeza do fruto.....	47
3.2.4.5. Determinação do teor de sólidos solúveis.....	47
3.2.4.6. Atividade da pectinametilesterase (EC 3.1.1.11).....	47
3.2.4.7. Atividade da poligalacturonase (EC 3.2.1.15).....	48
3.2.4.8. Caracterização anatômica do mesocarpo dos frutos.....	49
3.2.4.8.1. Fixação e desidratação para microscopia óptica.....	49
3.2.4.8.2. Microscopia óptica.....	49
3.2.4.9. Delineamento experimental.....	50
3.2.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	50
3.2.6. CONCLUSÕES.....	64
3.2.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	72
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	74
APÊNDICE.....	81

## RESUMO

Silva de Souza, M; M.Sc., Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, fevereiro de 2008; Aplicação do 1-MCP em frutos do mamoeiro 'Golden' em diferentes estádios de maturação. Orientador: Dr. Jurandi Gonçalves de Oliveira.

O mamão é um fruto que apresenta um rápido amadurecimento na fase de pós-colheita, sendo assim, a refrigeração associada ao 1-MCP tem sido utilizada como um meio eficaz na redução dos processos metabólicos derivados da produção de etileno. O presente trabalho objetivou estudar as respostas do armazenamento refrigerado e do 1-MCP sobre frutos de mamoeiro em diferentes estádios de maturação. Os resultados obtidos demonstram ação efetiva do 1-MCP em inibir a produção do etileno e a taxa respiratória em frutos sem refrigeração e refrigerados por 8 dias, principalmente nos estádios 0 e 1 de maturação. Em frutos mantidos por 16 e 24 dias de refrigeração, o efeito do 1-MCP foi reduzido, principalmente em frutos no estágio 2. A perda de coloração da casca foi retardada em frutos tratados com 1-MCP e refrigerados por 8 e 16 dias, principalmente nos estádios 0 e 1 de maturação. A perda de firmeza do fruto e da polpa foi reduzida em frutos tratados com 1-MCP, apresentando médias menores no estágio 2 e maiores no estágio 0. O teor de sólidos solúveis não apresentou diferença significativa em frutos tratados com 1-MCP. A atividade da enzima PME foi reduzida em frutos tratados com 1-MCP, porém aumentou nos tratamentos com 16 e 24 dias de refrigeração nos estádios 0 e 1. A atividade da enzima PME aumentou até o terceiro dia de prateleira, decaindo posteriormente. Entretanto, a atividade da enzima PG aumentou a partir do sexto dia



de prateleira, confirmando a atuação da PME como uma enzima inicial do processo de perda de firmeza da polpa do mamão. Frutos no estágio 0 tratados com 1-MCP apresentaram células com paredes com contorno irregular e presença de conteúdo de coloração escura na altura da lamela média, indicando retenção de compostos pécnicos, entretanto, frutos não tratados apresentaram aumento de espaços intercelulares, com pouca deposição de material intercelular. Em frutos no estágio 2 tratados com 1-MCP, as células apresentaram paredes mais onduladas e aumento de espaço intercelular, porém, há presença de material intercelular, o que difere dos frutos não tratados com 1-MCP.

Palavras chave: etileno, poligalacturonase, pectinametilesterase.

## **ABSTRACT**

Silva de Souza, M; M.Sc. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, february of 2008; Application of 1-MCP in papaya fruit 'Golden' stages maturation different. Advisor: Dr. Jurandi Gonçalves de Oliveira.

The papaya fruit showed a respiration climacteric rate with a ripening fast in postharvest period, that way, the refrigeration has been utility how technologies efficacy in reduction metabolic process derivates of ethylene. This study objectified studies the responses of storage and 1-MCP about papaya fruit at stages of maturation different. The experiment was lead adopting in a randomized design. The results gotten showed effective action of 1-MCP in reduction of rate respiration and emission ethylene in fruits without refrigeration and 8 days refrigerator, principally in 0 and 1 maturation stages. In fruits refrigerator for 16 and 24 days the effect of 1-MCP was smaller, principally in 2 maturation stage. The application of 1-MCP combined with 8 e 16 days of refrigeration delayed degreening decay in 0 and 1 maturation stages in the. The firmness reduction of fruit and pulp was inhibited in fruits treateds with 1-MCP showing lower averages in fruits stage 2 of maturation with 16 and 24 days of refrigeration and higher in stage 0 of maturation with 8, 16 and 24 days of refrigeration. The tear of soluble solids showed no significant difference in fruit treated with 1-MCP. The activity of the PME enzyme was reduced by fruits treateds with 1-MCP, but increased in treatment with 16 and 24 days of refrigeration in stages 0 and 1 of maturation. The activity PME enzyme increased until 3<sup>o</sup> day shelf

reducing thereafter until the 6<sup>o</sup> day of shelf. However, the activity PG enzyme increased from the 6<sup>o</sup> days of shelf, confirming the presence of PME enzyme as the initial process of softening of papaya fruit pulp. Fruit at the stage 0 of maturation treated with 1-MCP have parenchyma cells cemented with adjacent walls and the presence of dark coloration material at the middle lamella, indicating retention of compounds pectin, however, not treated with 1-MCP fruit have increased spaces Intercellular, with little deposition of intercellular material. In stage 2, in the fruit maturation treated with 1-MCP cells have more corrugated walls and increase of intercellular space, but there is presence of intercellular material, which differs fruit not treated with 1-MCP.

Key works: ethylene, polygalacturonase, pectin methyl esterase

## 1. INTRODUÇÃO

O mamoeiro (*Carica papaya* L.) é uma das espécies frutícolas mais cultivadas do mundo, especialmente em áreas tropicais onde a temperatura média anual é de 25°C (Simão, 1998), produzindo fruto muito apreciado, por apresentar características peculiares, como sabor, aroma e textura.

O Brasil destaca-se como um grande produtor de mamão (Martins e Costa, 2003). A cultura está distribuída na maioria dos estados brasileiros, sendo a Bahia e o Espírito Santo os produtores mais importantes, que juntos respondem por 87,9% da produção do país (IBGE, 2007). Nestas regiões, a introdução de cultivares do grupo Solo, a partir de 1976, possibilitou que a exploração do mamoeiro, em poucos anos, se tornasse uma atividade de alta rentabilidade e de grande importância econômica.

O Espírito Santo possui aproximadamente 9387 mil hectares de área cultivada com mamoeiro, sendo o segundo maior produtor nacional de mamão e o principal pólo exportador do país (IBGE, 2007). As maiores produtoras e exportadoras de mamão se concentram nesta região, já que o Espírito Santo exporta tanto para os Estados Unidos, quanto para a Europa. Os principais municípios produtores do estado do Espírito Santo, Linhares e Pinheiros, apresentam elevado nível de infra-estrutura comercial e um produto de alta qualidade, sendo dominante a produção de frutos do grupo do Solo em Linhares, e do grupo Formosa em Pinheiros (Martins, 2005).

Essas regiões que dispõem de alta infra-estrutura de produção ainda se deparam com um fator importante, o transporte, que pode ser limitante para a comercialização dos frutos. O transporte é um dos fatores mais importantes na comercialização de produtos perecíveis e, com freqüência, o mais determinante, pois em algumas regiões produtoras de mamão o custo do transporte representa parte importante das receitas de venda dos frutos. Até o ano de 2002, a exportação de mamão era realizada por meio do sistema multimodal combinando os transportes rodoviário e aéreo (Amaral Junior, 2003). Entretanto, este sistema começa a mudar devido aos altos dos custos no transporte aéreo, o que direcionou as exportações por via marítima por meio de contêineres combinando, assim, transporte terrestre e marítimo. O transporte marítimo, por meio de contêineres refrigerados tipo *reefer*, vem sendo empregado pelos produtores de mamão, pois tem custo três vezes menor que o transporte aéreo (Amaral Junior, 2003), além de melhor controle da cadeia do frio desde a paletização até os navios. Aliado ao transporte marítimo refrigerado, outra tecnologia também tem sido empregada, a fim de estender a durabilidade dos frutos durante o transporte e aumentar a vida útil, dos frutos, ou seja, o uso de inibidores da ação do etileno.

O etileno é um fitormônio responsável pelo amadurecimento favorecendo a senescência de frutos climatéricos. O etileno produzido pelos frutos se liga ao seu receptor na célula, um complexo protéico enzimático, desencadeando eventos que culminam com o amadurecimento dos frutos. Desta forma, algumas tecnologias têm sido empregadas com a finalidade de inibir a ação deste gás.

Estudos recentes têm demonstrado que o 1-metilciclopropeno (1-MCP) tem se mostrado eficiente no bloqueio dos efeitos do etileno procedente de fontes endógenas e exógenas, sendo eficaz mesmo em concentrações baixas. (Jacomino et al., 2002). O uso do 1-MCP tem se mostrado uma tecnologia promissora no controle do amadurecimento e uma ferramenta importante para o transporte a longas distâncias de frutos do mamoeiro.

Entretanto, para que haja fortalecimento e consolidação das exportações de mamão no Brasil, é de fundamental importância que práticas relacionadas com a pós-colheita sejam perfeitamente dominadas, de modo a agregar o máximo de qualidade aos frutos. O conhecimento da fisiologia pós-colheita do mamão é um fator muito importante e de grande valia na prática de uma colheita racional, além de contribuir com subsídios técnicos para tomadas de decisões do tipo de

armazenamento e do tipo de transporte adequado, de acordo com a distância do mercado consumidor.

O objetivo deste trabalho foi estudar a resposta de frutos do mamoeiro 'Golden' em diferentes estádios de maturação quando submetidos à ação combinada do 1-MCP e da refrigeração.

## 2 . REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 - A cultura do mamoeiro

O mamoeiro (*Carica papaya* L.) é uma planta nativa da América tropical pertencente à divisão *Magnoliophyta*, subdivisão *Angiospermae*, classe das *Magnoliopsidas*, subclasse *Archiclamydae*, ordem *Viodales*, subordem *Caricaceae*, família *Caricaceae* (Manica, 1982).

Segundo Badilho (2003), a família *Caricaceae* apresenta 34 espécies distribuídas em 5 gêneros: *Jacaratia*, com sete espécies encontradas desde o México até o norte da Argentina; *Jarilla*, compreendendo três espécies no México e Guatemala; *Cylicomorpha*, com duas espécies da África Equatorial; *Horovitzia*, gênero mais novo, com uma espécie no México; e o gênero *Carica*, que possui duas seções: *Vasconcella*, com 20 espécies, e *Carica*, com uma espécie (*Carica papaya* L.).

A espécie *Carica papaya* L. apresenta três tipos de flores que são classificadas como: plantas hermafroditas, femininas e masculinas, com frutificação contínua, favorecendo altas produções (Ritzinger & Souza, 2000). Conforme o tamanho e a origem dos frutos, as plantas hermafroditas podem ser classificadas em dois grupos distintos, o grupo Solo e o grupo Formosa.

O mamão (*Carica papaya* L.) é um fruto que se caracteriza por uma vida pós-colheita relativamente curta, completando o seu amadurecimento em poucos dias sob condições ambiente. Vários fatores pós-colheita, como patógenos ou fatores abióticos, podem reduzir ainda mais a vida útil do mamão. Esses fatores

podem se manifestar nos frutos isoladamente ou em conjunto, proporcionando perdas quantitativas e/ou qualitativas nas diferentes fases da comercialização (Martins & Costa, 2003).

O mamão é um fruto climatérico, cujas transformações resultantes do amadurecimento ocorrem rapidamente, após a colheita do fruto, fisiologicamente maduro. Tais transformações são desencadeadas pela produção do etileno ou o aumento da taxa respiratória, o que o caracteriza um fruto bastante perecível em pós-colheita (Paull, 1993). Essas transformações decorrentes da maturação estão relacionadas com aumento acentuado na atividade respiratória. Após o amadurecimento, o fruto entra em senescência, isto é, a taxa respiratória se reduz com a liberação cada vez menor do CO<sub>2</sub>, até a sua completa fermentação.

Durante o período climatérico, são detectadas importantes transformações químicas e físicas nos frutos, as quais irão determinar seu padrão de qualidade. Dada essa alta perecibilidade, o controle do amadurecimento é fundamental para o aumento na vida útil após a colheita, visando ao mercado interno e externo.

A preservação dos frutos do mamoeiro em 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.

## **2.2 - Enzimas atuantes no processo de amaciamento da polpa dos frutos**

O processo de amaciamento da polpa é parte integrante do amadurecimento de quase todos os frutos carnosos e tem grande importância comercial devido ao fato de a vida pós-colheita desses frutos ser limitada, em grande parte, pela evolução desse processo, que torna o fruto mais susceptível a injúrias mecânicas e ao ataque de patógenos na fase pós-colheita.

O amaciamento da polpa de muitos frutos, durante o amadurecimento, é ocasionado por alterações na atividade de enzimas presentes nas células que, juntamente com a perda de água, contribuem para as mudanças da firmeza (Fischer e Amado, 1994). A degradação da protopectina da lamela média, na parede celular primária, resulta no aumento da pectina solúvel, durante o



amadurecimento dos frutos, que tem sido sugerida como a principal causa da perda de firmeza em frutos (Gross & Sams, 1984).

O amaciamento da polpa acontece no período de 6 a 12 dias, quando o fruto é colhido no estágio *break*, em que se observa o início do desaparecimento da cor verde, juntamente com o aparecimento de traços de coloração amarela na extremidade distal do fruto.

As mudanças texturais na polpa do mamão são atribuídas à atividade de enzimas que degradam a parede celular e não à degradação do amido, uma vez que já foi constatado que o fruto do mamoeiro não acumula este constituinte durante o seu desenvolvimento (Chan Jr. et al., 1979). A pectinametilesterase (PME) e a poligalacturonase (PG) são algumas das enzimas que participam do processo de amadurecimento de frutos do mamoeiro (Chuanyao et al., 2002). A atividade da PME precede a atividade da PG, mediante a desmetilação do poliuronídeo. Desta forma, a PG teria maior afinidade pelo substrato linear, desmetilado pela ação da PME. Entretanto, Manrique & Lajolo (2004) sugerem que a PME participa diretamente dos primeiros passos do processo de amaciamento dos frutos, desesterificando o polímero de ácido galacturônico da pectina, enquanto a PG catalisa a hidrólise das ligações  $\alpha$ -1,4 entre os resíduos de ácido galacturônico no interior da cadeia.

Outros resultados envolvendo a atividade das enzimas PME e PG também foram obtidos em mangas (cv. Tommy Atkins) por Evangelista et al. (2000), quando os autores observaram uma elevação na atividade da poligalacturonase ao longo do período de armazenamento, quando se verificou que a textura da polpa dos frutos diminuiu com o aumento da atividade da poligalacturonase. Padrões de resposta semelhantes foram observados por Roe & Bruemmer (1981) também em mangas, onde a poligalacturonase e a celulase aumentaram suas atividades enquanto os frutos tornam-se mais macios durante o amadurecimento. Este mesmo padrão de resposta foi observado por Pressey & Avants (1973) em pêssegos.

Resultados diferenciados foram observados em melão, não sendo ainda estabelecido claramente o mecanismo que controla o amolecimento da polpa. A pectinametilesterase e a poligalacturonase que degradam as substâncias pécticas da lamela média da parede celular não têm apresentado atividade substancial durante o amadurecimento do melão (Menezes, 1996).

Os baixos níveis ou ausência da atividade da poligalacturonase em alguns frutos, incluindo morango e uva, sugerem que a ação dessa enzima não seja um requerimento essencial para a solubilidade de pectinas.

### **2.3 - Tecnologia de uso e aplicação do 1-Metilciclopropeno (1- MCP)**

O fitormônio etileno está envolvido na aceleração do amadurecimento e senescência do mamão. Em determinado estágio de maturação, o etileno se liga ao seu receptor na célula, um complexo protéico-enzimático, e desencadeia uma série de eventos que culminam com o amadurecimento e, por fim, com a senescência do fruto.

A inibição da ligação do etileno ao seu receptor pode retardar a produção e a ação do mesmo e, com isso, retardar o amadurecimento e senescência de frutos climatéricos. Atualmente, agentes efetivos para bloquear os receptores de etileno têm sido descobertos, controlando, assim, o amadurecimento, a senescência e outras respostas do etileno.

Alguns compostos obtidos sinteticamente têm sido testados como o 1-metilciclopropeno, o 3-metilciclopropeno e o 3,3-metilciclopropeno. Entre estes o 1-MCP mostrou-se o mais promissor no controle do amadurecimento de frutos, por ser um potente inibidor da ação do etileno (Chitarra, 2005).

O 1-MCP é um inibidor da ação do etileno patenteado em 1996 e liberado em 1999 como "Ethyl Block" para uso em plantas ornamentais e, recentemente, como "SmartFresh™" pela *AgroFresh Inc.*, uma subsidiária integral da *Rohm & Haas Company*, para uso em produtos hortícolas. O produto é oferecido na forma de pó solúvel (0,14% e 3,3%) que em contato com a água, libera o ingrediente ativo.

O 1-MCP é um produto não tóxico que bloqueia a ação do etileno, tanto de origem endógena quanto exógena, liberado para utilização em produtos comestíveis em vários países, incluindo o Brasil, sendo um produto promissor para utilização na pós-colheita de produtos vegetais. O 1-MCP bloqueia a ação do etileno em frutos armazenados agindo mediante a fixação preferencial ao receptor de etileno, bloqueando, deste modo, os efeitos do etileno procedentes de fontes endógenas e exógenas, sendo eficaz mesmo em concentrações baixas. A maioria das respostas ao 1-MCP pode ser revertida pelo etileno, após decorrência de um

determinado período de tempo, pela geração de novos receptores celulares de etileno (Rohm & Haas, 2002).

#### **2.4 - Aspectos estruturais da parede celular da polpa de frutos**

O amaciamento da polpa dos frutos de mamão é uma das principais transformações que ocorrem ao longo do processo de amadurecimento, tendo influência direta na qualidade final do produto, no que tange ao processo de conservação e transporte. Essa característica tem relação direta com os componentes químicos das paredes celulares desse tecido.

A perda de firmeza da polpa está associada com mudanças no grau de polimerização e composição de açúcares simples que compõem os polissacarídeos da parede celular, resultando em alterações em sua estrutura e, por conseguinte, no amaciamento da polpa.

As paredes celulares são constituídas de polissacarídeos complexos como a celulose, hemiceluloses, pectina e proteínas, sendo que essa diversidade de polímeros possibilita a alteração da célula de acordo com as condições em que se encontra (McCann & Roberts, 1991).

As pectinas são polissacarídeos ricos em ácido galacturônico, arabinose e galactose, o que lhes confere um caráter ácido, fazendo parte da parede celular como material cimentante, mantendo a coesão entre as células. Com o avanço do processo de amadurecimento, ocorre a hidrólise das pectinas, contribuindo, assim, para o amaciamento da polpa dos frutos.

As substâncias pécticas são quimicamente definidas como uma cadeia de ácidos poligalacturônicos unidos por ligações  $\alpha$  1-4, em que os grupos carboxílicos encontram-se parcialmente metilados. A hidrólise e a solubilização dessas substâncias pécticas levam ao processo de amaciamento da polpa do mamão durante o processo de amadurecimento (Chitarra, 2005).

As pesquisas sobre os principais constituintes da parede celular, relacionando-os com os processos de amolecimento da polpa de mamão, além das bases bioquímicas da estrutura da parede celular, são importantes por fornecerem subsídios que explicam o padrão de amaciamento da polpa do mamão, bem como a ocorrência de níveis elevados de firmeza da polpa de frutos para exportação submetidos ao tratamento com o 1- Metilciclopropeno.

Como o mamão é um fruto altamente perecível, é fundamental que o estudo da qualidade durante o armazenamento prolongado seja acompanhado da avaliação dos componentes estruturais da polpa dos frutos.

### **3 - TRABALHOS**

#### **3.1. APLICAÇÃO DO 1-MCP EM FRUTOS DO MAMOEIRO 'GOLDEN' EM DIFERENTES ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO: ASPECTOS FÍSICOS E QUÍMICOS**

##### **3.1.1. RESUMO**

Nesse trabalho, avaliou-se o efeito combinado da aplicação do 1-metilciclopropeno (1-MCP) e da refrigeração prolongada a 10°C sobre as características qualitativas do mamão 'Golden' em diferentes estádios de maturação a 25°C. Utilizou-se delineamento inteiramente casualizado, sendo feita a análise de variância para testar as interações significativas a 5% de probabilidade. As interações significativas foram desdobradas, via teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os resultados encontrados demonstram uma interação significativa entre o 1-MCP e a emissão de etileno, confirmando a eficiência do 1-MCP em inibir a emissão deste gás em frutas nos estádios 0 e 1 de maturação submetido a 0, 8, 16 e 24 dias de refrigeração. Houve interação significativa também entre a aplicação do 1-MCP e a taxa respiratória, de modo que a produção de CO<sub>2</sub> foi reduzida em frutos no

estádio 0 e 1 de maturação, mas não foi alterada em frutos no estágio 2 submetidos a 16 e 24 dias de refrigeração. Nestes tratamentos, a taxa de respiração foi mais alta nos frutos, do terceiro ao sexto dia de vida útil, demonstrando que, aparentemente, frutos submetidos a longos períodos de refrigeração podem apresentar um acréscimo significativo na taxa respiratória quando armazenados posteriormente à temperatura ambiente. O 1-MCP se mostrou eficiente na manutenção da coloração da casca em frutos nos estádios 0 e 1 de maturação aos 0, 8 e 16 dias de refrigeração, entretanto, com 24 dias de refrigeração, não houve manutenção da coloração verde. Houve redução na perda de firmeza da polpa em frutos nos estádios 0 e 1 de maturação, tratados com 1-MCP, sendo os maiores valores observados em frutos no estágio 0 com 0, 8 e 16 dias de refrigeração, e menores valores observados no estágio 2 de maturação. Com 24 dias de refrigeração, a firmeza da polpa reduziu drasticamente em frutos nos estádios 1 e 2 de maturação, porém, as médias de firmeza da polpa em frutos tratados com 1-MCP apresentaram-se maiores do que nos frutos não tratados com 1-MCP.

