**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Fisiologia do amadurecimento de maracujá-amarelo e goiaba
‘Pedro Sato’ ligados ou não às plantas**

Ana Elisa de Godoy Beltrame

Tese apresentada para obtenção do título de
Doutora em Ciências. Área de concentração:
Fitotecnia

**Piracicaba
2012**

Ana Elisa de Godoy Beltrame
Engenheiro Agrônomo

**Fisiologia do amadurecimento de maracujá-amarelo e goiaba ‘Pedro Sato’
ligados ou não às plantas**

Orientador:
Prof. Dr. **ANGELO PEDRO JACOMINO**

Tese apresentada para obtenção do título de
Doutora em Ciências. Área de concentração:
Fitotecnia

Piracicaba
2012

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - ESALQ/USP**

Beltrame, Ana Elisa de Godoy

Fisiologia do amadurecimento de maracujá-amarelo e goiaba 'Pedro Sato' ligados ou não às plantas / Ana Elisa de Godoy Beltrame.- - Piracicaba, 2012.
113 p: il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2012.

1. Dióxido de carbono 2. Etileno 3. Fisiologia vegetal 4. Goiaba 5. Hormônios vegetais 6. Maracujá 7. Amadurecimento 8. 1-metilciclopropeno I. Título

CDD 634.425
B453f

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

Com muito AMOR e VALOR que tenho por eles

DEDICO...

♥ Aos meus pais **Antonio e Lucila** ♥

♥ Ao meu irmão **Bruno** ♥

♥ Ao meu marido **André** ♥

AGRADECIMENTOS

À DEUS, pela minha vida.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, ESALQ/USP, por todas as oportunidades oferecidas ao longo dos meus estudos.

Ao Prof. Angelo Pedro Jacomino pela oportunidade, orientação, ensinamentos, confiança e amizade durante todos esses anos de convivência.

Ao Prof. João Alexio Scarpate Filho pela orientação, ajuda e confiança durante esses anos de convivência.

À Comissão do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia pela oportunidade da realização deste trabalho.

À FAPESP pela concessão da bolsa de estudos e apoio financeiro ao projeto de pesquisa.

Ao Marcos José Trevisan pela amizade e pela pronta ajuda para resolver os problemas do laboratório e dos experimentos.

Aos grandes amigos Heder e Davi, técnicos da área de Fruticultura, que me ajudaram muito com os experimentos em campo, pelos ensinamentos práticos e por todos os momentos de descontração com boas risadas.

A todos os colegas do Laboratório de Tecnologia Pós-Colheita de Frutas e Hortaliças.

À querida Luciane Aparecida Lopes Toledo pela pronta ajuda e por sempre nos lembrar dos nossos compromissos com o Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia.

Ao Grupo de Práticas em Fruticultura (GPF) pela ajuda com os experimentos em campo.

Ao Prof. Ricardo Alfredo Kluge por disponibilizar a infraestrutura de seu laboratório para a realização de experimentos.

Aos professores de fruticultura do Departamento de Produção Vegetal Francisco de Assis Alves Mourão Filho, Simone Rodrigues da Silva e Marcel Bellato Spósito.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

MUITO OBRIGADA!

SUMÁRIO

RESUMO.....	9
ABSTRACT.....	11
1 INTRODUÇÃO.....	13
2 DESENVOLVIMENTO.....	15
2.1 Revisão Bibliográfica.....	15
2.1.1 Desenvolvimento de frutos.....	15
2.1.2 Amadurecimento e padrão respiratório.....	16
2.1.3 Etileno e os padrões de amadurecimento.....	17
2.1.4 Relação entre a atividade respiratória e o etileno de frutos climatéricos.....	19
2.1.5 Fisiologia do amadurecimento de alguns frutos ligados ou não às plantas	21
2.1.6 Etileno e 1-Metilciclopropeno.....	23
2.1.7 Importância do Maracujá e da Goiaba.....	25
2.2 Material e Métodos.....	27
2.2.1 Etapa 1: Metodologia da estimativa da concentração endógena de CO ₂ e de etileno em maracujá-amarelo e goiaba 'Pedro Sato' ligados ou não às plantas.....	28
2.2.2 Tempo de equilíbrio entre as concentrações do interior do fruto e do interior do tubo de silicone fixado no fruto ligado à planta - Maracujá e Goiaba.....	30
2.2.3 Estimativa da concentração endógena de CO ₂ e de etileno em maracujá-amarelo e goiaba 'Pedro Sato' ligados ou não às plantas.....	32
2.2.4 Estimativa da concentração endógena de CO ₂ e de etileno em maracujá-amarelo e goiaba 'Pedro Sato' colhidos em diferentes estádios de maturação.....	38
2.3 Etapa 2: Efeito da aplicação de etileno e de 1-metilciclopropeno (1-MCP) na qualidade, fisiologia e bioquímica de maracujá-amarelo e goiaba 'Pedro Sato'.....	38
2.3.1 Metodologia das análises.....	41
2.4 Resultados e Discussão.....	42
2.4.1 Tempo de equilíbrio entre as concentrações do interior do fruto e do interior do tubo de silicone fixado no fruto ligado à planta.....	42

2.4.2 Estimativa da concentração endógena de CO ₂ e de etileno em maracujás- amarelos ligados ou não às plantas.....	44
2.4.3 Estimativa da concentração endógena de CO ₂ e de etileno em maracujás- amarelos colhidos em cinco estádios de maturação.....	50
2.4.4 Estimativa da concentração endógena de CO ₂ e de etileno em goiabas 'Pedro Sato' ligadas ou não às plantas.....	59
2.4.5 Estimativa da concentração endógena de CO ₂ e de etileno em goiabas 'Pedro Sato' colhidas em três estádios de maturação.....	63
2.5 Efeito da aplicação de etileno e de 1-metilciclopropeno (1-MCP) na qualidade, fisiologia e bioquímica de maracujá-amarelo e goiaba 'Pedro Sato'.....	69
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	95
REFERÊNCIAS.....	97

RESUMO

Fisiologia do amadurecimento de maracujá-amarelo e goiaba 'Pedro Sato' ligados ou não às plantas

Os frutos são classificados em climatéricos e não climatéricos de acordo com o padrão da atividade respiratória e produção de etileno. No entanto, estudos apontam que alguns frutos não se enquadram nessa classificação e, a goiaba, tem sido considerada um deles. Uma vez que há divergências quanto à classificação de alguns frutos em climatéricos e não climatéricos, esse trabalho apresenta hipóteses de estudo para goiaba, pois dados sobre sua fisiologia pós-colheita ainda são contraditórios e para maracujá-amarelo, pois são poucos os dados sobre a sua fisiologia pós-colheita. Este trabalho teve como objetivo caracterizar a fisiologia do amadurecimento de maracujá-amarelo e goiaba 'Pedro Sato' ligados ou não às plantas, bem como, avaliar as respostas desses frutos à aplicação de reguladores do amadurecimento como o etileno e 1-metilciclopropeno (1-MCP). O trabalho foi conduzido em duas etapas. Na etapa 1, foi estimada a concentração endógena de CO₂ e etileno de maracujás e goiabas ligados às plantas e em frutos colhidos em diferentes estádios de maturação. Foi fixado um tudo de silicone no epicarpo dos frutos ligados às plantas e coletadas amostras para CO₂ e etileno desde o início do desenvolvimento até o completo amadurecimento dos mesmos e em frutos colhidos nos respectivos estádios de maturação para cada espécie frutífera, os quais foram analisados da mesma forma na pós-colheita. Na etapa 2, maracujás e goiabas foram submetidos à aplicação de 1-MCP e etileno e armazenados em câmara à 22°C e 85% UR durante 9 dias e analisados a cada 3 dias quanto a acidez titulável, teor de sólidos solúveis e ácido ascórbico, rendimento de suco, firmeza, cor da casca, atividade respiratória, produção de etileno e atividade enzimática ACC oxidase. Não foi observado climatério para CO₂ durante o amadurecimento de maracujás e goiabas ligados às plantas. O aumento da concentração endógena de CO₂ foi observado apenas após a colheita dos frutos. A concentração endógena de etileno foi baixa enquanto os frutos estavam ligados às plantas. Maracujás que amadureceram na planta e sofreram abscisão natural mostraram aumento da concentração endógena de etileno dias antes da abscisão dos frutos. Para goiabas, houve aumento da concentração endógena de etileno somente após a colheita. Maracujás predominantemente verdes e verdes-amarelos responderam positivamente à aplicação de 1-MCP como retardador do amadurecimento, com manutenção da qualidade dos frutos, redução da atividade respiratória e diminuição da atividade da ACC oxidase. A diminuição da produção de etileno foi observada em frutos predominantemente verdes. Maracujás responderam ao etileno exógeno pela influência na qualidade física e química e apresentaram maior atividade enzimática principalmente em frutos predominantemente verdes. O etileno em goiabas verde-escuro promoveu o aumento da atividade respiratória, da produção de etileno e da atividade da ACC oxidase, podendo ser um dos fatores responsáveis pelo amadurecimento mais rápido dos frutos. Goiabas responderam positivamente ao 1-MCP, como retardador do amadurecimento, e na redução da atividade da ACC oxidase.

Palavras-chave: *Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Deg; *Psidium guajava*; Dióxido de carbono; Etileno; 1-metilciclopropeno

ABSTRACT

Ripening physiology of yellow passion fruit and 'Pedro Sato' guava attached or not to the plant

Fruit have been classified as climacteric and non-climacteric based on their pattern of respiration and ethylene production. However, studies indicate that some fruit are not frame into this classification and, guava has been considered one of them. Since there are differences in the classification of some fruit into climacteric and non-climacteric, this work presents hypotheses for guava, because the postharvest physiology data is still contradictory and for passion fruit, because there are few data considering its postharvest physiology. This study aimed to characterize the ripening physiology of yellow passion fruit and 'Pedro Sato' guava attached or not to the plant, as well as evaluating the responses of these fruits subjected to exogenous ethylene and 1-methylcyclopropene (1-MCP), since the use of these regulators can help in characterize them. The study was carried out in two steps. The step 1, endogenous CO₂ and ethylene concentrations were estimated in passion fruit and guava attached to the plant and in fruit harvested at different ripening stages. A silicone tube was fixed to the epicarp of the fruit and gas samples were collected since the beginning of fruit development to full ripening and for fruit harvested at different ripening stages which were analyzed in postharvest. The step 2, passion fruit and guava were subjected to 1-MCP and ethylene application and then stored at 22°C and 85% RH for 9 days and analyzed every 3 days for titratable acidity, soluble solids and ascorbic acid, juice yield, firmness, skin color, respiration rate, ethylene production and ACC oxidase activity. It was not observed climacteric for CO₂ during ripening of passion fruit and guava attached to the plant. Endogenous CO₂ concentration increased only after fruit harvest. Endogenous ethylene concentration was low while the fruit were attached to the plant. For passion fruit that ripened on the plant and had natural abscised the endogenous ethylene concentration increased days before fruit abscission. For guavas, an increase in endogenous ethylene concentration was observed only after harvest. Passion fruit at predominantly green and yellowish-green ripening stages responded positively to 1-MCP application with delayed fruit ripening, maintaining fruit quality, decreased in respiratory activity and reduced ACC oxidase activity. The decrease in ethylene production was observed only in predominantly green fruits. Passion fruit responded to exogenous ethylene by the influence on the physical and chemical quality and showed higher enzyme activity mainly in predominantly green fruits. Guavas at dark green ripening stage subjected to exogenous ethylene showed an increase in respiration rate, ethylene production and ACC oxidase activity, which may be one of the factors responsible to the faster rate of ripening of these fruit. Guavas responded positively to 1-MCP application with delayed ripening and reduced the ACC oxidase activity.

Keywords: *Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Deg; *Psidium guajava*; Carbon dioxide; Ethylene; 1-metylcylopropene

1 INTRODUÇÃO

Kidd e West, 1925 apud Saltveit (1993) descreveram o climatério respiratório no amadurecimento de maçãs. Desde então, o pico climatérico tem sido visto como uma característica de amadurecimento dos frutos. Essa informação contribuiu para a classificação dos frutos com relação à presença do climatério respiratório. Frutos que apresentam climatério respiratório são considerados frutos climatéricos e frutos em que essa característica é ausente, são chamados de não climatéricos (BIALE; YONG, 1981).

Pesquisas recentes têm verificado que alguns dos processos do amadurecimento não estão correlacionados com o aumento da atividade respiratória e que o climatério também depende de alguns fatores, como o ponto de colheita e a variedade dos frutos. Essas pesquisas apontam que alguns frutos não se enquadram nas definições clássicas do padrão de atividade respiratória e, a goiaba, tem sido considerada um deles (AZZOLINI et al., 2005; CAVALINI, 2004, 2008).

Tomate e melão, por exemplo, são considerados frutos climatéricos, no entanto, Saltveit (1993) e Shellie e Saltveit (1993) analisaram a concentração interna de CO₂ desses frutos e verificaram que o seu amadurecimento, enquanto presos à planta, não mostrou o aumento esperado de CO₂, e Saltveit (1993) argumentou que o pico climatérico é um fato observado quando os frutos já foram colhidos e, portanto, o autor questionou se essa distinção na classificação dos frutos deve ser baseada nessa característica. Contudo, outros trabalhos observaram a ocorrência do climatério do etileno e da atividade respiratória em melões (HADFIELD et al., 1995) e em tomates (ANDREWS, 1995) amadurecidos na planta.

O amadurecimento dos frutos pode ser acelerado através da aplicação exógena de etileno. Em frutos climatéricos, esse hormônio antecipa o período requerido para o pico climatérico, principalmente quando aplicado antes dessa fase (BLEINROTH, 1988). Em frutos não climatérico a aplicação de etileno pode iniciar um efeito transitório na respiração (BUFLER, 1986), como elevação imediata da atividade respiratória (ABELES; MORGAN; SALVEIT, 1992).

Pode-se reduzir a ação do etileno sobre os frutos pela aplicação do composto volátil 1-metilciclopropeno (1-MCP). Este composto liga-se irreversivelmente ao receptor do etileno em nível de membrana celular, inibindo o seu estímulo fisiológico

e a transdução de sinal, influenciando na redução da produção autocatalítica de etileno e no processo de amadurecimento dos frutos (BLANKENSHIP; DOLE, 2003).

Uma vez que há divergências quanto à classificação de alguns frutos em climatéricos e não climatéricos em diversos estudos, esse trabalho apresenta algumas hipóteses de estudo nessa linha de pesquisa, para a goiaba, pois os dados sobre sua fisiologia pós-colheita ainda são contraditórios (BIALE; BARCUS, 1970; BROWN; WILLS, 1983; AZZOLINI et al., 2005; CAVALINI, 2004, 2008), e para maracujá-amarelo, pois dados sobre a fisiologia pós-colheita desse fruto são escassos.

Desse modo, este trabalho teve como objetivo caracterizar a fisiologia do amadurecimento de maracujá-amarelo e goiaba 'Pedro Sato' ligados ou não às plantas, bem como, determinar as respostas desses frutos à aplicação de acelerador (etileno) e retardador (1-metilciclopropeno) do amadurecimento.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Revisão Bibliográfica

2.1.1 Desenvolvimento de frutos

A formação de um fruto requer um sistema complexo de interação genética e que envolve três fases distintas, a frutificação, o desenvolvimento e o amadurecimento (BOUZAYEN et al., 2010).

De acordo com Ezura e Hiwasa-Tanase (2010) o desenvolvimento de um fruto pode ser dividido em quatro fases. A fase I é caracterizada pelo desenvolvimento do ovário. A fase II envolve o período da rápida divisão celular, a qual inicia-se com a fertilização. A terceira fase corresponde ao período do rápido crescimento devido à expansão celular. Nessa fase são acumuladas reservas e, a maioria dos frutos atinge a forma e tamanho final antes do início do amadurecimento, o qual ocorre na fase IV.

Em função dos processos fisiológicos Watada et al. (1984) caracterizaram o desenvolvimento de frutos em crescimento, maturação, maturidade fisiológica, amadurecimento e senescência, as quais descrevem os diferentes processos desde a formação até a morte do órgão. Contudo, muitos processos são comuns entre as fases, dificultando a clara distinção entre elas. Gortner et al. (1967) descreveram o desenvolvimento como sendo um período restrito, no qual novos tecidos são formados até a formação morfológica completa e Watada et al. (1984) descreveram como sendo uma série de processos desde o início do crescimento até a sua morte.

O crescimento é definido como a fase do desenvolvimento na qual ocorre o incremento irreversível nos atributos físicos. A maturação é o estágio do desenvolvimento que leva à maturidade fisiológica, a qual é definida como o estágio do desenvolvimento em que a fruta continuará sua ontogenia, mesmo que separada da planta (WATADA et al., 1984).

O amadurecimento dos frutos corresponde ao processo no qual uma série de eventos bioquímicos, fisiológicos e moleculares são responsáveis por modificações nos atributos de qualidade como mudança na coloração, textura, sabor e aroma, com envolvimento de síntese de novas proteínas e expressão de genes específicos (BOUZAYEN et al., 2010).

2.1.2 Amadurecimento e Padrão respiratório

O desenvolvimento e o amadurecimento de frutos são processos complexos, geneticamente programados e que são regulados por fatores ambientais (JIANG et al., 2011).

O amadurecimento é a fase mais estudada na pós-colheita de frutos, por ser nessa fase que as mudanças na composição dos frutos ocorrem com mais intensidade. De acordo com Watada et al. (1984) o amadurecimento é a fase que ocorre no final do desenvolvimento e início da senescência, composta por inúmeros processos que determinam as características de qualidade, evidenciadas por mudanças na composição, coloração, textura e outros atributos sensoriais. Tais mudanças são decorrentes do aumento da atividade enzimática, e estão associadas a mudanças da atividade respiratória e biossíntese de etileno (RHODES, 1980; VENDRELL; PALOMER, 1997).

A respiração celular é um dos processos metabólicos mais importantes que ocorrem nos frutos, pois é através dela que se produz, além de outros compostos intermediários, a energia química na forma de ATP necessária para reações vitais internas, bem como, para processos de síntese e manutenção do metabolismo celular (SAQUET et al., 2000).

Por mais de 70 anos, a presença ou a ausência de um aumento na atividade respiratória durante o amadurecimento tem sido utilizado para classificar os frutos (ABELES; MORGAN; SALVEIT, 1992; LATIES et al., 1995). Essa classificação se baseia no padrão respiratório durante o amadurecimento, dividindo os frutos em duas classes: climatéricos e não climatéricos. Frutos climatéricos são caracterizados por apresentarem aumento na produção de dióxido de carbono acompanhado de um pico autocatalítico de produção de etileno (KAYS; PAULL, 2004; LELIÈVRE et al., 1997), o que não é observado nos frutos não climatéricos (KAYS; PAULL, 2004).

Nos frutos não climatéricos a respiração diminui durante o amadurecimento e as transformações bioquímicas, que tornam o fruto maduro, ocorrem de forma mais lenta (WILLS et al., 1998), além disso, a produção de etileno é constante durante o amadurecimento (KNEE; SARGENT; OSBORNE, 1977). O amadurecimento só ocorrerá se o fruto estiver ligado à planta, diferentemente dos frutos climatéricos que possuem a capacidade de amadurecer mesmo após serem colhidos (WILLS et al., 1998).

O amadurecimento de frutos climatéricos apresenta duas fases distintas denominadas de fase pré-climatérica e fase climatérica. A atividade respiratória e as mudanças bioquímicas, bem como a biossíntese e a resposta ao etileno diferem em cada fase. Na fase pré-climatérica níveis basais de respiração e de biossíntese de etileno são observados, os quais aumentam bruscamente durante o climatério e, posteriormente, na fase chamada pós-climatérica diminuem (OETIKER; YANG, 1995). Nos frutos em que ocorre o climatérico, o etileno tem papel fundamental nas mudanças bioquímicas e fisiológicas durante o amadurecimento (LELIÈVRE et al., 1997; GIOVANNONI, 2001).

De acordo com Biale, Young e Olmstead (1954) a produção de etileno aumenta drasticamente durante o amadurecimento de frutos que apresentam respiração climatérica, podendo esse pico coincidir ou ocorrer antes da máxima atividade respiratória. Nos anos que se seguiram, ficou evidente que durante o aumento da respiração, aconteciam também outras transformações fisiológicas e bioquímicas nos frutos, o que levou Rhodes (1970) a redefinir o climatérico como sendo um período na ontogenia de certos frutos no qual uma série de mudanças bioquímicas é iniciada pela produção autocatalítica de etileno, marcando o limite entre o crescimento e a senescência, envolvendo o aumento da respiração e conduzindo ao amadurecimento.

Nos últimos anos tem sido observado que o amadurecimento de muitos frutos não climatéricos assemelha-se com o padrão de amadurecimento de frutos climatéricos, portanto, foi proposto por Obando et al. (2007) que a classificação dos frutos em climatéricos e não climatéricos é apenas uma simplificação. Além disso, há evidências que frutos climatéricos e frutos não climatéricos dividem vias similares de amadurecimento (BARRY; GIOVANNONI, 2007).

2.1.3 Etileno e os padrões de amadurecimento

Quando os primeiros trabalhos em fisiologia de frutos mostraram que frutos imaturos produziam pequenas quantidades de etileno e frutos maduros produziam quantidades maiores, foi proposto que o etileno poderia ser o hormônio do amadurecimento (KIDD; WEST, 1932 apud BURG; BURG, 1965a; HANSEN, 1942 apud BURG; BURG, 1965b).

O etileno é um regulador de crescimento natural das plantas, é responsável por muitos efeitos sobre o crescimento, desenvolvimento e pós-colheita de muitos

frutos e desempenha papel importante no amadurecimento, principalmente de frutos climatéricos (THEOLOGIS et al., 1992; YANG, 1995; ALEXANDER; GRIERSON 2002).

Os processos que envolvem a biossíntese e a ação do etileno são complexos, e são dependentes das condições endógenas e exógenas do vegetal. O etileno pode promover diferentes respostas em função do estágio de desenvolvimento, das condições ambientais, da espécie e da variedade (LELIÈVRE et al., 1997).