Palavras chave: etileno, 1-metilciclopropeno, refrigeração

### **3.1. APPLICATION OF 1-MCP IN PAPAYA FRUIT 'GOLDEN' IN STAGES MATURATION DIFFERENT: PHYSICS AND CHEMICALS ASPECTS**

#### **3.1.2 ABSTRACT**

In this experiment it was evaluated the effect combined of 1-methylcyclopropene (1-MCP) and extended refrigeration 10 °C about qualitative characteristic's in papaya fruit 'Golden' in stages maturation different on shelf life 25 °C. Actualized delineation was used entirely, being made analyzes of variance to get the significant interactions 5% of probability. The significant interactions were deployed by Tukey test 5% probability. The results showed a significant interaction between the application of 1-MCP and the ethylene emission indicating the efficiency of 1-MCP in decreased ethylene emission in 0 and 1 stage maturation fruit storage for 0, 8, 16 and 24 days on refrigeration. The statistics analyzes showed significant effect of 1-MCP in the decreased respiration rate in 0 and 1 stages maturation fruit, but did not have change in 2 stage maturation fruit with 16 and 24 days refrigeration, showed that extensive periods of refrigeration contributed for increased in the respiration rate of papaya fruit storage later environment temperature. The 1-MCP showed efficient in maintenance of fruit colouring in 0 and 1 stage of maturation fruit in the 0, 8 and 16 refrigeration of days. There were reduction in lose of pulp firmness in 0 and 1 stage of maturation fruits, with the high values observed in stage 0 fruits with 0, 8 and 16 refrigeration days and values

minors observed in 2 stage of maturation. With 24 refrigeration of days the firmness decreased drastically in fruits not treated with 1-MCP.

Key words: ethylene, 1-methylcyclopropene, storage

### 3.1.3 - INTRODUÇÃO

O etileno é um fitormônio gasoso importante em todo o desenvolvimento dos frutos, principalmente na fase de amadurecimento. Está envolvido na aceleração do amadurecimento e senescência de frutos climatéricos, culminando assim, com a redução do período de armazenamento desses frutos (Paull et al., 1997).

O 1-metilciclopropeno (1-MCP) é um inibidor da ação do etileno que age pela fixação preferencial, irreversível, ao receptor de etileno (Blankenship & Dole, 2003). Essa inibição atua reduzindo os efeitos do hormônio procedentes de fontes internas e externas, aumentando assim, o tempo de armazenamento na fase pós-colheita (Lima et al., 2004). O 1-MCP é um produto com modo de ação não tóxico, sendo eficiente em baixas concentrações no aumento da “vida de prateleira” e manutenção da qualidade de frutos (Nanthachai et al., 2006; Watkins, 2006).

A ação do etileno se inicia com a sua ligação ao seu receptor na célula, a partir do qual, desencadeia uma série de eventos que terminam com o amadurecimento e senescência dos frutos. Dessa maneira, a interrupção da ligação do etileno ao sítio receptor pode retardar a ação e, conseqüentemente, o amadurecimento dos frutos (Jacomino et al., 2002).

Freqüentemente, a refrigeração tem sido utilizada como um meio eficaz na redução dos processos metabólicos derivados da emissão de etileno e, geralmente, é utilizada associada com outras técnicas, tais como, a aplicação do inibidor da ação do etileno, o 1-MCP.

Para o armazenamento do mamão, o estudo de fatores que influenciam o processo respiratório e a liberação de etileno é fundamental para o planejamento do processo de comercialização. Estes estudos se tornam mais importantes em



frutos com padrão de respiração climatérico, como é do caso do mamão. Dessa maneira, dada à forte influência da emissão de etileno e da atividade respiratória no processo de amadurecimento, é de fundamental importância a adoção de estratégias que visem a redução da emissão de etileno e da taxa respiratória na fase pós-colheita de frutos de mamoeiro, associando a refrigeração à aplicação do 1-MCP.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a ação combinada da refrigeração e da aplicação do 1-MCP sobre o padrão de amadurecimento de frutos de mamoeiro 'Golden' em diferentes estádios de maturação.

### **3.1.4 - MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1.4.1 - Material Vegetal**

Foram utilizados frutos do mamoeiro 'Golden' procedentes de pomares em plena produção pertencentes à empresa Caliman Agrícola S/A localizada na cidade de Linhares – ES. A região produtora apresenta temperaturas máximas entre 30°C e 32°C, e mínimas entre, 15°C e 18°C. Os frutos foram colhidos no campo entre a segunda quinzena de junho e primeira quinzena de julho e submetidos aos processos de controle de qualidade para exportação no *packing-house*.

Após sofrerem todas as práticas pós-colheita necessárias à exportação, os frutos foram transferidos para câmaras refrigeradas a 10°C onde o 1-MCP foi aplicado. Nestas câmaras foram utilizados frutos nos estádios de maturação 0 (verde – fruto fisiologicamente desenvolvido com casca 100% verde), estágio 1 (amadurecendo – a cor amarela não cobre mais de 15% da superfície da casca, rodeada de verde-claro) e estágio 2 (¼ maduro – fruto com até 25% da superfície da casca amarela, rodeada de verde-claro) (Ritzinger & Souza, 2000). Para o acondicionamento dos frutos, foram utilizadas caixas para exportação tipo 9, com capacidade de armazenamento de nove frutos.

### 3.1.4.2 - Aplicação do 1-MCP

Neste experimento, foi utilizado o 1-metilciclopropeno (1-MCP), gentilmente fornecido pela empresa *Rohm & Haas Company*, por meio da representante comercial no Brasil - *Agrofresh Inc.* Embora o 1-MCP seja um gás, é comercializado e formulado em pó, liberando o 1-MCP quando misturado à água.

O produto - SmartFresh™ (1-MCP) foi aplicado nos 3 estádios de maturação (0, 1 e 2) na dosagem de 50 nL L<sup>-1</sup>, sendo esta dosagem recomendada pelo fabricante. Para a aplicação, foi utilizado o produto com ingrediente ativo na concentração de 0,14%. Em seguida, o recipiente contendo o produto foi agitado até que todo o pó fosse dissolvido, sendo que 2 min de agitação foram suficientes para total solubilização do produto.

Os frutos foram transferidos para caixas tipo exportação (tipo 9) e acondicionados em uma tenda fechada com capacidade para 50 caixas de frutos. Esta tenda de aplicação com volume de 1,05 m<sup>3</sup> foi instalada em câmaras de refrigeração à temperatura de 10°C, sendo o 1-MCP aplicado no interior destas tendas. O tempo total de exposição dos frutos ao 1-MCP, na tenda, foi de 12 h.

### 3.1.4.3 - Descrição do experimento

Frutos nos estádios de maturação 0, 1 e 2, submetidos à aplicação de 1-MCP por 12 h, foram retirados da tenda de aplicação e armazenados em câmaras refrigeradas a 10°C por 0, 8, 16 e 24 dias. Ao final de cada período de refrigeração os frutos foram armazenados em câmaras a 25°C e 85% UR (período de prateleira), sendo avaliados a cada três dias, perfazendo um total de seis dias de prateleira.

Similarmente, os frutos nos estádios de maturação 0, 1 e 2, *sem aplicação de 1-MCP*, foram armazenados em câmaras refrigeradas a 10°C por 0, 8, 16 e 24 dias. Ao final de cada período de refrigeração, os frutos foram armazenados em câmaras a 25°C e 85% UR, sendo avaliados a cada 3 dias, perfazendo um total de 6 dias de avaliação de prateleira.

#### 3.1.4.4 - Determinação da coloração do fruto

As medições da coloração da casca dos frutos foram realizadas com os frutos no estágio 0, 1 e 2 de maturação. Para essa avaliação foi utilizado um colorímetro portátil (Chroma Meter modelo CR-300, Minolta). Foram realizadas três leituras, em três partes equidistantes, na região equatorial do fruto, as quais compuseram um valor médio para o ângulo *hue*, "*h<sup>o</sup>*" que indica a coloração do fruto. Foram realizadas três repetições, sendo cada repetição constituída de um fruto.

#### 3.1.4.5 - Determinação da produção de etileno e da taxa respiratória

Para a detecção da emissão de etileno pelos frutos, foi utilizado um espectrômetro fotoacústico, desenvolvido na Universidade de Nijmegen (Holanda). No espectrômetro fotoacústico, mudanças de pressão são detectadas por um microfone fixado no interior de um tubo de uma célula fotoacústica. Através da célula fotoacústica, flui a amostra gasosa contendo as moléculas sob investigação, sendo o sinal acústico produzido pela flutuação periódica de pressão.

A amostra, colocada dentro de uma câmara, tem os gases de emissão (etileno e CO<sub>2</sub>) conduzidos para o sensor fotoacústico, utilizando o ar como gás de arraste, num sistema de fluxo contínuo.

Este fluxo passa por filtros contendo KOH e CaCl<sub>2</sub>, utilizados para eliminar CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O, respectivamente. Posteriormente, o gás de análise passa através de uma armadilha final de N<sub>2</sub> líquido, eliminando assim traços de CO<sub>2</sub> e de H<sub>2</sub>O.

A taxa de emissão de CO<sub>2</sub> foi monitorada, usando-se um analisador comercial de gás, cujo funcionamento está baseado na absorção no infravermelho (Hartman & Braun modelo URAS 14).

O analisador de CO<sub>2</sub> e espectrômetro fotoacústico foram montados em série, antes do filtro de CO<sub>2</sub>. Assim, foi possível monitorar simultaneamente a produção de etileno e de CO<sub>2</sub>. A taxa de respiração e a produção de etileno foram expressas em mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> e µL C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> Kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, respectivamente. Foram realizadas três repetições, sendo cada repetição constituída de um fruto.

#### **3.1.4.6 - Firmeza do mesocarpo**

A firmeza do mesocarpo (FM) foi realizada com o fruto sendo dividido ao meio, no sentido transversal, resultando em duas faces. A firmeza foi determinada, em quatro pontos eqüidistantes no mesocarpo, em função da resistência à penetração. Para tanto, foi utilizado um penetrômetro de bancada (Fruit Pressure Tester, Italy; modelo 53205) com adaptador de 30 x 30 mm (altura x diâmetro), com ponta de prova de 8 mm de diâmetro. Os resultados foram expressos em Newton (N).

#### **3.1.4.7 - Delineamento experimental**

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, num arranjo fatorial experimental de 4x2x3x3, onde os fatores e níveis foram: quatro períodos de armazenamento refrigerado, 0 (sem refrigeração) 8, 16 e 24 dias, dois tratamentos com 1-MCP (tratado e não tratado), três estádios de maturação dos frutos (estádios 0, 1 e 2) e três períodos de amostragem de dados (0, 3 e 6 dias), com três repetições, sendo cada fruto considerado como uma repetição.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), utilizando para tal o programa Genes (Cruz, 2001). As interações significativas nos fatoriais foram desdobradas, sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey, adotando-se 5% de probabilidade.

### **3.1.5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO**

De acordo com a análise de variância para a emissão de etileno e para a taxa respiratória, houve efeito significativo entre as fontes de variação estudadas, demonstrando que há diferenças significativas ( $P < 0,05$ ) entre os estádios de maturação, período de vida útil e tempo de refrigeração (Quadro 1A - Apêndice). No parâmetro ângulo de coloração, a análise de variância indicou efeito significativo entre as fontes de variação estudadas ( $P < 0,05$ ), com maior grau de

significância para tempo de refrigeração, estágio de maturação e tempo de vida útil. Entretanto, para a variável FM, a análise de variância indicou efeito significativo ( $P < 0,05$ ) para as fontes de variação tempo de refrigeração e período de vida útil (Quadro 2A – Apêndice).

A aplicação do 1-MCP mostrou efeito significativo ( $P < 0,05$ ) sobre a produção de etileno, havendo, de modo geral, redução na produção deste hormônio em frutos no estágio 0, 1 e 2 de maturação tratados com 1-MCP. Essa eficiência na redução da produção de etileno foi observada nos tratamentos sem refrigeração e com 8, 16 e 24 dias sob refrigeração (Tabela 1). O armazenamento dos frutos por 8 dias sob refrigeração após aplicação do 1-MCP se mostrou, de modo geral, o mais eficiente na redução da produção de etileno, tanto em frutos refrigerados e tratados com 1-MCP quanto em frutos refrigerados e não tratados com 1-MCP, independentemente do estágio de maturação (Tabela 1).

Avaliando frutos no estágio 0 de maturação, observa-se que a aplicação do 1-MCP se mostrou significativo a partir do terceiro dia de prateleira na redução da ação autocatalítica do etileno em todos os tratamentos, refrigerados ou não. Ressalta-se que houve diferença significativa ( $P < 0,05$ ) entre as médias ao longo dos 6 dias de prateleira e entre frutos tratados e não tratados com 1-MCP (Tabela 1). Jacomino et al. (2002) também observaram redução na produção de etileno em mamão no estágio verde tratado com 1-MCP e armazenado a 20°C sem prévia refrigeração. Nos frutos tratados com 1-MCP, a emissão de etileno se manteve baixa nos tratamentos sem refrigeração e com 8 dias de refrigeração, aumentando após 16 e 24 dias de armazenamento sob refrigeração. A redução na produção de etileno observada nos tratamentos sem refrigeração e com 8 dias sob refrigeração pode estar relacionada à formação de poucas moléculas receptoras ou à não ativação destas moléculas em frutos no estágio 0 de maturação ao longo do período de prateleira, impedindo, assim, a recuperação do amadurecimento (Bron et al., 2006).

Segundo Trewavas (1982), não somente a concentração do hormônio mas também a sensibilidade do tecido são responsáveis pelas respostas celulares, estando isto relacionado ao estágio de desenvolvimento dos frutos.

A recuperação na produção de etileno em frutos previamente refrigerados por longo tempo pode estar relacionada com a regeneração de novos receptores de etileno, o que conduz à produção de etileno autocatalítico (Sisler & Serek,

1997). Padrão de resposta similar foi observado por Antunes et al. (2002), quando os autores observaram que a produção autocatalítica de etileno aumentou em frutos Kiwi 'Hayward' armazenados à temperatura ambiente, previamente refrigerados por 12 e 17 dias a 10 °C.

**Tabela 1:** Taxa de produção de etileno em mamão 'Golden' ( $\mu\text{L C}_2\text{H}_4 \text{ Kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ ), tratado e não tratado com 1-metilciclopropeno. Os frutos foram refrigerados por 0, 8, 16 e 24 dias a 10 °C, seguidos de armazenamento de prateleira a 25 °C por 6 dias. Foram avaliados frutos nos estádios 0, 1 e 2 de maturação.

Maturação	Período de prateleira	Tempo de refrigeração							
		0 dias		8 dias		16 dias		24 dias	
		Com 1-MCP	Sem 1-MCP	Com 1-MCP	Sem 1-MCP	Com 1-MCP	Sem 1-MCP	Com 1-MCP	Sem 1-MCP
Estádio 0	0	0,01 Ba	0,57 Ab	0,01 Aa	0,02 Ab	0,023 Ac	0,03 Ac	0,35Ab	0,46 Ac
	3	0,18 Ba	0,99 Aa	0,07 Ba	0,36 Aa	0,46 Bb	0,86 Ab	1,34 Ba	1,63 Aa
	6	0,36 Ba	0,92 Aa	0,05 Ba	0,43 Aa	1,15 Ba	1,45 Aa	1,15 Aa	1,04 Ab
Estádio 1	0	0,65 Aa	0,65 Aa	0,02 Ab	0,05 Ab	0,036 Ab	0,04 Ac	0,17 Ab	0,37 Ab
	3	0,53 Aa	0,61 Aa	0,04 Aab	0,16 Ab	0,23 Bb	0,49 Ab	0,41 Aab	0,72 Aa
	6	0,47 Aa	0,63 Aa	0,27 Ba	0,44 Aa	0,48 Ba	1,57 Aa	0,56 Ba	0,85 Aa
Estádio 2	0	0,92 Ba	2,74 Aa	0,01 Ab	0,02 Ab	0,20 Ab	0,15 Ab	0,26 Ba	0,62 Aab
	3	0,55 Bb	1,80 Ab	0,30 Aa	0,35 Aa	0,28 Bb	0,99 Aa	0,18 Ba	0,50 Ab
	6	0,69 Bab	1,20 Ac	0,20 Aab	0,25 Aab	0,73 Ba	1,21 Aa	0,41 Ba	0,84 Aa

Médias seguidas de mesma letra maiúscula, na linha, e minúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

De modo geral, este aumento foi seguido de aumento no estímulo à produção de ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC). No último passo de biossíntese de etileno, há conversão de ACC para etileno, resultado da ação da ACC oxidase. Dessa forma, assim como observado por Antunes et al. (2002), Vilaplana et al. (2007) também observou que a refrigeração de maçãs por longo tempo, seguida de armazenamento à temperatura ambiente, estimula o aumento da atividade da ACC oxidase e, conseqüentemente, de produção de etileno no período de prateleira.

Não foi observado pico característico de produção de etileno nos tratamentos sem refrigeração, com 8 e 16 dias de refrigeração, entretanto, houve evidência de um pico de produção de etileno no tratamento com 24 dias de refrigeração, quando, ao longo dos 6 dias de prateleira, a emissão variou de 0,346  $\mu\text{L kg}^{-1}\text{h}^{-1}$  no tempo 0, 1,343  $\mu\text{L kg}^{-1}\text{h}^{-1}$  no terceiro dia e 1,145  $\mu\text{L kg}^{-1}\text{h}^{-1}$  no sexto dia de prateleira.

Esses resultados indicam que, aparentemente, o armazenamento de frutos sob refrigeração prolongada interfere na produção de etileno, mas não paralisa

esse processo, mesmo nos frutos tratados com 1-MCP. A refrigeração é uma importante ferramenta na manutenção da qualidade, haja vista que frutos refrigerados por 8 dias sem tratamento com 1-MCP apresentaram redução na produção de etileno quando comparada com a de frutos não refrigerados.

Estudos conduzidos por Jeong et al. (2002) também observaram redução na produção de etileno e atraso no tempo para produção do pico de etileno em frutos de abacateiro tratados com 1-MCP. Segundo esses autores, frutos que não sofreram aplicação do 1-MCP atingiram o pico de etileno de  $124,2 \mu\text{L kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ , com 6 dias de armazenamento a  $20^{\circ}\text{C}$ , enquanto frutos tratados com 1-MCP atingiram pico de etileno de  $45,9 \mu\text{L kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ , com 10 dias de armazenamento a  $20^{\circ}\text{C}$ .

Os frutos no estágio 1 de maturação armazenados sem refrigeração e tratados com 1-MCP apresentaram uma tendência de queda na produção de etileno, porém, não apresentaram diferença significativa ao longo dos 6 dias de prateleira (Tabela 1). Naqueles frutos não tratados com 1-MCP os resultados mostraram também que não houve diferença significativa na produção de etileno dos frutos durante o período de prateleira. Após 8 dias de refrigeração, houve diferença significativa na produção de etileno durante o período de prateleira, tanto em frutos tratados quanto em frutos não tratados com 1-MCP. Entretanto, a produção média de etileno em frutos não tratados com 1-MCP foi maior, cerca de duas vezes em relação àquela observada nos frutos tratados com 1-MCP (Tabela 1). Estes dados, cuja tendência se assemelha aos observados nos frutos armazenados sob refrigeração por 16 dias, demonstram que a refrigeração associada com a ação do 1-MCP foi eficiente em reduzir a produção de etileno.

A ação do 1-MCP é mediada por meio da inibição da percepção do etileno pelo tecido vegetal, pela interatividade com o receptor e competição com o etileno pelo sítio de ligação (Sisler & Serek, 2003), o que pode estar relacionado ao estágio de maturação e ao tempo de refrigeração do fruto.

Manenoi et al. (2007), trabalhando com frutos do mamoeiro cv. 'Rainbow' no estágio 1 de maturação (10% da casca com coloração amarela) tratados com 1-MCP, observaram uma redução na produção de etileno quando os frutos foram armazenados a  $22^{\circ}\text{C}$ . Bron (2006) obteve resultados semelhantes: uma redução na produção de etileno em mamão submetidos à aplicação do 1-MCP, no terceiro dia de armazenamento a  $23^{\circ}\text{C}$ , sem prévia refrigeração.

Em frutos no estágio 2 de maturação, as respostas do 1-MCP sob a produção de etileno apresentaram-se distintas às aquelas observadas para frutos no estágio 0 e 1 de maturação. Nos frutos armazenados sem refrigeração, o 1-MCP se mostrou efetivo na redução da produção de etileno, entretanto, esta se mostrou superior nos armazenamentos com 8, 16 e 24 dias sob refrigeração, sendo superior também à produção de etileno dos estágios 0 e 1 de maturação. Dessa maneira, podemos inferir que a efetiva resposta do 1-MCP em frutos armazenados à temperatura ambiente, sem prévia refrigeração, está relacionada com o estágio de maturação em que os frutos são tratados, condicionando respostas menos efetivas em estágios de maturação mais avançados. Em tomates verde-maduros, Hoerberichts et al. (2002) conseguiram inibir a produção de etileno por 11 dias quando os frutos foram tratados com 1-MCP e armazenados à 23°C. Todavia, em tomates maduros armazenados à temperatura ambiente, Wills & Ku (2002) conseguiram retardar a produção de etileno por apenas 5 dias quando os frutos foram tratados com 1-MCP, demonstrando, que o estágio de maturação interfere na resposta efetiva do 1-MCP sobre a produção de etileno.

A produção de etileno foi reduzida em todos os frutos tratados com 1-MCP, independentemente do tipo de armazenamento. Entretanto, o armazenamento com 8 dias de refrigeração se mostrou o mais efetivo na redução da produção de etileno, assim como observado nos estágios 0 e 1 de maturação. No entanto, o armazenamento com 24 dias de refrigeração demonstrou queda na produção de etileno quando comparado aos armazenamentos sem refrigeração e com 16 dias de refrigeração. Este padrão de resposta indica que a produção autocatalítica de etileno nos frutos tende a decrescer de acordo com o avanço no estágio de maturação e aumento no tempo de armazenamento dos frutos sob refrigeração. Em maracujá-amarelo (*P. edulis flavicarpa* Deg.), Winkler et al. (2002) observaram que há uma diferença quanto à produção de etileno e à atividade do ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico oxidase (ACCO), em função do estágio de maturação dos frutos. Estes autores notaram que a média de produção de etileno e atividade da ACCO foram elevadas em frutos predominantemente verdes, e reduzidas, em frutos predominantemente amarelos, indicando a influência do estágio de maturação na produção de etileno, porém, neste estudo, não foi considerada a refrigeração.



Avaliando o padrão respiratório, observa-se que o tratamento com 1-MCP se mostrou eficiente na redução da taxa respiratória no tratamento sem refrigeração, independentemente do estágio de maturação dos frutos (Tabela 2). Deve-se ressaltar que, apesar da ação do 1-MCP, a taxa respiratória dos frutos no estágio 0 de maturação aumentou ao longo dos 6 dias de prateleira. Os frutos armazenados por 8 dias sob refrigeração apresentaram taxa respiratória reduzida em comparação com a dos frutos não refrigerados ou refrigerados por 16 e 24 dias, sem tratamento com 1-MCP. Nos estádios 1 e 2 de maturação, a taxa respiratória tendeu a aumentar, principalmente entre o terceiro e o sexto dia de prateleira. Este aumento foi superior ao observado no tratamento sem refrigeração, mesmo em frutos tratados com 1-MCP. Este padrão de resposta também foi observado no tratamento com 16 dias de refrigeração, ressaltando que, em frutos no estágio 2 de maturação, a taxa respiratória se manteve maior em frutos tratados com 1-MCP quando comparada à dos frutos não tratados com 1-MCP.