A via de biossíntese do etileno foi descrita por Yang e Hoffman (1984). O aminoácido metionina é o precursor biológico do etileno em todas as plantas superiores, e é convertido em etileno pela via de biossíntese que compreende dois passos com reações enzimáticas. Na primeira reação, o S-adenosil-metionina (SAM) é convertido em aminociclopropano-1-ácido carboxílico (ACC) pela ação da enzima ACC sintetase (ACS). O ACC é então metabolizado pela enzima ACC oxidase (ACO), por uma reação de oxidação que necessita de O₂ e ferro, e que é ativada pelo CO₂ para produzir etileno. Ambas as enzimas são codificadas por uma pequena família de multigenes e sua expressão é diferencialmente regulada por sinais do desenvolvimento, ambiental e hormonal (KENDE, 1993; ZAREMBINSKI; THEOLOGIS, 1994; BARRY; LLOP-TOUS; GRIERSON, 2000; LLOP-TOUS; BARRY; GRIERSON, 2000) e o etileno é regulado pela expressão e atividade dessas enzimas (LELIÈVRE et al., 1997).

Em alguns casos, o etileno regula sua própria produção, induzindo a uma nova síntese de ACS e ACO. O ACC, precursor imediato do etileno, pode ser convertido ainda em malonil-ACC sob a ação da enzima N-maloniltransferase (NMT) e então, transportado nessa forma para os vacúolos (THEOLOGIS et al., 1992; GRIERSON, 1998).

O mecanismo de regulação por *feedback* positivo na biosíntese de etileno é característico no amadurecimento de frutos no qual a exposição ao etileno exógeno resulta no aumento da produção de etileno devido a indução das enzimas ACS e ACO (KENDE, 1993; ZAREMBINSKI; THEOLOGIS, 1994; BARRY; LLOP-TOUS; GRIERSON, 2000; LLOP-TOUS; BARRY; GRIERSON, 2000).

McMurchie, McGlasson e Eaks (1972) distinguiram dois sistemas de produção de etileno, denominados sistema 1 e sistema 2, os quais estão associados com a fase pré-climatérica e climatérica. O sistema 1 é funcional durante o crescimento e desenvolvimento, é autoinibitório e é responsável pelos baixos níveis de produção

de etileno presente no pré-climatérico e na produção de etileno dos tecidos vegetativos e frutos não climatéricos (KNEE, 1985; OETIKER; YANG, 1995).

A fase climatérica é decorrente do sistema 2 da biossíntese de etileno, no qual ocorre a produção autocatalítica e está associada ao amadurecimento dos frutos (VENDRELL; PALOMER, 1997). No entanto, uma das questões mais importantes na fisiologia do amadurecimento dos frutos é com os processos fisiológicos e moleculares que atuam na transição do sistema 1 para o sistema 2 de produção de etileno no momento do amadurecimento, os quais permanecem indefinidos (BARRY; GIOVANNONI, 2007). De acordo com Klee (2004) uma das explicações pode ser o efeito cumulativo do sistema 1, que atinge um certo limite e induz o sistema 2. Outra explicação é que há uma mudança na sensibilidade do fruto ao etileno. Barry, Llop-Tous e Grierson (2000) explica que a transição do sistema 1 para o sistema 2 de produção de etileno é causado por mudanças na sensibilidade ao etileno devido a contínua exposição do fruto ao etileno do sistema 1.

Yang (1985) afirma que o que leva ao amadurecimento é a diminuição da resistência à ação do etileno, deste modo, o aumento da produção de etileno pelo sistema 1 não seria pré-requisito para iniciar o amadurecimento. Assim sendo, o autor classifica os frutos climatéricos em frutos do tipo 1, os quais apresentam aumento na produção de etileno antes do início do amadurecimento; e frutos do tipo 2, nos quais o início do amadurecimento não é precedido pelo aumento da produção de etileno.

2.1.4 Relação entre a atividade respiratória e o etileno de frutos climatéricos

O termo climatérico foi inicialmente proposto para indicar um aumento significativo nos níveis de produção de CO₂ durante o amadurecimento. Desse modo, os frutos têm sido classificados de acordo com seu padrão respiratório (BIALE, 1964).

Nos frutos típicos não climatéricos, há baixa atividade respiratória antes do início do amadurecimento, enquanto no climatérico, ocorre aumento significativo na respiração, seguido por mudanças nos atributos de qualidade (OETIKER; YANG, 1995).

O aumento na respiração durante o amadurecimento de frutos climatéricos tem sido atribuído ao aumento do etileno endógeno, apesar de haver algumas evidências de que o pico respiratório possa ocorrer após ou mesmo antes do

aumento na produção de etileno (McGLASSON et al., 1978 apud LELIÈVRE et al., 1997).

A resposta dos frutos ao etileno exógeno tem mostrado ser uma das formas de se distinguir entre frutos climatéricos e não climatéricos (McMURCHIE; McGLASSON; EAKS, 1972; BUFLER, 1986). Frutos não climatéricos não amadurecem em resposta a tratamentos com etileno, exceto para a degradação da clorofila, no caso de citrus e abacaxi (GOLDSCHMIDT; HUBERMAN; GOREN, 1993; NOICHINDA, 2000 apud PAUL; PANDEY; SRIVASTAVA, 2012).

Atta-Aly, Brecht e Huber (2000) sugeriram que o mecanismo de *feedback* negativo do etileno, no qual o etileno não induz sua própria síntese, poderia constituir a base do comportamento de frutos não climatéricos e que o mecanismo de *feedback* positivo do etileno, no qual etileno induz sua própria síntese, está envolvido no comportamento de frutos climatéricos durante o amadurecimento

A fisiologia do amadurecimento é composta por uma série de processos interligados de maneira complexa, e por este motivo, muitas vezes o comportamento do fruto durante esta fase pode não corresponder aos padrões previamente estabelecidos. Azzolini et al. (2005) estudando o amadurecimento de goiabas 'Pedro Sato', concluíram que esta variedade não poderia ser classificada como climatérica, nem tão pouco como não-climatérica. Apesar de apresentar alterações típicas de frutos climatéricos como mudanças na cor da casca e firmeza da polpa após a colheita, e exibir aumento gradual na respiração e na produção de etileno.

A influência do ponto de colheita na fisiologia do amadurecimento foi evidenciada por Lalel, Singh e Tan (2003) que estudando o amadurecimento de mangas colhidas em quatro estádios de maturação observaram que somente frutos colhidos nos estádios mais precoces apresentaram pico na produção de etileno e aumento significativo na atividade respiratória. Este fato os levou a afirmar que somente mangas colhidas em estádios mais verdes estavam na fase pré-climatérica. Dessa forma, Bron (2006) correlacionou esse resultado, com mamões, no qual frutos colhidos nos estádios 2 (fruto com 16-25% da casca amarela) e 3 (fruto com 26-50% da superfície da casca amarela), podem ter apresentado sua produção máxima de etileno quando ainda ligados à planta.

A fisiologia de um fruto que iniciou o processo de amadurecimento ainda ligado à planta é bastante diferente daquele que foi colhido e amadureceu desligado da planta. Os frutos que continuam aderidos à planta importam assimilados

constantemente e, além disso, como estão expostos à luz, realizam fotossíntese. Desta forma, o pico climatérico pode ser mascarado por mudanças na fotossíntese naqueles frutos ainda presos à planta (KNEE, 1995).

2.1.5 Fisiologia do amadurecimento de alguns frutos ligados ou não às plantas

Há vários fatores que contribuem para diferenciar o comportamento do amadurecimento de frutos ligados ou não à planta. Tais fatores incluem: fornecimento de um inibidor, nomeado “fatores de planta” de amadurecimento da planta para o fruto, diferenças na produção e liberação de etileno, e consequentemente dos níveis endógenos de etileno no fruto, diferenças na sensibilidade do fruto ao etileno endógeno, diferença nos níveis de etileno necessário para iniciar o processo de amadurecimento (SUN et al., 2010) e a taxa de movimento dos gases, que dependem das propriedades das moléculas gasosas, do gradiente de concentração e dos atributos físicos das barreiras que o intervêm (KADER, 1987).

Como sugerido por Burg e Burg (1965a) alguns frutos climatéricos entram na fase climatérica e amadurecem rapidamente quando desligados da planta mãe, como banana (BURG; BURG, 1965b), abacate (GAZIT; BLUMENFELD, 1970) e manga (BURG; BURG, 1962). Nesses frutos desligados da planta, a produção de etileno é expressivamente maior do que em frutos ainda na planta, sugerindo que alguns fatores provenientes das plantas controlam a síntese de etileno dos frutos ainda na planta.

De acordo com Abeles (1963) o termo “fatores de planta” é usado para descrever componentes não identificados produzidos pelas plantas para controlar o amadurecimento e, segundo Sfakiotakis e Dilley (1973) esses fatores são hipoteticamente produzidos nas folhas e transportados via floema para os frutos. Sun et al. (2010) apontam que esses fatores ainda não foram determinados.

A permanência do fruto na planta também influencia a respiração durante a pós-colheita. Vários trabalhos confirmam que frutos como o tomate e o melão, não apresentam elevação na respiração enquanto presos à planta (KNEE, 1995; SHELLIE; SALTVEIT, 1993). E Andrews (1995) verificou climatério respiratório em tomates, tanto ligados à planta, bem como em frutos colhidos.

Como as diferenças fisiológicas no amadurecimento dos frutos ligados ou não às plantas são incertas, Salveit (1999) salienta que, uma vez que o amadurecimento

de frutos climatéricos foi iniciado, a concentração endógena de etileno aumenta rapidamente para um nível mais elevado, atingindo concentrações de até $100 \mu\text{L L}^{-1}$ e, de acordo com Bargel e Neinhuis (2005) e Paul e Srivastava (2006), isso ocorre devido a forte resistência de difusão, especialmente durante os estádios mais avançados do desenvolvimento dos frutos.

Lyons e Pratt (1964) verificaram que apenas tomates colhidos após os 31 dias da polinização apresentavam típica elevação na produção de etileno. No entanto, Kidd e West (1925) apud Rhodes (1980) verificaram que o pico climatérico em maçãs também ocorria enquanto o fruto estava preso à planta. Pratt e Goeschl (1969) já evidenciavam que em melões, tanto o pico na atividade respiratória, quanto a máxima produção de etileno eram dependentes do estágio de maturação no qual o fruto é colhido. De acordo com Larrigaudiere, Guillen e Vendrell (1995) e Lalel, Singh e Tan (2003) somente melões colhidos em estádios menos avançados de maturação apresentam padrão climatérico.

Tadesse et al. (1998) mostraram que pimentas 'Domino' apresentaram comportamento climatérico com relação a concentração endógena de etileno durante o amadurecimento. A concentração endógena de CO_2 aumentou somente quando os frutos permaneceram ligados à planta e, a redução na emissão de CO_2 foi observada nos frutos que foram colhidos.

O abacate é um típico fruto climatérico, no entanto, alguns cultivares não tem a capacidade de amadurecer quando ligados à planta, provavelmente devido às baixas concentrações de etileno produzidas pelos frutos na planta. Burg e Burg (1964) sugerem a hipótese dos "fatores de planta" que inibem a produção de etileno e consequentemente o amadurecimento e, Sitrit et al. (1986) justificam pelos baixos níveis de ACC devido a baixa atividade da enzima ACC sintase.

Para Solomos (1987) a casca representa a maior barreira de troca gasosa para a maioria dos produtos vegetais. Segundo este autor, a difusividade dos gases da polpa é 10 a 20 vezes maior do que da casca dos frutos.

Hagenmaier (2005) relatou que a troca de gases pelos frutos através da casca ocorre por difusão por meio dos estômatos ou lenticelas e, é proporcional à área do fruto, bem como por permeação (HO et al., 2006) a qual é determinada pelo gradiente de pressão dos gases e também pelo arranjo celular e pelo espaço intercelular no interior do fruto (MENDOZA et al., 2007; VERBOVEN et al., 2008).

A morfologia da superfície, as características anatômicas e as propriedades mecânicas das células passam por consideráveis mudanças durante o crescimento, o desenvolvimento, e o amadurecimento, os quais podem afetar a resistência à difusão gasosa (ZAGORY; KADER, 1988; KADER; SALTVEIT, 2003a, 2003b).

Paull, Malik e Srivastava (2007) mostraram em estudos realizados com mangas que as características de superfície como cera epicuticular (espessura), cutícula (espessura, estrutura, rachaduras e arranjo), camada epidermal (arranjo, depósitos de lignina, suberina) podem desempenhar um papel na decisão do comportamento pós-colheita.

Essas características atuam no microambiente dos frutos determinando a permeabilidade dos gases, como O₂, CO₂ e níveis endógenos de etileno. Desse modo, mudanças na resistência à difusão dos gases com o desenvolvimento e amadurecimento dos frutos são esperadas e isso pode influenciar o comportamento do amadurecimento. Para mangas, por exemplo, o nível de amadurecimento foi associado com as características anatômicas, incluindo a densidade e tamanho da célula, e a relação superfície/volume das células (PAUL; MALIK; SRIVASTAVA, 2004 apud PAUL; PANDEY; SRIVASTAVA, 2012).

2.1.6 Etileno e 1-Metilciclopropeno

Conforme McMurchie, McGlasson e Eaks (1972) o aumento acentuado da produção de etileno no começo do amadurecimento dos frutos climatérios é considerado como regulador das mudanças na cor, aroma, textura e outros atributos bioquímicos e fisiológicos, enquanto o amadurecimento dos frutos não climatérios, é, geralmente, considerado um processo independente de etileno e pouco se sabe dos mecanismos regulatórios subjacentes às mudanças bioquímicas.

Em trabalho conduzido por An e Paull (1990) a aplicação exógena de 100 µL L⁻¹ de etileno estimulou o amadurecimento de mamões, evidenciado pelo amolecimento da polpa, degradação da clorofila e síntese de carotenóides na casca. O processo de controle e coordenação pelo etileno durante o amadurecimento é uma questão ainda não completamente esclarecida. Além disso, essas mudanças variam entre as espécies e até mesmo entre variedades. Em certas variedades de pêssgo, o amolecimento da polpa iniciou-se quando a produção de etileno ainda era baixa, sendo que o pico de etileno somente ocorreu após o fruto atingir firmeza entre 10 e 20N (TONUTTI; BONGHI; RAMINA, 1996).

Estudos envolvendo tratamentos com etileno exógeno têm indicado a distinção entre frutos climatéricos e não climatéricos pelas suas respostas ao etileno (McMURCHIE; McGLASSON; EAKS, 1972). No típico padrão climatérico de amadurecimento, a aplicação de etileno antecede o início da respiração e da produção de etileno, enquanto que em frutos não climatéricos, a aplicação de etileno exógeno, apenas leva a uma resposta transitória na atividade respiratória (BUFLER, 1986). Segundo Ludford (2003) a principal diferença entre frutos climatéricos e não climatéricos está na produção autocatalítica de etileno.

Inibidores da ação do etileno são particularmente interessantes do ponto de vista da conservação dos alimentos, por inibir tanto a ação do etileno endógeno, quanto do exógeno (FENG et al., 2000).

O 1-metilciclopropeno (1-MCP) é um composto volátil e que tem demonstrado ser um eficiente inibidor da ação do etileno (SEREK; SISLER; REID, 1995). A ação deste fitormônio no amadurecimento dos frutos ocorre através da ligação deste gás aos receptores de etileno localizados na membrana celular, ativando as rotas de transdução de sinal que influenciam o processo de amadurecimento. Esse composto compete com o etileno pelo sítio receptor, impedindo que o etileno se ligue e promova resposta celular (SISLER; SEREK, 1997).

Foi demonstrado que o 1-MCP se liga aos receptores de etileno com uma meia vida de difusão entre 7 e 12 dias, comparando com 2 a 10 minutos no caso do etileno. Esse tipo de difusão sugere que a ligação do 1-MCP ao receptor de etileno é praticamente irreversível, porém, assim que o complexo receptor do 1-MCP é metabolizado ou novos receptores são gerados a altas temperaturas, o processo é revertido (PEREIRA; BELTRAN, 2002). O período de ação do etileno é limitado, visto que novos receptores do etileno vão sendo sintetizados, dinamicamente, permitindo o amadurecimento normal dos frutos, preferentemente, após o período de armazenamento. Aplicações sucessivas deste produto podem ser viáveis na manutenção da qualidade de frutos por longos períodos (VILAS BOAS, 2002).

O 1-MCP tem se mostrado um antagonista efetivo da ação do etileno em banana (GOLDING et al., 1998), maçã (FAN; BLANKENSHIP; MATTHEIS, 1999), morango (TIAN et al., 2000), abacate (FENG et al., 2000), pêra (WILD; WOLTERING; PEPPELENBOS, 1999), entre outras espécies. Ainda, o 1-MCP pode modular a perda de firmeza de frutos (LOHANI; TRIVEDI; NATH, 2004), com efeito diferencial, dependendo da enzima considerada (JEONG; HUBER; SARGENT,

2002). O retardo da perda de firmeza com a utilização do 1-MCP tem sido relatado em diversas espécies como abacate (KLUGE et al., 2002), damasco (FAN; ARGENTA; MATTHEIS, 2000) e mamão (JACOMINO et al., 2002). Maças tratadas com $1 \mu\text{L L}^{-1}$ de 1-MCP demonstraram redução no amolecimento, na produção de etileno e na respiração (FAN; BLANKENSHIP; MATTHEIS, 1999).

Embora frutos não climatéricos, como os citros, apresentem apenas o sistema 1 de produção de etileno, ou seja, baixa produção de etileno (VENDRELL; PALOMER, 1997), isso não implica que não haja interferência do etileno sobre a maturação do fruto. Goldschmidt (1997) afirma que o etileno, mesmo que em baixa concentração em frutos não climatéricos, está envolvido em eventos associados à maturação, como a degradação da clorofila da casca. Assim, é possível que a aplicação do 1-MCP retarde o amarelecimento da casca de lima ácida, por exemplo, devido a sua influência na ação do etileno. Já foi constatado que o 1-MCP aumentou a conservação de morangos (KU; WILLS; BEN-YEHOSHUA, 1999), um fruto tipicamente não climatérico.

2.1.7 Importância do Maracujá e da Goiaba

Maracujá

O maracujá-amarelo ou maracujá-azedo (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Deg.) é nativo da América do Sul e amplamente cultivado em países tropicais e subtropicais. O Brasil é o principal produtor mundial e, em 2012, a produção foi de aproximadamente 710 mil toneladas numa área de quase 51 mil hectares. A produção nacional se estende por todos os Estados brasileiros e a Região Nordeste é a maior produtora, seguida das regiões Sudeste, Norte e Sul (FNP, 2012).

A cultura do maracujazeiro tem grande importância pela qualidade de seus frutos, ricos em sais minerais e vitaminas, sobretudo A e C (LIMA, 2002), produtividade e rendimento de suco (MELETTI; BRÜCKNER, 2001), o que leva a preocupação com a pós-colheita, pois, tradicionalmente, o maracujá é colhido do chão após sua abscisão, quando tem seu amadurecimento completado. Neste caso, as perdas devido à desidratação e à contaminação por microrganismos geram uma série de inconvenientes que aumentam a perecibilidade e reduzem o período de conservação pós-colheita do fruto (DURIGAN, 1998; MARCHI et al., 2000; SALOMÃO, 2002).

De acordo com Pocasangre Enamorado et al. (1995) o maracujá apresenta padrão respiratório climatérico, por apresentar aumento na atividade respiratória durante o amadurecimento e produzir etileno em resposta à exposição a baixas concentrações desse hormônio. No entanto, Vieira (1997) verificou que maracujás-amarelos que completaram o desenvolvimento na planta, e foram analisados imediatamente após a colheita, não apresentaram o climatério respiratório. Shiomi, Wamocho e Agong (1996) observaram resultado semelhante no comportamento respiratório de maracujá-roxo. Desse modo, Vieira (1997) considerou que o climatério respiratório não é obrigatório durante o amadurecimento de alguns frutos climatéricos na planta, sugerindo que nestas condições o aumento do etileno não estimula diretamente a respiração.

Vieira (1997) observou que maracujás-amarelos colhidos entre 50 e 65 dias após a antese (DAA), e tratados com etileno exógeno apresentaram pico climatérico ao mesmo tempo que frutos não tratados, e considerou que nessas condições o etileno não é efetivo para antecipar o climatério, bem como a produção autocatalítica de etileno.

Goiaba

A goiabeira (*Psidium guajava* L.) é uma planta da família das Myrtaceae, originária da América Tropical, cultivada no Brasil desde o Rio Grande do Sul até o Maranhão destacando-se os estados de São Paulo e Pernambuco. O Brasil é o maior produtor mundial de goiaba e a produção anual corresponde a aproximadamente 290 mil toneladas, compreendendo uma área de quase 15 mil hectares (FNP, 2012).

No estado de São Paulo são cultivadas variedades de polpa branca, destinadas ao mercado *in natura* e as de polpa vermelha, destinadas tanto ao mercado *in natura*, como para a indústria (PEREIRA, 1995).

Tem-se observado comportamento variado de goiabas em pós-colheita quanto ao padrão da atividade respiratória. Os dados sobre a fisiologia pós-colheita de goiabas ainda são contraditórios. Parece haver distintos comportamentos quanto ao padrão respiratório, em função da variedade. Para Chitarra e Chitarra (2005) e Biale e Barcus (1970) a goiaba é um fruto não climatérico e não apresenta aumento brusco da liberação de CO₂. Já Akamine e Goo (1979) analisaram a respiração de duas cultivares de *Psidium guajava* e duas de *Psidium cattleianum*, no estágio de

plena maturação e verificaram que todas apresentaram respiração climatérica e pico de produção de etileno bem definidos.