A taxa respiratória em frutos nos estádios 1 e 2 de maturação apresentaram tendência de elevação de acordo com o aumento no tempo de refrigeração, como observado nos tratamentos com 8, 16 e 24 dias de refrigeração.

**Tabela 2:** Taxa respiratória ( $\text{mg CO}_2 \text{ Kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ ) em fruto do mamoeiro 'Golden' tratado e não tratados com 1-metilciclopropeno. Os frutos foram refrigerados por 0, 8, 16 e 24 dias a  $10^\circ\text{C}$ , seguido de armazenamento de prateleira a  $25^\circ\text{C}$  por 6 dias. Foram avaliados frutos nos estádios 0, 1 e 2 de maturação.

Maturação	Período de prateleira	Tempo de refrigeração							
		0 dias		8 dias		16 dias		24 dias	
		Com 1-MCP	Sem 1-MCP	Com 1-MCP	Sem 1-MCP	Com 1-MCP	Sem 1-MCP	Com 1-MCP	Sem 1-MCP
Estádio 0	0	15,32 Bb	42,90 Aa	23,05 Ab	24,80 Ac	32,60 Ac	31,00 Ac	40,20 Aa	31,99 Bb
	3	14,98 Ba	38,60 Ab	31,50 Ba	35,30 Aa	42,24 Ab	38,86 Bb	42,33 Aa	38,41 Aa
	6	14,62 Ba	39,05 Ab	32,80 Aa	30,71 Ab	46,97 Ba	57,10 Aa	28,01 Ab	24,96 Ac
Estádio 1	0	13,31 Bb	32,40 Ac	29,13 Ab	30,98 Ab	42,71 Ab	38,86 Bb	46,50 Aa	44,76 Aa
	3	27,33 Ba	37,98 Ab	25,44 Bb	33,81 Ab	40,66 Ab	38,12 Bb	46,43 Aa	45,41 Aa
	6	28,80 Ba	42,93 Aa	38,99 Aa	39,13 Aa	51,34 Aa	50,1 Aa	32,35 Ab	26,45 Ab
Estádio 2	0	21,50 Bc	42,71 Aa	35,66 Bb	39,17 Ab	68,32 Aa	57,10 Ba	55,01 Ab	90,88 Bb
	3	25,81 Bb	52,32 Ab	31,81 Bc	39,13 Ab	51,11 Ab	43,27 Bc	61,50 Aa	60,61 Aa
	6	31,01 Ba	42,70 Aa	57,40 Aa	46,63 Ba	51,36 Ab	48,87 Bb	42,01 Ac	32,60 Bc

Médias seguidas de mesma letra maiúscula, na linha, e minúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Esses resultados mostram que o 1-MCP foi eficiente na redução da taxa respiratória, entretanto, quando associado a períodos mais longos de

armazenamento sob baixa temperatura, apresenta tendência de redução na ação sob a respiração, principalmente nos estádios 1 e 2 de maturação (Tabela 2).

Os frutos no estágio 0 de maturação armazenados sem refrigeração e tratados com 1-MCP não apresentaram alteração significativa na taxa de respiração entre o terceiro e o sexto dia de prateleira (Tabela 2)

A mesma tendência foi observada em frutos sem tratamento com 1-MCP. Os resultados mostraram, entretanto, que a respiração dos frutos não tratados foi superior ( $P < 0,05$ ) àquelas dos frutos tratados com 1-MCP.

Nos tratamentos com 16 e 24 dias de refrigeração, foram observados aumentos significativos na respiração ao longo dos 6 dias de prateleira, tanto em frutos tratados quanto em frutos não tratados com 1-MCP (Tabela 2). De modo geral, observa-se uma tendência de taxas respiratórias mais altas nos frutos tratados com 1-MCP e armazenados por 16 ou 24 dias sob refrigeração, em relação aos frutos armazenados até 8 dias sob refrigeração. Há de se destacar, também, a redução expressiva na taxa respiratória observada nos frutos tratados com 1-MCP e não submetidos à refrigeração.

A taxa respiratória em frutos no estágio 1 de maturação, tratados com 1-MCP e não refrigerados, apresentou redução no aumento ( $P < 0,05$ ), com valores médios variando de  $13,31 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  no tempo 0, e  $28,80 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  no sexto dia de prateleira. Em frutos não tratados, as médias da taxa respiratória estiveram entre  $32,40 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  e  $42,93 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  entre o tempo 0 e o sexto dia de prateleira, respectivamente (Tabela 2).

Estes dados demonstram, dessa forma, que, assim como a produção de etileno, a respiração também foi reduzida em frutos tratados com 1-MCP e armazenados à temperatura ambiente. Resultados parecidos foram encontrados por Manenoi et al. (2007) que observaram que a taxa de respiração do mamão na cor "break" (1 a 10% de cor amarela), tratados com 1-MCP e armazenados a  $22^\circ\text{C}$ , declinou nos cinco primeiros dias de armazenamento, seguidos de um incremento lento durante os 15 dias restantes. Bron (2006) observou, em frutos de mamão 'Golden' no estágio 1 de maturação, tratados com 1-MCP, uma redução na atividade respiratória nos cinco primeiros dias de armazenamento a  $23^\circ\text{C}$ , seguido de um incremento, atingindo valor médio de  $52,15 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ , com 7 dias de armazenamento. Jacomino et al. (2002) também observaram redução na atividade respiratória em mamão 'Sunrise Solo' tratados com 1-MCP e

armazenados à temperatura de 20<sup>0</sup>C. Trabalhos com outras fruteiras, como banana, evidenciaram também uma taxa respiratória mais baixa em frutos tratados com 1-MCP (Lohani et al., 2004). Estes resultados demonstram que, apesar de o processo de refrigeração ter uma comprovada eficiência na redução da atividade respiratória, neste caso, esta redução se deu em maior magnitude pela ação do 1-MCP.

Nos frutos em estágio 1 de maturação armazenados por 16 e 24 dias de refrigeração, não houve diferença significativa na taxa respiratória até o terceiro dia de prateleira, tanto nos tratados quanto nos não tratados com 1-MCP. Os resultados mostraram que a taxa de respiração se manteve crescente nos frutos armazenados por 16 dias sob refrigeração, ao longo dos seis dias de prateleira, apresentando inclusive valores maiores em frutos tratados com 1-MCP (Tabela 2). Assim como foi observado em frutos no estágio 0 de maturação, nos frutos em estágio 1 de maturação, houve uma tendência de ação menos efetiva do 1-MCP, quando esse tratamento foi combinado com o armazenamento dos frutos sob refrigeração por períodos de tempo igual ou superior a 16 dias. Isso pode ocasionar uma aceleração no amadurecimento e diminuição no tempo de prateleira destes frutos. Resposta similar foi encontrada por An & Paull (1990), que observaram que mamões armazenados a 10<sup>0</sup>C por 14 dias amadureceram mais rapidamente quando expostos à temperatura ambiente. Este padrão de resposta pode estar relacionado diretamente com o tempo de refrigeração em que os frutos são submetidos. Desse modo, o tempo prolongado de refrigeração pode ter induzido o aumento na taxa respiratória após o armazenamento dos frutos no período de prateleira, ou ainda, pode estar relacionado ao tempo de ação do 1-MCP sobre os frutos.

Embora a ligação do 1-MCP ao receptor de etileno seja irreversível, o tecido vegetal recupera a sensibilidade ao fitormônio devido à formação de novos receptores, recuperando assim os eventos bioquímicos ligados à ação do etileno e associados com o amadurecimento dos frutos (Sisler & Serek, 1997). Resultados semelhantes foram descritos por Bron (2006), quando frutos do mamoeiro 'Golden' apresentaram um aumento na respiração assim que os frutos foram retirados do armazenamento refrigerado a 11<sup>0</sup>C por 20 dias e armazenados a 23<sup>0</sup>C. Foi registrada uma taxa respiratória média de 35,97 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> para frutos tratados e 44,96 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> para frutos não tratados com 1-MCP.

No tratamento sem refrigeração, a taxa de respiração em frutos no estágio 2 de maturação apresentou diferenças significativas ( $P < 0,05$ ) ao longo dos 6 dias de prateleira, tanto em frutos tratados quanto em frutos não tratados com 1-MCP (Tabela 2). A taxa respiratória em frutos tratados com 1-MCP variou de  $21,50 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  no tempo 0 a  $31,01 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  no sexto dia de prateleira, enquanto, em frutos não tratados com 1-MCP, a taxa de respiração variou de  $42,71$  a  $42,70 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  entre o tempo 0 e sexto dia de prateleira, respectivamente. Este padrão de resposta indica a ação efetiva do 1-MCP em retardar a respiração em frutos armazenados à temperatura ambiente, mesmo em estádios de maturação mais avançados. Jacomino et al. (2002) reportam uma redução na atividade respiratória do mamão no estágio de maturação maduro tratados com 1-MCP e armazenados a  $20^\circ\text{C}$  por 8 dias, sem tratamento prévio de refrigeração.

Nos tratamentos em frutos no estágio 2 de maturação por 16 e 24 dias de refrigeração, houve diferenças significativas na taxa de respiração dos frutos durante o período de prateleira, tanto em frutos tratados quanto em frutos não tratados com 1-MCP. Os resultados mostram que houve uma tendência de intensificação da taxa de respiração em frutos no estágio 2 de maturação, armazenados sob refrigeração por 16 e 24 dias, tanto em frutos tratados quanto em frutos não tratados com 1-MCP. Nos frutos tratados por 16 dias sob refrigeração, a respiração atingiu valores de  $68,32 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  no tempo 0,  $51,36 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  no sexto dia de prateleira em frutos tratados com 1-MCP. Variou de  $57,10 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  a  $48,87 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  entre o tempo 0 e o sexto dia de prateleira, respectivamente, em frutos não tratados com 1-MCP, fato que indica, provavelmente, que, apesar do aumento na taxa de respiração dos frutos, o pico climatérico já ocorrera tanto em frutos tratados quanto nos não tratados com 1-MCP.

De modo geral, o aumento na taxa de respiração não foi acompanhado pelo aumento na produção de etileno nos frutos submetidos a 16 e 24 dias de refrigeração, nos três estádios de maturação trabalhados neste experimento. A produção de etileno em frutos climatéricos aumenta com o amadurecimento dos frutos, podendo o seu pico ocorrer simultaneamente, antes ou após a ocorrência do pico climatérico respiratório. Dessa forma, a produção de etileno e o pico climatérico podem ser eventos independentes.

O tratamento com 1-MCP apresentou efeito significativo ( $P < 0,05$ ) na retenção da coloração dos frutos, principalmente em frutos nos estádios 0 e 1 de maturação. Os frutos armazenados sob refrigeração por 8 dias apresentaram os maiores valores de ângulo de cor quando comparados aos dos frutos armazenados sob refrigeração por 16 e 24 dias (Tabela 3). Os frutos armazenados por 24 dias sob refrigeração apresentaram os menores ângulos de cor, o que indica mudança de coloração mais acentuada em frutos no estágio 2 de maturação, ainda que estes frutos estivessem submetidos à temperatura de resfriamento.

O ângulo de cor foi menor, de modo geral, em frutos não refrigerados e não tratados com 1-MCP quando comparado ao dos frutos refrigerados por 8 e 16 dias, demonstrando que a refrigeração exerce papel importante na manutenção da coloração dos frutos (Tabela 3). A refrigeração também atuou de forma a reduzir a emissão de etileno nos frutos armazenados por 8 e 16 dias sob refrigeração, o que explicaria a retenção da coloração da casca dos mesmos, haja vista que o etileno é um modulador da atividade da clorofilase, enzima responsável por degradar a molécula de clorofila, que promove a despigmentação do fruto (HersHKovitz et al., 2005).

**Tabela 3:** Coloração da casca com base no ângulo de coloração *hue* ( $h^{\circ}$ ), em mamão 'Golden' tratado e não tratado com 1-MCP. Os frutos foram refrigerados por 0, 8, 16 e 24 dias a  $10^{\circ}\text{C}$ , seguidos de armazenamento de prateleira a  $25^{\circ}\text{C}$  por 6 dias. Foram avaliados frutos nos estádios 0, 1 e 2 de maturação.

Maturação	Período de prateleira	Tempo de refrigeração							
		0 dias		8 dias		16 dias		24 dias	
		Com 1-MCP	Sem 1-MCP	Com 1-MCP	Sem 1-MCP	Com 1-MCP	Sem 1-MCP	Com 1-MCP	Sem 1-MCP
Estádio 0	0	114,5 Aa	111,5 Ba	112,1 Aa	109,6 Ba	109,2 Aa	105,1 Ba	96,9 Aa	98,4 Aa
	3	103,5 Ab	85 Bb	105,1 Ab	99,1 Bb	98,8 Ab	86,7 Bb	86,7 Ab	84,2 Bb
	6	92,3 Ac	81,3 Bc	90,4 Ac	86,4 Bc	82,5 Ac	78,3 Bc	82,9 Ac	83,4 Ab
Estádio 1	0	108,9 Ba	110,3 Aa	110 Aa	109,2 Aa	107,1 Aa	108,4 Aa	96,6 Aa	93,1 Ba
	3	94,6 Ab	79,6 Bb	101,1 Ab	95,1 Bb	8,6 Ab	85,6 Bb	85,7 Ab	81,8 Bb
	6	83,6 Ac	77,4 Bc	91,1 Ac	84,2 Bc	80,6 Ac	78,2 Bc	83,2 Ac	80,6 Bb
Estádio 2	0	103,7 Ba	106,3 Aa	105,9 Aa	97,4 Ba	103,5 Aa	96,8 Ba	87,2 Aa	89,1 Aa
	3	93,8 Ab	79,9 Bb	92,4 Ab	86,5 Bb	84,4 Ab	81,9 Bb	82,1 Ab	81,05 Ab
	6	84,1 Ac	75,8 Bc	85,6 Ac	81,7 Bc	80,8 Ac	75,7 Bc	80,5 Ab	80,3 Ab

Médias seguidas de mesma maiúscula, na linha, e minúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Frutos no estágio 0 de maturação não refrigerados e tratados com 1-MCP apresentaram diferença significativa ( $P < 0,05$ ) no ângulo de cor ao longo dos 6 dias de prateleira, em relação à mudança de cor acentuada nos frutos não tratados com 1-MCP.

Nos frutos em estágio 0 de maturação refrigerados por 16 e 24 dias, observou-se que os valores médios do ângulo de cor tendem a reduzir de acordo com o aumento no tempo de refrigeração. Isso significa que, no terceiro dia de prateleira, as médias de coloração nos tratamentos sem refrigeração, com 16 e 24 dias sob refrigeração, foram de  $103,5 \text{ h}^\circ$ ,  $98,8 \text{ h}^\circ$  e  $86,7 \text{ h}^\circ$ , respectivamente. Entretanto, no tratamento com 8 dias sob refrigeração, as médias de ângulo de cor se apresentaram maiores, demonstrando que, aparentemente, a utilização do 1-MCP sem refrigeração ou, refrigerados por 8 dias, apresentam resultados significativos na retenção da cor verde da casca dos frutos (Tabela 3).

A retenção da coloração da casca em frutos de mamão verde tratados com 1-MCP também foi descrita por Jacomino et al. (2002). Esses autores observaram a perda da cor verde mais lentamente em frutos tratados com 1-MCP. Manenoi et al. (2007) observaram que frutos do mamoeiro no estágio 1 de maturação (menos de 10% amarelo), tratados com 1-MCP e armazenados a  $22 \text{ }^\circ\text{C}$ , apresentaram redução no tempo para o completo amarelecimento, em torno de 14 dias.

Frutos no estágio 1 de maturação tratados com 1-MCP apresentaram retenção da coloração quando comparada com a dos frutos não tratados com 1-MCP, em todos os tratamentos avaliados, com médias significativamente ( $P < 0,05$ ) diferentes ao longo dos seis dias de prateleira.

O tratamento com 1-MCP foi eficiente em retardar a perda de coloração dos frutos, entretanto, os frutos armazenados por 8 dias sob refrigeração apresentaram os maiores valores de ângulo de cor, variando de  $110^\circ$  no tempo 0 a  $101,1^\circ$  no terceiro dia de prateleira. Este padrão de resposta foi observado por Manenoi et al. (2007), que observaram que, em frutos de mamoeiro com cerca de 30% da casca amarela, tratados com 1-MCP e armazenados por uma semana a  $10^\circ\text{C}$  e, posteriormente a  $22 \text{ }^\circ\text{C}$ , atingiram o completo amarelecimento aos 7 dias, enquanto o controle atingiu este mesmo aspecto de cor aos 5 dias.

A mudança de cor dos frutos no estágio 1 de maturação armazenados por 16 e 24 dias sob refrigeração se assemelha ao padrão de resposta observado nos frutos do estágio 0 de maturação, quando a perda da coloração verde se acentuou

em função do aumento no tempo de refrigeração. Os frutos no estágio 1 de maturação, armazenados sem refrigeração e tratados com 1-MCP, apresentaram o ângulo de coloração com valores mais altos ( $P < 0,05$ ), quando comparado aos dos frutos não tratados com 1-MCP a partir do terceiro dia de prateleira. Esses resultados indicam uma maior retenção da cor verde da casca dos frutos tratados com 1-MCP (Tabela 3).

A perda da cor verde dos frutos do mamoeiro está ligada à quebra da estrutura da molécula de clorofila, envolvendo, principalmente, a atividade da clorofilase. Até o momento, pouco ainda se sabe a respeito dos efeitos do 1-MCP sobre o metabolismo de pigmentos. Hershkovitz et al. (2005) evidenciaram que a atividade da enzima clorofilase foi reduzida em frutos de abacateiro tratados com 1-MCP, como também observado por Win et al. (2006), que encontraram redução na atividade da clorofilase em lima (*Citrus aurantifolia*, Swingle cv. Pann) tratados com 1-MCP nos primeiros doze dias de armazenamento à temperatura ambiente.

Este padrão de retenção da cor também foi observado por Lima et al. (2004) em frutos de bananeira, quando a aplicação de 1-MCP foi eficiente para reter a cor verde da casca. Fan et al. (2000) observaram, em frutos de abacateiro, atraso do desenvolvimento da coloração da casca em frutos tratados com 1-MCP. A retenção da coloração da casca de frutos também foi verificada por Argenta et al. (2001) em maçã e, por Hofman et al. (2001), em manga, após tratamento com 1-MCP.

Nos frutos do mamoeiro em estágio 2 de maturação, o tratamento com 1-MCP retardou a mudança da coloração dos frutos que não foram refrigerados, bem como daqueles armazenados por 8 e 16 dias sob refrigeração. Os frutos armazenados sem refrigeração e os com 8 dias sob refrigeração foram os que mantiveram a coloração da casca, quando comparada à dos frutos armazenados por 16 e 24 dias sob refrigeração. Apesar da retenção da coloração, deve-se ressaltar que a resposta à aplicação 1-MCP, em frutos no estágio 2 de maturação, foi menos efetiva que aquela observada em frutos no estágio 1 de maturação e no estágio 0 de maturação. Segundo Harris et al. (2000), as respostas à aplicação do 1-MCP dependem, em geral, da concentração e do tempo de exposição ao gás, mas variam com as condições de armazenamento e o estágio de maturação do fruto quando tratado.

Nos frutos no estágio 2 de maturação, armazenados por 24 dias sob refrigeração, a mudança na coloração da casca não foi influenciada pela aplicação do inibidor da ação do etileno. De modo que frutos tratados e não tratados com 1-MCP não apresentaram diferença significativa ( $P>0,05$ ) no ângulo de cor *hue* ao longo dos seis dias de prateleira (Tabela 3). Isto mostra que os frutos em estágio de maturação mais avançado (estádio 2), quando tratados com 1-MCP, respondem de forma diferente no que diz respeito à mudança de coloração da casca, muito provavelmente pelo estado mais avançado de amadurecimento dos frutos. No entanto, observou-se que a ação do 1-MCP foi mais acentuada na retenção da firmeza do mesocarpo do que na retenção da coloração verde do fruto.

Nesse contexto, apesar de os frutos no estágio 1 e 2 de maturação apresentarem retenção na firmeza do mesocarpo, quando armazenados sob refrigeração por 8, 16 e 24 dias, o progresso no amarelecimento dos frutos continuou. Assim, é razoável supor que o desenvolvimento na coloração dos frutos é menos dependente do etileno quando comparado ao processo de perda de firmeza. Este padrão de resposta também foi observado em frutos de mamoeiro por Bron et al. (2006), que demonstraram que frutos em estágio de maturação diferentes atingem o amarelecimento da casca antes de atingir o ideal de firmeza da polpa para consumo. De acordo com Flores et al. (2001), enquanto o desverdecimento da casca dos frutos é dependente do etileno, a síntese de pigmentos amarelos não o é, ocorrendo mesmo sem a presença hormônio.

Estes dados demonstram que períodos de refrigeração muito extensos podem atuar de forma prejudicial na manutenção da qualidade pós-colheita, uma vez que podem contribuir para a perda de coloração mais acentuada dos frutos. Este padrão de resposta também foi observado por Oliveira (2002), que observou que, em frutos de mamoeiro 'Golden', as mudanças na coloração da casca foram mais acentuadas em frutos refrigerados por 20 dias e, posteriormente, mantidos por 6 dias à temperatura ambiente, quando comparadas à dos frutos não refrigerados.

Avaliando a firmeza do mesocarpo (FM), a análise de variância indicou efeito significativo ( $P<0,05$ ) do 1-MCP em retardar a perda de firmeza do mesocarpo dos frutos, em todos os estágios de maturação avaliados (Tabela 4).



Nos frutos em estágio 0 de maturação, a perda de FM foi inibida nos tratados com 1-MCP, porém, as maiores médias foram observadas nos frutos armazenados sem refrigeração e com 8 dias sob refrigeração. Este padrão de resposta também foi observado para os frutos nos estádio 1 e 2 de maturação (Tabela 4). Nos frutos armazenados por 16 e 24 dias sob refrigeração, a FM apresentou uma tendência de redução, tanto maior, quanto mais longo o tempo de armazenamento sob refrigeração. Essa tendência foi observada tanto em frutos no estágio 0, como no estágio 1 de maturação.