Brown e Wills (1983) estudaram o comportamento de 6 cultivares de *Psidium guajava* colhidas em quatro diferentes estádios de maturação, desde frutos imaturos a totalmente desenvolvidos. Todas as cultivares examinadas tiveram comportamento respiratório e de produção de etileno do tipo climatérico. Mercado-Silva, Bautista e Garcia-Velasco (1998) concluíram que a goiaba 'Media China' apresenta padrão climatérico tanto para produção de CO₂ quanto para etileno. Observa-se, porém, que o pico climatérico ocorreu quando a fruta já estava completamente amarela e amolecida, ou seja, no final da vida útil, numa fase que mais parece com senescência do que com amadurecimento. Da mesma maneira, Azzolini et al. (2005) observaram que goiabas 'Pedro Sato' apresentaram um aumento gradual tanto na atividade respiratória quanto na produção de etileno depois de colhidas e, que completou o amadurecimento com mudanças nos atributos de qualidade. De acordo com essas características poderia classificar goiaba 'Pedro Sato' como um fruto climatérico. No entanto, a máxima atividade respiratória, bem como, a máxima produção de etileno foi observada quando os frutos já estavam maduros, além disso, a aplicação de etileno exógeno não mostrou nenhum efeito no processo de amadurecimento, e essa resposta não permite a classificação da goiaba 'Pedro Sato' como um fruto climatérico.

Cavalini (2008) não considerou a variedade 'Pedro Sato' como fruto climatérico, nem tão pouco não climatérico, apesar de amadurecerem após a colheita. Além disso, o autor não observou resposta do fruto à aplicação de etileno exógeno. Cavalini (2004) estudou frutos da variedade 'Kumagai' e observou que os mesmos responderam à aplicação de etileno, porém não apresentaram comportamento climatérico na produção de CO₂ e etileno, desta forma, considerou que estes frutos não devem ser classificados como climatéricos e tampouco como não climatéricos, com base nos conceitos atuais.

2.2 Material e métodos

O trabalho foi desenvolvido no Pomar Experimental e no Laboratório de Pós-Colheita de Produtos Hortícolas do Departamento de Produção Vegetal da ESALQ/USP e consta das etapas descritas a seguir:

2.2.1 Etapa 1: Metodologia da estimativa da concentração endógena de CO₂ e de etileno em maracujá-amarelo e goiaba 'Pedro Sato' ligados ou não às plantas

Maracujazeiros (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Deg) e goiabeiras (*Psidium guajava* L.) do pomar experimental do Departamento de Produção Vegetal da ESALQ/USP foram utilizados para as análises dessa etapa.

Na antese de cada espécie frutífera, flores foram identificadas a fim de se conhecer a idade dos frutos durante as avaliações (Figura 1). Foi identificada a maior quantidade de flores possível para garantir um número suficiente de frutos para as análises, pois muitos deles não se desenvolvem, são abortados e/ou são afetados por pragas e doenças.

Diâmetro e comprimento dos frutos foram medidos, diariamente para maracujás e semanalmente para goiabas, desde o início do desenvolvimento, para se conhecer a evolução do crescimento dos mesmos, até que esse se mantivesse estável.

As análises para a estimativa das concentrações endógenas foram realizadas desde o início do desenvolvimento dos frutos até o completo amadurecimento na planta e, em frutos que foram colhidos em diferentes estádios de maturação, de acordo com a cor da casca para cada espécie frutífera.

Figura 1 - Identificação da antese em (a) maracujá-amarelo e (b) goiaba 'Pedro Sato'

Para a estimativa da concentração endógena de CO₂ e de etileno foi fixado um tubo de silicone no epicarpo dos frutos ligados às plantas (adaptado de SALTVEIT, 1993). Os tubos foram confeccionados com uma mangueira de silicone com diâmetro interno de 1cm, comprimento de 6,5cm e volume de 5mL. Uma das extremidades do tubo foi vedada com silicone (para a coleta das amostras gasosas) e a outra foi fixada no fruto utilizando-se massa para calafetar (Figura 2).

A mesma metodologia foi utilizada para os frutos colhidos, os quais foram armazenados em câmara a 22±1°C e 85±5% de umidade relativa e avaliados até os primeiros sintomas de senescência, caracterizados como completamente amarelos, amolecidos ou murchos.

Nesta metodologia, assumiu-se que a atmosfera do interior do fruto entra em equilíbrio com a atmosfera do interior do tubo. Em testes preliminares realizados em mamões ligados à planta, observou-se que a concentração de CO₂ do interior do tubo aumentou imediatamente após a fixação e estabilizou-se em, aproximadamente, 30 minutos. O tempo necessário para ocorrer à estabilização foi testado em maracujá e em goiaba.

Mesmo considerando o tempo de equilíbrio para cada espécie, optou-se por fixar o tudo sempre no dia anterior às coletas das amostras para CO₂ e para etileno, para garantir o equilíbrio entre as concentrações do interior do fruto e do interior do tubo. Amostras de 1mL de ar do interior dos tubos foram coletadas com seringas plásticas as quais foram imediatamente fixadas em placas de etil vinil acetato (EVA) de 1cm de espessura para que a ponta da agulha ficasse protegida e não houvesse perda de gás.

A distância entre as plantas, onde foram coletadas as amostras, e o Laboratório de Pós-colheita, onde foram realizadas as determinações de CO₂ e de etileno, é pequena (menos de 50 metros) e as análises foram realizadas num intervalo máximo de 10 minutos após a coleta. As amostras foram injetadas e analisadas em cromatógrafo a gás marca Thermo Electron, modelo Trace GC 2000, equipado com dois detectores de ionização de chama (FID) regulados para 250°C, dois injetores regulados para 120°C, duas colunas Porapack N (coluna CO₂ - 4m; coluna C₂H₄ - 1,8m) reguladas para 140°C e metanador para análise de CO₂, regulado para 350°C. As concentrações de CO₂ e de etileno (C₂H₄) foram expressas em ppm.

Figura 2 - Ilustração da metodologia utilizada para estimar a concentração endógena de CO_2 e de etileno dos frutos ligados ou não às plantas (Adaptado de SALTVEIT, 1993)

2.2.2 Tempo de equilíbrio entre as concentrações do interior do fruto e do interior do tubo de silicone fixado no fruto ligado à planta – Maracujá e Goiaba

Iniciamente foi realizado um teste para maracujá e goiaba para conhecer o tempo de equilíbrio entre as concentrações do interior do fruto e do interior do tubo de silicone fixado no fruto ligado à planta.

Os tubos de silicone foram fixados na região equatorial dos frutos em quatro pontos equidistantes e, as coletas tanto para CO_2 como para etileno foram feitas nos tempos 0, 1, 2, 3, 4, 5 e 6 horas para maracujá (Figura 3) e nos tempos 0; 0,5; 1; 2; 3; 4; 5; e 12 horas para goiaba (Figura 4). Foram utilizados quatro repetições de um fruto para cada espécie frutífera.

Figura 3 - Esquema para coleta das amostras de CO₂ e de etileno em maracujás para conhecer o tempo de equilíbrio entre as concentrações do interior do fruto e do interior do tubo de silicone fixado no fruto

Figura 4 - Esquema para coleta das amostras de CO₂ e de etileno em goiabas para conhecer o tempo de equilíbrio entre as concentrações do interior do fruto e do interior do tubo de silicone fixado no fruto

Adicionalmente, para maracujás, foram coletadas amostras para CO₂ e etileno diretamente do interior dos frutos, e os resultados indicaram haver boa correlação com a atmosfera do interior dos tubos.

2.2.3 Estimativa da concentração endógena de CO₂ e de etileno em maracujá-amarelo e goiaba 'Pedro Sato' ligados ou não às plantas

A estimativa da concentração endógena de CO₂ e de etileno foi realizada para maracujá no período de dezembro de 2009 a maio de 2010 (primeiro ano) e novembro de 2011 a fevereiro de 2012 (segundo ano). Para goiaba foi realizado no período de setembro de 2010 a maio de 2011 (primeiro ano) e outubro de 2011 a abril de 2012 (segundo ano).

Maracujá

No primeiro ano, 185 flores de maracujá-amarelo foram identificadas, em datas distintas, por ocasião da antese, entre os meses de dezembro/2009 a março/2010, com o objetivo de se conhecer a idade dos frutos durante as avaliações.

Para as análises foram selecionados 72 frutos com diâmetro maior ou igual a 3cm, com aproximadamente nove dias após a antese. Foram analisados 38 frutos até o completo amadurecimento na planta e 34 frutos foram subdivididos em cinco estádios de maturação, de acordo com a cor da casca, conforme a figura 5, os quais foram colhidos logo que atingiram os respectivos estádios e analisados após a colheita.

Figura 5 - Estádio de maturação de maracujá-amarelo, de acordo com a cor da casca. (Adaptado de CEAGESP, 2001)

No segundo ano, 300 flores de maracujá-amarelo foram identificadas por ocasião da antese entre os meses de novembro/2011 a janeiro/2012. Polinização manual foi realizada devido à baixa presença do agente polinizador mamangava (*Xylocopa* spp.) e pela alta quantidade de abelhas domésticas (*Apis mellifera*) que comprometeu a polinização natural, pois as abelhas retiravam o pólen das flores antes da total abertura e antes da chegada das mamangavas (Figura 6).

Figura 6 - Abelha (*Apis mellifera*) coletando pólen em flor de maracujá-amarelo

Nesse caso, foram identificados os botões florais que apresentavam as pontas brancas, característica de flores que sofreriam antese (JUNQUEIRA et al., 2001), e estes foram protegidos com um tecido fino com furos milimétricos (Figura 7-a).

A abertura dos botões florais ocorreu no interior da proteção impedindo que as abelhas retirassem o pólen das flores (Figura 7). Após a antese, retirou-se a proteção e coletou-se o pólen de todas as flores, as quais foram polinizadas manualmente.

Figura 7 - Prática realizada para evitar a coleta de pólen das flores de maracujá-amarelo por abelhas. (a) botão floral com ponta branca; (b) proteção dos botões florais antes da antese; (c) abelhas tentando coletar o pólen; (d) abertura do botão floral; (e) antese da flor do maracujá

Nessa etapa foram utilizados 70 frutos para as análises, com diâmetro maior ou igual a 3cm, com aproximadamente nove dias após a antese. Foram analisados 20 frutos até o completo amadurecimento na planta e 50 frutos foram subdivididos em cinco estádios de maturação (Figura 5), os quais foram colhidos logo que atingiram os respectivos estádios e analisados após a colheita.

A estimativa da concentração endógena de CO_2 e de etileno (Figura 8) foi realizada a cada três dias, para os frutos ligados à planta até a abscisão natural dos mesmos e após a sua coleta, bem como, para os frutos que atingiram os estádios de maturação descritos na figura 5, quando foram colhidos e analisados da mesma forma na pós-colheita.

Figura 8 - Metodologia utilizada para estimar a concentração endógena de CO₂ e de etileno em maracujás ligados ou não à planta (Adaptado de SALTVEIT, 1993)

Durante a condução das plantas de maracujá, foram identificadas algumas pragas e doenças importantes da cultura, como lagartas desfolhadoras *Dione juno* e *Agraulis vanillae vanillae*, além de percevejos. As doenças identificadas foram Antracnose (agente causal: *Colletotrichum gloeosporioides*) e Verrugose (agente causal: *Cladosporium herbarum*). Deste modo, foi realizado controle fotossanitário com aplicações de fungicida e inseticida próprios para a cultura.

Goiaba

No primeiro ano, 774 flores de goiabeira cultivar Pedro Sato foram identificadas por ocasião da antese entre os meses de outubro e novembro de 2010, com o objetivo de se conhecer a idade dos frutos durante as avaliações. Após o pegamento, 84 frutos na fase de chumbinho foram utilizados para as análises, sendo que 24 frutos foram analisados até o completo amadurecimento na planta e 60 frutos foram subdivididos em três estádios de maturação, de acordo com a cor da casca em verde-escuro, verde-claro e verde-amarelado (AZOLINI; JACOMINO; BRON, 2004) (Figura 9), os quais foram colhidos logo que atingiram os respectivos estádios e analisados após a colheita.

Figura 9 - Estádio de maturação de goiaba 'Pedro Sato'. (a) verde-escuro; (b) verde-claro; (c) verde-amarelado (AZOLINI; JACOMINO; BRON, 2004)

No segundo ano, 400 flores de goiabeira cultivar Pedro Sato foram identificadas por ocasião da antese entre os meses de outubro e novembro de 2011. Após o pegamento dos frutos, foram utilizados para as análises 50 frutos na fase de chumbinho, sendo que 20 foram analisados até o completo amadurecimento na planta e 30 frutos foram subdivididos em três estádios de maturação, de acordo com a cor da casca (AZOLINI; JACOMINO; BRON, 2004) (Figura 9), os quais foram colhidos logo que atingiram os respectivos estádios e analisados após a colheita.

As análises para a estimativa da concentração endógena de CO_2 e de etileno (Figura 10) iniciaram-se quando os frutos atingiram diâmetro, maior ou igual a 3cm, com aproximadamente 40 dias após a antese e foram realizadas a cada três dias, para os frutos ligados à planta até o completo amadurecimento, bem como, para os frutos que atingiram os estádios de maturação descritos na figura 9, quando foram colhidos e analisados da mesma forma na pós-colheita.

Figura 10 - Metodologia utilizada para estimar a concentração endógena de CO₂ e etileno (Adaptado de SALTVEIT, 1993). (a) Coleta de CO₂ e de etileno dos tubos de silicone fixados nos frutos ligados à planta. (b) Fruto completamente maduro na planta

Desbrota de ramos e desbates de frutos foram realizados para obtenção de uma copa arejada e frutos de boa qualidade.

Daqueles frutos que foram selecionados para as análises foram retirados os restos do cálice floral existente no ápice dos frutos para melhorar o seu aspecto. Além disso, foram realizadas medidas preventivas e curativas, com aplicação de fungicida, principalmente para o controle da ferrugem (*Puccinia psidii*), a qual é uma das principais doenças da goiabeira, e, para garantir que os frutos permanecessem saudáveis durante todo o período de avaliação.

Os frutos também foram protegidos com sacos de papel impermeável nas dimensões de 15x20cm, os quais foram presos no pedúnculo do fruto, com o objetivo principal de controlar moscas das frutas e evitar a infecção dos frutos com ferrugem. Os sacos de papel foram colocados nos frutos quando apresentavam diâmetro de 1,5 a 2cm. Em cada saco foi feito um orifício de aproximadamente 1cm de diâmetro para que se pudesse manter o tubo fixado no fruto e ao mesmo tempo o fruto protegido (Figura 11).

Figura 11 - Goiaba protegida com saco de papel impermeável e com tubo de silicone fixado para coletar amostras de CO₂ e etileno

2.2.4 Estimativa da concentração endógena de CO₂ e de etileno em maracujá-amarelo e goiaba ‘Pedro Sato’ colhidos em diferentes estádios de maturação

A mesma metodologia, descrita em 2.2.1, para a estimativa das concentrações endógenas de CO₂ e de etileno dos frutos ligados à planta foi empregada em maracujás e goiabas colhidos nos estádios de maturação pré-determinados (Figura 5 e 9).

2.3 Etapa 2: Efeito da aplicação de etileno e de 1-metilciclopropeno (1-MCP) na qualidade, fisiologia e bioquímica de maracujá-amarelo e goiaba ‘Pedro Sato’

O objetivo dessa etapa foi determinar os efeitos do etileno exógeno e do 1-MCP na qualidade, fisiologia e bioquímica de maracujá-amarelo e goiaba ‘Pedro Sato’.

Maracujá

Maracujás foram colhidos em pomar comercial no município de Corumbataí-SP, em abril de 2011, nos estádios de maturação predominantemente verde e verde-amarelo (Figura 12). Os frutos foram colocados em caixas plásticas forradas com espumas e transportados ao Laboratório de Pós-Colheita de Produtos Hortícolas da ESALQ/USP, em Piracicaba-SP, onde foram novamente selecionados

de forma a obter lotes uniformes, os quais foram submetidos aos tratamentos com etileno e 1-MCP.

Para o tratamento com 1-MCP, maracujás foram colocados em caixas herméticas, com capacidade para 186 litros e expostos as concentrações de 600nL L^{-1} por 12 horas. Mesmo procedimento foi realizado para o tratamento com etileno. A concentração aplicada foi de $1.000\mu\text{L L}^{-1}$ de etileno por 24 horas. Durante a aplicação do etileno, a câmara foi aberta após 12 horas, durante cinco minutos, para permitir a ventilação e a troca gasosa, seguida da reaplicação de etileno na mesma concentração.

Frutos sem a aplicação de 1-MCP e etileno foram utilizados como controle.

Os frutos foram armazenados em câmara a $22\pm 1^\circ\text{C}$ e $85\pm 5\%$ de umidade relativa durante o experimento.

Os frutos foram analisados no dia da colheita e a cada três dias, durante nove dias após os tratamentos para os teores de ácido ascórbico, acidez titulável e sólidos solúveis, rendimento em suco, cor da casca, atividade respiratória, produção de etileno e atividade da enzima ACC oxidase. Foram utilizadas cinco repetições de três frutos, para as determinações de qualidade. Para as análises fisiológicas, foram utilizadas cinco repetições de um fruto cada, sendo que neste caso, as análises foram realizadas diariamente.

Figura 12 - Estádios de maturação de maracujá-amarelo no dia da instalação do experimento. (a) predominantemente verde; (b) verde-amarelo

Goiaba

Goiabas 'Pedro Sato' foram colhidas em pomares comerciais no município de Vista Alegre do Alto (SP), em novembro de 2010, nos estádios de maturação verde-escuro, verde-claro e verde-amarelado (Figura 9). Os frutos foram colocados em caixas plásticas forradas com espumas e transportados para Piracicaba (SP) até o Laboratório de Pós-colheita do Departamento de Produção Vegetal da ESALQ-USP, onde foram novamente selecionados de forma a obter lotes uniformes quanto ao estágio de maturação e ausência de defeitos, e foram submetidos aos tratamentos com etileno e 1-MCP.

Para o tratamento com 1-MCP, goiabas foram colocadas em caixas herméticas, com capacidade para 186 litros e expostas as concentrações de 900nL L^{-1} por três horas. Mesmo procedimento foi realizado para o tratamento com etileno. A concentração aplicada foi de $1.000\mu\text{L L}^{-1}$ de etileno por 24 horas. Durante a aplicação do etileno, a câmara foi aberta após 12 horas, durante cinco minutos, para permitir a ventilação e a troca gasosa, seguida da reaplicação de etileno na mesma concentração.

Frutos sem a aplicação de 1-MCP e etileno foram utilizados como controle.

Os frutos foram armazenados em câmara a $22\pm 1^\circ\text{C}$ e $85\pm 5\%$ de umidade relativa durante o experimento.

Os frutos foram analisados no dia da colheita e a cada três dias, durante nove dias após os tratamentos para os teores de ácido ascórbico, acidez titulável, sólidos solúveis, firmeza e cor da casca, atividade respiratória, produção de etileno e atividade da enzima ACC oxidase. Foram utilizadas cinco repetições de quatro frutos, para as determinações de qualidade. Foram realizadas análises de atividade respiratória e de produção de etileno, diariamente, até observar incidência de podridão nos frutos com pelo menos uma lesão maior ou igual a 1cm^2 , quando essas análises eram finalizadas. Foram utilizadas seis repetições de um fruto cada, para cada tratamento.

Quantidades pré-determinadas de 1-MCP (SmartFresh) na formulação pó-molhável 0,14% i.a., foram pesadas e colocadas em frascos herméticos. Para a liberação do 1-MCP foram adicionados 3mL de água deionizada no interior de cada frasco, os quais foram agitados lentamente, até a completa dissolução do regulador vegetal e, em seguida, aberto no interior da caixa do tratamento.

2.3.1 Metodologia das análises

Análises físicas e químicas

Teor de ácido ascórbico: determinado por titulometria, de acordo com metodologia descrita por Carvalho et al. (1990). Os resultados foram expressos em mg de ácido ascórbico por 100g de polpa.

Teor de sólidos solúveis: determinado em refratômetro digital (Atago PR-101, Atago Co Ltda., Tóquio, Japão). Os resultados foram expressos em °Brix.

Acidez titulável: determinada de acordo com metodologia descrita por Carvalho et al. (1990). Os resultados foram expressos em % de ácido cítrico na polpa.

Rendimento de suco: determinado pelo quociente entre o peso da polpa (sem semente) e do fruto, multiplicado por 100.

Firmeza da polpa: determinada com penetrômetro digital (53200-Samar, Tr Turoni, Forli, Itália) com ponteira de 8mm de diâmetro, após a remoção da casca. As medidas foram feitas em dois pontos equidistantes na região equatorial do fruto. Os dados foram expressos em Newtons (N), considerando-se a média das leituras.

Cor da casca: determinada com colorímetro (Minolta CR-300, Osaka, Japão). Realizaram-se quatro leituras por fruto (maracujá) e duas leituras (goiaba), em pontos equidistantes, na região equatorial. Os resultados foram expressos em ângulo de cor (°h).

Atividade respiratória e produção de etileno

Para as determinações da atividade respiratória e da produção de etileno, os frutos foram colocados em recipientes herméticos de vidro com capacidade de 1,7L (maracujá) e 0,6L (goiaba) com tampas contendo septos de silicone, previamente expostos às condições de temperatura e umidade relativa do experimento. Após uma hora (maracujá) e 30 minutos (goiaba), amostras de 1mL de ar do interior dos frascos foram coletadas para CO₂ e para etileno através do septo de silicone, com seringa marca Hamilton, modelo Gastight, de 2,5mL. As amostras foram injetadas e analisadas em cromatógrafo a gás marca Thermo Electron, modelo Trace GC 2000, equipado com dois detectores de ionização de chama (FID) regulados para 250°C, dois injetores regulados para 120°C, duas colunas Porapack N (coluna CO₂ - 4m; coluna C₂H₄ - 1,8m) reguladas para 140°C e metanador para análise de CO₂, regulado para 350°C. A atividade respiratória e a produção de etileno foram

calculadas levando-se em consideração o volume do frasco, a massa do fruto e o tempo que os frascos permaneceram fechados. Os resultados estão expressos em CO_2 ($\text{mL kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) e C_2H_4 ($\mu\text{L kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) para atividade respiratória e produção de etileno, respectivamente.

Atividade “in vitro” da ACC oxidase (ACO, EC 1.14.17.4) para maracujá e goiaba

Determinada de acordo com a metodologia proposta por Moya-Leòn e John (1994) com modificações. Amostras da polpa de goiaba foram pulverizadas em moinho com nitrogênio líquido e, no caso do maracujá, utilizou-se a polpa líquida (sem semente). A seguir, aproximadamente um grama da polpa foi homogeneizado em 5mL de tampão de extração contendo Tris-HCl 100mM pH 7,5 contendo 5mM DTT; glicerol 10% (w/v); 30mM ascorbato de sódio e PVPP 4% (p/v). A seguir, o homogeneizado foi centrifugado a $10.000 \times g$ por 30 minutos a 4°C . O ensaio foi realizado incubando-se 1mL do sobrenadante contendo a enzima com 2mL da solução de reação contendo tampão tricina 0,1M pH 7,5; 0,1mM FeSO_4 ; 1mM ACC; 20mM NaHCO_3 e 30mM ascorbato de sódio. Após a incubação da solução a 30°C em frascos herméticos de 10mL por duas horas, a concentração de etileno presente nos frascos foi determinada por cromatografia gasosa e os valores expressos em $\mu\text{L C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$.

O delineamento estatístico foi o inteiramente casualizado. Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

2.4 Resultados e Discussão

2.4.1 Tempo de equilíbrio entre as concentrações do interior do fruto e do interior do tubo de silicone fixado no fruto ligado à planta

Maracujá

Do teste para conhecer o tempo de equilíbrio entre a atmosfera do interior do fruto e do tubo de silicone fixado em maracujá, observou-se que a concentração de CO_2 do interior do tubo aumentou rapidamente e atingiu o equilíbrio após 120

minutos da fixação do tubo no fruto. Enquanto que para o etileno, a concentração no interior do tubo estabilizou a partir de 180 minutos (Figura 13).

Das amostras de gases coletadas diretamente do interior dos frutos, os resultados indicaram haver boa correlação com a atmosfera do interior dos tubos (Figura 13). Segundo Kader (1987) a taxa de difusão do etileno e do CO_2 são similares.

Figura 13 - Concentrações de CO_2 e de etileno (C_2H_4) no interior do tubo de silicone fixado em maracujás ligados às plantas

Goiaba

Do teste para conhecer o tempo de equilíbrio entre a atmosfera do interior do fruto e do tubo de silicone fixado em goiaba, observou-se que tanto a concentração de CO_2 como a do etileno no interior do tubo aumentou e, atingiu o equilíbrio após cinco horas da fixação do tubo no fruto (Figura 14).

Figura 14 - Concentrações de CO₂ e de etileno (C₂H₄) no interior do tubo de silicone fixado em goiabas 'Pedro Sato' ligadas às plantas

Para a estimativa da concentração endógena de CO₂ e de etileno de ambas as espécies frutíferas, as amostras foram coletadas sempre no dia seguinte após a fixação do tubo no fruto, para garantia do equilíbrio entre as atmosferas do interior do fruto e do interior do tubo de silicone.

2.4.2 Estimativa da concentração endógena de CO₂ e de etileno em maracujás-amarelos ligados ou não à planta

O desenvolvimento do maracujá-amarelo foi acompanhado desde a antese e avaliados quanto ao tamanho e concentração endógena de CO₂ e etileno até o amadurecimento dos mesmos na planta e, também em pós-colheita. As avaliações de crescimento para o maracujá indicaram que os frutos apresentam curvas de crescimento do tipo sigmoidal simples, sendo a etapa de maior crescimento compreendida no período entre 5 a 15 dias após a antese, com posterior fase estacionária (Figura 15). Shiomi, Wamocho e Agong (1996) verificaram crescimento do tipo sigmoidal simples para maracujá-roxo que atingiu tamanho máximo aos 20 dias após antese. Segundo Saltveit (1993) a informação do crescimento do fruto é importante, pois o aumento no tamanho pode resultar no aumento da concentração de CO₂, pois o volume de tecido que respira aumenta mais rapidamente do que a área de superfície para difusão do gás.

Figura 15 - Crescimento de maracujá-amarelo

Foram observadas oscilações na concentração endógena de CO_2 durante o desenvolvimento dos maracujás na planta (Figuras 16 e 17).

No primeiro ano de análise, a concentração média de CO_2 dos frutos desde a primeira amostragem de dióxido de carbono enquanto ligados à planta, até um dia antes da abscisão foi de aproximadamente 4.000ppm. No dia da queda dos frutos (dia 0) a concentração foi 1,7 vezes maior, aproximadamente 6.800ppm (Figura 16).

Não foi observado climatério do CO_2 para maracujás ligados à planta. O aumento da concentração de dióxido de carbono ocorreu somente após a abscisão natural dos frutos (Figura 16).

A maior concentração de CO_2 endógeno foi observada no primeiro e segundo dia após a abscisão dos frutos, com concentração média de 8.000ppm. A partir dessa data, até a fase de senescência, ou seja, quando os frutos apresentavam-se totalmente sobremaduros, com coloração da casca completamente amarela e, com aspecto visual totalmente murcho, a concentração foi de aproximadamente 5.500ppm (Figura 16).

A concentração endógena de etileno de maracujás ligados à planta foi de aproximadamente 0,2ppm. No dia que antecedeu a abscisão dos frutos foi observado aumento dessa concentração em, aproximadamente, 20 vezes. No dia da abscisão, a concentração foi de 12,64ppm (Figura 16).

Maiores concentrações endógenas de etileno foram observadas entre o segundo e quarto dia após a abscisão natural dos frutos. Após essa data, até a fase de senescência, a concentração foi de aproximadamente 26ppm (Figura 16).

Desse modo, observou-se um climatério para CO₂ e etileno após a queda (dia 0), sendo que para o etileno, o aumento da concentração endógena antecedeu à do CO₂, nos frutos ainda ligados à planta (Figura 16).

No segundo ano de análise, enquanto os frutos estavam ligados à planta, a concentração endógena de etileno foi, em média, 0,4ppm. A concentração aumentou aproximadamente oito vezes, quatro dias antes da abscisão dos frutos (3,24 ppm) (Figura 17).

No dia da abscisão, a concentração endógena de etileno dos maracujás foi de 2,8ppm. Após a coleta dos frutos, foi observado aumento da concentração, e o maior valor foi aos três dias após a coleta, o qual foi de 20ppm (Figura 17).

A concentração média de CO₂ dos frutos desde a primeira amostragem de dióxido de carbono enquanto ligados à planta, até um dia antes da abscisão foi de aproximadamente 3.000ppm. No dia da queda dos frutos (dia 0), a concentração foi 1,8 vezes maior, aproximadamente 5.700ppm (Figura 17). Porém, não foi observado aumento da concentração endógena antes da queda dos frutos. A maior concentração foi observada no terceiro e no sétimo dia após a abscisão, em média, 7.600ppm (Figura 17).

Figura 16 - Concentração endógena de CO_2 (ppm) e de C_2H_4 (ppm) de maracujá-amarelo ligado à planta. Primeiro ano de análise. Eixo X: valores negativos correspondem aos dias das coletas de CO_2 e C_2H_4 dos frutos na planta; zero (0) corresponde ao dia da abscisão natural dos frutos; valores positivos correspondem aos dias das coletas de CO_2 e C_2H_4 após a abscisão dos frutos

Figura 17 - Concentração endógena de CO_2 (ppm) e de C_2H_4 (ppm) de maracujá-amarelo ligado à planta. Segundo ano de análise. Eixo X: valores negativos correspondem aos dias das coletas de CO_2 e C_2H_4 dos frutos na planta; zero (0) corresponde ao dia da abscisão natural dos frutos; valores positivos correspondem aos dias das coletas de CO_2 e C_2H_4 após a abscisão dos frutos

Como os frutos são órgãos fotossinteticamente ativos quando ligados à planta (BLANKE; LENZ, 1989), a oscilação da concentração endógena de CO_2 observada nos resultados pode estar correlacionada com os processos de respiração e manutenção do metabolismo celular. Em frutos ligados à planta e expostos a luz, as mudanças na concentração de CO_2 podem ser resultados das interações entre o metabolismo de carbono e outros processos como transporte de solutos, fotossíntese e fotorespiração (KNEE, 1995).

Knee (1995) comparou a concentração de CO_2 de tomates ligados à planta cobertos e expostos à luz, e verificou que a concentração de CO_2 foi inicialmente alta quando expostos à luz, porém as diferenças nas concentrações diminuíram com o amadurecimento dos frutos.

De acordo com os resultados, observou-se climatério do CO_2 após a abscisão dos maracujás (Figuras 16 e 17). Shellie e Salveit (1993) observaram climatério para dióxido de carbono após a abscisão de melões. Além disso, os autores verificaram aumento coincidente das concentrações de CO_2 e de etileno em frutos não ligados às plantas, porém, não observaram aumento da concentração de CO_2 em frutos ligados às plantas, quando houve aumento da concentração de etileno nos mesmos.

Salveit (1993) sugere que o climatério respiratório não é obrigatório durante o amadurecimento de alguns frutos climatéricos quando ligados à planta.

Segundo Biale e Yang (1981) e Brady (1987) a ausência de um climatério respiratório durante a produção autocatalítica de etileno sugere que o etileno não estimula diretamente a respiração. No entanto, Kays (1991) sugere que a produção de etileno endógeno pode ser a causa do climatério respiratório. De acordo com os resultados obtidos nesse trabalho, houve aumento expressivo da concentração endógena de etileno, enquanto os frutos estavam ligados à planta e que foi anterior ao aumento da concentração endógena de dióxido de carbono (Figuras 16 e 17).

Para ambos os anos de análise, o aumento na concentração endógena de etileno antes da abscisão dos maracujás pode ter sido uma resposta fisiológica dos frutos para desencadear o climatério e, possivelmente, o momento da queda dos mesmos (dia 0) (Figuras 16 e 17), pois o etileno se acumula nos espaços de ar entre o receptáculo e o fruto, onde pode coordenar a abscisão (BROWN, 1997).

De acordo Mita, Kawamura e Asai (2002) o maracujá produz alta concentração de etileno, principalmente nos arilos. Além disso, significativa produção de etileno também ocorre na zona de abscisão de maracujás provocando

a queda natural dos frutos (TAYLOR; WHITELOW, 2001). Em maracujás roxos foi demonstrado acúmulo de receptores de etileno tanto em arilos como na zona de abscisão durante o amadurecimento dos frutos (MITA; KAWAMURA; ASAI, 2002).

Itamura et al. (1989) apud Sun et al. (2010) observaram em caquis que a abscisão dos frutos ocorreu durante o período de rápido aumento do etileno ou no pico de síntese de etileno.

A abscisão é um processo do desenvolvimento, altamente regulado, o qual é influenciado e ativado em resposta a sinais internos ou condições ambientais (TAYLOR; WHITELOW, 2001), além disso, é regulado por hormônios vegetais como giberilina (BEN-CHEIKH et al., 1997), auxina (BROWN, 1997), ácido abscísico (GOMEZ-CADENAS et al., 2000) e o etileno (BEYER; MORGAN, 1971, BROWN, 1997).

Em frutos não climatéricos o etileno endógeno nem sempre aumenta antes da abscisão, embora esse processo seja desencadeado por esse hormônio (CHITARRA; CHITARRA, 2005; ABELES; MORGAN; SALVEIT, 1992). Segundo Webster (1975) o climatério coincide com o colapso das células vasculares na zona de abscisão e com a abscisão natural dos frutos. De acordo com Mattoo e Suttle (1991) a zona de abscisão, normalmente, está associada a um dos estágios finais do amadurecimento dos frutos.

De acordo com os resultados, a concentração endógena de etileno foi baixa (menor que 1ppm) durante o desenvolvimento dos maracujás na planta. Segundo Sun et al. (2010) enquanto os frutos estão ligados às plantas, a translocação normal de fotoassimilados via floema das folhas para os frutos pode ser fator da baixa evolução da concentração de etileno, e para Muramatsu (2007) apud Sun et al. (2010) e Sugiura et al. (2009) o fluxo normal de água da planta para o fruto, via xilema, o qual é mantido pela transpiração da planta também pode ser fator da baixa evolução da concentração de etileno.

Segundo Chitarra e Chitarra (2005) existe um suporte substancial de dados fisiológicos que comprovam a existência de dois sistemas de produção de etileno (Sistema 1 e Sistema 2). Os tecidos que ficam expostos ao Sistema 1 de produção de etileno, ou seja, de frutos principalmente imaturos, apresentam níveis baixos de etileno durante o desenvolvimento e, esse sistema é responsável pela produção de etileno basal.

Em frutos climatéricos, o Sistema 1 é operante até o início do amadurecimento, quando então, a exposição às baixas concentrações de etileno sintetizadas pelo Sistema 1 promove um grande aumento no seu sistema formador, sendo esse aumento considerado como Sistema 2 (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

O Sistema 2 é responsável pela produção autocatalítica de etileno em frutos climatéricos durante o amadurecimento, correspondendo ao aumento da produção de etileno pelos tecidos, seguido do amadurecimento e senescência (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

A grande maioria dos estudos sobre respiração, produção de etileno e a classificação de frutos de acordo com o padrão respiratório envolve frutos colhidos (SALVEIT, 1993).

O padrão respiratório climatérico tem sido observado em alguns frutos após a colheita, como a banana e o abacate (CHITARRA; CHITARRA, 2005). De acordo com Rhodes (1970) a definição de frutos climatéricos apresenta três fases distintas como: (1) aumento na produção autocatalítica de etileno; (2) associação com o aumento na produção de CO_2 , a qual é referida ao climatério respiratório, e (3), que as fases 1 e 2 são acompanhadas por mudanças fenotípicas dos frutos.

De acordo com Pocasangre Enamorado et al. (1995) o maracujá apresenta padrão respiratório climatérico, por apresentar aumento na atividade respiratória durante o amadurecimento.

Yang (1985) classifica os frutos climatéricos em frutos do Tipo 1, os quais apresentam aumento na produção de etileno antes do início do amadurecimento e frutos do Tipo 2, nos quais o início do amadurecimento não é precedido por aumento na produção de etileno.

2.4.3 Estimativa da concentração endógena de CO_2 e de etileno em maracujás-amarelos colhidos em cinco estádios de maturação

O valor médio da concentração endógena de CO_2 dos maracujás ligados às plantas foi de aproximadamente 3.700ppm. Para o etileno a concentração foi de 0,07ppm no primeiro ano e de 0,2ppm no segundo ano (Figura 18 e 19).

Logo após a colheita dos frutos do estágio de maturação totalmente verde (estádio 0) (dia 0) a concentração endógena de CO_2 aumentou 1,5 vezes, no primeiro ano (Figura 18-a) e, duas vezes no segundo ano (Figura 19-a), em relação a concentração observada enquanto os frutos estavam ligados às plantas,

apresentando concentração endógena de dióxido de carbono de aproximadamente 6.000ppm. A concentração se manteve alta em até 7 e 3 dias após a colheita dos frutos no primeiro e segundo ano, respectivamente (Figuras 18-a e 19-a).

Para maracujás predominantemente verdes (estádio 1), foi observado no primeiro ano, aumento da concentração endógena de CO₂ somente nos dias seguintes à colheita dos frutos. No dia da colheita, a concentração se manteve equivalente às observadas enquanto os frutos estavam na planta (Figura 18-b). No segundo ano, a concentração endógena de CO₂ aumentou 2,5 vezes no dia em que os maracujás no estágio 1 foram colhidos (dia 0) e, após a colheita houve redução da concentração a valores equivalentes aos observados nos frutos ligados às plantas (Figura 19-b).

Com relação aos maracujás verdes-amarelos (estádio 2), a maior concentração endógena de CO₂ foi observada um dia após a colheita dos frutos, em que a concentração foi 1,3 vezes maior (5.200ppm) no primeiro ano e 1,8 vezes maior (6.300ppm) no segundo ano (Figuras 18-c e 19-c).

Para maracujás predominantemente amarelos (estádio 3) e totalmente amarelos (estádio 4), não foi observado climatério para CO₂ enquanto ligados à planta (Figura 18-d;e, e Figura 19-d;e).

No primeiro ano, a maior concentração endógena de CO₂ nos frutos do estágio 3 foi observada apenas no primeiro dia após a colheita (Figura 18-d) e, nos frutos do estágio 4, a maior concentração foi verificada somente no dia da colheita (Figura 18-e), seguido do decréscimo gradual da concentração para ambos os estádios de maturação (Figura 18-d;e).

No segundo ano, foi observado aumento da concentração de CO₂ após a colheita dos frutos (dia 0) para ambos os estádios de maturação (Figura 19-d;e). Maracujás predominantemente amarelos apresentaram maior concentração endógena de CO₂ sete dias após a colheita, e em maracujás totalmente amarelos, a maior concentração foi observada três dias após a colheita (Figura 19-d;e).

Com relação ao etileno, observou-se que durante o desenvolvimento dos frutos na planta, a concentração endógena de etileno foi inferior a 1ppm. O aumento da concentração foi observado somente após a colheita dos frutos, independentemente do estágio de maturação (Figuras 18 e 19).

No primeiro ano, a concentração endógena de etileno logo após a colheita (dia 0) de maracujás totalmente verdes, predominantemente verdes e verdes-

amarelos foi inferior a 1ppm. Para maracujás predominantemente amarelos e totalmente amarelos a concentração foi de 5 e 3ppm, respectivamente (Figura 18). No segundo ano, a concentração endógena de etileno para frutos dos estádios totalmente verde e predominantemente verde no dia em que foram colhidos (dia 0) foi inferior a 1ppm. Para os frutos dos estádios verde-amarelo, predominantemente amarelo e totalmente amarelo a concentração foi de 1,6ppm (Figura 19).

Figura 18 - Concentração endógena de CO_2 (ppm) e de C_2H_4 (ppm) de maracujás-amarelos colhidos em diferentes estádios de maturação e armazenados a 22°C e 85% UR. Primeiro ano de análise. Eixo X: valores negativos correspondem aos dias das coletas de CO_2 e C_2H_4 dos frutos ligados à planta; zero (0) corresponde ao dia da colheita dos frutos; valores positivos correspondem ao dia das coletas de CO_2 e C_2H_4 após a colheita dos frutos. a) Estádio 0: totalmente verde; b) Estádio 1: predominantemente verde; c) Estádio 2: verde-amarelo; d) Estádio 3: predominantemente amarelo; e) Estádio 4: totalmente amarelo. As setas indicam o ponto correspondente ao dia da colheita dos frutos (dia 0)

Figura 19 - Concentração endógena de CO_2 (ppm) e de C_2H_4 (ppm) de maracujás-amarelos colhidos em diferentes estádios de maturação e armazenados a 22°C e 85% UR. Segundo ano de análise. Eixo X: valores negativos correspondem aos dias das coletas de CO_2 e C_2H_4 dos frutos ligados à planta; zero (0) corresponde ao dia da colheita dos frutos; valores positivos correspondem ao dia das coletas de CO_2 e C_2H_4 após a colheita dos frutos. a) Estádio 0: totalmente verde; b) Estádio 1: predominantemente verde; c) Estádio 2: verde-amarelo; d) Estádio 3: predominantemente amarelo; e) Estádio 4: totalmente amarelo. As setas indicam o ponto correspondente ao dia da colheita dos frutos (dia 0)

O aumento da concentração endógena de CO_2 após a colheita dos frutos, provavelmente, é refletido por uma reação ao estresse da colheita, ou por processo resultante do aumento da demanda energética necessária para continuar o amadurecimento e, segundo Sawamura, Knecht e Bruinsma (1978) também pode ser parte de produtos de outros processos oxidativos correlacionados com o amadurecimento do fruto, como a produção autocatalítica de etileno.

Bower et al. (2002) apoiam a hipótese de que o climatério respiratório não é parte essencial do amadurecimento, mas um artefato causado por um estresse ou pelo desligamento do fruto da planta.

Vieira (1997) verificou que maracujás-amarelos não apresentaram climatério respiratório durante o amadurecimento na planta.

Independentemente do estágio de maturação no qual os frutos foram colhidos o aumento da concentração endógena de etileno foi observado somente após a colheita (Figura 18 e 19).

Para frutos totalmente verdes, predominantemente verdes e verdes-amarelos, o aumento da concentração endógena de etileno pode ser um dos fatores responsáveis pela continuação do processo do amadurecimento.

A ação do etileno promove aumento na atividade de algumas enzimas que estão correlacionadas com amadurecimento, como a clorofilase que, quando ativa, resulta na degradação da clorofila (YAMAUCHI et al., 1997) e, ao mesmo tempo, o etileno estimula a carotenogênese, o que promove o aparecimento da cor amarela ou laranja (STEWART; WHEATON, 1972).

Segundo Shiomi et al. (1996) tanto a degradação como a síntese dos pigmentos, são processos modulados pelo etileno, cuja síntese é estimulada pelo desligamento do maracujá da planta.

Para maracujás dos estádios predominantemente amarelo e totalmente amarelo, os quais atingiram o amadurecimento na planta, provavelmente, a concentração endógena mínima de etileno observada durante o desenvolvimento do fruto estava num nível fisiologicamente ativo que levou a indução do amadurecimento do fruto sem o climatério do etileno.

Shiomi et al. (1996) não observaram padrão respiratório climatérico em maracujá-roxo quando ligados à planta, apesar de verificarem quantidade substancial de etileno endógeno. Entretanto, estes autores observaram padrão respiratório característico climatérico e alta produção de etileno em maracujá-roxo desligado da planta aos 40 ou mais dias após a antese. Para melão (MICOLIS; SALTVEIT, 1991; SHELLIE; SALTVEIT, 1993) e tomate (SALTVEIT, 1993), foi observado climatério do etileno nos frutos ligados e não ligados à planta, e para CO₂, o climatério foi observado apenas quando desligados da planta.

Após o climatério do etileno que ocorreu após a abscisão e/ou colheita dos frutos, houve diminuição da concentração endógena desse hormônio. De acordo com Hadfield, Rose e Bennett (1995) a diminuição do etileno interno em frutos colhidos pode ser resultado da interrupção da importação de materiais, como ACC (aminociclopropano-1-ácido carboxílico) da planta ou da difusão dos gases internos através do pedúnculo.

2.4.4 Estimativa da concentração endógena de CO₂ e de etileno em goiabas 'Pedro Sato' ligadas ou não às plantas

Frutos de goiabeira 'Pedro Sato' foram analisados desde a sua formação (fase de chumbinho) até o completo amadurecimento, tomando-se medidas do diâmetro e do comprimento para determinar a curva de crescimento (Figura 20).