**Tabela 4:** Firmeza do mesocarpo (N) em mamão ‘Golden’ tratado e não tratado com 1-metilciclopropeno (1-MCP) e armazenados a 10°C por 0, 8, 16 e 24 dias, com amostragens aos 0, 3 e 6 dias de prateleira a 25°C. Os frutos foram avaliados nos estádios 0, 1 e 2 de

Maturação	Período de prateleira	Tempo de refrigeração							
		0 dias		8 dias		16 dias		24 dias	
		Com 1-MCP	Sem 1-MCP	Com 1-MCP	Sem 1-MCP	Com 1-MCP	Sem 1-MCP	Com 1-MCP	Sem 1-MCP
Estádio 0	0	74,46 Aa	60,22 Ba	73,45 Aa	37,51 Ba	62,03 Aa	32,56 Ba	58,76 Aa	9,39 Ba
	3	45,62 Ab	3,84 Bb	58,83 Ab	11,67 Bb	59,55 Aa	2,64 Bb	18,69 Ab	5,42 Ba
	6	30,7 Ac	2,81 Bb	22,18 Ac	3,38 Bc	8,35 Ab	2,78 Bb	9,36 Ac	3,42 Aa
Estádio 1	0	48,21 Aa	42,07 Ba	58,82 Aa	56,38 Aa	61,86 Aa	28,56 Ba	32,67 Aa	7,15 Ba
	3	41,91 Aa	3,46 Bb	62,53 Aa	13,5 Bb	36,77 Ab	5,85 Bb	26,96 Aa	6,23 Ba
	6	10,16 Ab	3,1 Bb	32,85 Ab	3,27 Bc	11,28 Ac	3,42 Bb	8,02 Ab	3,18 Aa
Estádio 2	0	69,21 Aa	8,51 Ba	71,93 Aa	20,28 Ba	34,61 Aa	26,32 Ba	40,29 Aa	7,86 Ba
	3	51,82 Ab	3,48 Ba	40,96 Ab	7,39 Bb	34,21 Aa	3,43 Bb	32,76 Aa	3,18 Ba
	6	11,44 Ac	2,85 Ba	40,33 Ab	2,77 Bb	10,69 Ab	3,69 Bb	19,92 Ab	4,42 Ba

Médias seguidas de mesma letra maiúscula, na linha, e minúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Ainda que a FM tenha reduzido ao longo do tempo de armazenamento refrigerado, os frutos tratados com 1-MCP apresentaram valores relativamente altos de FM no sexto dia de prateleira, em muitos casos superiores ( $P < 0,05$ ) aos níveis verificados nos frutos não tratados com 1-MCP no mesmo tempo de prateleira (Tabela 4).

Os frutos no estágio 0 de maturação tratados com 1-MCP apresentaram tendência de perda de FM após armazenamento refrigerado por 16 e 24 dias. Deve-se ressaltar que, apesar da FM se reduzir com o tempo de armazenamento refrigerado, a FM nos frutos tratados com 1-MCP diferiu significativamente ( $P < 0,05$ ) das verificadas nos frutos não tratados com 1-MCP. Os dados mostram que, nos frutos tratados com 1-MCP, a FM foi, no mínimo, duas vezes superior à verificada nos frutos não tratados com 1-MCP, ao longo dos 6 dias de prateleira,

cujos valores de FM foram maiores nos frutos armazenados por 8 dias e menores naqueles armazenados por 24 dias sob refrigeração.

A partir desses resultados, pode-se inferir que a menor perda de FM nos frutos armazenados sem refrigeração e naqueles armazenados por 8 dias sob refrigeração, pode estar associada à redução na produção de etileno, observada nos frutos no estágio 0 de maturação (Tabela 1). Sabe-se que a perda de FM tem estreita relação com a atividade de enzimas pectinolíticas, cuja atividade é modulada pela ação do etileno (Bron, 2006). Dessa forma, o etileno tem grande influência na atividade de enzimas envolvidas na degradação da parede celular (Brummell and Harpster, 2001). Esta relação também é observada em outras espécies de frutos, tal como vista em melões, que, ao expressarem o ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC) *antisense*, têm o amadurecimento completamente bloqueado (Guis et al., 1997).

A retenção da FM também foi observada por Jacomino et al. (2002) em frutos de mamoeiro verdes tratados com 1-MCP. Manenoi et al. (2007) também observaram, como consequência da aplicação do 1-MCP, uma redução drástica na perda de firmeza da polpa de frutos de mamão no estágio *break*, desenvolvendo assim, uma firmeza descrita como *rubbery*.

Nos frutos no estágio 1 de maturação, observou-se diferença ( $P < 0,05$ ) na FM entre frutos tratados e não tratados com 1-MCP, independentemente do tempo de armazenamento, com tendência de redução após 24 dias de armazenamento sob refrigeração. Apesar de ter sido observada redução na FM nos frutos no estágio 1 de maturação armazenados por 24 dias sob refrigeração, deve-se ressaltar que a aplicação do 1-MCP nos frutos, neste estágio, associada ao armazenamento sob refrigeração, resultou em retenção da FM durante todo o período de prateleira. Destacam-se os frutos armazenados por 8 dias, quando a FM no sexto dia de prateleira ainda apresentava valores muito altos, em torno de 33 N (Tabela 4).

Este padrão de resposta também foi observado por Manenoi et al. (2007), que observaram retenção na firmeza da polpa de frutos de mamoeiro 'Golden' tratados com 1-MCP e armazenados a 22 °C. Também Bron (2006) observou que mamão no estágio 1 de maturação previamente, refrigerado a 11 °C, e armazenado, posteriormente, a 23 °C, apresentou firmeza alta e constante quando tratado com 1-MCP.

Estudos recentes têm confirmado a ação do etileno sobre as enzimas que levam à perda de firmeza dos frutos. Hershkovitz et al. (2005) observaram retenção da firmeza e menor produção de etileno em três cultivares de abacate 'Hass', 'Ettinger' e 'Pinkerton' tratadas com 1-MCP. Fan et al. (2002) observaram retenção da firmeza e redução da produção de etileno em damascos tratados com 1-MCP, sendo que este padrão de resposta também foi observado em banana 'Prata-Anã' (Botrel et al., 2002) e manga 'Tommy Atkins' (Lima et al., 2006).

A exposição do mamão ao 1-MCP reduziu a emissão de etileno (Tabela 1) e retardou a perda de FM (Tabela 4) durante o período de prateleira a 25°C, demonstrando, assim, o envolvimento do etileno no processo de amolecimento da polpa destes frutos. Apesar do aumento gradual na emissão de etileno (Tabela 1), em frutos tratados com 1-MCP, nota-se que a FM se manteve alta. Esses dados sugerem que a produção de etileno, apenas, não é o único fator envolvido no amaciamento da polpa do mamão. Sabe-se que, em alguns eventos metabólicos, como, por exemplo, o amadurecimento do tomate, a ação do etileno só é efetiva quando o tecido está fisiologicamente responsivo (Buchanan et al., 2002).

No estágio 2 de maturação, a aplicação do 1-MCP se mostrou efetivo ( $P < 0,05$ ) na retenção da FM, cujos frutos armazenados sem refrigeração apresentaram FM mais alta que aquela observada nos frutos do estágio 1 de maturação, ao longo dos seis dias de prateleira. Essa tendência também foi observada nos frutos armazenados por 24 dias sob refrigeração. Entretanto, deve-se ressaltar que, a partir de análises sensoriais realizadas na polpa dos frutos, que a textura da mesma apresentava aspecto conhecido como *rubbery*, ou seja, um emborrachamento da polpa dos frutos que talvez não seja propício para sua comercialização em mercados mais próximos (dados não apresentados).

As médias de FM mais altas observadas nos frutos armazenados por 24 dias sob refrigeração e tratados com 1-MCP poderiam estar associadas a um processo mais acentuado de desidratação do fruto, o que provocaria o murchamento da polpa e, conseqüentemente, uma maior resistência à penetração da sonda, traduzido aqui como aumento na firmeza. Entretanto, não é possível confirmar tal fato em virtude de não ter sido avaliado o teor de umidade da polpa. Os resultados mostram que o aumento na FM se deve à ação combinada do 1-MCP com a refrigeração, visto que frutos, armazenados por 24 dias sob refrigeração, apresentaram média de FM em torno de 3,18 N no terceiro dia de

prateleira. Enquanto frutos tratados com 1-MCP e armazenados por igual período (24 dias) apresentaram FM de 32,76 N no terceiro dia de prateleira (Tabela 4). O padrão de resposta observado em frutos armazenados sob refrigeração por 24 dias sem tratamento com 1-MCP está de acordo com os resultados observados por Oliveira (2002), que encontrou decréscimo acentuado na FM em mamão no estágio 2 de maturação, armazenados por 20 dias sob refrigeração a 10°C, seguido de 6 dias de período de prateleira.

### 3.1.6 - CONCLUSÃO

O uso do 1-MCP se mostrou eficiente na redução da emissão de etileno bem como na redução da taxa respiratória em frutos de mamoeiro. Frutos no estágio 0 de maturação tratados com 1-MCP apresentaram redução na emissão de etileno e na taxa respiratória nos tratamentos sem refrigeração e após armazenamento por 8 e 16 dias sob refrigeração. Entretanto, após armazenamento por 24 dias sob refrigeração, a taxa respiratória foi elevada mesmo em frutos tratados com 1-MCP. Dessa forma, pode-se concluir que, para frutos no estágio 0 de maturação, o uso do 1-MCP foi mais eficiente quando os frutos foram armazenados sob refrigeração por no máximo 16 dias, visto que a FM e a coloração foram retidas ao longo dos seis dias de prateleira.

Frutos no estágio 1 de maturação tratados com 1-MCP apresentaram redução na emissão de etileno e na taxa respiratória, porém, a respiração apresentou padrão distinto, não sendo reduzida no tratamento com 24 dias de refrigeração mesmo em frutos tratados com 1-MCP. Frutos no estágio 1 de maturação, armazenados por 8 dias sob refrigeração, apresentaram os melhores resultados, com redução na perda de firmeza do mesocarpo e na coloração do fruto, quando comparados aos dos frutos armazenados sem refrigeração e com 16 e 24 dias sob refrigeração, o que pode ser interessante para a comercialização em mercados mais próximos. O armazenamento dos frutos por 24 dias sob refrigeração não é indicado por apresentar redução na FM e aumento na perda de cor verde ao longo do período de prateleira.

Frutos no estágio 2 de maturação apresentaram redução na emissão de etileno apenas em frutos armazenados sem refrigeração e armazenados por 8 dias sob refrigeração, não apresentando resposta significativa ao 1-MCP em períodos mais prolongados de refrigeração. Este padrão de resposta também foi observado para a coloração do fruto e firmeza do mesocarpo.

A FM se mostrou elevada no sexto dia de prateleira, em frutos no estágio 2 de maturação, tratados com 1-MCP e não refrigerados, ou refrigerados por 8, 16 e 24 dias. Dessa forma, conclui-se que a combinação do 1-MCP e da refrigeração por mais de 8 dias não é recomendado para este estágio de maturação, visto que características qualitativas importantes para a comercialização, como coloração da casca e firmeza do mesocarpo, são afetadas. Também a ocorrência de retenção da FM no sexto dia de prateleira pode estar relacionada ao emborrachamento da polpa, o que tornaria inviável a aplicação do 1-MCP.

### 3.1.7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, R. F.; Martins, M. L. L.; Resende, E. D.; (2006). Influence of the refrigerating temperature on the chemical characteristics of the papaya fruits cv. 'Golden'. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 26:577-581.

An, J. & Paull, R.E. (1990). Storage temperature and ethylene influence on ripening of papaya fruit. *Journal of the American Society for Horticulture Science*, 15:949-953.

Antunes, M.D.C. & Sfakiotakis, E.M.; (2002) Chilling induced ethylene biosynthesis in 'Hayward' kiwifruit following storage. *Scientia Horticulturae*. 92:29-39.

Argenta, L.C.; Fan, X.T.; Mattheis, J.P. (2003). Influence of 1-methylcyclopropene on ripening, storage life, and volatile production by pear fruit. *Journal Agriculture Food Chemistry*, 51:3858-3864.

Blankenship, S.M. & Dole, J.M. (2003). 1-Methylcyclopropene: a review. *Postharvest Biology and Technology*, 28:1-25.

Botrel, N.; Freire, J.M.; Vasconcelos, R.M.; Barbosa, H.T.G. (2002). Inibição do amadurecimento da banana 'Prata-anã' com a aplicação do 1-metilciclopropeno. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 24: 53-56.

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

Bron, I.U. (2006). Amadurecimento do mamão 'Golden': ponto de colheita, bloqueio da ação do etileno e armazenamento refrigerado. Tese (Doutorado). Piracicaba – SP, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ. 66p.

Buchanan, B.B.; Gruissem, W.; Jones, R.L. (2002). *Biochemistry & Molecular Biology of Plants*. 1367p.

Brummell, D.A. & Harpster, M.H. (2001). Cell wall metabolism in fruit softening and quality and its manipulation in transgenic plants. *Plant Molecular Biology*, 77:311-340.

Cruz, C.D. (2001). Programa Genes (versão Windows): *aplicativo computacional em Genética e Estatística*, editora UFV, Universidade Federal de Viçosa, 648p.

Fan, X.; Argenta, L.; Mattheis, J.P. (2000). Inhibition of ethylene action by 1-methylcyclopropene prolongs storage life of apricots. *Postharvest Biology and Technology*, 20:135-142.

Flores, F.; Ben, M.; Jones, B.; Pech, J.C.; Bouzayen, M.; Latche, A.; Romojaro, F. (2001). The use of ethylene-suppressed lines to assess differential sensitivity to ethylene of the various ripening pathways in Cantaloupe melons. *Physiology Plantarum*, 113:128-133.

Guis, M.; Botondi, R.; Ben, M.; Ayub, R.; Bouzayen, L.M.; Pech, J.C.; Latche, A. (1997). Ripening associated biochemical traits of cantaloupe Charentais melon

expressing an ACC oxidase transgene. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 122:748- 751.

Harris, D.R.; Seberry, J.A.; Wills, R.B.H.; Spohr, L.J. (2000). Effect of fruit maturity on efficiency of 1-methylcyclopropene to delay the ripening of bananas. *Postharvest Biology and Technology*, 20:303-308.

Hershkovitz, V.; Saguy, S.I.; Pesis, E. (2005). Postharvest application of 1-MCP to improve the quality of various avocado cultivars. *Postharvest Biology and Technology*, 37:252-264.

Hoerberichts, F.A.; Van der Plas, L.H.W.; Wolterring, E.J. (2002). Ethylene perception is required for the expression of tomato ripening – related genes and associated physiological changes even at advanced stages of ripening. *Postharvest Biology and Technology*, 26:125-133.

Hofman, P.J.; Jobin-Décor, M.; Meiburg, G.F.; Macnish, A.J.; Joyce, D.C. (2001). Ripening and quality responses of avocado, custard apple, mango and papaya fruit to 1-methylcyclopropene. *Australian Journal of Agricultural*, 41:567-572.

Jacomino, A.J.; Kluge, R.A.; Brackman, A.; Castro, P.R.C. (2002). Amadurecimento e senescência de mamão com 1-Metilciclopropeno. *Scientia Agrícola*, 59:303-308.

Jeong, J.; Huber, 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.

Lima, L.C.; Costa, S.M.; Dias, M.S.C.; Martins, R.N.; Júnior, P.M.R. (2004). Controle do amadurecimento de Banana "Prata-Anã" armazenada sob refrigeração e atmosfera modificada passiva com o uso do 1-Metilciclopropeno. *Ciência Agrotécnica*, 29:476-480.

Lima, L.C.; Costa, S.M.; Dias, M.S.C.; Martins, R.N.; Ribeiro, P.M. (2005). Controle do amadurecimento de banana 'Prata anã' armazenada sob refrigeração e atmosfera modificada passiva com o uso do 1-metilciclopropeno. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 29:476-480.

Lima, M.A.C.; Silva, A.L.; Azevedo, S.S.N.; Santos, P.Sá. (2006). Tratamento pós-colheita com 1-metilciclopropeno em manga 'Tommy Atkins': Efeito de doses e número de aplicações. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 28:64-68.

Lohani, S.; Trivedi, P.K.; Nath, P. (2004). Changes in activities of cell wall hydrolases during ethylene-induced ripening in banana: effect of 1-MCP, ABA and IAA. *Postharvest Biology and Technology*, 31:119-126.

Manenoi, A.; Bayogan, E.R.V.; Thumdee, S.; Paull, R.E. (2007). Utility of 1-methylcyclopropene as a papaya postharvest treatment. *Postharvest Biology and Technology*, 44:55-62.

Menezes, J.B. (1996). Qualidade pós-colheita de melão tipo Gália durante a maturação e o armazenamento Tese (Doutorado em Produção Vegetal). Lavras - UFLA, 157p.

Nanthachai, N.N.; Ratanachinakron, B.; Kosittrakun, M.; Beaudry, R.M. (2007). Absorption of 1-MCP by fresh produce. *Postharvest Biology and Technology*, 43:291-297.

Oliveira, M.A.B. (2002). Caracterização da cor do estágio de maturação e influência do 1-MCP na pós-colheita do mamão (*Carica papaya* L.). Tese (Doutorado em Produção Vegetal). Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, 117p.

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

Serek, M. & Sisler, E.C.; Reid, M.S. (1997). 1-Methylcyclopropene, a novel gaseous inhibitor of ethylene action, improves the life of fruit, cut flowers and potted plants. *Acta Horticulturae*, 394:337-345.

Silva, M.G.; Oliveira, J.G.; Vitória, A.P.; Corrêa, S.F.; Pereira, M.G.; Campostrini, E.; Santos, E.O.; Cavalli, A.; Vargas, H. (2005). Correlation between ethylene



emission and skin colour changes during papaya (*Carica papaya* L.) fruit ripening. *Journal of Physical IV*, 125:877-879.

Sisler, E.C. & Serek, M.; (2003). Compounds interacting with the ethylene receptor in plants. *Plant Biology*, 5:473-480.

Trewavas, A.J. (1982). Growth substance sensitivity: the limiting factor in plant development. *Physiology Plantarum*, 55:60-72.

Vilaplana, R.; Soria, Y.; Valentines, M.C.; Larrigaudiere, C.; (2007) Specific response of apple skin and pulp tissues to cold stress and 1-MCP treatment. *Postharvest Biology and Technology*, 43:215-220.

Watkins, C.B. (2006). 1-Methylcyclopropene (1-MCP) based technologies for storage and shelf life extension. *Journal Postharvest Technology and Innovation*, 1:62-68.

Wills, R.B.H. & Ku, V.V.V. (2002). Use of 1-MCP to extend the time to ripen of green tomatoes and postharvest life of ripe tomatoes. *Postharvest Biology and Technology*, 26:85-90.

Win, T.O.; Srilaong, V.; Heyes, J.; Kyu, K.L.; Kanlayanarat, S. (2006). Effects of different concentrations of 1-MCP on the yellowing of West Indian lime (*Citrus aurantifolia*, Swingle) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 42:23-30,

Winkler, L.M.; Quoirin, M.; Ayub, R.; Rombaldi, C.; Silva, J.; (2002) Produção de etileno e atividade da enzima ACCoxidase em frutos de maracujá – amarelo (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deg.). *Revista Brasileira de Fruticultura*, 24:634 - 636.

## **3.2. APLICAÇÃO DE 1-MCP EM FRUTOS DO MAMOEIRO 'GOLDEN' EM DIFERENTES ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO: ASPECTOS BIOQUÍMICOS E ANATÔMICOS**

### **3.2.1 - RESUMO**

Neste trabalho, foram avaliadas as diferentes respostas no período de armazenamento de prateleira a 25°C de frutos do mamoeiro 'Golden' em diferentes estádios de maturação, quando submetidos à aplicação do 1-MCP associado ao tratamento refrigerado a 10°C, por 0, 8, 16 e 24 dias. Utilizou-se delineamento inteiramente casualizado, sendo feita a análise de variância para testar as interações significativas a 5% de probabilidade. As interações significativas foram desdobradas via teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os resultados demonstraram uma interação significativa entre a aplicação do 1-MCP e as variáveis pós-colheita. Houve redução na perda de firmeza dos frutos no estágio 0 e 1, sendo os maiores valores observados em frutos no estágio 0 com 0, 8 e 16 dias de refrigeração, e menores valores de firmeza observados no estágio 2. A atividade da PME foi reduzida em frutos nos estádios de maturação 0 e 1, tratados com 1-MCP sem refrigeração e refrigerados por 8 dias, diferindo do controle. Por outro lado, a atividade da PME não foi inibida em frutos no estágio 2 de maturação, apresentando uma correlação negativa com a firmeza da polpa. A PG apresentou atividade baixa no estágio 0 e 1 de maturação e maiores no estágio 2, com 16 e 24 dias de refrigeração. O teor de sólidos solúveis não foi

influenciado pela aplicação do 1-MCP. Os aspectos anatômicos foram estudados de acordo com métodos usuais de microscopia óptica. Frutos no estágio 0 de maturação, tratados com 1-MCP, apresentaram células parenquimáticas isodiamétricas com paredes adjacentes cimentadas e presença de material de coloração escura na altura da lamela média, evidenciando retenção de compostos pécnicos. Entretanto, frutos não tratados apresentaram aumento de espaços intercelulares, com pouca deposição de material na lamela média. Em frutos no estágio 2 de maturação, tratados com 1-MCP, as células apresentaram paredes mais onduladas e aumento de espaço intercelular, porém, há presença de material na altura da lamela média, o que difere dos frutos não tratados com 1-MCP. A ação do 1-MCP em reduzir a atividade da PME contribuiu para retardar o processo de degradação da lamela média, o que confere maior firmeza aos frutos tratados com 1-MCP.

Palavra chave: 1-Metilciclopropeno, poligalacturonase, pectinametilesterase.

### **3.2. APPLICATION OF 1-MCP PAPAYA FRUIT 'GOLDEN' IN DIFFERENT MATURATION STAGES: BIOCHEMICAL AND ANATOMIC ASPECTS**

#### **3.2.2 - ABSTRACT**

In this study were evaluated different responses in period of storage shelf at 25 °C of papaya fruit 'Golden' at different stages of ripeness when submitted to the application of 1-MCP and refrigerated treatment at 10 °C for 0, 8, 16 and 24 days. Actualized delineation was used entirely, being made analyzes of variance to get the significant interactions 5% of probability. When the interactions had been significant were deployed by Tukey test 5% probability. The results showed significant interaction between the application 1-MCP and postharvest variables. There has decreased in fruit loss fruit firmness in 0 and 1 stages, with the largest values in stages 0 fruits with 0, 8 and 16 days refrigeration and smaller values in stage 2. However, with 24 days refrigeration there has decreased in fruit firmness not treaty fruit with 1-MCP. The activity of pectinmetylesterase enzyme was decreased in 0 and 1 maturity stage treated with 1-MCP and cooled for 0 and 8 days, deferring of control. However, the activity of pectinmetylesterase enzyme wasn't inhibiting in 2 maturity stage fruit. The activity of polygalacturonase enzyme showed decreased in 0 and 1 maturity stage and increased in stage with 16 and 24 days refrigeration. The 1-MCP did not affect the soluble solids of fruits. The anatomical aspects were studied according to the methods of light microscopy. Fruits in 0 maturity stages treated with 1-MCP showed isodiametric parenchyma

cells with wall unities leading and presence of dark material in the regions of middle lamella (LM), however, the fruits untreated with 1-MCP showed cell walls separation leading to increased intercellular spaces with material intercellular little retentions in LM. In the 2 maturity stage, fruits treated with 1-MCP showed cell wall more defined and increased intercellular spaces, however, there is presence of material in the regions of middle lamella, what reflect firmness large. In fruits untreated with 1-MCP there is disintegration of the cell wall and breakup of the middle lamella. The 1-MCP actions in inhibit the activity PME decreased the degradation middle lamella process and conferred more firmness of fruits treated with 1-MCP.