O crescimento é definido como a fase do desenvolvimento na qual ocorre o incremento irreversível nos atributos físicos, onde a expansão celular é o evento principal do crescimento (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

O ovário, uma vez estimulado, cresce, podendo apresentar curva de crescimento sigmoidal simples ou dupla (CHITARRA; CHITARRA, 2005). As avaliações de comprimento e diâmetro em goiabas indicaram que os frutos apresentam curvas de crescimento do tipo sigmoidal dupla, com três estágios distintos.

Durante o estágio I do crescimento, no período de aproximadamente 70 dias após a antese, há um rápido crescimento devido à divisão celular. No estágio II, é observada uma diminuição do ritmo de crescimento, com duração aproximada de 50 dias e, segundo Rathore (1976) nessa fase ocorre o amadurecimento e o endurecimento das sementes. No estágio III de crescimento observa-se um incremento exponencial da taxa de crescimento do fruto. Nessa fase, a altura e o diâmetro dos frutos aumentam acentuadamente, sendo sua duração de aproximadamente 70 dias (Figura 20). Além disso, ocorre o amadurecimento dos frutos evidenciado principalmente pela mudança na cor da casca e textura, bem como as demais transformações químicas relacionadas ao amadurecimento dos frutos correspondendo às mudanças fenotípicas.

Figura 20 - Diâmetro e comprimento de goiabas 'Pedro Sato' durante o seu desenvolvimento

Segundo Saltveit (1993) a informação do crescimento do fruto é importante, pois o aumento no tamanho pode resultar no aumento da concentração de CO_2 e, o volume de tecido que respira, aumenta mais rapidamente do que a área de superfície para difusão do gás. Observa-se nos resultados obtidos que, durante o estágio I de crescimento, as goiabas apresentaram maiores concentrações endógenas de CO_2 , seguida da diminuição dessa concentração conforme o crescimento mais pausado do fruto (Figuras 21 e 22).

Galho et al. (2007) analisaram a respiração de crescimento (respiração acoplada a síntese de novos tecidos) em araçá ao longo de sua ontogenia e observaram que o coeficiente de respiração de crescimento, o qual é expresso pela quantidade de CO_2 liberado, foi alto no início do desenvolvimento dos frutos (10 aos 24 dias após a antese), decrescendo e tornando-se constante da fase de crescimento acelerado até o completo amadurecimento dos frutos.

Na fase em que há aumento acentuado no tamanho do fruto (estágio III) e, em que ocorre o amadurecimento, não foi observado aumento da concentração endógena de CO_2 , sem indicativo de climatério do CO_2 enquanto os frutos estavam ligados à planta (Figuras 21 e 22).

A oscilação na concentração endógena de CO_2 dos frutos ligados à planta (Figuras 21 e 22), provavelmente, está correlacionada aos processos da respiração

de crescimento e a manutenção do metabolismo celular, já que os frutos são órgãos fotossinteticamente ativos quando ligados à planta (BLANKE; LENZ, 1989).

No dia da colheita dos frutos, a concentração endógena de CO₂ foi de aproximadamente 9.000ppm no primeiro ano e de 10.000ppm no segundo ano.

A concentração endógena de etileno se manteve baixa ao longo do desenvolvimento do fruto com valores médios inferiores a 1ppm (Figuras 21 e 22). O aumento da concentração de etileno para 2,5ppm (primeiro ano) foi observado quando as goiabas atingiram o completo amadurecimento na planta, com coloração da casca totalmente amarela e completamente lisa (dia 0) (Figura 21). No segundo ano este valor foi de 3,7ppm (Figura 22). Além disso, no segundo ano, as análises foram realizadas até cinco dias após a colheita dos frutos maduros, quando estes apresentaram os primeiros sinais de murchamento (Figura 22). Nesse caso, a maior concentração endógena, tanto de etileno como de CO₂, foi observada no segundo dia após a colheita dos frutos, atingindo concentrações média de 5ppm de etileno e 13.500ppm de CO₂ (Figura 22).

De acordo com Lieberman e Kunishi (1972) as mudanças hormonais durante o desenvolvimento dos frutos sugerem que durante a divisão celular (estágio I), os níveis de etileno são baixos, aumentando em seguida, até o estágio final do amadurecimento. Essa característica não foi observada em goiabas ainda na planta, pois não foi observado aumento da concentração desse hormônio com o amadurecimento dos frutos, com exceção apenas no dia em que se considerou o completo amadurecimento (dia 0).

Sun et al. (2010) não observaram produção de etileno em caquis ligados à planta, no entanto, quando o transporte de fotoassimilados da planta para os frutos foi bloqueado, a síntese de etileno foi iniciada pelo fruto.

Figura 21 - Concentração endógena de CO_2 (ppm) e de C_2H_4 (ppm) em goiabas 'Pedro Sato' ligadas à planta. Primeiro ano de análise. Eixo X: valores negativos correspondem aos dias das coletas de CO_2 e C_2H_4 dos frutos na planta; zero (0) corresponde ao dia do completo amadurecimento dos frutos

Figura 22 - Concentração endógena de CO_2 (ppm) e de C_2H_4 (ppm) em goiabas 'Pedro Sato' ligadas à planta. Segundo ano de análise. Eixo X: valores negativos correspondem aos dias das coletas de CO_2 e C_2H_4 dos frutos na planta; zero (0) corresponde ao dia do completo amadurecimento dos frutos; valores positivos correspondem aos dias das coletas de CO_2 e C_2H_4 após a colheita dos frutos

2.4.5 Estimativa da concentração endógena de CO₂ e de etileno em goiabas 'Pedro Sato' colhidas em três estádios de maturação

Goiabas foram analisadas desde o início do desenvolvimento até atingirem os estádios de maturação verde-escuro (estádio 1) (Figura 23-a), verde-claro (estádio 2) (Figura 23-b) e verde-amarelado (estádio 3) (Figura 23-c), quando foram colhidas e analisadas quanto às concentrações endógenas de CO₂ e de etileno até o completo amadurecimento.

Figura 23 - Estádios de maturação de goiabas colhidas da planta (a) verde-escuro; (b) verde-claro; (c) verde-amarelado

Foi observada maior concentração endógena de CO₂ no início do desenvolvimento dos frutos ligados à planta. Posteriormente houve diminuição da concentração ao longo do desenvolvimento do fruto (Figuras 24 e 25). Esse período de maior concentração de dióxido de carbono, provavelmente corresponde ao estágio I de crescimento, caracterizado pelo processo de divisão celular.

No primeiro ano, a concentração média de CO₂ desde a primeira amostragem de dióxido de carbono dos frutos ligados à planta, até a data mais próxima antecedente a colheita, foi de aproximadamente 8.850ppm para frutos do estágio 1; 8.200ppm para frutos do estágio 2 e 10.800ppm para frutos do estágio 3 (Figura 24).

Não foi observado climatério do CO₂ para frutos colhidos no estágio verde-escuro. A concentração média do dióxido de carbono reduziu em, aproximadamente duas vezes após a colheita. O mesmo comportamento foi

observado para os frutos do estágio verde-claro, com redução da concentração endógena de CO₂ em até 1,2 vezes (Figura 24-a; b).

Para os frutos do estágio verde-amarelado, foi observado aumento de 1,3 vezes na concentração endógena de dióxido de carbono após a colheita (Figura 24-c). Contudo, o aumento da concentração de CO₂ pode não ser considerado como um climatério, pois as mudanças fenotípicas que evidenciam o amadurecimento haviam sido iniciadas quando os frutos estavam na planta.

A concentração endógena de etileno dos frutos ligados à planta, do início do desenvolvimento até a colheita dos mesmos, foi constante e baixa, com valores médios de 0,3; 0,3 e 0,2ppm para os estádios 1, 2 e 3 respectivamente. Após a colheita, a concentração endógena desse hormônio aumentou 1, 4 e 10 vezes, quanto maior foi o estágio de maturação (Figura 24).

No segundo ano, a concentração endógena de CO₂ durante o desenvolvimento dos frutos na planta foi de 8.450ppm para frutos do estágio verde-escuro, 9.100ppm para frutos do estágio verde-claro e 7.500ppm para frutos do estágio verde-amarelado (Figura 25).

Após a colheita desses frutos a concentração endógena de CO₂ aumentou em 1, 2 e 3 vezes para os frutos dos estádios de maturação, verde-escuro, verde-claro e verde-amarelado, respectivamente (Figura 25).

A concentração endógena de etileno dos frutos ainda ligados à planta foi de 0,2ppm. Após a colheita dos frutos a concentração de etileno aumentou em 5, 19, e 18 vezes para os estádios verde-escuro, verde-claro e verde-amarelado, respectivamente (Figura 25).

Figura 24 - Concentração endógena de CO₂ (ppm) e de C₂H₄ (ppm) de goiabas 'Pedro Sato' colhidas em diferentes estádios de maturação e armazenadas à 22°C e 85% de UR. Primeiro ano de análise. Eixo X: valores negativos correspondem aos dias das coletas de CO₂ e C₂H₄ dos frutos ligados à planta; zero (0) corresponde ao dia da colheita dos frutos; valores positivos correspondem aos dias das coletas de CO₂ e C₂H₄ dos frutos após a colheita. (a) goiabas colhidas no estágio verde-escuro (estádio 1); (b) goiabas colhidas no estágio verde-claro (estádio 2); (c) goiabas colhidas no estágio verde-amarelado (estádio 3). As setas indicam o dia da colheita dos frutos

Figura 25 - Concentração endógena de CO_2 (ppm) e de C_2H_4 (ppm) de goiabas 'Pedro Sato' colhidas em diferentes estádios de maturação e armazenadas à 22°C e 85% de UR. Segundo ano de análise. Eixo X: valores negativos correspondem aos dias das coletas de CO_2 e C_2H_4 dos frutos ligados à planta; zero (0) corresponde ao dia da colheita dos frutos; valores positivos correspondem aos dias das coletas de CO_2 e C_2H_4 dos frutos após a colheita. (a) goiabas colhidas no estágio verde-escuro (estádio 1); (b) goiabas colhidas no estágio verde-claro (estádio 2); (c) goiabas colhidas no estágio verde-amarelado (estádio 3). As setas indicam o dia da colheita dos frutos

Foi observado aumento da concentração endógena de CO_2 e de etileno somente após a colheita dos frutos, quando estes apresentavam-se totalmente amarelos e murchos, ou seja, numa fase que mais se parecia com a senescência do que com o amadurecimento.

Mercado-Silva, Bautista e Garcia-Velasco (1998) observaram em goiabas 'Media China' colhidas, pico climatérico quando o fruto estava completamente amarelo e amolecido. Da mesma forma, Azzolini et al. (2005), Cavalini (2004 e 2008), verificaram que goiabas 'Pedro Sato', 'Kumagai' e 'Paluma' apresentaram máxima produção de CO_2 após o completo amadurecimento.

2.5 Efeito da aplicação de etileno e de 1-metilciclopropeno (1-MCP) na qualidade, fisiologia e bioquímica de maracujá-amarelo e goiaba 'Pedro Sato'

Maracujá

Análises físicas e químicas

A aplicação de 1-MCP em frutos dos estádios predominantemente verde (estádio 1) e verde-amarelo (estádio 2) não afetou o teor de ácido ascórbico ($p>0,05$) (Tabela 1). Segundo Campos et al. (2005) o teor de ácido ascórbico aumenta com o amadurecimento dos maracujás. No entanto, Cerqueira et al. (2011) observaram redução dos teores durante o armazenamento. De acordo com essas afirmações, mostra-se que o 1-MCP foi eficiente na manutenção do teor de ácido ascórbico durante o armazenamento dos frutos (Tabela 1).

Para maracujás predominantemente verdes, tratados com etileno e do tratamento controle, houve diminuição dos teores de ácido ascórbico durante o armazenamento ($p\leq 0,05$) (Tabelas 1 e 2). Provavelmente, por estarem num estágio de maturação mais verde, ocorreu um consumo significativo do ácido ascórbico durante o processo de amadurecimento dos frutos, atingindo valores mais baixos. De acordo com Shiomi, Wamocho e Agong (1996) o maior consumo de ácido ascórbico pode estar relacionado à intensa atividade metabólica que ocorre nos frutos colhidos em estádios imaturos.

Os frutos do estágio verde-amarelo não foram afetados pelo período de armazenamento ($p>0,05$) (Tabela 1). Coelho, Cenci e Resende (2010) verificaram em maracujás-amarelos, no estágio de maturação com mais de 30% de cor da casca amarela, que os teores de ácido ascórbico não reduziram em função do armazenamento dos frutos, e ressaltou que a colheita dos frutos em estágio fisiologicamente maduro é essencial para a preservação do conteúdo de ácido ascórbico durante o armazenamento.

Com relação à acidez titulável, a aplicação do etileno e do 1-MCP, tiveram influência significativa nos resultados. De maneira geral, os frutos dos estádios 1 e 2 submetidos ao 1-MCP apresentaram maior acidez titulável ($p\leq 0,05$) que aqueles tratados com etileno (Tabela 1), mostrando que o tratamento com 1-MCP evita a redução nos teores de acidez decorrentes dos processos fisiológicos do amadurecimento.

O tratamento com o etileno foi responsável pela redução antecipada da acidez titulável ($p \leq 0,05$) (Tabelas 3 e 4), observada pelo decréscimo dos valores durante o armazenamento (Tabela 1), sendo um indicativo do amadurecimento mais rápido de ambos os estádios de maturação.

Maracujás verdes-amarelos, submetidos ao 1-MCP, apresentaram teores maiores de sólidos solúveis ($p \leq 0,05$) (Tabela 1). Os menores teores de sólidos solúveis observados nos frutos tratados com etileno e frutos controle pode ser outro indicativo de amadurecimento mais rápido devido à sensibilidade dos tecidos destes frutos ao etileno.

Pocasangre Enamorado et al. (1995) observaram diminuição no conteúdo de sólidos solúveis em maracujás colhidos com mais de 50% de coloração amarela, e, sugeriram que isto pode ser em função da utilização de açúcares como fonte de carbono para a respiração e senescência dos frutos. Entretanto, Coelho, Cenci e Resende (2010) não observaram mudança no teor de sólidos solúveis de maracujás-amarelos entre os estádios de maturação com 30,7% de área amarelada até quase frutos totalmente amarelos após a colheita e durante o armazenamento.

O rendimento de suco não foi influenciado pelos reguladores vegetais ($p > 0,05$). Para frutos predominantemente verdes também não foi observado efeito do tempo de armazenamento ($p > 0,05$) (Tabela 1), enquanto que para frutos verde-amarelo, o rendimento de suco aumentou com o armazenamento ($p \leq 0,05$) (Tabela 1).

De acordo com Vianna-Silva et al. (2010) a redução na espessura da casca pode contribuir para o aumento no rendimento de suco de maracujás, provavelmente por transferência de água da casca para a polpa durante o amadurecimento. Conforme os resultados obtidos nesse trabalho, o aumento no rendimento do suco dos frutos no estágio predominantemente verde durante o armazenamento, possivelmente, não ocorreu por estes frutos não terem atingido o completo desenvolvimento quando foram colhidos.

Para maracujás no estágio verde-amarelo, o etileno promoveu o aumento no rendimento do suco ($p \leq 0,05$) em aproximadamente duas vezes em relação ao início do armazenamento (Tabela 5).

Tabela 1 - Parâmetros de qualidade de maracujá-amarelo tratado com etileno e 1-MCP e armazenados a 22°C e 85% UR durante 9 dias

Estádios de maturação	Tratamento	Ácido arcórbico (mg 100g ⁻¹)	Acidez titulável (% ácido cítrico)	Sólidos solúveis (°Brix)	Rendimento de suco (%)
Predominantemente verde (Estádio 1)	Controle	19,83 a	3,75 ab	7,4 a	13,35 a
	Etileno	20,27 a	3,29 b	6,5 a	9,19 a
	1-MCP	19,48 a	3,87 a	7,3 a	8,76 a
	Teste f	0,88	0,04*	0,30	0,05
	DMS	4,00	0,57	1,61	4,87
	Dias				
	0	0	0	0	0
	3	23,89 a	4,08 a	8,3 a	10,29 a
	6	19,20 b	3,29 b	6,2 b	8,61 a
	9	16,49 b	3,54 ab	6,7 ab	12,39 a
	Teste F	0,00*	0,01*	0,01*	0,17
	DMS	4,00	0,57	1,61	4,87
Verde-amarelo (Estádio 2)	Controle	16,45 a	4,45 ab	12,5 b	27,70 a
	Etileno	17,08 a	4,15 b	12,7 b	24,30 a
	1-MCP	15,85 a	4,76 a	14,2 a	28,98 a
	Teste f	0,46	0,075*	0,008*	0,25
	DMS	2,40	0,44	1,31	6,96
	Dias				
	0	16,78	5,16	14,6	11,08
	3	17,03 a	4,74 a	13,6 a	22,90 b
	6	16,75 a	4,36 ab	13,1 a	26,30 ab
	9	15,60 a	4,26 b	12,8 a	31,77 a
	Teste F	0,31	0,03*	0,27	0,01*
	DMS	2,40	0,44	1,31	6,96

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, em cada estágio de maturação, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Tabela 2 - Ácido ascórbico de maracujá, predominantemente verde, tratado com etileno e 1-MCP e armazenado a 22°C e 85% UR

Ácido ascórbico (mg 100 g ⁻¹)			
Tratamento	Dias a 22°C		
	3	6	9
Controle	23,44 a	19,63 ab	16,42 b
Etileno	27,55 a	17,08 b	16,17 b
1-MCP	20,67 a	20,89 a	16,87 a

Médias seguidas de mesma letra, na linha, para cada tratamento, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Tabela 3 - Acidez titulável de maracujá, predominantemente verde, tratado com etileno e 1-MCP e armazenado a 22°C e 85% UR

Acidez titulável (% ácido cítrico)			
Tratamento	Dias a 22°C		
	3	6	9
Controle	4,07 a	3,49 a	3,70 b
Etileno	3,74 a	2,68 b	3,43 ab
1-MCP	4,42 a	3,68 a	3,49 a

Médias seguidas de mesma letra, na linha, para cada tratamento, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Tabela 4 - Acidez titulável de maracujá, verde-amarelo, tratado com etileno e 1-MCP e armazenado a 22°C e 85% UR

Acidez titulável (% ácido cítrico)			
Tratamento	Dias a 22°C		
	3	6	9
Controle	4,77 a	4,32 a	4,27 a
Etileno	4,48 a	4,26 ab	3,71 b
1-MCP	4,98 a	4,50 a	4,81 a

Médias seguidas de mesma letra, na linha, para cada tratamento, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Tabela 5 - Rendimento de suco de maracujá, verde-amarelo, tratado com etileno e 1-MCP e armazenado a 22°C e 85% UR

Rendimento de suco (%)			
Tratamento	Dias a 22°C		
	3	6	9
Controle	26,05 a	24,61 a	32,42 a
Etileno	15,79 a	28,42 b	28,68 b
1-MCP	26,86 a	25,87 a	34,22 a

Médias seguidas de mesma letra, na linha, para cada tratamento não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Coloração da casca

Maracujás no estágio predominantemente verde apresentaram ângulo de cor de 116,5 no dia da caracterização e, para maracujás no estágio verde-amarelo o ângulo de cor foi de 111,2 (Figura 26). O ângulo de cor ($^{\circ}$ h) expressa as diferenças na coloração da casca, permitindo visualizar a mudança na cor dos frutos, de verde para amarelo (AZZOLINI et al., 2004), sendo que valores menores representam coloração mais amarelada.

A cor da casca evoluiu de verde para amarelo em ambos os estágios de maturação. Essa evolução foi mais representativa nos frutos do estágio verde-amarelo, principalmente para aqueles tratados com etileno e frutos controle, pois, no terceiro dia após os tratamentos a cor amarela era evidente. A coloração totalmente amarela foi observada no final do armazenamento, quando atingiram, em média, ângulo de cor 93,2 sendo um indicativo do amadurecimento mais rápido dos frutos (Figura 26-b).

O 1-MCP foi responsável pela retenção da cor verde na casca, independente dos estágios de maturação. No entanto, quanto menos maduro o fruto, maior a retenção da cor verde, como foi observado nos frutos predominantemente verdes (Figura 26-a).

De acordo com Tucker (1993) a perda da cor verde é devida à quebra da estrutura da molécula de clorofila, envolvendo a atividade da enzima clorofilase. Estudos mostraram que o 1-MCP reduziu a atividade dessa enzima em brócolis (WATKINS, 2006), em mamão (JACOMINO et al., 2002), bem como bloqueou o desverdecimento em laranjas (PORAT et al., 1999), evidenciando a efetividade do 1-MCP na retenção da coloração dos frutos.

Em maracujás predominantemente verdes, tratados com etileno, apesar de não estarem totalmente amarelos no final do armazenamento, apresentaram acentuada mudança da cor verde para amarela no terceiro dia após o armazenamento, mantendo o ângulo de cor da casca sempre menor em relação aos outros tratamentos até o nono dia de armazenamento (Figura 26-a).

Figura 26 - Ângulo de cor da casca de maracujá-amarelo tratado com etileno e 1-MCP e armazenado a 22°C e 85% UR. (a) Estádio 1: predominantemente verde; (b) Estádio 2: verde-amarelo. As barras verticais representam o erro padrão da média

Figura 27 - Aparência de maracujá-amarelo no estágio predominantemente verde (estádio 1) tratado com etileno e 1-MCP e armazenado durante 9 dias a 22°C e 85% UR. Controle: (linha a); 1-MCP: (linha b); Etileno: (linha c)

Figura 28 - Aparência de maracujá-amarelo no estágio verde-amarelo (estádio 2) tratado com etileno e 1-MCP e armazenado durante 9 dias a 22°C e 85% UR. Controle: (linha a); 1-MCP: (linha b); Etileno: (linha c)

Atividade respiratória e produção de etileno

O 1-MCP foi eficiente na redução da atividade respiratória de maracujás-amarelos, em aproximadamente, 1,6 vezes em relação aos frutos controle e os submetidos ao etileno ($p \leq 0,05$) (Figura 29-a; b).

Para maracujás predominantemente verdes a redução da atividade respiratória foi significativa até o terceiro dia após os tratamentos ($p \leq 0,05$) (Figura 29-a) e para maracujás verdes-amarelos, a redução foi significativa até o quinto dia ($p \leq 0,05$) (Figura 29-b).

Maracujás submetidos ao etileno não apresentaram aumento significativo da atividade respiratória, quando comparado aos frutos controle para ambos os estádios de maturação (Figura 29-a; b).

A produção de etileno de maracujás predominantemente verdes, tratados com etileno, foi 4,7 vezes maior, em relação àqueles tratados com 1-MCP e o controle, no segundo dia de armazenamento. Após essa data, a produção de etileno não diferiu dos demais tratamentos (Figura 29-c). Para maracujás do tratamento controle a produção de etileno foi seis vezes maior em relação aos frutos tratados com 1-MCP, no quinto dia de armazenamento ($p \leq 0,05$) (Figura 29-c).

A produção de etileno dos maracujás verdes-amarelos tratados com 1-MCP não diferiu ($p > 0,05$) dos frutos tratados com etileno durante o armazenamento (Figura 29-d). O fato dos frutos não ter respondido aos reguladores vegetais pode ter sido em função do estágio de maturação.

Os efeitos do 1-MCP também foram menos pronunciados para banana (HARRIS et al., 2000) e tomate (WILLS; KU, 2002) quando colhidos e/ou tratados em estádios mais avançados de maturação.

Segundo Riov e Yang (1982) o tempo da aplicação de etileno pode exercer efeito inibitório na síntese de etileno, por limitar a disponibilidade do ácido aminociclopropano-carboxílico (ACC).

Winkler et al. (2002) consideram o maracujá-amarelo produtor intermediário de etileno.

Figura 29 - Atividade respiratória (mL CO_2 Kg⁻¹ h⁻¹) e produção de etileno (μL C_2H_4 Kg⁻¹ h⁻¹) de maracujá-amarelo em 2 estádios de maturação, submetido a aplicação de etileno e de 1-MCP. Estádio 1: predominantemente-verde (a,c); Estádio 2: verde-amarelo (b,d). As barras verticais representam o erro padrão da média

Atividade da ACC oxidase de maracujá-amarelo submetidos ao etileno e ao 1-metilciclopropeno (1-MCP)

Para maracujás do estágio predominantemente verde, o aumento da atividade da ACC oxidase, em resposta à ação do etileno exógeno foi, aproximadamente, 10 vezes maior ($p \leq 0,05$) em relação aos frutos controle e frutos tratados com 1-MCP (Figura 30-a). A maior atividade foi observada no terceiro dia após a aplicação dos tratamentos ($p \leq 0,05$) (Figura 30-a). De acordo com Mita et al. (1998) o aumento na atividade das enzimas ACC sintase e ACC oxidase induz na evolução de etileno durante o amadurecimento de maracujás. Conforme os resultados obtidos nesse trabalho, observou-se efeito do etileno exógeno, pelo estímulo na produção de etileno dos maracujás predominantemente verdes já no segundo dia após o tratamento (Figura 29-c).

Para maracujás predominantemente verdes e do grupo controle a atividade da ACC oxidase foi baixa e não apresentou mudanças significativas ao longo do

armazenamento ($p > 0,05$). Provavelmente, os frutos estavam na fase pré-climatérica, a qual é caracterizada por baixa produção de etileno devido à baixa atividade das enzimas ACC sintase e ACC oxidase (MATHOOKO et al., 2001).

Para maracujás no estágio de maturação verde-amarelo e tratados com etileno, foi observada alta atividade da ACC oxidase três dias após o tratamento. No entanto, a atividade enzimática foi 1,8 vezes menor em relação à atividade dos frutos controle ($p \leq 0,05$) (Figura 30-b). Foi observado que a produção de etileno de maracujás verdes-amarelos tratados com etileno também foi menor em relação aos frutos controle (Figura 29-d).

De acordo com Mita et al. (1998) a exposição de maracujás ao etileno estimula a expressão de genes para a ACC oxidase (*PE-ACO1*). Além disso, os genes da ACC sintase (*PE-ACS1*) e da ACC oxidase que são capazes de responder ao etileno exógeno podem diferir entre estágio de maturação para o maracujá. De acordo com essas observações, e com os resultados obtidos nesse trabalho, a aplicação de etileno em maracujás verdes-amarelos, possivelmente pode ter reprimido a expressão do gene dessa enzima o que levou a uma menor atividade da ACC oxidase.

Em muitos frutos climatéricos, como o tomate, a pera, bem como o maracujá, foi proposto que tanto a ACC sintase bem como a ACC oxidase estão sujeitas a regulação por *feedback* positivo pelo etileno (LIU; HOFFMAN; YANG, 1985; LINCOLN et al., 1993; LELIÉVRE et al., 1997; NAKATSUKA et al., 1997; MITA et al., 1998).

Mita et al. (1998) verificaram que em maracujás imaturos há uma quantidade substancial de mRNA, os quais, por sua vez, produzem níveis baixos de etileno, sugerindo que uma grande quantidade do gene *PE-ACO1*, bem como *PE-ACS1* devem ser expressos para induzir, a um maior nível, a atividade das enzimas envolvidas na síntese de etileno durante o amadurecimento dos frutos (SHIOMI; WAMOCHO; AGONG, 1996).

Shiomi, Wamocho e Agong (1996) observaram que durante a fase pré-climatérica do amadurecimento de maracujás o nível da atividade da ACC oxidase é relativamente alta, enquanto que os níveis da atividade da ACC sintase, conteúdo de ACC e produção de etileno são baixos.

O tratamento com 1-MCP reprimiu ($p \leq 0,05$) a atividade da enzima ACC oxidase de maracujás predominantemente verdes e verdes-amarelos durante todo o

armazenamento (Figura 30). Mita et al. (1998) avaliaram a ação de um inibidor competitivo da ação do etileno (2,5-norbornadiene-NBD) no amadurecimento e na expressão dos genes da ACC sintase (*PE-ACS1*) e da ACC oxidase (*PE-ACO1*) de maracujás e verificaram que a aplicação desse regulador resultou na baixa produção de etileno e que a acumulação de mRNA do *PE-ACS1* e do *PE-ACO1* nos arilos e sementes foram abolidos nos frutos tratados com o inibidor competitivo da ação do etileno. Os autores verificaram também, a aplicação simultânea de etileno e, que essa, superou o efeito inibitório do regulador vegetal, sugerindo que o etileno seja necessário para o amadurecimento de maracujás. A redução da atividade da ACC oxidase pela ação do 1-MCP também foi observada em pêssegos (MATHOOKO et al., 2004).

A atuação do etileno induz a síntese de mRNA e proteínas (ABELES; MORGAN; SALVEIT, 1992) e, uma vez restringida sua ação, menor quantidade de ACC oxidase é produzida para reagir com o ácido 1-carboxílico-1-aminociclopropano (ACC) e formar etileno.

Após a ascensão da ACC oxidase de maracujás, houve redução da atividade até o sexto dia de armazenamento, e seu nível permaneceu constante até o final do armazenamento (Figura 30). Essa redução, provavelmente, pode ter ocorrido pelo maior consumo do ACC como resultado da alta atividade da ACC oxidase no terceiro dia após os tratamentos.

Figura 30 - Atividade da ACC oxidase ($\mu\text{L C}_2\text{H}_4 \text{ Kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) de maracujá-amarelo, nos estádios de maturação, predominantemente verde (a) e verde-amarelo (b)

Goiaba

Análises físicas e químicas

Goiabas do estágio verde-escuro (estádio 1), tratadas com 1-MCP, apresentaram maior teor de ácido ascórbico do que àquelas do controle ou tratadas com etileno ($p \leq 0,05$) (Tabela 7). Para goiabas do estágio verde-claro (estádio 2) e verde-amarelado (estádio 3), não houve efeito dos tratamentos ($p > 0,05$) (Tabela 7). Bassetto et al. (2005) verificaram que as quantidades de ácido ascórbico em goiabas 'Pedro Sato' com coloração da casca mudando de verde para verde-claro não foram influenciadas pelo 1-MCP.

Para os frutos do estágio 1, foi observada diminuição dos teores de ácido ascórbico até o sexto dia de armazenamento. Após essa data, os valores aumentaram significativamente ($p \leq 0,05$). Comportamento semelhante foi observado em goiabas dos estádios 2 e 3 (Tabela 7). Cavalini (2008) verificou em goiaba 'Pedro Sato', diminuição nos teores de ácido ascórbico ao longo do armazenamento. Esteves et al. (1983); Vazquez-Ochoa e Colinas-Leon (1990) verificaram que durante o amadurecimento de goiabas houve aumento do teor do ácido ascórbico nos estádios iniciais até o amadurecimento completo e, depois de maduro, diminuiu significativamente.

O aumento do ácido ascórbico durante o amadurecimento pode estar associado ao aumento da síntese de metabólitos intermediários que promovem a síntese da glucose-6-fosfato, o qual é precursor imediato do ácido ascórbico (MERCADO-SILVA; BAUTISTA; GARCIA-VELASCO, 1998). Além disso, a degradação de polissacarídeos da parede celular possivelmente resulta em um aumento da galactose que é um dos precursores da biossíntese do ácido ascórbico (WHEELER; JONES; SMIRNOFF, 1998; SMIRNOFF; CONKLIN; LOEWUS, 2001). Com o decorrer do amadurecimento ocorre a oxidação dos ácidos com conseqüente redução do teor de ácido ascórbico, indicando a senescência do fruto (TUCKER, 1993).

Goiabas tratadas com 1-MCP apresentaram maior acidez titulável, enquanto que as tratadas com etileno os valores foram menores ($p \leq 0,05$) (Tabela 7). Essa diferença deve-se, provavelmente, ao rápido amadurecimento provocado pelo etileno, e pela eficiência do 1-MCP no controle do amadurecimento, já que os teores de ácidos orgânicos tendem a diminuir durante o processo de amadurecimento,

devido à oxidação dos ácidos no ciclo dos ácidos tricarboxílicos em decorrência da respiração (BRODY, 1996).

Singh e Pal (2008), da mesma forma, observaram que o 1-MCP teve um efeito significativo na redução da perda da acidez titulável de goiabas. Basseto et al. (2005) também observaram retenção da acidez em goiabas 'Pedro Sato' tratadas com 1-MCP.

Para frutos dos estádios verde-claro e verde-amarelado, a acidez diminuiu ao longo do armazenamento (Tabela 7).

O teor de sólidos solúveis não foi influenciado pelos tratamentos, independentemente dos estádios de maturação das goiabas ($p>0,05$) (Tabela 7).

Singh e Pal (2008) observaram aumento no teor de sólidos solúveis em goiabas tratadas com 1-MCP durante o armazenamento. Segundo os autores, os resultados estão em contraste com os observados por Basseto et al. (2005) os quais não observaram influência do 1-MCP no teor de sólidos solúveis durante o armazenamento. Singh e Pal (2008) justificaram seus resultados com base na variedade da goiaba estudada já que estes analisaram goiabas 'Allhabad Safeda' a qual é considerada típica climatérica e Basseto et al. (2005) goiabas da variedade 'Pedro Sato', que segundo Azzolini et al. (2005) não apresentam padrão de amadurecimento do tipo climatérico.

Os sólidos solúveis são os compostos hidrossolúveis presentes nos frutos, como açúcares, vitaminas, ácidos, aminoácidos algumas pectinas, e geralmente aumentam durante o amadurecimento, pela degradação de polissacarídeos (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

Para frutos do estágio verde-escuro, houve aumento dos teores de sólidos solúveis durante o armazenamento, seguido de diminuição (Tabela 7). Provavelmente, a redução observada indica que os frutos deste estágio entraram em senescência. Nessa fase, além dos ácidos, os açúcares também são consumidos.

Para frutos do estágio verde-claro, não houve mudança significativa no teor de sólidos solúveis ao longo do armazenamento (Tabela 7).

Em goiabas do estágio verde-amarelado, pode-se observar aumento no teor de sólidos solúveis, sendo significativo apenas entre o terceiro e nono dia do armazenamento (Tabela 7). Segundo Jacomino (1999) e Xisto (2002) o teor de sólidos solúveis em goiaba parece não sofrer alterações significativas após a colheita, o que pode ser explicado pelo baixo teor de amido nesta fruta.

Tabela 7 - Parâmetros de qualidade de goiabas 'Pedro Sato' tratadas com etileno e 1-MCP e armazenadas a 22°C e 85% UR durante 9 dias

Estádios de maturação	Tratamento	Ácido ascórbico (mg 100g ⁻¹)	Acidez titulável (% ácido cítrico)	Sólidos solúveis (°Brix)
Verde-escuro (Estádio 1)	Controle	84,04 b	0,70 b	9,4 a
	Etileno	81,47 b	0,62 c	9,2 a
	1-MCP	105,63 a	0,76 a	9,7 a
	Teste F	0,00*	0,00*	0,06
	DMS	11,15	0,31	0,49
	Dia			
	0	104,97	0,82	8,7
	3	90,43 b	0,71 a	9,2 b
	6	76,44 c	0,69 a	10,0 a
	9	104,27 a	0,69 a	9,1 b
	Teste f	0,00*	0,17	0,00*
	DMS	11,15	0,31	0,49
Verde-claro (Estádio 2)	Controle	92,31 a	0,62 b	9,5 a
	Etileno	95,79 a	0,55 c	9,0 a
	1-MCP	101,02 a	0,70 a	9,2 a
	Teste F	0,45	0,00*	0,07
	DMS	16,87	0,27	0,58
	Dia			
	0	95,38	0,74	8,8
	3	96,92 ab	0,66 a	9,0 a
	6	80,26 b	0,61 b	9,3 a
	9	111,93 a	0,61 b	9,4 a
	Teste f	0,00*	0,00*	0,19
	DMS	16,87	0,27	0,58
Verde-amarelado (Estádio 3)	Controle	111,41 a	0,54 b	9,5 a
	Etileno	102,16 a	0,49 c	9,1 a
	1-MCP	112,27 a	0,63 a	9,4 a
	Teste F	0,09	0,00*	0,05
	DMS	12,16	0,25	0,44
	Dia			
	0	114,68	0,70	9,4
	3	116,05 a	0,60 a	9,1 b
	6	99,25 b	0,55 b	9,3 ab
	9	110,54 ab	0,51 c	9,6 a
	Teste f	0,00*	0,00*	0,02*
	DMS	12,16	0,25	0,44

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, para cada estágio de maturação, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Firmeza

A firmeza da polpa de goiabas decresceu ao longo do armazenamento como resultado do amadurecimento (Figura 31).

O tratamento com etileno foi responsável pela maior redução da firmeza dos frutos ($p \leq 0,05$), independente dos estádios de maturação. Enquanto, o tratamento com 1-MCP foi significativamente efetivo no retardo do amolecimento dos frutos ($p \leq 0,05$) (Figura 31), demonstrando que a perda de firmeza em goiabas é dependente da ação do etileno.

Goiabas do estágio verde-escuro (estádio 1) e tratadas com etileno perderam 80% da firmeza inicial, no terceiro dia após o tratamento, enquanto que frutos tratados com 1-MCP, a perda foi de 28% (Figura 31-a). O 1-MCP foi eficiente na redução da firmeza de goiabas desse estágio até o sexto dia de armazenamento ($p \leq 0,05$) (Figura 31-a).

Para goiabas do estágio verde-claro (estádio 2), a maior diferença na firmeza dos frutos, entre os tratamentos, foi observada no terceiro dia de armazenamento ($p \leq 0,05$). Nessa data, o tratamento com etileno foi responsável por 78% da perda de firmeza ($p \leq 0,05$) (Figura 31-b). A firmeza dos frutos desse estágio, tratados com 1-MCP, foi duas vezes maior em relação àqueles tratados com etileno ($p \leq 0,05$) (Figura 31-b).

Em frutos do estágio verde-amarelado (estádio 3), o 1-MCP foi eficiente no retardo da perda da firmeza até seis dias após o tratamento ($p \leq 0,05$) (Figura 31-c).

Para Chitarra, Evangelista e Chitarra (2000) a redução da firmeza é regulada, principalmente, por dois processos enzimáticos: a desesterificação ou remoção de grupos metílicos ou acetil das pectinas pela enzima pectinametilesterase e a despolimerização ou encurtamento das cadeias de pectinas, pela ação da enzima poligalacturonase. Desse modo, a maior firmeza dos frutos tratados com 1-MCP pode estar associada à menor ação do etileno, que indiretamente, influi na redução da atividade dessas enzimas, enquanto que a menor firmeza dos frutos tratados com etileno pode estar correlacionada com o aumento das atividades dessas enzimas, devido a maior ação do etileno, promovendo mais rapidamente a perda de firmeza.

Jacomino et al. (2002) também observaram resultados positivos do 1-MCP na firmeza de mamões, Fan, Blankenship e Mattheis (1999) em maçãs e Jiang, Joyce e Macnish (1999) em bananas.

Figura 31 - Firmeza da polpa de goiaba 'Pedro Sato' tratada com etileno e 1-MCP e armazenada a 22°C e 85% UR. (a) Estádio 1: verde-escuro; (b) Estádio 2: verde-claro; (c) Estádio 3: verde-amarelado. As barras verticais representam o erro padrão da média

Coloração da casca

O ângulo de cor ($^{\circ}$ h), medida indireta da cor da casca, diminuiu gradativamente ao longo do armazenamento para as goiabas dos três estádios de maturação (Figura 32).

Inicialmente (dia 0), o estágio 1, com ângulo de cor 114,59 indicava fruto verde-escuro, o estágio 2, com ângulo de cor de 111,9 indicava fruto verde-claro, e estágio 3, com ângulo de cor 107,87, indicava fruto verde-amarelado (Figura 32).

Goiabas tratadas com etileno tornaram-se amareladas mais rapidamente do que os demais tratamentos, independente dos estádios de maturação ($p \leq 0,05$). Esse resultado pode ser observado já no terceiro dia após os tratamentos ($p \leq 0,05$) (Figura 32).

Do terceiro dia até o final do armazenamento, a redução do ângulo de cor de goiabas tratadas com etileno não diferiu do tratamento controle para os estádios de maturação verde-escuro e verde-amarelado ($p > 0,05$) (Figura 32-a; c). Para goiabas do estágio verde-claro não houve diferença no ângulo de cor apenas no nono dia ($p > 0,05$) (Figura 32-b).

O tratamento com 1-MCP foi eficiente na retenção da cor da casca de goiabas dos três estádios de maturação. As goiabas apresentaram maiores valores de ângulo de cor, em relação aos frutos dos demais tratamentos, até o final do armazenamento ($p \leq 0,05$) (Figura 32). Cerqueira et al. (2009) verificaram que o 1-MCP promoveu a redução da perda da cor verde da casca de goiabas 'Kumagai'.

Segundo Tucker (1993) e Wills et al. (1998) a perda da cor verde é devida à quebra da estrutura da molécula da clorofila, envolvendo a atividade da enzima clorofilase, mudança de pH, de ácidos e do aumento dos processos oxidativos. O aumento da atividade dessa enzima está geralmente associado com a produção e ação do etileno durante o amadurecimento do fruto.

Figura 32 – Coloração da casca (ângulo de cor) de goiaba 'Pedro Sato' tratada com etileno e 1-MCP e armazenada a 22°C e 85% UR. (a) Estádio 1: verde-escuro; (b) Estádio 2: verde-claro; (c) Estádio 3: verde-amarelado. As barras verticais representam o erro padrão da média

Figura 33 - Aparência de goiabas 'Pedro Sato' no estágio verde-escuro (estádio 1) tratadas com etileno e 1-MCP e armazenadas durante 9 dias a 22°C e 85% UR. Controle: (linha a); Etileno: (linha b); 1-MCP (linha c)

Figura 34 - Aparência de goiabas 'Pedro Sato' no estágio verde-claro (estádio 2) tratadas com etileno e 1-MCP e armazenadas durante 9 dias a 22°C e 85% UR. Controle: (linha a); Etileno: (linha b); 1-MCP (linha c)

Figura 35 - Aparência de goiabas 'Pedro Sato' no estágio verde-amarelado (estádio 3) tratadas com etileno e 1-MCP e armazenadas durante 9 dias a 22°C e 85% UR. Controle: (linha a); Etileno: (linha b); 1-MCP (linha c)

Atividade respiratória e produção de etileno

Em goiabas 'Pedro Sato', observou-se aumento gradual na atividade respiratória e na produção de etileno ao longo do armazenamento (Figura 36).

Para goiabas do estágio verde-escuro (estádio 1), o aumento da atividade respiratória foi mais acentuado nos frutos submetidos ao etileno ($p \leq 0,05$), sendo 1,3 vezes maior em relação aos frutos controle ($p \leq 0,05$) e duas vezes maior em relação àqueles tratados com 1-MCP ($p \leq 0,05$) (Figura 36-a).

O 1-MCP reduziu a atividade respiratória das goiabas do estágio 1, em até 1,6 vezes em relação os frutos controle durante o armazenamento ($p \leq 0,05$) (Figura 36-a).

A produção de etileno de goiabas do estágio verde-escuro foi maior naquelas submetidas ao etileno ($p \leq 0,05$). No entanto, o efeito significativo do etileno exógeno foi observado após cinco dias da aplicação do tratamento. No sexto dia, a produção de etileno foi 2,3 e 6,8 vezes maior em relação aos frutos controle e tratados com 1-MCP, respectivamente. No sétimo dia a produção de etileno foi 3,4 vezes maior do que os frutos controle e oito vezes maior, em relação àqueles tratados com 1-MCP ($p \leq 0,05$) (Figura 36-b).

O 1-MCP reduziu a atividade respiratória de goiabas do estágio verde-claro, em até 1,7 vezes, em relação aos demais tratamentos durante o armazenamento ($p \leq 0,05$) (Figura 36-c). Enquanto que o efeito do regulador vegetal na diminuição da produção de etileno dos frutos desse estágio foi significativo ($p \leq 0,05$) a partir do quinto dia da aplicação do 1-MCP (Figura 36-d).