Key works: 1-metylcyclopropene, polygalacturonase, pectyn methyl esterase

### 3.2.3 – INTRODUÇÃO

O mamão é um fruto climatérico que apresenta rápido amadurecimento pós-colheita caracterizando uma série de transformações no fruto, notadamente mudanças na firmeza, além da intensificação do sabor e aroma. Devido a esse rápido amadurecimento, o controle desta fase é fundamental para prolongar o período de comercialização dos frutos, visando atingir mercados mais distantes, como a exportação (Jacomino et al., 2002).

O processo de perda de firmeza da polpa é parte integrante do amadurecimento de quase todos os frutos. Isto interfere comercialmente, devido ao fato de a vida pós-colheita do fruto ser limitada. O aumento da perda de firmeza torna o fruto mais susceptível a injúrias mecânicas e a doenças durante o manuseio pós-colheita (Bicalho et al., 2000).

A perda de firmeza durante o amadurecimento do mamão é ocasionada, provavelmente, por mudanças na atividade de pectinases que, associados à perda de água e perda de turgor das células da polpa, contribuem para o aumento na perda de firmeza da polpa e, conseqüentemente, para a degradação da lamela média e do aumento do amolecimento da polpa.

As alterações na firmeza da polpa de frutos de mamoeiro associadas ao amadurecimento são influenciadas pelas modificações na estrutura e composição da parede celular, sendo estas passíveis de visualização em microscopia óptica. Estas alterações incluem mudanças drásticas tanto na estrutura das moléculas das substâncias pécticas, como da hemicelulose e da celulose (Paull et al., 1999). Nesse contexto, algumas práticas têm sido utilizadas com o intuito de reduzir a perda de firmeza dos frutos na fase pós-colheita e aumentar o tempo de comercialização destes frutos.

O processo de refrigeração é um meio eficaz de retardar a fase de amadurecimento dos frutos e, desta forma, as reações enzimáticas inerentes ao processo de respiração e à fase de senescência dos frutos ocorrem de maneira mais lenta, porém, sem alterar a fisiologia do amadurecimento, não causando distúrbio na qualidade dos frutos (Bron, 2006). Geralmente, o processo de refrigeração é associado a alguma técnica para aumentar a eficácia no controle do amadurecimento dos frutos e, atualmente, o 1-metilciclopropeno tem-se mostrado como uma tecnologia favorável à inibição do processo de amadurecimento e aumento da vida de prateleira dos frutos.

O 1-metilciclopropeno é um potente inibidor da ação do etileno e tem sido utilizado na redução do processo de amadurecimento de frutos, estendendo assim, a vida útil e mantendo a qualidade dos mesmos (Nanthachai et al., 2007; Watkins, 2006). O 1-MCP age mediante a fixação preferencial ao receptor de etileno, inibindo os efeitos deste hormônio e retardando o início do processo de amadurecimento (Blankenship & Dole, 2003). Essa inibição atua reduzindo os efeitos do hormônio procedentes de fontes internas e externas, aumentando, assim, o tempo de armazenamento na fase pós-colheita (Lima et al., 2004).

De modo geral, o 1-MCP é um produto inovador, que associado à refrigeração, atua retardando o processo de amadurecimento de frutos, desta maneira, o objetivo deste trabalho foi avaliar as diferentes respostas de frutos de mamoeiro em diferentes estádios de maturação quando submetidos à refrigeração e a aplicação do 1-MCP, identificando as alterações bioquímicas no período de prateleira.

### 3.2.4 - MATERIAL E METODOS

#### 3.2.4.1 - Material Vegetal

Foram utilizados frutos do mamoeiro 'Golden' procedentes de pomares em plena produção, pertencentes à empresa Caliman Agrícola S/A, localizada na cidade de Linhares – ES. A região produtora apresenta temperaturas máximas entre 30°C e 32°C e mínimas entre 15°C e 18°C. Os frutos foram colhidos no campo na segunda quinzena de junho e submetidos aos processos de controle de qualidade para exportação no *packing-house*.

Após sofrerem todas as práticas pós-colheita necessárias à exportação, os frutos foram transferidos para câmaras refrigeradas a 10°C onde se aplicou o 1-MCP. Nestas câmaras, foram utilizados frutos nos estádios de maturação 0 (verde – fruto fisiologicamente desenvolvido com casca 100% verde), estágio 1 (amadurecendo – a cor amarela não cobre mais de 15% da superfície da casca, rodeada de verde-claro) e estágio 2 (¼ maduro – fruto com até 25% da superfície da casca amarela, rodeada de verde-claro) (Ritzinger & Souza, 2000). Para o acondicionamento dos frutos, foram utilizadas caixas para exportação tipo 9, com capacidade de armazenamento de 9 frutos.

#### 3.2.4.2 - Aplicação do 1-MCP

Neste trabalho, foi utilizado o 1-metilciclopropeno (1-MCP), gentilmente fornecido pela empresa *Rohm & Haas Company*, por meio da representante comercial no Brasil – Agrofresh Inc. Embora o 1-MCP seja um gás, é comercializado e formulado em pó, liberando o 1-MCP quando misturado em água.

O produto - SmartFresh™ foi aplicado nos frutos de mamoeiro nos três estádios de maturação (0, 1 e 2) na dosagem de 50 nL L<sup>-1</sup>. Para a aplicação uma quantidade de 80 mg do produto com ingrediente ativo na concentração de 0,14% foi adicionado em um recipiente de vidro fechado de 100 mL. Neste recipiente, foram adicionados 4 mL de água quente a 35°C com o uso de uma seringa. Em seguida, o recipiente foi agitado até que todo o pó fosse dissolvido,

sendo que 2 min de agitação foram suficientes para a total solubilização do produto.

Os frutos foram transferidos para caixas de exportação (tipo 9) e acondicionados em uma tenda de aplicação com capacidade para 50 caixas de frutos. Esta tenda de aplicação possui volume de 1,05 m<sup>3</sup> e foi instalada em câmaras de refrigeração à temperatura de 10°C, sendo o 1-MCP aplicado no interior destas tendas. O tempo total de exposição dos frutos ao 1-MCP na tenda foi de 12 h.

### **3.2.4.3 - Descrição do experimento**

Neste trabalho, frutos nos estádios de maturação 0, 1 e 2, submetidos à aplicação de 1-MCP por 12 h, foram retirados da tenda de aplicação e armazenados em câmaras refrigeradas a temperatura de 10°C por 0, 8, 16 e 24 dias. Ao final de cada período de refrigeração, os frutos foram armazenados em câmaras à temperatura de 25°C e 85% UR, sendo avaliados a cada três dias, perfazendo um total de 6 dias de armazenamento.

Similarmente ao experimento anterior, os frutos nos estádios de maturação 0, 1 e 2, *sem aplicação de 1-MCP*, foram armazenados em câmaras refrigeradas a temperatura de 10°C por 0, 8, 16 e 24 dias. Ao final de cada período de refrigeração os frutos foram armazenados em câmaras à temperatura de 25°C e 85% UR, sendo avaliados a cada três dias, perfazendo um total de 6 dias de prateleira.

### **3.2.4.4 – Determinação da firmeza do fruto**

A firmeza do fruto (FF) foi realizada com o fruto na posição transversal e determinada em quatro pontos eqüidistantes por meio da resistência à penetração. Para tanto, foi utilizado um penetrômetro de bancada (Fruit Pressure Tester, Italy; modelo 53205) com ponta de prova de 8 mm de diâmetro. Os resultados foram expressos em Newton (N).

### **3.2.4.5 - Determinação do teor de sólidos solúveis**

O teor de sólidos solúveis (SS) foi lido por meio do suco extraído de uma amostra do tecido da polpa da região do mesocarpo do fruto a partir da extração



por prensa de mão. As leituras foram efetuadas em um refratômetro portátil (modelo Atago N1) e os resultados expressos em °Brix.

#### **3.2.4.6 - Atividade da pectinametilesterase (PME) (EC 3.1.1.11)**

A atividade da pectinametilesterase (PME) foi avaliada por titulometria de acordo com a quantidade dos ésteres produzidos a partir da hidrólise das ramificações metiladas da pectina. A metodologia utilizada foi a descrita por Jen & Robinson (1984) com algumas modificações. Uma porção de 10 g da região do mesocarpo do fruto, previamente congelada em nitrogênio líquido, foi homogeneizada em 20 mL de solução de NaCl 0,2 mmol L<sup>-1</sup> por meio de um homogeneizador Turratec durante 1 min. Em seguida, foram retirados 4 mL deste extrato e adicionados 30 mL de pectina cítrica 1%, pH 7,0, diluída em NaCl 0,2 mmol L<sup>-1</sup>, sendo o pH da mistura corrigido para 7,0. A titulação do substrato foi realizada com NaOH 0,01 mmol L<sup>-1</sup>, de modo que seu pH fosse mantido em 7,0 por 10 min, a fim de neutralizar o meio acidificado pela atividade enzimática.

A unidade de atividade da enzima pectinametilesterase foi considerada como a quantidade de enzima capaz de catalisar a desmetilação da pectina, correspondente a um nanomol de grupos carboxílicos por minuto, os quais são neutralizados por quantidades conhecidas de NaOH por minuto. Os resultados foram expressos em nmol min<sup>-1</sup>g<sup>-1</sup>. Neste ensaio, foram utilizados três repetições, sendo cada repetição constituída de um fruto.

#### **3.2.4.7 - Atividade da poligalacturonase (PG) (EC 3.2.1.15)**

A poligalacturonase foi extraída segundo métodos descritos por Pressey & Avants (1973). Uma porção de 5 g da região do mesocarpo do fruto, previamente congelada em nitrogênio líquido, foi homogeneizada por 2 min em 50 mL de H<sub>2</sub>O destilada. Em seguida, essa solução foi filtrada em papel de filtro no interior da geladeira. O filtrado foi homogeneizado em 50 mL de NaCl 1 mmol L<sup>-1</sup> gelado, sendo o pH ajustado para 6,0 com NaOH 0,1 mmol L<sup>-1</sup>. Essa solução foi incubada por 1 h em geladeira. Após a incubação, o volume foi completado com NaCl 1 mmol L<sup>-1</sup> e filtrado, sendo que o filtrado constituiu a fonte enzimática.

Após a obtenção do extrato enzimático, 3 mL deste extrato foi retirado e colocado em tubo de ensaio. Neste tubo de ensaio, foi adicionado 1,0 mL de pectina cítrica a 1% em NaCl 0,2 mmol L<sup>-1</sup> e, em seguida, esta solução foi incubada a 30<sup>o</sup>C por 3 h. Terminado este tempo, os tubos de ensaio foram levados ao banho fervente por 5 min para paralisar a reação, sendo em seguida, resfriado em banho de gelo.

A partir desta etapa, foi realizado o doseamento dos grupos redutores (açúcares) liberados pela poligalacturonase, correspondentes aos ácidos galacturônicos. Para tanto, foi utilizada a técnica de Somogy-Nelson (1944), com o extrato previamente desproteinizado.

Para realizar a etapa de desproteinização, foram adicionados aos tubos de ensaio 8,0 mL de H<sub>2</sub>O destilada, 1,2 mL de hidróxido de bário 0,3 mmol L<sup>-1</sup> e 1,2 mL de sulfato de zinco a 5%. Os tubos foram agitados e o volume filtrado em papel de filtro.

Para realizar a determinação, 2,0 mL do extrato desproteinizado foi retirado e adicionado 1,0 ml do reativo cúprico preparado na hora (25,0 mL do reativo A + 1,0 mL do reativo B). Foi levado ao banho fervente por 15 min para acelerar a reação e, em seguida, ao banho de gelo. Foram adicionados aos tubos, após o resfriamento, 1,0 mL de reativo arsenomolibdico e 6,0 mL de H<sub>2</sub>O destilada, agitando-os. A partir daí, foram realizadas as leituras das amostras no espectrofotômetro (Microplate Spectrophotometer - μQuant) no comprimento de λ = 510 nm. Para cada tubo contendo o extrato enzimático, foi feito um branco correspondente.

A unidade de atividade de poligalacturonase foi considerada como sendo a quantidade de enzima capaz de catalisar a formação de um ηmol de grupos redutores por minuto, nas condições do ensaio. Os resultados foram expressos em ηmol g<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup>. Neste ensaio, foram utilizadas três repetições, sendo cada repetição constituída de um fruto.

### **3.2.4.8 - Caracterização anatômica do mesocarpo dos frutos**

#### **3.2.4.8.1 - Fixação e desidratação para microscopia óptica**

A caracterização anatômica da polpa foi realizada em frutos no estágio 0 e 2 de maturação, tratados e não tratados com 1-MCP. As amostras foram extraídas

no sexto dia de prateleira em frutos não submetidos à refrigeração. Para a avaliação, foram retiradas dos frutos fragmentos da região do mesocarpo.

Tais fragmentos foram fixados em uma solução de glutaraldeído 2,5%, paraformaldeído 4,0% e tampão cacodilato de sódio 0,05 mmol L<sup>-1</sup> em pH 7,2 por 2 h. Em seguida, foram feitas três lavagens de 1 h em tampão cacodilato de sódio. Os fragmentos foram pós-fixados em uma solução de tetróxido de ósmio 1% e tampão cacodilato 0,05 mmol L<sup>-1</sup>, à temperatura ambiente por 2 h. Após três lavagens de 1 h no mesmo tampão, os fragmentos foram desidratados em uma série crescente de acetona (50%,70%, 90% e três vezes 100%).

#### **3.2.4.8.2 - Microscopia óptica**

Após a desidratação, os fragmentos foram submetidos à etapa de infiltração, quando a acetona foi substituída gradualmente pela resina epóxi (Epon 812). As amostras em Epon puro foram colocadas em formas e levadas para a estufa a 60°C por 48 h para a polimerização e obtenção de blocos. Em um ultramicrotomo, foram retirados cortes semifinos, entre 0,60 e 0,70 µm de espessura com o auxílio de faca de diamante. Os cortes foram corados com azul de toluidina a 1% por 1 min. As lâminas foram seladas com Entelan, observadas e fotografadas em microscópio de campo claro (Axioplan ZEISS).

#### **3.2.4.9 - Delineamento experimental**

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado num arranjo fatorial experimental de 4 x 2 x 3 x 3, cujos fatores e níveis foram: quatro períodos de armazenamento refrigerado, 0 (sem refrigeração) 8, 16 e 24 dias, dois tratamentos com 1-MCP (tratado e não tratado), três estádios de maturação dos frutos (estádios 0, 1 e 2); e três períodos de amostragem de dados (0, 3 e 6 dias), com três repetições, sendo cada fruto considerado uma repetição.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), utilizando para tal o programa Genes (Cruz, 2001). As interações significativas nos fatoriais foram desdobradas, sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey, adotando-se 5% de probabilidade.

### 3.2.5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na avaliação da firmeza do fruto (FF), a análise de variância indicou efeito significativo entre as fontes de variação estudadas ( $P < 0,05$ ), com maior grau de significância para as fontes de variação, tempo de refrigeração e período prateleira. Na variável sólidos solúveis (SS), a análise de variância apresentou efeito significativo ( $P < 0,05$ ) para o estágio de maturação e tempo de refrigeração, não havendo, assim, efeito significativo para período de prateleira (Quadro 2A – apêndice). Entretanto, na avaliação da atividade das enzimas pectinametilesterase (PME) e poligalacturonase (PG), a análise de variância indicou efeito significativo ( $P < 0,05$ ) para as fontes de variação, tempo de refrigeração, estágio de maturação e tempo de prateleira (Quadro 3A - apêndice).

A aplicação do 1-MCP obteve efeito significativo ( $P < 0,05$ ) em retardar a perda de FF em todos os tratamentos avaliados, independentemente do estágio de maturação avaliado (Tabela 1).

No estágio 0 de maturação, a FF foi mantida ( $P < 0,05$ ) nos três primeiros dias de prateleira em frutos tratados com 1-MCP e armazenados sem refrigeração e com 16 dias sob refrigeração, entretanto, a FF apresentou acentuado decréscimo em frutos armazenados por 24 dias sob refrigeração (Tabela 1). Porém, apesar da queda observada em frutos no estágio 0 de maturação e armazenados por 24 dias sob refrigeração, as médias de FF mantiveram-se superiores às das dos frutos nos estágios 1 e 2 de maturação, considerando o mesmo tempo de armazenamento.

Isto mostra que os frutos no estágio 0 de maturação podem ser armazenados em períodos mais prolongados sob refrigeração neste mesmo tratamento, o que torna o estágio 0 passível de ser utilizado em processos mais prolongados de refrigeração. Já em frutos não tratados com 1-MCP, as médias de FF foram maiores em frutos armazenados sob refrigeração, com maior FF após 8 dias de armazenamento sob refrigeração. Isto demonstra, portanto, que o simples processo de refrigeração pode ser uma ferramenta útil para a comercialização de frutos para o mercado interno (Tabela 1).

**Tabela 1:** Firmeza do fruto (FF) em mamão 'Golden' tratado e não tratado com 1-metilciclopropeno (1-MCP) e armazenados a 10°C por 0, 8, 16 e 24 dias, com amostragens aos 0, 3 e 6 dias de prateleira a 25°C. Os frutos foram avaliados nos estádios 0, 1 e 2 de maturação.

Maturação	Período de prateleira	Tempo de refrigeração							
		0 dias		8 dias		16 dias		24 dias	
		Com 1-MCP	Sem 1-MCP	Com 1-MCP	Sem 1-MCP	Com 1-MCP	Sem 1-MCP	Com 1-MCP	Sem 1-MCP
Estádio 0	0	158,75 Aa	131,57 Ba	122,8 Ab	109,59 Aa	161,55 Aa	152,64 Aa	160,99 Aa	79,54 Ba
	3	163,58 Aa	19,79 Bb	183,82 Aa	81,21 Bb	151,27 Aa	38,85 Bb	84,13 Ab	40,44 Bb
	6	109,27 Ab	18,7 Bb	99,05 Ac	36,51 Bc	56,16 Ab	25,25 Bb	52,47 Ac	29,56 Bb
Estádio 1	0	176,23 Aa	88,24 Ba	143,61 Ab	146,39 Aa	133,29 Aa	120,99 Aa	100,47 Aa	45,54 Ba
	3	161,31 Aa	17,18 Bb	170,52 Aa	49,52 Bb	121,28 Aa	56,74 Bb	84,21 Aa	30,34 Bab
	6	76,88 Ab	15,31 Bb	102,1 Ac	22,73 Bc	64,93 Ab	25,78 Bc	42,81 Ab	21,83 Bb
Estádio 2	0	161,59 Aa	104,04 Ba	161,12 Aa	89,92 Ba	146,62 Aa	109,96 Ba	111,22 Aa	63,13 Ba
	3	177,92 Aa	12,99 Bb	152,36 Aa	53,03 Bb	123,82 Ab	34,25 Bb	69,75 Ab	21,24 Bb
	6	108,47 Ab	10,12 Bb	27,06 Ab	20,97 Ac	61,95 Ac	20,17 Bb	37,5 Ac	19,4 Bb

Médias seguidas de mesma letra maiúscula, na linha, e minúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

No estágio 1 de maturação, frutos tratados com 1-MCP apresentaram retenção significativa da FF quando comparada com a dos frutos não tratados com 1-MCP, independentemente do tempo de armazenamento sob refrigeração. Entretanto, ao longo dos seis dias de prateleira, frutos tratados com 1-MCP e armazenados sem refrigeração apresentaram médias de FF superiores aos períodos de armazenamento com 16 e 24 dias sob refrigeração. Nesse contexto, pode-se inferir que essa queda na FF está relacionada ao tempo de armazenamento do fruto sob refrigeração e não ao 1-MCP. Isso porque os frutos no estágio 1 de maturação tratados com 1-MCP e armazenados sem refrigeração apresentaram valores médios de FF superiores aos dos frutos armazenados por 16 e 24 dias sob refrigeração.

Os frutos no estágio 2 de maturação, tratados com 1-MCP, apresentaram efeito significativo ( $P < 0,05$ ) na redução da perda de FF, principalmente quando não submetidos à refrigeração e após 8 e 16 dias de armazenamento sob refrigeração. No entanto, observou-se que frutos tratados com 1-MCP e armazenados sem refrigeração apresentaram médias de FF superiores às observadas nos frutos tratados com 1-MCP e armazenados sob refrigeração por 8, 16 e 24 dias. Este padrão de resposta pode estar relacionado à aplicação do 1-MCP que manteve a FF mesmo em frutos em estágio mais avançado de

maturação. Esse resultado também poderia estar relacionado à perda de água dos frutos. Dessa maneira, devido ao armazenamento sob refrigeração, a casca dos frutos pode ter apresentado um processo de desidratação, o que conferiu maior resistência à penetração, culminando em aumento da FF ao longo dos seis dias de prateleira (Tabela 1).

Em maçãs 'Gala', Brackmann et al. (2005) observaram que a utilização de baixa umidade relativa no armazenamento refrigerado foi eficiente na redução de podridões e de rachadura da polpa, contudo causou desidratação dos frutos, provocando um significativo processo de murchamento dos frutos. Nesse sentido, como não foi avaliado o teor de água dos frutos, não se pode determinar com maior precisão que o aumento na FF em frutos no estágio 2 de maturação se deva ao processo de desidratação dos mesmos.

No mamão, os açúcares solúveis são acumulados, em sua maior parte, quando o fruto ainda está ligado à planta, sendo que, no início do desenvolvimento, a glicose é o açúcar predominante. Nos estádios mais avançados de maturação, a sacarose torna-se o açúcar em maior concentração (Chan et al., 1979).

Na avaliação do teor de sólidos solúveis, observou-se que a análise estatística não apresentou efeito significativo ( $P > 0,05$ ) para o tempo de prateleira. Este padrão de resposta está relacionado com características fisiológicas particulares dos frutos de mamoeiro. Segundo Paull et al. (1996) e Selvaraj et al. (1982), a concentração de amido em mamão verde encontra-se em torno de 0,5% e menos de 0,1% em frutos maduros. Assim sendo, a concentração de amido é baixa para ser hidrolisada em açúcares e conferir aumento no teor de SS, indicando que toda a concentração de açúcares presente em frutos de mamoeiro no período de prateleira é adquirida quando os frutos ainda estão ligados à planta.

No entanto, em trabalhos conduzidos por Almeida et al. (2006), estes observaram uma síntese de açúcares no período pós-colheita e aumento nos teores de SS no decorrer do amadurecimento do mamão 'Golden' com 15% da coloração amarela.

Nos frutos armazenados sem refrigeração ou armazenados sob refrigeração por 8, 16 e 24 dias, houve diferenças no teor de SS, porém, essas diferenças em nível prático, são pequenas e não comprometem a qualidade dos frutos. Além

disso, os valores de SS encontrados estão acima do exigido para frutos tipo exportação, que é de 11,5 °Brix (Kader, 2000).

O teor de SS apresentou tendência de aumento a partir do estágio 1 de maturação com valor máximo sendo observado no estágio 2 de maturação. De modo geral, como frisado anteriormente, no mamão, os açúcares solúveis são acumulados, em sua maior parte, quando o fruto ainda está ligado à planta. Dessa forma, as diferenças observadas no teor de SS entre frutos nos estádios 0, 1 e 2 de maturação estão relacionadas ao tempo que cada fruto permaneceu na planta até ser colhido. Sendo assim, os frutos no estágio 1 de maturação permaneceram mais tempo na planta que os frutos no estágio 0 de maturação, proporcionando maior acúmulo de açúcares para esses frutos. Similarmente, frutos no estágio 2 de maturação permaneceram mais tempo na planta do que frutos no estágio 1 de maturação, levando ao maior acúmulo de açúcares por parte desses frutos (Tabela 2).

**Tabela 2:** Teor de sólidos solúveis (°Brix) em frutos de mamoeiro 'Golden' tratados e não tratados com 1-metilciclopropeno (1-MCP) e armazenados a 10°C por 0, 8, 16 e 24 dias, com amostragens aos 0, 3 e 6 dias de prateleira a 25°C. Os frutos foram avaliados nos estádios 0, 1 e 2 de maturação.

Maturação	Tempo de refrigeração							
	0 dias		8 dias		16 dias		24 dias	
	Com 1-MCP	Sem 1-MCP	Com 1-MCP	Sem 1-MCP	Com 1-MCP	Sem 1-MCP	Com 1-MCP	Sem 1-MCP
Estádio 0	12,54 Bb	12,95 Ab	13,28 Ab	13,3 Ac	12,47 Bc	13,16 Ab	12,62 Ac	12,84 Ac
Estádio 1	13,82 Aa	13,77 Aa	13,15 Bb	13,75 Ab	13,18 Ab	13,27 Ab	13,08 Bb	14,15 Ab
Estádio 2	13,75 Aa	13,73 Aa	14,37 Aa	14,64 Aa	14,21 Aa	13,78 Ba	14,73 Aa	15,24 Ba

Médias seguidas de mesma letra maiúscula, na linha, e minúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Em maçã, a ação do 1-MCP sobre o teor de SS pode ser mais alto, mais baixo ou igual à dos frutos não tratados (Watkins et al., 2000; Saftner et al., 2003; Bai et al., 2005). No entanto, em tomate, Wills & Ku (2002) concluíram que a aplicação do 1-MCP eleva a qualidade dos frutos por melhorar a relação sólidos solúveis / acidez titulável.

De modo geral, o 1-MCP pode apresentar respostas diferenciadas sobre o teor de SS, que dependem do estágio de maturação, do tipo de cultivar e de armazenamento (Watkins et al., 2000).

Em bananas, Lima et al. (2004) observaram que não houve variação significativa no teor de SS entre frutos tratados e não tratados com 1-MCP, quando submetidos a 10 dias de refrigeração a 12<sup>o</sup>C. Bron (2006) também não encontrou alteração na concentração de SS em mamão no estágio maduro, previamente refrigerado a 10<sup>o</sup>C, e armazenado posteriormente a 23<sup>o</sup>C.

Manenoi et al. (2006) também não encontraram efeito diferenciado da aplicação do 1-MCP no teor de SS do mamão 'Golden' no estágio de cor *break*. Também, Jacomino et al. (2002) relataram não ter encontrado influência do 1-MCP em mamão no estágio de maturação verde e maduro durante o período de armazenamento a 20<sup>o</sup>C, cujos valores médios variaram de 11,15 °Brix a 12,01 °Brix.

A aplicação do 1-MCP apresentou efeito significativo ( $P < 0,05$ ) na redução da atividade das enzimas PME e PG em todos os tratamentos avaliados, sendo os resultados mais expressivos observados nos frutos tratados com 1-MCP e armazenados sob refrigeração.

Em frutos no estágio 0 de maturação, tratados com 1-MCP, a atividade da PME apresentou decréscimo quando comparada com a dos frutos não tratados com 1-MCP, independentemente do tempo de armazenamento. Entretanto, houve tendência de aumento na atividade da enzima PME em função do aumento no período de armazenamento dos frutos sob refrigeração. Os frutos armazenados sob refrigeração por 16 e 24 dias apresentaram atividade enzimática mais elevada da PME em relação à dos armazenados sem refrigeração e por 8 dias a 10<sup>o</sup>C, mesmo em frutos tratados com 1-MCP. Esse padrão de resposta demonstra que o armazenamento dos frutos sob refrigeração por tempo prolongado pode contribuir para intensificar a atividade da enzima PME, quando os frutos são transferidos para a temperatura ambiente, acarretando, assim, redução na firmeza do mesocarpo, como observado no trabalho anterior (Tabela 4).

Os frutos no estágio 0 armazenados por 8 dias sob refrigeração, após aplicação do 1-MCP, apresentaram redução da atividade da enzima PME ao longo dos seis dias de prateleira. Em frutos submetidos apenas ao processo de refrigeração por 8 dias, a atividade da enzima foi menor em relação à dos frutos



armazenados sem refrigeração e com 16 e 24 dias sob refrigeração. Este padrão de resposta demonstra que a atividade da enzima pode ser reduzida com o emprego da refrigeração por curto tempo, o que se torna interessante para o processo de comercialização, visto que a enzima PME exerce influência direta na perda de firmeza da polpa dos frutos.

Segundo Chitarra et al. (2000), a enzima PME atua na remoção ou desesterificação de grupos metílicos das pectinas. Sendo assim, frutos tratados com 1-MCP apresentariam uma redução na produção de etileno que, indiretamente, influenciaria a redução da atividade da enzima PME.

**Tabela 3:** Atividade da enzima pectinametilesterase ( $\text{nmol g}^{-1} \text{min}^{-1}$ ) em frutos de mamão tratados e não tratados com 1-MCP e submetidos a 24 dias de refrigeração a 10 °C com avaliação aos 0, 3 e 6 dias de prateleira a 25 °C. Os frutos foram avaliados nos estádios 0, 1 e 2 de maturação.

Maturação	Período de prateleira	Tempo de refrigeração							
		0 dias		8 dias		16 dias		24 dias	
		Com 1-MCP	Sem 1-MCP	Com 1-MCP	Sem 1-MCP	Com 1-MCP	Sem 1-MCP	Com 1-MCP	Sem 1-MCP
Estádio 0	0	82,72 Bb	218,08 Ab	50,13 Ac	80,08 Ac	85,22 Ab	75,2 Ab	188 Bc	411,09 Ab
	3	203,04 Ba	401,06 Aa	125,3 Ab	157,92 Ab	122,82 Bb	538,93 Aa	363,46 Bb	553,97 Aa
	6	215,57 Aa	162,93 Bc	300,8 Ba	453,7 Aa	328,37 Ba	521,38 Aa	521,38 Aa	561,49 Aa
Estádio 1	0	97,76 Bb	348,42 Ab	67,68 Ab	97,76 Ac	77,7 Bc	147,89 Ab	200,53 Bb	656,74 Aa
	3	340,9 Ba	506,34 Aa	162,93 Ba	398,56 Ab	165,44 Bb	546,45 Aa	238,13 Bb	599,09 Ab
	6	145,38 Bb	308,32 Ab	102,77 Bb	571,52 Aa	363,46 Ba	496,32 Aa	546,45 Aa	601,6 Ab
Estádio 2	0	255,68 Ba	333,32 Ac	77,7 Bb	218,08 Ab	100,26 Ab	125,33 Ac	213,06 Ac	235,62 Aa
	3	203,04 Bab	418,61 Ab	127,84 Bb	220,58 Ab	127,84 Bab	476,26 Ab	278,25 Bb	506,34 Ab
	6	185,49 Bb	486,29 Aa	325,86 Ba	541,44 Aa	162,93 Ba	594,08 Aa	541,44 Ba	621,65 Aa

Médias seguidas da mesma letra maiúscula, na linha, e minúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Nesse contexto, segundo Paull & Chen (1983), a atividade da PME em mamão aumenta gradualmente durante o amadurecimento, alcançando um máximo após o climatério. Ainda, segundo estes autores, baixos níveis de atividade foram encontrados em mamão no estádio verde de maturação. Paull et al. (1999) observaram que a atividade da enzima PME sofre um crescente aumento durante o amadurecimento do mamão, sendo detectada mesmo antes do amadurecimento.

Do mesmo modo que a PME, a atividade da enzima PG em mamão no estádio 0 de maturação, tratados com 1-MCP, também apresentou redução significativa ( $P < 0,05$ ) na atividade em todos os tratamentos avaliados. Nos frutos armazenados por 8, 16 e 24 dias sob refrigeração, a atividade da enzima PG

apresentou tendência de aumento ao longo dos seis dias de prateleira, enquanto a atividade da enzima PME também apresentou aumento durante o período de prateleira, com valores crescentes em função do tempo de armazenamento dos frutos sob refrigeração. Dessa maneira, a desmetilação ocasionada pela PME resultaria em maior número de grupos não esterificados que poderiam facilitar a ação da PG sobre o substrato linear desmetilado pela ação da PME (Manrique & Lajolo, 2004).

Nesse contexto, tanto a atividade da enzima PME quanto da enzima PG apresentaram tendência de aumento ao longo dos 6 dias de prateleira, ressaltando-se que a enzima PME apresentou uma tendência de elevação na atividade mais pronunciada ao longo dos seis dias de prateleira. Também, em goiabas 'Kumagai', Carvalho et al. (2001) estudando os componentes da parede celular, relataram que com a evolução da maturação, houve, em geral, aumento na atividade da PME, seguido por declínio até o fim do experimento.

Dessa maneira, pode-se inferir que a enzima PME apresenta um papel importante no processo de perda de firmeza da polpa do mamão nos primeiros dias de prateleira, sendo que a PG atuaria mais tardiamente no processo de amolecimento. Paull (1983) observou aumento na atividade da PG a partir do quinto dia de armazenamento pós-colheita. Sendo assim, provavelmente, nas condições deste trabalho, o pico máximo de atividade da PG viria a ocorrer após o sexto dia de prateleira, não sendo possível, identificar o pico máximo de atividade da enzima.

Em frutos no estágio 0 de maturação submetidos apenas ao processo de refrigeração, observou-se que a atividade da enzima PG foi reduzida quando comparada com a dos frutos não refrigerados. Estas respostas são semelhantes às aquelas observadas na atividade da enzima PME, demonstrando que o processo de refrigeração pode ser tão eficiente quanto o 1-MCP na redução da atividade de enzimas envolvidas no processo de amolecimento da polpa.

Em frutos no estágio 1 de maturação, quando tratados com 1-MCP, apresentaram redução significativa ( $P < 0,05$ ) na atividade da enzima PME em todos os tratamentos avaliados (Tabela 3). Nos frutos tratados com 1-MCP e armazenados por 8 dias sob refrigeração, observaram-se as maiores reduções na atividade da enzima PME. No terceiro e no sexto dia de prateleira, os frutos tratados com 1-MCP apresentaram atividade de  $162,93 \mu\text{mol.g}^{-1}\text{min}^{-1}$  e  $102,77$

$\eta\text{mol.g}^{-1}\text{min}^{-1}$ , respectivamente. Contudo, nos frutos não tratados com 1-MCP, a atividade variou de 398,56  $\eta\text{mol.g}^{-1}\text{min}^{-1}$  no terceiro dia e 571,52  $\eta\text{mol.g}^{-1}\text{min}^{-1}$  no sexto dia de prateleira.

Estes dados são significativos sob o ponto de vista comercial, pois indicam que o armazenamento dos frutos de mamão sob refrigeração por curto período de tempo, associado à aplicação do 1-MCP, pode ser uma ferramenta útil para a manutenção da firmeza dos frutos e aumento do período de comercialização de frutos no estágio 1 de maturação no mercado interno.

**Tabela 4:** Atividade da enzima poligalacturonase ( $\eta\text{mol g}^{-1}\text{min}^{-1}$ ) em mamão tratado e não tratado com 1-MCP e submetidos a 24 dias de refrigeração a 10 °C com avaliação aos 0, 3 e 6 dias de prateleira a 25 °C. Os frutos foram avaliados nos estádios 0, 1 e 2 de maturação.

Maturação	Período de prateleira	Tempo de refrigeração							
		0 dias		8 dias		16 dias		24 dias	
		Com 1-MCP	Sem 1-MCP	Com 1-MCP	Sem 1-MCP	Com 1-MCP	Sem 1-MCP	Com 1-MCP	Sem 1-MCP
Estádio 0	0	50,81 Bb	90,77 Ac	68,22 Ac	73,87 Ac	47,89 Bc	71,8 Ac	69,63 Ac	77,05 Ac
	3	36,72 Bb	171,99 Ab	93,23 Bb	111,73 Ab	96,85 Ab	99,67 Ab	90,03 Ab	106,68 Ab
	6	135,92 Ba	250,66 Aa	130,4 Ba	178,03 Aa	119,98 Ba	162,02 Aa	121,87 Ba	199,72 Aa
Estádio 1	0	81,15 Bc	139,92 Ab	69,87 Ba	93,94 Ab	59,25 Bc	82,4 Ab	69,23 Bc	106,68 Ac
	3	122,97 Ab	115,1 Ac	66,81 Ba	98,29 Ab	104,8 Ab	93,04 Ab	90,03 Bb	169,11 Ab
	6	183,89 Ba	211,38 Aa	77,71 Ba	172,13 Aa	141,5 Ba	180,87 Aa	121,87 Ba	214,55 Aa
Estádio 2	0	74,24 Ac	86,41 Ac	59,77 Bb	86,67 Ac	86,76 Ac	94,67 Ac	91,49 Bc	116,51 Ac
	3	151,17 Ab	154,72 Ab	69,73 Bb	116,39 Ab	105,27 Ab	114,6 Ab	127,51 Ab	148,49 Ab
	6	214,05 Aa	221,78 Aa	101,36 Ba	207,67 Aa	204,3 Aa	203,78 Aa	172,42 Ba	248,98 Aa

Médias seguidas de mesma letra maiúscula, na linha, e minúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Em frutos no estágio 1 de maturação, armazenados sob refrigeração por 16 e 24 dias, a atividade da enzima PME foi reduzida em frutos tratados com 1-MCP (Tabela 3). Os resultados mostraram uma tendência de aumento na atividade da PME relacionada ao aumento do tempo de refrigeração dos frutos, atingindo valores de atividade enzimática nos frutos armazenados por 24 dias sob refrigeração: 546,45  $\eta\text{mol.g}^{-1}\text{min}^{-1}$  em frutos tratados com 1-MCP no sexto dia de prateleira.

Estes dados revelam que a atividade da enzima PME tende a aumentar com o aumento no tempo de armazenamento dos frutos sob refrigeração, mesmo em frutos tratados com 1-MCP (Tabela 3). Esta tendência se assemelha àquela

observada para a atividade respiratória dos frutos, apresentado no trabalho anterior (Tabela 2 – trabalho anterior).

Nos frutos no estágio 1 de maturação não refrigerados, a atividade da enzima PME foi reduzida nos tratados com 1-MCP, de modo que atividade desta enzima nos frutos não tratados com 1-MCP foi duas vezes superior. Sob o ponto de vista técnico, estes frutos poderiam ser utilizados para a comercialização em mercados mais próximos, em virtude de apresentarem redução na atividade da enzima PME ao longo dos seis dias de prateleira, o que, conseqüentemente, fará reduzir a perda de firmeza da polpa, estendendo o tempo para a comercialização e consumo.

Ressalta-se que a atividade da enzima PME nos frutos no estágio 1 de maturação apresentou tendência de aumento em relação à dos frutos no estágio 0 de maturação, principalmente nos armazenados sem refrigeração. Isso mostra uma relação da atividade desta enzima com o estágio de maturação dos frutos (Tabela 3).

O efeito do 1-MCP na redução da atividade da enzima PME em frutos de mamão também foi observado por Bron (2006), quando a atividade desta enzima permaneceu baixa e constante. Também Pinheiro et al. (2005), trabalhando com frutos de banana 'maçã', observaram menores valores de atividade da PME em frutos tratados com 1-MCP.

Alguns autores sugerem que a PME não está diretamente ligada ao processo de amolecimento de frutos de mamão, sendo que sua atividade apenas facilitaria a ação da PG sobre o substrato desmetilado (Paull et al., 1999). Porém, segundo Manrique & Lajolo (2004), a PME participa diretamente na etapa inicial do processo de perda de firmeza da polpa do mamão, apresentando um aumento contínuo com a solubilização da pectina, sugerindo que solubilização e despolimerização são eventos independentes e que a PG atuaria somente na solubilização da pectina, sem efeito no amolecimento da polpa.

A atividade da PG no estágio 1 de maturação foi reduzida em frutos tratados com 1-MCP, quando comparada à dos frutos não tratados com 1-MCP (Tabela 4). Os resultados mostram também diferenças significativas ( $P < 0,05$ ) na atividade da enzima PG entre os dias de prateleira, tanto em frutos tratados quanto em frutos não tratados com 1-MCP. A atividade da PG foi reduzida em frutos tratados com 1-MCP em todos os tratamentos analisados, entretanto, deve-

se ressaltar que o padrão de resposta observado para a enzima PG difere do padrão de resposta observado para a PME. Enquanto a PME mostrou uma tendência de aumento na atividade com o aumento no período de refrigeração, a enzima PG, ao contrário, não aumentou a atividade em função do aumento no período de refrigeração. A enzima PG apresentou atividade mais baixa nos frutos armazenados por 8, 16 e 24 dias sob refrigeração em relação à dos não submetidos à refrigeração, tanto em frutos tratados quanto em frutos não tratados com 1-MCP (Tabela 4).

Nesse sentido, pode-se inferir que o armazenamento do mamão sob refrigeração, por longo tempo, atua de modo a inibir o aumento da atividade da PG após refrigeração, no período de prateleira, o que não ocorreu com a PME. Por outro lado, considerando que o pico máximo de atividade da PG ocorre a partir do quinto dia de prateleira (Paull, 1983), o aumento na atividade desta enzima seria observado nos frutos somente após o sexto dia de prateleira.

Em estudos conduzidos com abacate, Feng et al. (2000) observaram que a atividade da PG foi reduzida em frutos tratados com 1-MCP. Entretanto, Jeong et al. (2002) observaram que a atividade da PG apresentou aumento após a fase climatérica, ou seja, após o sexto dia de prateleira, indicando que a PG não é requerida para o processo de amadurecimento em abacate nos estádios iniciais de amadurecimento.

Nos frutos no estágio 2 de maturação, a atividade das enzimas PME e PG mostrou, de modo geral, diferença significativa ( $P < 0,05$ ) entre frutos tratados e não tratados com 1-MCP em todos os tratamentos avaliados, de modo que a atividade das enzimas PME e PG foram menores em frutos tratados com 1-MCP (Tabela 3 e 4).

Nos frutos no estágio 2 de maturação não submetidos à refrigeração, a atividade da enzima PME nos frutos tratados com 1-MCP apresentou uma queda constante até o sexto dia de prateleira, de  $185,49 \mu\text{mol.g}^{-1}\text{min}^{-1}$  (Tabela 3). Este padrão de resposta não foi observado nos frutos armazenados sob refrigeração, quando a atividade da PME demonstrou elevação ao longo dos seis dias de prateleira. Este aumento na atividade da PME durante o processo de amadurecimento também foi observado por Bicalho et al. (2000) em mamão, cujos autores observaram que a atividade da PME aumentou gradualmente durante o amadurecimento até atingir um máximo de atividade, reduzindo posteriormente.

Em frutos no estágio 2 de maturação armazenados sob refrigeração, o padrão de resposta indicou aumento na atividade da enzima PME de acordo com o aumento no tempo de refrigeração, mesmo em frutos tratados com 1-MCP. A aplicação do 1-MCP e o armazenamento dos frutos a 10°C por 8 dias mostraram os melhores resultados na redução da atividade da enzima PME. Por outro lado, o armazenamento por 24 dias sob refrigeração apresentou os resultados mais negativos, com aumento progressivo na atividade da enzima PME ao longo dos seis dias de prateleira, mesmo em frutos tratados com 1-MCP. Apesar do aumento da atividade da PME em frutos tratados com 1-MCP, vale ressaltar que a atividade foi menor quando comparada com a dos frutos não tratados com 1-MCP (Tabela 3).

De fato, com os resultados obtidos neste estudo, pode-se deduzir que o processo de armazenamento do mamão à baixa temperatura exerce influência direta no metabolismo de amadurecimento dos frutos, relacionado ao aumento na atividade da enzima PME em frutos refrigerados por 8, 16 e 24 dias. A atividade da PME em frutos refrigerados aumentou nos frutos nos três estágios de maturação. Entretanto, em frutos no estágio 0 de maturação, foram observadas as menores atividades, enquanto, em frutos nos estágios 1 e 2 de maturação, foram observadas as maiores atividades da PME. Ressalta-se que os incrementos na atividade da enzima PME foram mais elevados do terceiro ao sexto dia de prateleira, confirmando a participação direta dessa enzima no processo de amaciamento da polpa de frutos de mamão 'Golden'. Este aumento na atividade da enzima PME também foi observado por Bron (2005) em mamões tratados com 1-MCP e, por Jeong et al. (2002), em frutos de abacateiro tratados com 1-MCP. Segundo Watkins & Nock (2005), as respostas dos frutos à aplicação de 1-MCP dependem do tipo de cultivar, tipo de armazenamento e tempo total de armazenamento dos frutos.

Os resultados mostram que houve, de modo geral, uma redução na atividade da enzima PG em frutos no estágio 2 de maturação, tratados com 1-MCP, independentemente do tempo de armazenamento sob refrigeração. Porém, a atividade da enzima PG não mostrou uma tendência de aumento em função de maior período sob refrigeração, como visto na enzima PME. Tal fato indica que, além de a refrigeração atuar de modo a reduzir o metabolismo e, conseqüentemente, a atividade enzimática, a atividade máxima da PG ocorre a

partir do sexto dia de prateleira. Neste trabalho, não foi possível identificar o pico de atividade dessa enzima em frutos no estágio 2 de maturação (Tabela 4).