A atividade respiratória e a produção de etileno de goiabas do estágio verde-claro, tratadas com etileno apresentaram o mesmo comportamento dos frutos controle ($p > 0,05$) (Figura 36-c; d). Azzolini et al. (2005) e Cavalini (2008) estudaram o padrão respiratório de goiabas 'Pedro Sato' no estágio verde-claro e, observaram que os frutos não apresentaram qualquer alteração na fisiologia do amadurecimento quando foram submetidos ao etileno.

A resposta dos frutos do estágio verde-amarelado (estádio 3) foi positiva para o tratamento com 1-MCP, pois apresentaram menor atividade respiratória desde o início do armazenamento ($p \leq 0,05$) (Figura 36-e). O efeito do 1-MCP na diminuição da produção de etileno dos frutos do estágio verde-amarelado foi significativo ($p \leq 0,05$) a partir do quinto dia da aplicação do 1-MCP (Figura 36-f).

De acordo com os resultados obtidos nesse trabalho, apenas em goiabas do estágio verde-escuro, o etileno exógeno teve efeito na produção de etileno, em relação aos demais tratamentos. Provavelmente, esse resultado possa explicar a redução da vida útil dos frutos tratados com etileno de forma mais acentuada (Figura 36-a; b). Reyes e Paull (1995) observaram que goiabas 'Beaumont' no estágio verde-imaturo responderam à aplicação de etileno acelerando o processo de amadurecimento.

A maior produção de etileno de goiabas nos três estádios de maturação foi observada apartir do quinto dia após a aplicação do etileno, ou seja, já no final do armazenamento, quando as goiabas apresentavam-se totalmente amarelas.

Possivelmente, a resposta negativa dos frutos dos estádios 2 e 3 ao etileno exógeno seja devido ao estágio de maturação, pois o etileno pode exercer regulação por *feedback* positiva ou negativa em sua própria biossíntese, dependendo do tecido, órgão ou estágio de desenvolvimento (YANG, 1985).

Segundo Oetiker e Yang (1995) foram observados dois diferentes padrões de produção de etileno baseado na resposta à aplicação de etileno exógeno. De acordo com Barry, Llop-Tous e Grierson (2000), o sistema 1 de produção de etileno é encontrado em tecidos vegetativos, frutos não-climatéricos e frutos no estágio do pré-climatério onde a taxa de produção de etileno é baixa e inibida por etileno exógeno. O sistema 2 do etileno é produzido durante o amadurecimento de frutos climatéricos e senescência floral onde a taxa de produção de etileno é aumentada e pode ser estimulada por etileno exógeno. De acordo com essas afirmações e com o resultado obtido nesse trabalho, possivelmente, houve regulação por *feedback* negativa na produção de etileno e, que níveis basais do sistema 1 de produção de etileno, foi suficiente para o continuação dos processos de amadurecimento dos frutos.

Foi observada incidência de podridão em goiabas tratadas com etileno após sete dias da aplicação do hormônio. O 1-MCP foi altamente eficiente na redução de podridões e, a vida útil dos frutos com 1-MCP foi mantida, por no mínimo, 10 dias a 22°C. Singh e Pal (2008) observaram incidência mínima de podridões em goiabas tratadas com 1-MCP.

Figura 36 - Atividade respiratória ($\text{mL CO}_2 \text{ Kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) e produção de etileno ($\mu\text{L C}_2\text{H}_4 \text{ Kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) de goiabas 'Pedro Sato', em três estádios de maturação, submetidas à aplicação de etileno e de 1-MCP. Estádio 1: verde-escuro (a;b); Estádio 2: verde-claro (c;d); Estádio 3: verde-amarelado (e,f). As barras verticais representam o erro padrão da média

Atividade da ACC oxidase de goiaba 'Pedro Sato' submetidos ao etileno e ao 1-metilciclopropeno (1-MCP)

Goiabas do estágio de maturação verde-escuro responderam à aplicação de etileno com o aumento da atividade da ACC oxidase logo após o tratamento. A maior atividade enzimática foi observada três dias após os tratamentos, sendo, aproximadamente, 10 vezes maior em relação à atividade dos frutos submetidos ao 1-MCP e frutos controle ($p \leq 0,05$) (Figura 37-a). Se correlacionado com a produção de etileno dos frutos do estágio verde-escuro, o etileno exógeno foi responsável pela maior produção de etileno, a partir do quarto dia de armazenamento ($p \leq 0,05$) (Figura 35-a).

O 1-MCP foi mais efetivo na redução da atividade da ACC oxidase dos frutos verdes-escuros, bem como, a maior atividade enzimática foi observada como resultado da aplicação do etileno (Figura 37-a).

Para os frutos dos estádios de maturação verde-claro (Figura 37-b) e verde-amarelado (Figura 37-c), os tratamentos não influenciaram ($p > 0,05$) na atividade da ACC oxidase.

Mondal et al. (2008) verificaram que a evolução do etileno e a atividade da ACC oxidase são altas em goiabas do estágio de maturação menos avançados e baixas em estádios de maturação mais avançados. Além disso, os autores verificaram que a concentração de ACC aumentou progressivamente durante o amadurecimento do fruto, e sugeriram que a ACC oxidase é fator limitante para a biossíntese do etileno.

De acordo com Yang e Hoffman (1984) e Hoffman e Yang (1980) a ACC oxidase está ligada a integridade da membrana, e Mondal et al. (2008) verificaram em goiabas, que a perda da atividade da ACC oxidase em frutos de estádios de maturação mais avançados pode estar correlacionada a atividade da membrana, indicado pelo aumento do estresse oxidativo evidenciado pela atividade de lipoxigenases, resultando na deterioração das membranas e consequentemente na perda da atividade da ACC oxidase.

Considerando a hipótese da ACC oxidase ser uma enzima ligada as membranas celulares e, de acordo com os resultados obtidos nesse trabalho, o fato de o 1-MCP e o etileno exógeno não influenciarem significativamente na atividade da ACC oxidase dos frutos nos estádios de maturação verde-claro e verde-

amarelado, pode estar relacionado com a integridade da membrana desses frutos, e/ou a um possível estresse provocado pelos tratamentos (Figura 37-b ;c).

Figura 37 - Atividade da ACC oxidase ($\mu\text{L C}_2\text{H}_4 \text{ Kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) de goiabas 'Pedro Sato', nos estádios de maturação, verde-escuro (a), verde-claro (b) e verde-amarelado (c)

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Maracujá-amarelo

Não foi observado climatério para CO₂ durante o amadurecimento de maracujás ligados às plantas. O aumento da concentração endógena de CO₂ foi observado nos frutos que sofreram abscisão natural e nos frutos que foram colhidos nos estádios de maturação totalmente verde, predominantemente verde, verde-amarelo, predominantemente amarelo e totalmente amarelo.

Maracujás que amadureceram na planta e sofreram abscisão natural mostraram aumento da concentração endógena de etileno dias antes da abscisão dos frutos. A concentração endógena de etileno foi baixa enquanto os frutos estavam ligados às plantas.

Maracujás predominantemente verdes e verdes-amarelos responderam positivamente à aplicação de 1-MCP como retardador do amadurecimento, com manutenção da qualidade, redução da atividade respiratória e diminuição da atividade da ACC oxidase. A diminuição da produção de etileno foi observada em frutos predominantemente verdes. Maracujás responderam ao etileno exógeno pela influência na qualidade e apresentaram maior atividade enzimática, principalmente em frutos predominantemente verdes. Para maracujás verdes-amarelos, o etileno não influenciou na atividade respiratória e na produção de etileno.

Goiaba 'Pedro Sato'

Não foi observado climatério para CO₂ durante o amadurecimento de goiabas ligadas às plantas. O aumento da concentração endógena de CO₂ foi observado apenas após a colheita dos frutos.

A concentração endógena de etileno foi baixa enquanto os frutos estavam ligados às plantas. Houve aumento da concentração endógena de etileno somente após a colheita dos frutos

Goiabas do estágio de maturação verde-escuro responderam à aplicação do etileno pelo aumento da atividade respiratória, da produção de etileno e da atividade da ACC oxidase. Além disso, a aplicação de etileno também influenciou na qualidade física e química, evidenciado pelo amadurecimento mais rápido dos frutos. Goiabas responderam positivamente ao 1-MCP, como retardador do amadurecimento, e na redução da atividade da ACC oxidase.

REFERÊNCIAS

ABELES, F.B. Phytoogerontological effects of ethylene. In: ABELES, F.B., MORGAN, P.W., SALTVEIT, M.E. JR. **Ethylene in plant biology**. New York; London: Academic Press, 1963. p. 163-164.

ABELES, F.B.; MORGAN, P.W.; SALTVEIT, M.E. JR. **Ethylene in plant biology**. San Diego: Academic Press, 1992. 414 p.

AKAMINE, E.K.; GOO, T. Respiration and ethylene production in fruits of species and cultivars of *Psidium* and species of *Eugenia*. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 104, n. 5, p. 632-635, 1979.

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

ALVES, F.L. A cultura do mamão *Carica papaya* no mundo, no Brasil e no estado do Espírito Santo. In: MARTINS, D.S.; COSTA, A.F. da. (Ed.). **Tecnologia de produção**. Vitória: Incaper, 2003. cap. 1, p. 11-34.

AN, J.; PAULL, R.E. Storage temperature and ethylene influence on ripening of papaya fruit. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 115, p. 949-953, 1990.

ANDREWS, J. The climacteric respiration rise in attached and detached tomato fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 6, p. 287-292, 1995.

ARGENTA, C.L. Impacto do 1-MCP (1-metilciclopropeno) sobre a conservação da qualidade de maçãs e pêras. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE FRUTICULTURA DE CLIMA TEMPERADO, 3., 2000, Fraiburgo. **Anais...** Fraiburgo, 2000. p. 129-133.

ATTA-ALY, M.; BRECHT, J.K.; HUBER, D.J. Ethylene feedback mechanisms in tomato and strawberry fruit tissues in relation to fruit ripening and climacteric patterns. **Postharvest Biology and Technology**, New York, v. 20, p. 151-162, 2000.

AZZOLINI, M.; JACOMINO, A.P.; BRON, I.U. Índices para avaliar qualidade pós-colheita de goiabas em diferentes estádios de maturação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, p. 139-145, 2004.

AZZOLINI, M.; JACOMINO, A.P.; BRON, I.U.; KLUGE, R.A.; SCHIAVINATO, M.A. Ripening of 'Pedro Sato' guava: study on its climacteric or non-climacteric nature. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 17, p. 299-306, 2005.

BARGEL, H.; NEINHUIS, C. Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) fruit growth and ripening as related to the biomechanical properties of fruit skin and isolated cuticle. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 56, p. 1049-1060, 2005.

BARRY, C.S.; GIOVANNONI, J.J. Ethylene and fruit ripening. **Journal of Plant Growth Regulation**, New York, v. 26, p. 143-159, 2007.

BARRY, C.S.; LLOP-TOUS, M.I.; GRIERSON, D. The regulation of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid synthase gene expression during the transition from system-1 to system-2 ethylene synthesis in tomato. **Plant Physiology**, Rockville, v. 123, p. 979-986, 2000.

BASSETTO, E.; JACOMINO, A.P.; PINHEIRO, A.L.; KLUGE, R.A. Delay of ripening of 'Pedro Sato' guava with 1- methylcyclopropene, **Postharvest Biology and Technology**, Wageningen, v. 35, p. 303-308, 2005.

BEN-CHEIKH, W.; PEREZ-BOTELLA, J.; TADEO, F.R.; TALON, M.; PRIMO MILLO, E. Pollination increases gibberellin levels in developing ovaries of seeded varieties of citrus. **Plant Physiology**, Rockville, v. 114, p. 557-564, 1997.

BEYER JR, E.M.; MORGAN, P.W. The role of ethylene modification of auxin transport. **Plant Physiology**, Rockville, v. 48, p. 208-212, 1971.

BIALE, J.B. Growth, maturation and senescence in fruits. **Science**, Washington, v. 146, p. 880-888, 1964.

BIALE, J.B.; BARCUS, D.E. Respiratory patterns in tropical fruits of the Amazon Basin. **Tropical Science**, London, v. 12, p. 93-104, 1970.

BIALE, J.B.; YOUNG, R.E. Respiration and ripening in fruits-retrospective and prospect. In: FRIEND, J.; RHODES, M.J.C. (Ed.). **Recent advances in the biochemistry of fruits and vegetables**. New York: Academic Press, 1981. p. 1-39.

BIALE, J.B.; YOUNG, R.E.; OLMSTEAD, A.J. Fruit respiration and ethylene production. **Plant Physiology**, Rockville, v. 29, p. 168-174, 1954.

BLANKENSHIP, S.M.; DOLE, J.M. 1-Methylcyclopropene: a review. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 28, p. 1-25, 2003.

BLANKE, M.M.; LENZ, F. Fruit photosynthesis. **Plant Cell Environment**, Nottingham, v. 12, p. 31-46, 1989.

BLEINROTH, E.W. Determinação do ponto de colheita das frutas. In: INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS. **Tecnologia de pós-colheita de frutas tropicais**. Campinas: ITAL, 1988. cap. 1, p. 1-17.

BOUZAYEN, M.; LATCHÉ, A.; NATH, P.; PECH, J.C. Mechanism of fruit ripening. In: PUA, E.C; DAVEY, M.R. (Ed). **Plant developmental biology: biotechnological perspectives**. Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag, 2010. v. 1, chap. 16, p. 319-339.

BOWER, J.; HOLFORD, P.; LATCHÉ, A.; PECH, J.C. Culture conditions and detachment of the fruit influence the effect of ethylene on the climacteric respiration of melon. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 26, p. 135-146, 2002.

BRADY, C.J. Fruit ripening. **Annual Review of Plant Physiology**, Stanford, v. 38, p. 155-179, 1987.

BRODY, A.L. **Envasado de alimentos en atmosferas controladas, modifi cadas y a vacío**. Zaragoza: Acribia, 1996. 220 p.

BRON, I.U. **Amadurecimento do mamão 'Golden': ponto de colheita, bloqueio da ação do etileno e armazenamento refrigerado**. 2006. 66 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

BROWN, B.I.; WILLS, R.B.H. Postharvest changes in guava fruit of different maturing. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 19, p. 237-243, 1983.

BROWN, K.M. Ethylene and abscission. **Physiologia Plantarum**, Kobenhavn, v. 100, p. 567-576, 1997.

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

BURG, S.P.; BURG, E.A. Role of ethylene in fruit ripening. **Plant Physiology**, Rockville, v. 37, p. 179-189, 1962.

_____. Evidence for a natural occurring inhibition of fruit ripening. **Plant Physiology**, Rockville, suppl. 39, suplemento 10, 1964.

_____. Ethylene action and the ripening of fruits. **Science**, Washington, v. 148, p. 1190–1196, 1965a.

_____. Relationship between ethylene production and ripening in bananas. **Botanical Gazette**, Chicago, v. 126, p. 200-204, 1965b.

CAMPOS, A.J.; MANOEL, L.; DAMATTO JÚNIOR, E.R.; VIEITES, R.L.; LEONEL, S.; EVANGELISTA, R.M. Tratamento hidrotérmico na manutenção da qualidade pós-colheita de maracujá-amarelo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 27, p. 383-385, 2005.

CARVALHO, C.R.L.; MANTOVANI, D.M.B.; CARVALHO, P.R.N.; MORAES, R.M.M. **Análises químicas de alimentos**. Campinas: ITAL, 1990. 121 p.

CAVALINI, F.C. **Índices de maturação, ponto de colheita e padrão respiratório de goiabas 'Kumagai' e 'Paluma'**. 2004. 69 p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia e Bioquímica de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

_____. **Fisiologia do amadurecimento, senescência e comportamento respiratório de goiabas 'Kumagai' e 'Pedro Sato'**. 2008. 90 p. Tese (Doutorado em Fisiologia e Bioquímica de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

CERQUEIRA, F.O.S.; RESENDE, E.D.; MARTINS, D.R.; SANTOS, J.L.V.; CENCI, S.A. Quality of yellow passion fruit stored under refrigeration and controlled atmosphere. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 31, p. 534-540, 2011.

CERQUEIRA, T.S.; JACOMINO, A.P.; SASAKI, F.F.; AMORIM, L. Controle do Amadurecimento de goiabas 'Kumagai' tratadas com 1-Metilciclopropeno. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 31, p. 687-692, 2009.

CHANG, C.; KWOK, S.F.; BLEECKER, A.B.; MEYEROWITZ, E.M. Arabidopsis ethylene-response gene ETR1: similarity of product to two component regulators. **Science**, Washington, v. 262, p. 539–544, 1993.

CHITARRA, A.B.; EVANGELISTA, R.M.; CHITARRA, M.I.F. Influência da aplicação pré-colheita de cálcio na textura e na atividade das enzimas poligalacturonase, pectinametilesterase e bgalactosidase de mangas Tommy Atkins armazenadas sob refrigeração. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 24, p. 174-181, 2000.

CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A.B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças**: fisiologia e manuseio. Lavras: ESAL; FAEPE, 2005. 783 p.

COELHO, A.A.; CENCI, S.A.; RESENDE, E.D. de. Qualidade do suco de maracujá-amarelo em diferentes pontos de colheita e após o amadurecimento. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, p. 722-729, 2010.

COMPANHIA DE ENTREPOSTOS E ARMAZÉNS GERAIS DE SÃO PAULO. **Classificação do maracujá**: programa brasileiro para a melhoria dos padrões comerciais e embalagens de hortigranjeiros. São Paulo: Centro de Qualidade em Horticultura, 2001. 2 p.

DURIGAN, J.F. Colheita e conservação pós-colheita. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE A CULTURA DO MARACUJAZEIRO. 5., 1998, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: FUNEP, 1998.

ESTEVES, M.T.C.; CARVALHO, V.D. de; CHITARRA, M.F.I.; CHITARRA, A.B.; PAULA, M.B. de. Caracterização dos frutos de seis cultivares de goiabeira (*Psidium guajava* L.) na maturação. I. – Determinações físicas e químicas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 7., 1983, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: SBF, 1984. v. 2, p. 477-489.

EZURA, H.; HIWASA-TANASE, K. Fruit development. In: PUA, E.C; DAVEY, M.R. (Ed.). **Plant developmental biology**: biotechnological perspectives. Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag, 2010. v. 1, chap. 15, p. 301-318.

FAN, X.; ARGENTA, L.C.; MATTHEIS, J.P. Inhibition of ethylene action by 1-methylcyclopropene prolongs storage life of apricots. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 20, p. 135-142, 2000.

FAN, X.; BLANKENSHIP, S.M.; MATTHEIS, J.P. 1-Methylcyclopropene inhibits apple ripening. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 124, p. 690-695, 1999.

FENG, X.; APELBAUM, A.; SISLER, E.C.; GOREN, R. Control of ethylene responses in avocado fruit with 1-methylcyclopropene. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 20, p. 143-150, 2000.

FNP CONSULTORIA E COMÉRCIO. **Agrianual 2012**: anuário estatístico da agricultura brasileira. São Paulo, 2012. 482 p.

GALHO, A.S.; LOPES, N.F.; BACARIN, M.A.; LIMA, M.G.S. Composição química e respiração de crescimento em frutos de *Psidium cattleianum* Sabine durante o ciclo de desenvolvimento. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 29, p. 61-66, 2007.

GAZIT, S.; BLUMENFELD, A. Response of mature avocado fruits to ethylene treatments before and after harvest. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 95, p. 229–231, 1970.

GIOVANNONI, J. Molecular biology of fruit maturation and ripening. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 52, p. 725-749, 2001.

GOLDING, J.B.; SHEARER, D.; WYLLIE, S.G.; McGLASSON, W.B. Application of 1-MCP and propylene to identify ethylene-dependent ripening processes in mature banana fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 14, p. 87-98, 1998.

GOLDSCHMIDT, E.E. Ripening of citrus and other non-climateric fruits: a role for ethylene. **Acta Horticulturae**, Leuven, n. 463, p. 325-334, 1997.

GOLDSCHMIDT, E.E.; HUBERMAN, M.; GOREN, R. Probing the role of endogenous ethylene in degreening of citrus-fruit with ethylene antagonists. **Journal Plant Growth Regulation**, New York, v. 12, p. 325–329, 1993.

GOMEZ-CADENAS, A.; MEHOUACHI, J.; TADEO, F.R.; PRIMO-MILLO, E.; TALON, M. Hormonal regulation of fruitlet abscission induced by carbohydrate shortage in citrus. **Planta**, Berlin, v. 210, p. 636-643, 2000.

GORTNER, W.A.; DULL, G.G.; KRAUSS, B.H. Fruit development, maturation, ripening and senescence: a biochemical basis for horticultural terminology. **Hortscience**, Alexandria, v. 2, p. 141-144, 1967.

GRIERSON, D. Manipulation of fruit ripening by genetic modification. In: LINDSEY, K. **Transgenic plant research**. Durham: CRC Press, 1998. p. 109-124.

HADFIELD, K.A.; ROSE, J.K.C.; BENNETT, A.B. The respiratory climacteric is present in Charentais (*Cucumis melo* cv. Reticulatus F1 Alpha) melons ripened on or off the plant. **Journal of Experimental Botany**, London, v. 46, p. 1923-1925, 1995.

HAGENMAIER, R.D. A comparison of ethane, ethylene and CO₂ peel permeance for fruits with different coatings. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 37, p. 56-64, 2005.

HARRIS, D.R.; SEBERRY, J.A.; WILLS, R.B.H.; SPOHR, L.J. Effect of fruit maturity on efficiency of 1-methylcyclopropene to delay the ripening of bananas. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 20, p. 303-308, 2000.

HO, Q.T.; VERLINDEN, B.E.; VERBOVEN, P.; NICOLAÏ, B.M. Gas diffusion properties at different positions in the pear. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 41, p. 113-120, 2006.

HOFFMAN, N.E.; YANG, S.F. Changes of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid content in ripening fruits in relation to their ethylene production rates. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 105, p. 492-495, 1980.

JACOMINO, A.P. **Conservação de goiabas 'Kumagai' em diferentes temperaturas e materiais de embalagem**. 1999. 90 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

JACOMINO, A.P.; KLUGE, R.A.; BRACKMANN, A.; CASTRO, P.R.C. Amadurecimento e senescência de mamão com 1-metilciclopropeno. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, p. 303-308, 2002.