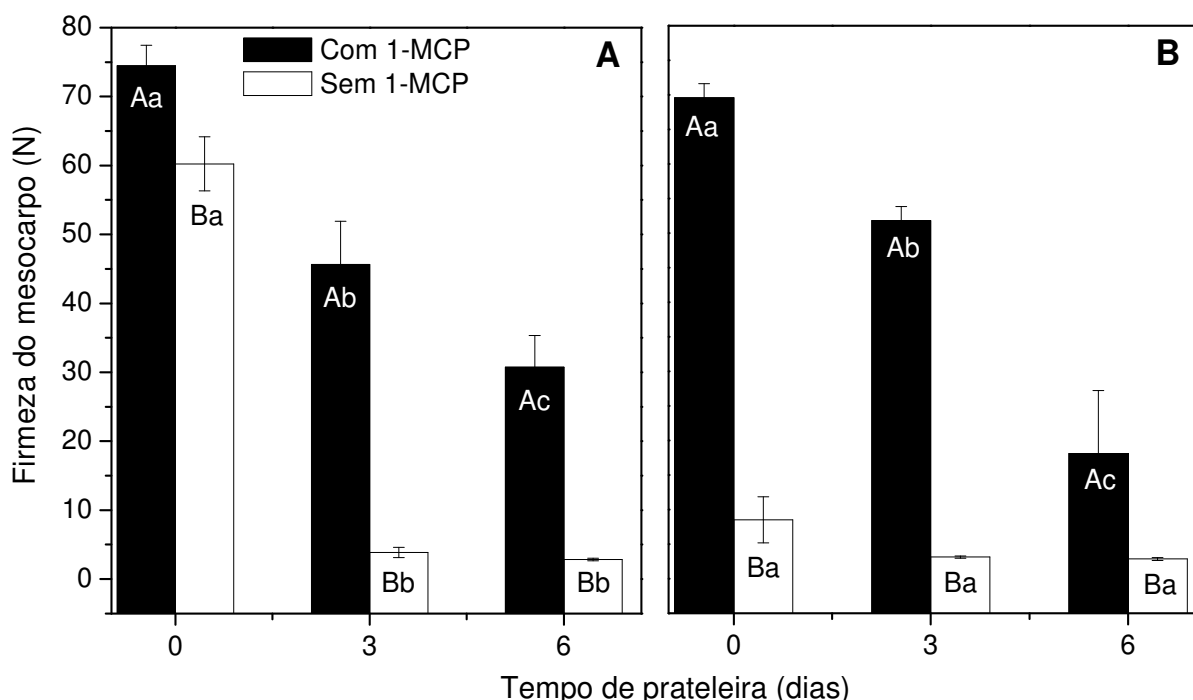
A perda de firmeza do mesocarpo (FM) e do fruto (FF) como um todo é um evento típico ao longo do processo de amadurecimento, culminando com o amolecimento da polpa e redução da resistência ao choque mecânico do fruto. Estes eventos podem influenciar negativamente a manipulação dos frutos, propiciando uma redução no tempo de armazenamento e de transporte. Este processo ocorre em função da degradação enzimática da lamela média e de parede celular mediante a ação das enzimas PME e PG, como observado anteriormente. Assim sendo, o aumento na atividade das enzimas PME e PG é acompanhado por alterações anatômicas no tecido do mesocarpo dos frutos, principalmente em frutos nos estádios 0 e 2 de maturação, tratados com 1-MCP.

Por meio da microscopia óptica em cortes realizados na região do mesocarpo em frutos, no estágio 0 de maturação, tratados com 1-MCP, foi possível observar células parenquimáticas isodiamétricas de tamanhos distintos, túrgidas, de contorno regular e paredes delgadas cimentadas às paredes adjacentes. Os espaços intercelulares apresentam material de coloração escura e mais denso na parede celular e na altura da lamela média, sugerindo uma retenção de compostos pécticos. (Prancha 1A e 1B).

Ao contrário, em mamão, no estágio 0 de maturação dos frutos não tratados com 1-MCP, as células parênquimáticas se apresentaram com perda de adesão entre as paredes adjacentes, provocando, assim, uma redução na presença de compostos pécticos na parede celular (Prancha 1C e 1D). Isto indica intensa atividade das enzimas PME e PG sobre a parede celular, fato que, de modo geral, é responsável por aumentar a perda de firmeza do mesocarpo dos frutos (Figura 1A).

Em maçã e pêra, Ben-Arie et al. (1979) avaliaram modificações e observaram que, nos frutos em estádios iniciais de amadurecimento (firmes), havia uma massa escura na região da lamela média, enquanto, em frutos em estágio mais maduro (macios), era observada a formação de grandes espaços vazios, além de evidências de desorganização da lamela média. A degradação da parede celular ocorre inicialmente na lamela média, que é rica em protopectina, levando ao aumento dos espaços intercelulares (Evangelista et al., 2002).

Os efeitos observados nos tecidos foram causados pela aplicação 1-MCP, o que ocasionou uma redução na atividade das enzimas PME e PG. Tal fato contribuiu satisfatoriamente para a manutenção da integridade da parede celular pela inibição da degradação da protopectina, proporcionando, assim, maior firmeza do mesocarpo e aumento do período de prateleira dos frutos. Frutos no estágio 0 de maturação, tratados com 1-MCP, apresentaram firmeza do mesocarpo, no sexto dia de prateleira, índice três vezes maior que em frutos não tratados com 1-MCP (Figura 1A).



**Figura 1:** Firmeza do mesocarpo (N) em mamão 'Golden' tratado e não tratado com 1-MCP nos estádios 0 (A) e 2 (B) de maturação e armazenados por até 6 dias a 25°C. Barras verticais indicam o erro padrão da média (n=3). Médias seguidas de mesma letra maiúscula, entre tratamentos (Com 1-MCP e Sem 1-MCP), e minúscula, entre os tempos de prateleira (0, 3 e 6 dias), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Cortes realizados na região do mesocarpo em frutos no estágio 2 de maturação, tratados com 1-MCP, mostraram células parenquimáticas com maiores espaços intercelulares. Entretanto, nota-se uma deposição de material no espaço intercelular na parede celular e na altura da lamela média (Prancha 2A e 2B). Isto sugere que, apesar do estágio de amadurecimento mais avançado, a aplicação do 1-MCP contribuiu para reduzir a degradação de material péctico entre células



adjacentes pela redução da atividade das enzimas PME e PG, conferindo, assim, maior firmeza ao mesocarpo dos frutos (Figura 1B).

Porém, em frutos no estágio 2 de maturação não tratados com 1-MCP, as células parenquimáticas apresentaram paredes com contorno irregular, típico de perda de turgidez e de adesão entre as paredes de células adjacentes, ampliando, dessa forma, os espaços intercelulares (Prancha 2C e 2D). Tais espaços intercelulares são preenchidos por substâncias de origem pectínica de baixo grau de esterificação, formadas a partir da ação das enzimas PME e PG (Buescher & Furmanski, 1978). A PME atua removendo os grupos metil éster, aumentando a capacidade da pectina de formar um gel e, conseqüentemente, tornando a pectina suscetível à hidrólise por outras enzimas como a PG (Paull & Chen, 1983). Este padrão de resposta resulta em redução da firmeza do mesocarpo dos frutos de mamoeiro (Figura 1B). Porém, estes resultados observados ainda são preliminares, necessitando de avaliações anatômicas mais específicas, como em microscopia eletrônica. Essas avaliações têm como a finalidade analisar a ultra-estrutura da parede celular e da lamela média, observar sua organização e a melhor deposição de material intercelular em frutos de mamão tratados com 1-MCP.

### **3.2.6 - CONCLUSÃO**

Conclui-se que a aplicação do 1-MCP manteve a firmeza dos frutos nos estádios 0, 1 e 2 de maturação. Os frutos armazenados sob refrigeração por 8 e 16 dias foram os que mostraram maior retenção na firmeza do fruto.

Frutos no estágio 0 de maturação tratados com 1-MCP, e armazenados sem refrigeração apresentaram FF excessivamente alta, o que pode comprometer a comercialização destes frutos em mercados mais próximos, não sendo, nestas condições, indicada a aplicação do 1-MCP.

O 1-MCP se mostrou efetivo na redução da atividade das enzimas PME e PG em frutos nos estádios 0, 1 e 2 de maturação. Por outro lado, o armazenamento destes frutos por 16 e 24 dias, sob baixa temperatura, contribuiu

para aumentar a atividade da enzima PME no período de prateleira. Esta atividade foi maior nos frutos nos estádio 1 e 2 de maturação, principalmente naqueles armazenados por 16 e 24 dias sob refrigeração.

O armazenamento dos frutos por 8 dias sob refrigeração, associado à aplicação do 1-MCP, se mostrou o mais efetivo na redução da atividade das enzimas PME e PG, sendo indicado para a conservação dos frutos para posterior comercialização.

A aplicação do 1-MCP reduziu a atividade da enzima PG de modo geral, independentemente do estádio de maturação dos frutos. A atividade da PG aumentou a partir do sexto dia de prateleira, demonstrando participação mais tardia dessa enzima nos processos de amolecimento do mesocarpo dos frutos.

O armazenamento dos frutos sob refrigeração, como o único tratamento de conservação, foi eficiente em reduzir a perda de firmeza do fruto. Entretanto, não foi eficiente em reduzir a atividade das enzimas PME e PG em frutos nos estádio 1 e 2 de maturação, armazenados por 16 e 24 dias sob refrigeração. A atividade das enzimas PME e PG se manteve mais alta em frutos refrigerados por 16 e 24 dias, quando comparada à dos frutos não refrigerados, independentemente do estádio de maturação. Dessa forma, conclui-se que o tempo prolongado de exposição dos frutos à baixa temperatura reduz o tempo de comercialização dos frutos à temperatura ambiente, principalmente em frutos nos estádios 1 e 2 de maturação. Entretanto, é aconselhável o armazenamento dos frutos à baixa temperatura por 8 dias, visto que a firmeza do fruto se manteve alta e a atividade das enzimas PME e PG se mantiveram baixas.

O teor de SS não apresentou diferença significativa em frutos tratados com 1-MCP. Os resultados mostraram diferenças no teor de SS inerentes aos diferentes estádios de maturação em que os frutos foram colhidos.

O decréscimo na atividade da PME e PG, em frutos tratados com 1-MCP, observado por microscopia óptica, pode ser a causa para o maior acúmulo de substâncias entre as células adjacentes.

De modo geral, uma continuidade deve ser dada nos estudos anatômicas da polpa de frutos de mamão, a fim de se obter um melhor esclarecimento da ação do 1-MCP sobre a retenção da firmeza da polpa, utilizando técnicas mais precisas de microscopia eletrônica e testes citoquímicos.

### 3.2.7 - REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Almeida, R. F.; Martins, M. L. L.; Resende, E. D.; (2006). Influence of the refrigerating temperature on the chemical characteristics of the papaya fruits cv. 'Golden'. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 26:577-581.

Appezatto-da-Glória, B.; Bron, I.U.; Machado, S.R. (2004). Lanosidade em cultivares de pêsego (*Prunus persica* (L.) Batsch). Estudos anatômicos e ultra-estruturais. *Revista Brasileira de Botânica*, 27:55-61.

Argenta, L.C.; Fan, X.T.; Mattheis, J.P. (2003). Influence of 1-methylcyclopropene on ripening, storage life, and volatile production by pear fruit. *Journal Agriculture Food Chemistry*, 51:3858-3864.

Bai, J.H.; Baldwin, E.A.; Goodner, K.L.; Mattheis, J.P.; Brecha, J.K. (2005). Response of four apple cultivars to 1-methylcyclopropene treatment and controlled atmosphere storage. *HortScience*, 40:1534-1538.

Brackmann, A.; Pinto, J.A.V.; Steffens, C.A.; Guarienti, A.J.W.; Giehl, R.F.H.; Sestari, I. (2005). Conseqüência da umidade relativa durante o armazenamento refrigerado e em atmosfera controlada na qualidade da maçã 'Gala'. *Ciência Rural*, 35:1197-1200.

Ben-Arie, R.; Kisleu, N.; Frenkel, C. (1979). Ultrastructural changes in the cell wall of ripening apple and pear fruit. *Plant Physiology*, 64:197-202.

Bicalho, U.O.; Chitarra, A.B.; Chitarra, M.I.F.; Coelho, A.H.R. (2000). Modificações texturais em mamões submetidos à aplicação pós-colheita de cálcio e embalagem de PVC. *Ciência Agrotécnica*, 24:136-146.

Botrel, N.; Freire, J.M.; Vasconcelos, R.M.; Barbosa, H.T.G. (2002). Inibição do amadurecimento da banana 'Prata-anã' com a aplicação do 1-metilciclopropeno. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 24:53-56.

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

Brady, C.J. (1976). The pectinesterase of the pulp of the banana fruit. *Australian Journal of Plant Physiology*, 3:163-172.

Bron, I.U.; Ribeiro, R.U.; Azzolini, M.; Jacomino, A.P.; Machado, E.C. (2004) Chlorophyll fluorescence as a tool to evaluate the ripening of 'Golden' papaya fruit. *Postharvest Biology and Tecnology*, 33:163-173.

Bron, I.U. (2006). Amadurecimento do mamão 'Golden': ponto de colheita, bloqueio da ação do etileno e armazenamento refrigerado. Tese (Doutorado em Produção Vegetal). Piracicaba – SP, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ. 66p.

Carvalho, H. A. (2001). Efeito da atmosfera modificada sobre componentes da parede celular da goiaba. *Ciência e Agrotecnologia*, 25:605-615.

Chan Jr.; H.T.; Hibbard, K.L.; Goo, T.; Akamine, E.K. (1979). Sugar composition of papayas during fruit development. *Hortscience*, 14:140-141.

Chitarra, A.B.; Evangelista, R.M.; Chitarra, M.I.F. (2000). Influência 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.

Chitarra, M.I.F. & Chitarra, A.B. (2005). Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio. 2.ed. Lavras: UFLA.785p.

Coultate, T.P.; (2004). Alimentos. A química de seus componentes. 3ªed. 368p.

Cruz, C.D. (2001). Programa Genes (versão Windows), aplicativo computacional em Genética e Estatística, editora UFV, Universidade Federal de Viçosa, 648p.

D'Innocenzo, M. (1996). Comportamento de enzimas da parede celular e textura da polpa relacionados ao tratamento de irradiação de mamões. (*Carica papaya* L. cv. Solo) durante o amadurecimento. Piracicaba: Esalq, 85p. (Dissertação - Mestrado em Ciências).

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*, 24:254 - 257.

Fan, X.; Argenta, L.; Mattheis, J.P. (2000). Inhibition of ethylene action by 1-methylcyclopropene prolongs storage life of apricots. *Postharvest Biology and Technology*, 20:135-142.

Gross, K.C.; Sams, C.E. (1984). Changes in cell wall neutral sugar composition during fruit ripening: a species survey. *Phytochemistry*, 23:2457-2461.

Harris, D.R.; Seberry, J.A.; Wills, R.B.H.; Spohr, L.J. (2000). Effect of fruit maturity on efficiency of 1-methylcyclopropene to delay the ripening of bananas. *Postharvest Biology and Technology*, 20:303-308.

HersHKovitz, V.; Saguy, S.I.; Pesis, E. (2005). Postharvest application of 1-MCP to improve the quality of various avocado cultivars. *Postharvest Biology and Technology*, 37:252-264.

Hofman, P.J.; Jobin-Décor, M.; Meiburg, G.F.; Macnish, A.J.; Joyce, D.C. (2001). Ripening and quality responses of avocado, custard apple, mango and papaya fruit to 1-methylcyclopropene. *Australian Journal Agriculture*, 41:567-572.

Hultin, H.O. & Levine, A.S. (1965). Pectin methyl esterase in the ripening banana. *Journal of Food Science*, 30:917-921.

Jacomino, A.J.; Kluge, R.A.; Brackman, A.; Castro, P.R. C. (2002). Amadurecimento e senescência de mamão com 1-metilciclopropeno. *Scientia Agrícola*, 59:303-308.

Jen, J.J. & Robinson, M.L.P. (1984). Pectolytic enzymes in sweet bell peppers (*Capsicum annum* L.). *Journal of food Science*. 49:1085-1087.

Jeong, J.; Huber, 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.

Lima, L.C.; Costa, S.M.; Dias, M.S.C.; Martins, R.N.; Ribeiro, P.M. (2005). Controle do amadurecimento de banana 'Prata anã' armazenada sob refrigeração e atmosfera modificada passiva com o uso do 1-metilciclopropeno. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 29:476-480.

Lima, M.A.C.; Silva, A.L.; Azevedo, S.S.N.; Santos, P.Sá. (2006). Tratamento pós-colheita com 1-metilciclopropeno em manga 'Tommy Atkins': Efeito de doses e número de aplicações. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 28:64-68.

Manenoi, A.; Bayogan, E.R.V.; Thumdee, S.; Paull, R.E. (2007). Utility of 1-methylcyclopropene as a papaya postharvest treatment. *Postharvest Biology and Technology*, 44:55-62.

Manrique, G. D. & Lajolo, F.M. (2004). Cell-Wall polysaccharide modification during postharvest ripening of papaya fruit (*Carica papaya* L.). *Postharvest Biology and Tecnology*, 33:11-26.

McCann, M.C. & Roberts, K. (1991) Architecture of the primary cell wall. In The cytoskeletal basis of plant growth and form. C.W. Lloyd (Ed). *Academic Press*, London, p.109-29.

Menezes, J.B. (1996). Qualidade pós-colheita de melão tipo Gália durante a maturação e o armazenamento. Tese (Doutorado em produção vegetal). Lavras-MG, UFLA, 157p.

Nelson, N.A. (1944). A photometric adaption of Somogyi method for determination of glucose. *Journal of Biological Chemistry*, 135:136-175.

Oliveira, M.A.B. (2002). Caracterização da cor do estágio de maturação e influência do 1-MCP na pós-colheita do mamão (*Carica papaya* L.). Tese (Doutorado em Produção Vegetal). Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, 117p.

Paull, R. E. (1996). Pineapple and Papaya. In: Seymour, G. B.; Taylor, J. E.; Tucker, G. A. (Ed). *Biochemistry of fruit ripening*. London: Chapman & Hall, p.302-315.

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

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

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

Pinheiro, A.C.M.; Vilas Boas, E.V.B.; Mesquita, C.T. (2005). Ação do 1-metilciclopropeno na vida de prateleira da banana 'Maçã'. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 27:25-28.

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

Roe, B. & Bruemmer, J.H. (1981). Changes in pectic substance and enzyme during ripening and storage of 'Keitt' mangos. *Journal of food Sciences*, 54:186-186.

Saftner, R.A.; Abbott, J.A.; Conway, W.S.; Barden, C.L. (2003). Effects of 1-methylcyclopropene and heat treatment on ripening and postharvest decay in 'Golden Delicious' apples. *Journal American Society Horticulture Science*, 128:120-127.

Selvaraj, Y.; Subramanyam, 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 Horticulture Science*, 57:135-143.

Serek, M.; Sisler, E.C.; Reid, M.S. (1997). 1-Methylcyclopropene, a novel gaseous inhibitor of ethylene action, improves the life of fruit, cut flowers and potted plants. *Acta Horticulturae*, 394:337-345.

Sisler, E.C. & Serek, M.; (2003). Compounds interacting with the ethylene receptor in plants. *Plant Biology*, 5:473-480.

Watkins, C.B.; Nock, J.F.; Whitaker, B.D. (2000). Responses of early, mid and late season apple cultivars to postharvest application of 1-methylcyclopropene under air and controlled atmosphere storage conditions. *Postharvest Biology and Technology*, 19:17-32.

Win, T.O.; Srilaong, V.; Heyes, J.; Kyu, K.L.; Kanlayanarat, S. (2006). Effects of different concentrations of 1-MCP on the yellowing of West Indian lime (*Citrus aurantifolia*, Swingle) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 42:23-30.

Wills, R.B.H.; Ku, V.V.V. (2002). Use of 1-MCP to extend the time to ripen of green tomatoes and postharvest life of ripe tomatoes. *Postharvest Biology and Technology*, 26:85-90.



#### 4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso do 1-MCP se mostrou eficiente na redução da emissão de etileno e da atividade respiratória em frutos nos estádios 0, 1 e 2 de maturação nos tratamentos sem refrigeração e com 8 dias de refrigeração. Por outro lado, a atividade respiratória tendeu a aumentar com o aumento no tempo de refrigeração, mesmo em frutos tratados com 1-MCP. Este padrão de resposta também foi observado na coloração do fruto e na firmeza do mesocarpo, quando os tratamentos com 16 e 24 dias de refrigeração apresentaram redução crescente na FM. A redução da FM esteve acompanhada do aumento da atividade da PME ao longo dos seis dias de prateleira, indicando atuação direta desta enzima no processo de amolecimento da polpa. A atividade da enzima PG se manteve baixa em todos os estádios e tratamentos, com acréscimo apenas a partir do sexto dia de prateleira, indicando atuação mais tardia no processo de amadurecimento.

As avaliações anatômicas indicaram um acúmulo maior de substâncias entre as células adjacentes e uma redução dos espaços intercelulares em frutos tratados com 1-MCP, o que conferiu maior firmeza ao mesocarpo.

De modo geral, novas pesquisas devem ser realizadas com o objetivo de esclarecer os mecanismos que levam ao aumento da atividade respiratória e inibição da produção de etileno em função do aumento no período de refrigeração em diferentes estádios de maturação. Além disso, há a necessidade de proceder a avaliações minuciosas por meio de microscopia eletrônica. A finalidade dos estudos é obter informações mais exatas sobre a ultraestrutura da parede celular,

observar sua organização e a melhor deposição de material intercelular em frutos de mamoeiro tratados com 1-MCP.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agriannual, Anuário da Agricultura Brasileira. (2002). Mercado e Perspectivas. São Paulo, FNP, Consultoria & Comércio, p.374-387.

Almeida, R. F.; Martins, M.L.L.; Resende, E. D.; (2006). Influence of the refrigerating temperature on the chemical characteristics of the papaya fruits cv 'Golden'. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 26:577-581.

Amaral JR, R.P. (2003). Demandas e exigências do mercado internacional de mamão quanto à logística e qualidade. In: Martins, D.S. (ed). Papaya Brasil: qualidade do mamão para o mercado interno. Vitória, ES: Incaper, p.57-65.

An, J. & Paull, R.E. (1990). Storage temperature and ethylene influence on ripening of papaya fruit. *Journal of the American Society for Horticulture Science*, 15:949-953.

Argenta, L.C.; Fan, X.T.; Mattheis, J.P. (2003). Influence of 1-methylcyclopropene on ripening, storage life, and volatile production by pear fruit. *Journal Agriculture Food Chemistry*, 51:3858-3864.

Badillo, V.M. (1993). *Caricaceae*: segundo esquema. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 43:111.

Bai, J.H.; Baldwin, E.A.; Goodner, K.L.; Mattheis, J.P.; Brecha, J.K. (2005). Response of four apple cultivars to 1-methylcyclopropene treatment and controlled atmosphere storage. *HortScience*, 40:1534-1538.

Brackmann, A.; Pinto, J.A.V.; Steffens, C.A.; Guarienti, A.J.W.; Giehl, R.F.H.; Sestari, I. (2005). Conseqüência da umidade relativa durante o armazenamento refrigerado e em atmosfera controlada na qualidade da maçã 'Gala'. *Ciência Rural*, 35:1197-1200.

Brady, C.J. (1976). The pectinesterase of the pulp of the banana fruit. *Australian Journal of Plant Physiology*, 3:163-172.

Bicalho, U.O.; Chitarra, A.B.; Chitarra, M.I.F.; Coelho, A.H.R. (2000). Modificações texturais em mamões submetidos à aplicação pós-colheita de cálcio e embalagem de PVC. *Ciência Agrotécnica*, 24:136-146.

Botrel, N.; Freire, J.M.; Vasconcelos, R.M.; Barbosa, H.T.G. (2002). Inibição do amadurecimento da banana 'Prata-anã' com a aplicação do 1-metilciclopropeno. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 24: 53-56.

Bron, I.U.; Ribeiro, R.U.; Azzolini, M.; Jacomino, A.P.; Machado, E.C. (2004) Chlorophyll fluorescence as a tool to evaluate the ripening of 'Golden' papaya fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 33:163-173.

Bron, I.U. (2006). Amadurecimento do mamão 'Golden': ponto de colheita, bloqueio da ação do etileno e armazenamento refrigerado. Tese (Doutorado em produção vegetal). Piracicaba – SP, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ. 66p.

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

Chan Jr.; H.T.; Hibbard, K.L.; Goo, T.; Akamine, E.K. (1979). Sugar composition of papayas during fruit development. *Hortscience*, 14:140-141.

Chan Jr.; H.T.; Tam, S.Y.T. (1982). Partial purification and characterization of an acid phosphatase from papaya. *Journal of Food Science*, 4:1498-1500.

Chitarra, M.I.F. & Chitarra, A.B. (2005). Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio. 2.ed. Lavras: UFLA.785p.: il.

Chitarra, A.B.; Evangelista, R.M.; Chitarra, M.I.F. (2000). Influência 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.

Coulter, T.P. (2004). Alimentos. A química de seus componentes. 3º ed. 368p.

Cruz, C.D. (2001). Programa Genes (versão Windows), aplicativo computacional em Genética e Estatística, editora UFV, Universidade Federal de Viçosa, 648p.

Dantas, J. L. L. & Castro Neto, M. T. (2000). Aspectos botânicos e fisiológicos. Mamão produção: Aspectos técnicos, Brasília: *EMBRAPA – CNPMFT*, p.11-14.

D'Innocenzo, M. (1996). Comportamento de enzimas da parede celular e textura da polpa relacionados ao tratamento com irradiação de mamões (*Carica papaya* L. cv. Solo) durante o amadurecimento. Piracicaba: Esalq, 85p. (Dissertação - Mestrado em Ciências).

Fan, X.; Argenta, L.; Mattheis, J.P. (2000). Inhibition of ethylene action by 1-methylcyclopropene prolongs storage life of apricots. *Postharvest Biology and Technology*, 20:135-142.

Fischer, M.; Amado, R. (1994). Changes in the pectic substance of apples during development and postharvest ripening. Part 1: Analysis of the alcohol-insoluble residue. *Carbohydrate Polymers*, 25:161-166.

Gross, K.C.; Sams, C.E. (1984). Changes in cell wall neutral sugar composition during fruit ripening: a species survey. *Phytochemistry*, 23:2457-2461.

Harris, D.R.; Seberry, J.A.; Wills, R.B.H.; Spohr, L.J. (2000). Effect of fruit maturity on efficiency of 1-methylcyclopropene to delay the ripening of bananas. *Postharvest Biology and Technology*, 20:303-308.

HersHKovitz, V.; Saguy, S.I.; Pesis, E. (2005). Postharvest application of 1-MCP to improve the quality of various avocado cultivars. *Postharvest Biology and Technology*, 37:252-264.

Hofman, P.J.; Jobin-Décor, M.; Meiburg, G.F.; Macnish, A.J.; Joyce, D.C. (2001). Ripening and quality responses of avocado, custard apple, mango and papaya fruit to 1-methylcyclopropene. *Australian Journal of Agricultural*, 41:567-572.

Hultin, H.O. & Levine, A.S. (1965). Pectin methyl esterase in the ripening banana. *Journal of Food Science*, 30:917-921.

Jacomino, A.J.; Kluge, R.A.; Brackman, A.; Castro, P.R.C. (2002). Amadurecimento e senescência de mamão com 1-metilciclopropeno. *Scientia Agrícola*, 59:303-308.

Jen, J.J. & Robinson, M.L.P. (1984). Pectolitic enzymes in sweet bell peppers (*Capsicum annum* L.). *Journal of food Science*, 49:1085-1087.

Jeong, J.; Huber, 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.

Lima, L.C.; Costa, S.M.; Dias, M.S.C.; Martins, R.N.; Ribeiro, P.M. (2005). Controle do amadurecimento de banana 'Prata anã' armazenada sob refrigeração e atmosfera modificada passiva com o uso do 1-metilciclopropeno. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 29:476-480.

Lima, M.A.C.; Silva, A.L.; Azevedo, S.S.N.; Santos, P.de Sá. (2006). Tratamento pós-colheita com 1-metilciclopropeno em manga 'Tommy Atkins': Efeito de doses e número de aplicações. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 28:64-68.

Lohani, S.; Trivedi, P.K.; Nath, P. (2004). Changes in activities of cell wall hydrolases during ethylene-induced ripening in banana: effect of 1-MCP, ABA and IAA. *Postharvest Biology and Technology*, 31:119-126.

Martins, D. S. & Costa, A. F. (2003). A cultura do mamoeiro (*Carica papaya* L.): tecnologias de produção. Vitória, ES: Incaper, 497p.

Martins, D.S. dos. (2005). Papaya Brasil: mercado e inovações tecnológicas para o mamão. Vitória, ES: Incaper, 668p.

Manenoi, A.; Bayogan, E.R.V.; Thumdee, S.; Paull, R.E. (2007). Utility of 1-methylcyclopropene as a papaya postharvest treatment. *Postharvest Biology and Technology*, 44:55-62.

Manica, I. (1982) Fruticultura tropical: 3. Mamão. São Paulo: Agronômica Ceres.276p.

Manrique, G. D. & Lajolo, F.M. (2004). Cell-Wall polysaccharide modification during postharvest ripening of papaya fruit (*Carica papaya* L.). *Postharvest Biology and Tecnology*, 33:11-26.

McCann, M.C. & Roberts, K. (1991) .*Architecture of the primary cell wall in the cytoskeleton basis of plant growth and form*, ed. C.W. Lloyd. Academic Press, London, p.109-129,

Menezes, J.B. (1996). Qualidade pós-colheita de melão tipo Gália durante a maturação e o armazenamento. Lavras - UFLA, 157p. (Tese D.Sc).

Nelson, N.A. (1944). A photometric adaption of Somogy method for determination of glucose. *Journal of Biological Chemistry*, 135:136-175.

Oliveira, M.A.B. (2002). Caracterização da cor do estágio de maturação e influência do 1-MCP na pós-colheita do mamão (*Carica papaya* L.). Tese (Doutorado em Produção Vegetal). Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, 117p.

Paull, R. E. (1996). Pineapple and Papaya. In: Seymour, G. B.; Taylor, J. E.; Tucker, G. A. *Biochemistry of fruit ripening*. London: Chapman & Hall, p.302-315.

Paull, R.E; McCann, M.C.; Roberts, K. *Architecture of the primary cell wall in the cytoskeleton basis of plant growth and form*, ed. C.W. Lloyd. Academic Press, London, p.109-129, 1991.

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

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

Pinheiro, A.C.M.; Vilas Boas, E.V.B.; Mesquita, C.T. (2005). Ação do 1-metilciclopropeno na vida de prateleira da banana 'Maçã'. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 27:25-28.

Raven, P.H.; Evert, R.F.; Eichhrn, S.E. (1999). *Biologia vegetal*. 6ª Ed. 906p.

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

Ritzinger, C.H.P. & Souza, J.S. (2002). Mamão: Fitossanidade. Cruz das Almas. EMBRAPA, 91 p.

Rohm and Haas. (2002). 1-Metilciclopropeno (1-MCP). Agrofresh (Boletim técnico).

Roe, B. & Bruemmer, J.H. (1981). Changes in pectic substance and enzyme during ripening and storage of "Keitt" mangos. *Journal of food Sciences*, 54:186-186.

Saftner, R.A.; Abbott, J.A.; Conway, W.S.; Barden, C.L. (2003). Effects of 1-methylcyclopropene and heat treatment on ripening and postharvest decay in 'Golden Delicious' apples. *Journal American Society Horticulture Science*, 128:120-127.

Selvaraj, Y.; Subramanyam, 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 Horticulture Science*, 57:135-143.

Serek, M. & Sisler, E.C.; Reid, M.S. (1997). 1-Methylcyclopropene, a novel gaseous inhibitor of ethylene action, improves the life of fruit, cut flowers and potted plants. *Acta Horticulturae*, 394:337-345.



Sisler, E.C. & Serek, M.; (2003). Compounds interacting with the ethylene receptor in plants. *Plant Biology*, 5:473-480.

Simão, S. (1998). *Tratado de Fruticultura*. Piracicaba: FEALQ. 760p.

Watkins, C.B.; Nock, J.F.; Whitaker, B.D. (2000). Responses of early, mid and late season apple cultivars to postharvest application of 1-methylcyclopropene under air and controlled atmosphere storage conditions. *Postharvest Biology and Technology*, 19:17-32.

Win, T.O.; Srilaong, V.; Heyes, J.; Kyu, K.L.; Kanlayanarat, S. (2006). Effects of different concentrations of 1-MCP on the yellowing of West Indian lime (*Citrus aurantifolia*, Swingle) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 42:23-30.

Wills, R.B.H. & Ku, V.V.V. (2002). Use of 1-MCP to extend the time to ripen of green tomatoes and postharvest life of ripe tomatoes. *Postharvest Biology and Technology*, 26:85-90.

APENDICES

**Quadro 1A** - Resumo da análise de variância (ANOVA) da emissão de etileno e taxa respiratória do mamão 'Golden' tratado e não tratado com o 1-metilciclopropeno, e armazenados por até 24 dias a 10<sup>0</sup>C e amostrados com 0, 3 e 6 dias após transferência para a temperatura ambiente (25<sup>0</sup>C ± 1<sup>0</sup>C).

Fonte de variação	GL	Quadrado médio	
		Etileno	Respiração
Repetição	2	0,0817	14,954
Tempo de Refrigeração (TR)	3	3,4798**	627,791**
Estádio de Maturação (EM)	2	1,4274*	717,97**
Tempo de prateleira (TP)	2	0,7758*	18,481ns
TR*EM	6	0,568*	58,33*
TR*TP	6	0,1156 ns	249,164**
EM*TP	4	0,5691*	40,148ns
TR*EM*TP	12	0,1959ns	48,595*
Erro	178		
Média		0,554	21,34
CV (%)		8,41	19,64

ns - Não significativo a 5%

\*Significativo a 5%

\*\*Significativo a 1%

**Quadro 2A** - Resumo da análise de variância (ANOVA) do mamão 'Golden' tratado e não tratado com o 1-metilciclopropeno. Avaliação dos parâmetros: coloração (ângulo *hue*), Firmeza externa (FE), Firmeza do mesocarpo (FM) e Sólidos solúveis totais (SST).

Fonte de variação	GL	Quadrado médio			
		Col	FE	FM	SST
Repetição	2	5,806	297,98	3,891	0,1617
Tempo de Refrigeração (TR)	3	1089,221**	15495,785*	3089,938**	2,7105*
Estádio de Maturação (EM)	2	892,711**	4163,771ns	474,687*	36,207**
Tempo de prateleira (TP)	2	8493,746**	108574,65**	20621,712**	1,697ns
TR*EM	6	30,714ns	839,98ns	165,138ns	2,5522**
TR*TP	6	253,031**	2386,602*	611,504*	1,3251ns
EM*TP	4	59,248*	187,165ns	440,488ns	1,0857ns
TR*EM*TP	12	11,851ns	1045,487ns	165,845ns	0,553ns
Erro	178				
Média		91,92	86,17	26,4	13,57
CV (%)		4,89	54,15	65,11	4,85

ns - Não significativo a 5%

\*Significativo a 5%

\*\*Significativo a 1%

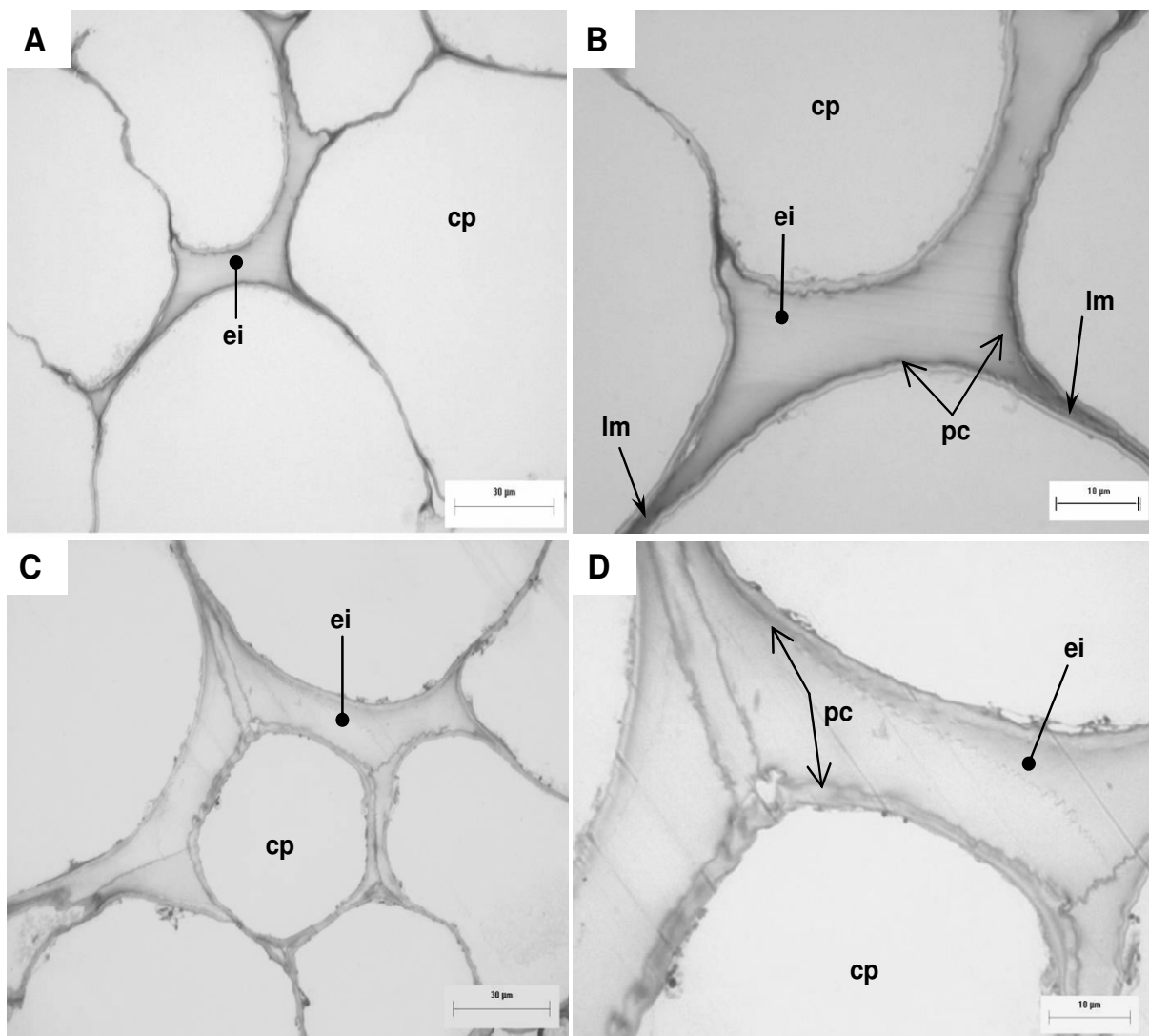
**Quadro 3A** - Resumo da análise de variância (ANOVA) de frutos do mamoeiro 'Golden' tratado com 1-metilciclopropeno. Avaliação da atividade das enzimas Pectinametilesterase (PME) e Poligalacturonase (PG).

Fonte de variação	GL	Quadrado médio	
		PME	PG
Repetição	2	1966,57	351,16
Tempo de Refrigeração (TR)	3	445593,462**	45117,31**
Estádio de Maturação (EM)	2	36098,459ns	11355,142*
Tempo de prateleira (TP)	2	872634,974**	181789,669**
TR*EM	6	19733,988ns	1315,97ns
TR*TP	6	10568,327**	4041,706*
EM*TP	4	22091,85ns	1908,23ns
TR*EM*TP	12	16024,154ns	1028,203ns
Erro	178		
Média		304,01	128,99
CV (%)		45,16	35,91

ns - Não significativo a 5%

\*Significativo a 5%

\*\*Significativo a 1%



**Prancha 1:** Cortes na região do mesocarpo em frutos de mamão ‘Golden’ no estágio 0 de maturação aos 6 dias de armazenamento de prateleira a 25 °C.

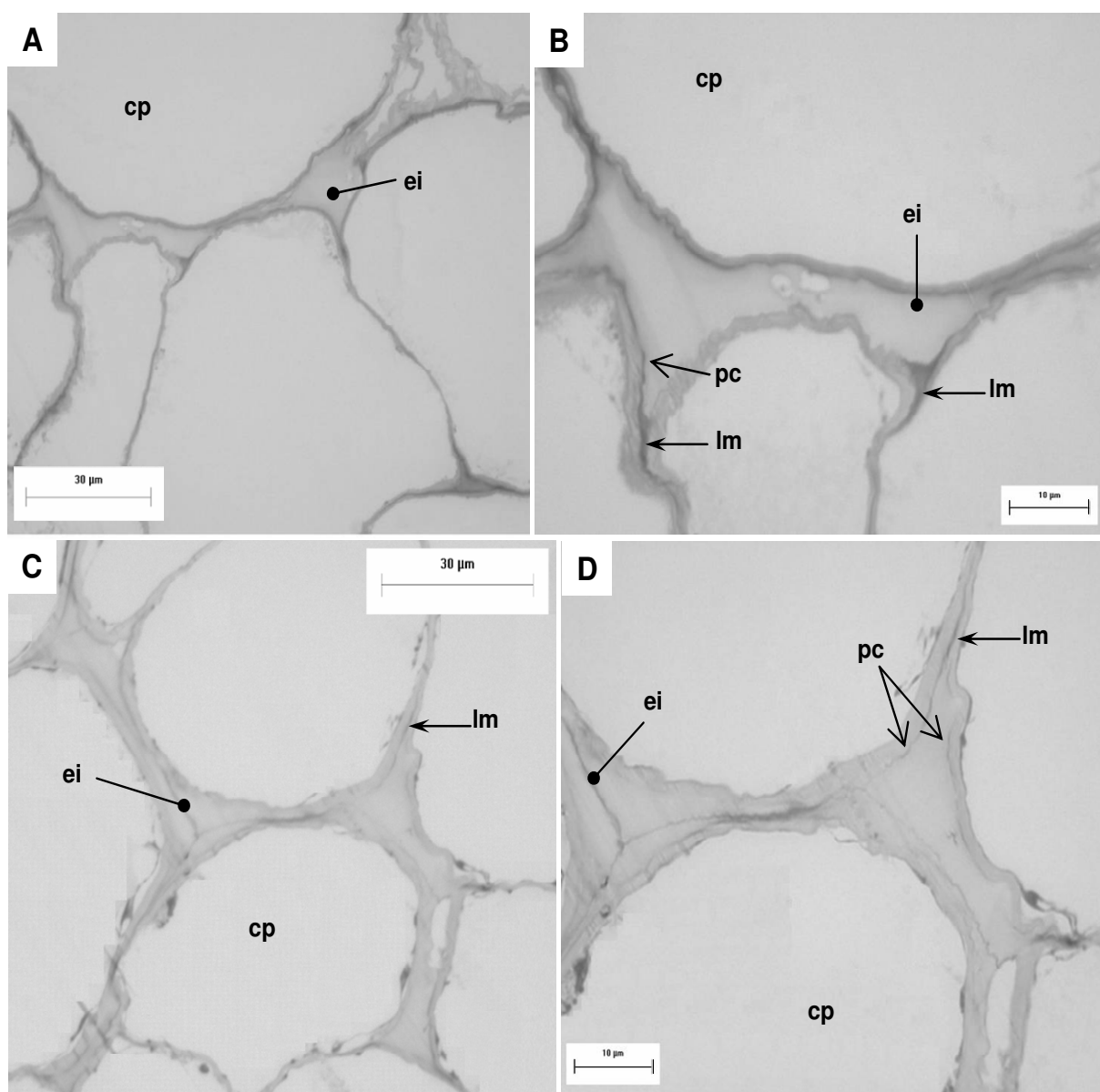
cp: células parenquimáticas; ei: espaço intercelular (●); pc: parede celular (↗); lm: lamela média (↗).

Figura A: frutos tratados com 1-MCP. Barra: 30 µm – 40x.

Figura B: frutos tratados com 1-MCP. Notar a presença de parede celular mais delgada, sugerindo retenção de compostos pécicos na altura da lamela média. Barra: 10 µm – 100x.

Figura C: frutos não tratados com 1-MCP. Notar o aumento na formação dos espaços intercelulares. Barra: 30 µm – 40x.

Figura D: frutos não tratados com 1-MCP. Notar a presença de parede celular com aspecto mais frouxo e redução de compostos. Barra: 10 µm – 100x.



**Prancha 2:** Cortes na região do mesocarpo em frutos de mamão ‘Golden’ no estágio 2 de maturação armazenado aos 6 dias de armazenamento de prateleira a 25 °C.

cp: células parenquimáticas; ei: espaço intercelular (●); pc: parede celular (↗); lm: lamela média (↗).

Figura A: frutos tratados com 1-MCP. Barra: 30 μm – 40x.

Figura B: frutos tratados com 1-MCP. Notar a presença de material pécico na parede celular e na altura da lamela média. Barra: 10 μm – 100x.

Figura C: frutos não tratados com 1-MCP. Barra: 30 μm – 40x.

Figura D: frutos não tratados com 1-MCP. Notar a redução de material pécico na parede celular e na altura da lamela média. Barra: 10 μm – 100x.