JEONG, J.; HUBER, D.J.; SARGENT, S.A. Influence of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on ripening and cell-wall matrix polysaccharides of avocado (*Persea americana*) fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 25, p. 241-256, 2002.

JIANG, T.M.; WANG, P.; YIN, X.R.; ZHANG, B.; XU, C.J.; LI, X.; CHEN, K.S. Ethylene biosynthesis and expression of related genes in loquat fruit at different developmental and ripening stages. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 130, p. 452-458, 2011.

JIANG, Y.; JOYCE, D.C.; MACNISH, A.J. Extension of the shelf life of banana fruit by 1: methylcyclopropene in combination with polyethylene bags. **Postharvest Biology and Technology**, New York, v. 16, p. 187-193, 1999.

JUNQUEIRA, N.T.V.; VERAS, M.C.M.; NASCIMENTO, A.C.; CHAVES, R.C.; MATOS, A.P.; JUNQUEIRA, K.P. **A importância da polinização manual para aumentar a produtividade do maracujazeiro**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001. 18 p.

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

KADER, A.A.; SALTVEIT, M.E. Atmosphere modification. In: BARTZ, J.A.; BRECHT, J.K. (Ed.). **Postharvest physiology and pathology of vegetables**. New York: Marcel Dekker, 2003a. p. 229-246.

_____. Respiration and gas exchange. In: BARTZ, J.A.; BRECHT, J.K. (Ed.). **Postharvest physiology and pathology of vegetables**. New York: Marcel Dekker, 2003b. p. 7-29.

KAYS, S.J. **Postharvest physiology of perishable plant products**. New York: AVI, 1991. 530 p.

KAYS, S.J.; PAULL, R.E. **Postharvest biology**. Athens: Exxon Press, 2004. 568 p.

KENDE, H. Ethylene biosynthesis. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 44, p. 283-307, 1993.

KLEE, H.J. Ethylene signal transduction. Moving beyond Arabidopsis. **Plant Physiology**, Rockville, v. 135, p. 660-667, 2004.

KLUGE, R.A.; JACOMINO, A.P.; OJEDA, R.M.; BRACKMANN, A. Inibição do amadurecimento de abacate com 1-metilciclopropeno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, p. 895-901, 2002.

KNEE, M. Evaluating the practical significance of ethylene in fruit storage. In: ROBERTS, J.A.; TUCKER, G.A. **Ethylene and plant development**. London: Butterworths, 1985. p. 297-315.

_____. Do tomatoes on the plant behave as climacteric fruits? **Physiologia plantarum**, Copenhagen, v. 95, p. 211-216, 1995.

KNEE, M.; SARGENT, J.A.; OSBORNE, D.J. Cell wall metabolism in developing strawberry fruit. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 28, p. 377-396, 1977.

KU, V.V.V., WILLS, R.B.H., BEN-YEHOSHUA, S. 1-Methylcyclopropene can differentially affect the postharvest life of strawberries exposed to ethylene. **HortScience**, Alexandria, v. 34, p. 119-120, 1999.

LALEL, H.J.D.; SINGH, Z.; TAN, S.C. Maturity stage at harvest affects fruit ripening, quality and biosynthesis of aroma volatile compounds in 'Kensington Pride' mango. **Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, Kent, v. 78, p. 225-233, 2003.

LARRIGAUDIÈRE, C.; GUILLEN, P.; VENDRELL, M. Harvest maturity related changes in the content of endogenous phytohormones and quality parameters of melon. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 6, p. 73-80, 1995.

LATIES, G.G.; KIDD, F.; WEST, C.; BLACKMAN, F.F. The start of modern postharvest physiology. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 5, p. 1-10, 1995.

LELIÈVRE, J.M.; LATCHÉ, A.; JONES, B.; BOUZAYEN, M.; PECH, J.C. Ethylene and fruit ripening. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 101, p. 727-739, 1997.

LIEBERMAN, M.; KUNISHI, A.T. Thoughts on the role of ethylene in plant growth and development. In: CARR, D.J. **Plant growth substance**. Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag, 1972. p. 549-560.

LIMA, A.A. **Maracujá produção**: aspectos técnicos. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura; Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002. 103 p. (Frutas do Brasil, 15).

LINCOLN, J.E.; CAMPBELL, A.D.; OETIKER, J.; ROTTMANN, W.H.; OELLER, P.W.; SHEN, N.F.; THEOLOGIS, A. Le-Acs4, a fruit ripening and wound-induced 1-aminocyclopropane-1-carboxylate synthase gene of tomato (*Lycopersicon esculentum*): expression in *Escherichia coli*, structural characterization, expression characteristics, and phylogenetic analysis. **Journal of Biological Chemistry**, Baltimore, v. 268, p. 19422-19430, 1993.

LIU, Y.; HOFFMAN, N.E.; YANG, S.F. Promotion by ethylene of the capability to convert 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid to ethylene in preclimacteric tomato and cantaloupe fruits. **Plant Physiology**, Rockville, v. 77, p. 407-411, 1985.

LLOP-TOUS, I.; BARRY, C.S.; GRIERSON, D. Regulation of ethylene biosynthesis in response to pollination in tomato flowers. **Plant Physiology**, Rockville, v. 123, p. 971-978, 2000.

LOHANI, S.; TRIVEDI, P.K.; NATH, P. Changes in activities of cell wall hydrolases during ethylene-induced ripening in banana: effect of 1-MCP, ABA and IAA. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 31, p. 119-126, 2004.

LUDFORD, P.M. Hormonal changes during postharvest. In: BARTZ, J.A.; BRECHT, J.K. (Ed.). **Postharvest physiology and pathology of vegetables**. New York: Marcel Dekker, 2003. p. 31-78.

LYONS, J.M.; PRATT, H.K. Effect of stage of maturity and ethylene treatment on respiration and ripening of tomato fruits. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 84, p. 491-499, 1964.

MARCHI, R.; MONTEIRO, M.; BENATO, E.A.; SILVA, C.A.R. Uso da cor da casca como indicador de qualidade do maracujá amarelo (*Passiflora edulis* Sims. f. *flavicarpa* Deg.) destinado à industrialização. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 20, p. 381-387, 2000.

MATHOOKO, F.M.; TSUNASHIMA, Y.; KUBO, Y.; INABA, A. Expression of a 1-aminocyclopropane-1-carboxylate (ACC) oxidase gene in peach (*Prunus persica* L.) fruit in response to treatment with carbon dioxide and 1-methylcyclopropene: possible role of ethylene. **African Journal of Biotechnology**, Nairobi, v. 3, p. 497-502, 2004.

MATHOOKO, F.M.; TSUNASHIMA, Y.; OWINO, W.Z.O.; KUBO, Y.; INABA, A. Regulation of genes encoding ethylene biosynthetic enzymes in peach (*Prunus persica* L.) fruit by carbon dioxide and 1-methylcyclopropene. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 21, p. 265-281, 2001.

MATTOO, A.K.; SUTTLE, J.C. **The plant hormone ethylene**. Boca Raton: CRC Press, 1991. 337 p.

McMURCHIE, E.J.; McGLASSON, W.B.; EAKS, I.L. Treatment of fruit with propylene gives information about biogenesis of ethylene. **Nature**, London, v. 237, p. 235–236, 1972.

MELETTI, L.M.M.; BRÜCKNER, C.H. Melhoramento genético. In: BRÜCKNER, C.H.; PICANÇO, M.C. **Maracujá: tecnologia de produção, pós-colheita, agroindústria e mercado**. Porto Alegre: Cinco Continentes, 2001. p. 345-385.

MENDOZA, F.; VERBOVEN, P.; MEBATSION, H.K.; KERCKHOFS, G.; WEVERS, M.; NICOLAÏ, B.M. Three-dimensional pore space quantification of apple tissue using X-ray computed microtomography. **Planta**, Berlin, v. 226, p. 559-570, 2007.

MERCADO-SILVA, E.; BAUTISTA, P.B.; GARCIA-VELASCO, M.A. Fruit development, harvest index ripening changes of guavas produced in central Mexico. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 13, p. 143-150, 1998.

MICCOLIS, V.; SALTVEIT JR., M.E. Morphological and physiological changes during fruit growth and maturation of seven melon cultivars. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 116, p. 1025-1029, 1991.

MITA, S.; KAWAMURA, S.; ASAI, T. Regulation of the expression of a putative ethylene receptor, PeERS2, during the development of passion fruit (*Passiflora edulis*). **Physiologia Plantarum**, Kobenhavn, v. 14, p. 271-280, 2002.

MITA, S.; KAWAMURA, S.; YAMAWAKI, K.; NAKAMURA, K.; HYODO, H. Differential expression of genes involved in the biosynthesis and perception of ethylene during ripening of passion fruit (*Passiflora edulis* Sims). **Plant and Cell Physiology**, Tokyo, v. 39, p. 1209-1217, 1998.

MONDAL, K.; SINGH, A.P.; SAXENA, N.; MALHOTRA, S.P.; DHWAN, K.; SINGH, R. Possible interactions of polyamines and ethylene during ripening of guava (*Psidium guajava*) fruits. **Journal of Food Biochemistry**, Westport, v. 32, p. 46-59, 2008.

MOYA-LEON, M.A.; JOHN, P. Activity of 1-aminocyclopropane-1-carboxylate (ACC) oxidase (ethylene-forming enzyme) in the pulp and peel of ripening bananas. **The Journal of Horticultural Science**, London, v. 69, p. 243-250, 1994.

NAKATSUKA, A.; MURACHI, S.; OKUNISHI, H.; SHIOMI, S.; NAKANO, R.; KUBO, Y.; INABA, A. Differential expression and internal feedback regulation of l-aminocyclopropane-l-carboxylate synthase, 1-aminocyclopropane-l-carboxylate oxidase and ethylene receptor genes in tomato fruit during development and ripening. **Plant Physiology**, Rockville, v. 118, p. 1295-1305, 1998.

OBANDO, J.; MIRANDA, C.; JOWKAR, M.M.; MORENO, E.; SOURI, M.K.; MARTINEZ, I.A.; ARUS, P.; GARCIA-MAS, J.; MONFORTE, A.J.; FERNANDEZ-TRUJILLO, J.P. Creating climacteric melon fruit from non-climacteric parentals: postharvest quality implications. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PLANT HORMONE ETHYLENE, 2007, Dordrecht. **Advances in plant ethylene research: proceedings...** Dordrecht: Kluwer, 2007. p. 197-205.

OETIKER, J.H.; YANG, S.F. The role of ethylene in fruit ripening. **Acta Horticulturae**, Wellington, n. 398, p. 167-178, 1995.

PAUL, V.; SRIVASTAVA, G.C. Role of surface morphology in determining the ripening behaviour of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) fruits. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 110, p. 84-92, 2006.

PAUL, V.; MALIK, S.K.; SRIVASTAVA, G.C. Intervarietal differences in the surface morphology and anatomy of mango (*Mangifera indica* L.) fruits. **Phytomorphology**, New Delhi, v. 57, p. 211-220, 2007.

PAUL, V.; PANDEY, R.; SRIVASTAVA, G.C. The fading distinctions between classical patterns of ripening in climacteric and non-climacteric fruit and the ubiquity of ethylene - An overview. **Journal of Food Science and Technology**, Mysore, v. 49, p. 1-21, 2012.

PAULL, R.E. Pineapple and papaya. In: SEYMOUR, G.B.; TAYLOR, J.E.; TUCKER, G.A. (Ed.). **Biochemistry of fruit ripening**. London: Chapman & Hall, 1993. p. 291-323.

PEREIRA, F.M. **Cultura da goiabeira**. Jaboticabal: FUNEP, 1995. 47 p.

PEREIRA, W.S.P.; BELTRAN, A. Mecanismo de ação e uso do 1-MCP - bloqueador de etileno, visando prolongar a vida útil das frutas. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Manejo integrado: fruteiras tropicais - doenças e pragas**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2002. p. 31-44.

POCASANGRE ENAMORADO, H.E.; FINGER, F.L.; BARROS, R.S.; PUSCHMANN, R. Development and ripening of yellow passion fruit. **Journal of Horticultural Science**, Ashford, v. 70, p. 573-576, 1995.

PORAT, R.; WEISS, B.; COHEN, L.; DAUS, A.; GOREN, R.; DROBY, S. Effects of ethylene and 1- methylcyclopropene on the postharvest quatilities of 'Shamouti' orange. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 15, p. 155-163, 1999.

PRATT, H.K.; GOESCHL, J.D. Physiological roles of ethylene in plants. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 20, p. 541-584, 1969.

RATHORE, D.S. Effect of season in the growth and chemical composition of guava fruits. **Journal of Horticultural Science**, London, v. 51, p. 41-47, 1976.

REYES, M.U.; PAULL, R.E. Effect of storage temperature and ethylene treatment on guava (*Psidium guajava* L.) fruit ripening. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 6, p. 365-370, 1995.

RHODES, M.J.C. The climateric and ripening of fruits. In: HULME, A.C. (Ed.). **The biochemistry of fruits and their products**. London: Academic Press, 1970. p. 521-533.

_____. The maturation and ripening of fruits. In: THIMANN, K.V.; ADELMAN, R.C.; ROTH, G.S. (Ed.). **Senescence in plants**. Boca Raton: CRC Press, 1980. chap. 8, p. 157-205.

RIOV, J.; YANG, S.F. Autoinhibition of ethylene production in citrus peel discs. **Plant Physiology**, Rockville, v. 69, p. 687-690, 1982.

SALOMÃO, L.C.C. **Maracujá: pós-colheita**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002. 51 p. (Frutas do Brasil, 23).

SALTVEIT, M.E. Jr. Internal carbon dioxide and ethylene levels in ripening tomato fruit attached to or detached from the plant. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 89, p. 204-210, 1993.

_____. Effect of ethylene on quality of fresh fruit and vegetables. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 15, p. 279-292, 1999.

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

SAWAMURA, M.; KNEGT, E.; BRUINSMA, J. Levels of endogenous ethylene, carbon dioxide, and soluble pectin, and activities of pectin methylesterase and polygalacturonase in ripening tomato fruits. **Plant and Cell Physiology**, Tokyo, v. 19, p. 1061-1069, 1978.

SEREK, M.; SISLER, E.C.; REID, M.S. 1-methylcyclopropene, a novel gaseous inhibitor of ethylene action, improves the life of fruit, cut flowers and potted plants. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n. 394, p. 337-345, 1995.

SFAKIOTAKIS, E.M.; DILLEY, D.R. Internal ethylene concentrations in apple fruits attached to or detached from the tree. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 98, p. 501-503, 1973.

SHELLIE, K.C.; SALTVEIT Jr., M.E. The lack of a respiratory rise in muskmelon fruit ripening on the plant challenges the definition of climacteric behavior. **Journal of Experimental Botany**, London, v. 44, p. 1403-1406, 1993.

SHIOMI, S.; WAMOCHO, L.S.; AGONG, S.G. Ripening characteristics of purple passion fruit on and off the vine. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 7, p. 161-170, 1996.

SINGH, S.P.; PAL, R.K. Response of climacteric-type guava (*Psidium guajava* L.) to postharvest treatment with 1-MCP. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 47, p. 307-314, 2008.

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

SITRIT, Y.; RIOV, J.; BLUMENFELD, A. Regulation of ethylene biosynthesis in avocado fruit during ripening. **Plant Physiology**, Rockville, v. 81, p. 130-135, 1986.

SMIRNOFF, N.; CONKLIN, P.; LOEWUS, F.A. Biosynthesis of ascorbic acid in plants: a renaissance. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 52, p. 437-467, 2001.

SOLOMOS, T. Principles of gas exchange in bulky plant tissue. **HortScience**, Alexandria, v. 22, p. 766-771, 1987.

STEWART, I.; WHEATON, T.A. Carotenoids in citrus: their accumulation induced by ethylene. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, Washington, v. 20, p. 448-449, 1972.

SUGIURA, H.; SAKAMOTO, D.; SUGIURA, T.; ASAKURA, T.; MORIGUCHI, T. Sap flow measurement in Japanese pear using the Granier method. **Journal of Agricultural Meteorology**, Tokyo, v. 65, p. 83-88, 2009.

SUN, N.; ADACHI, F.; KADOWAKI, M.; NAKATSUKA, A.; ESUMI, T.; ITAMURA, H. Effects of photosynthate transport and water flow to young fruit on fruit drop via ethylene synthesis in persimmon (*Diospyros kaki* Thunb.). **Journal of the Japanese Society for Horticultural Science**, Kagawa, v. 79, p. 340-347, 2010.

TADESSE, T.; HEWETT, E.W.; NICHOLS, M.A.; FISHER, K.J. Changes in physicochemical attributes of sweet pepper cv. Domino during fruit growth and development. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 93, p. 91-103, 2002.

TAYLOR, J.E.; WHITELOW, C.A. Signals in abscission. **New Phytologist**, Cambridge, v. 151, p. 323-339, 2001.

THEOLOGIS, A.; ZAREMBINSKI, T.I.; OELLER, P.W.; LIANG, X.; ABEL, S. modification of fruit ripening by suppressing gene expression. **Plant Physiology**, New York, v. 100, p. 549-551, 1992.

TIAN, M.S.; PRAKASH, S.; ELGAR, H.J.; YOUNG, H.; BURMEISTER, D.M.; ROSS, G.S. Responses of strawberry fruit to 1-methylcyclopropene (1-MCP) and ethylene. **Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v. 32, p. 83-90, 2000.

TONUTTI, P.; BONGHI, A.; RAMINA, A. Fruit firmness and ethylene biosynthesis in three cultivars of peach (*Prunus persica* L. Batsch). **Journal of Horticultural Science**, Kent, v. 71, p. 141-147, 1996.

TUCKER, G.A. Introduction. In: SEYMOUR, G.B.; TAYLOR, J.E.; TUCKER, G.A. **Biochemistry of fruit ripening**. London: Chapman & Hall, 1993. p. 2-51.

VASQUEZ-OCHOA, R.I.; COLINAS-LEON, M.T. Changes in guavas of three maturity stages in response to temperature and relative humidity. **HortScience**, Alexandria, v. 25, p. 86-87, 1990.

VENDRELL, M.; PALOMER, X. Hormonal control of fruit ripening in climacteric fruits. **Acta Horticulturae**, Leuven, n. 463, p. 325-334, 1997.

VERBOVEN, P.; KERCKHOFS, G.; MEBATSION, H.K.; HO, Q.T.; TEMST, K.; WEVERS, M.; CLOETENS, P.; NICOLAI, B.M. Three-dimensional gas exchange pathways in pome fruit characterized by synchrotron x-ray computed tomography. **Plant Physiology**, Rockville, v. 147, p. 518-527, 2008.

VIANNA-SILVA, T.; LIMA, R.V.; AZEVEDO, I.G.; ROSA, R.C.C.; SOUZA, M.S.; OLIVEIRA, J.G. Determinação da maturidade fisiológica de frutos de maracujazeiro amarelo colhidos na região norte do estado do Rio de Janeiro, Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 32, p. 57-66, 2010.

VIEIRA, G. **Fisiologia pós-colheita do amadurecimento do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis f. flavicarpa* Degener)**. 1997. 88 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

VILAS BOAS, E.V.B. 1-MCP: um inibidor da ação do etileno. In: SIMPÓSIO DE CONTROLE DE DOENÇAS DE PLANTAS: PATOLOGIA PÓS-COLHEITA DE FRUTAS E HORTALIÇAS, 3., 2002, Lavras. **Palestras...** Lavras: UFLA, 2002. p. 24-30.

WATADA, A.E.; HERNER, R.C.; KADER, A.A.; ROMANI, R.J.; STABY, G.L. Terminology for the description of developmental stages of horticultural crops. **HortScience**, Alexandria, v. 19, p. 20-21, 1984.

WATKINS, C.B. The use of 1- methylcyclopropene (1- MCP) on fruits and vegetables. **Biotechnology Advances**, Atlanta, v. 24, p. 389-409, 2006.

WEBSTER, B.D. Anatomical and histochemical modifications associated with abscission of *Cucumis* fruits. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 100, p. 180-184, 1975.

WHEELER, G.L.; JONES, M.A.; SMIRNOFF, N. The biosynthetic pathway of vitamin C in higher plants. **Nature**, London, v. 393, p. 365-369, 1998.

WILD, H.P.J.; WOLTERING, E.J.; PEPPELENBOS, W. Carbon dioxide and 1-MCP inhibit ethylene production and respiration of pear fruit by different mechanisms. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 50, p. 837-844, 1999.

WILLS, R.; McGLASSON, B.; GRAHAM, D.; JOYCE, D. **Introducción a la fisiología y manipulación poscosecha de frutas, hortalizas y plantas ornamentales**. Trad. de J.B. Gonzáles. 2nd ed. Zaragoza: Acribia, 1998. 240 p.

WILLS, R.B.H.; KU, V.V.V. Use of 1-MCP to extend the time to ripen of green tomatoes and postharvest life of ripe tomatoes. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 26, p. 85-90, 2002.

WINKLER, L.M.; QUOIRIN, M.; AYUB, R.; ROMBALDI, C.; SILVA, J. Produção de etileno e atividade da enzima ACCoxidase em frutos de maracujá-amarelo (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deg.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, p. 634-636, 2002.

XISTO, A.L.R.P. **Conservação pós-colheita de goiaba Pedro Sato com aplicação de cloreto de cálcio em condições ambiente**. 2002. 47 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002.

YAMAUCHI, N.; AKIYAMA, Y.; KAKO, S.; HASHINAGA, F. Chlorophyll degradation in Wase satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.) fruit with on-tree maturation and ethylene treatment. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 71, p. 35-42, 1997.

YANG, S.F. Biosynthesis and action of ethylene. **HortScience**, Alexandria, v. 20, p. 41-45, 1985.

_____. The role of ethylene in fruit ripening. **Acta Horticulturae**, The Hague, n. 398, p. 167-178, 1995.

YANG, S.F.; HOFFMAN, N.E. Ethylene biosynthesis and its regulation in higher plants. **Annual Review of Plant Physiology**, Stanford, v. 35, p. 155-189, 1984.

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

ZAREMBINSKI, T.I.; THEOLOGIS, A. Ethylene biosynthesis and action: a case of conservation. **Plant Molecular Biology**, Dordrecht, v. 26, p. 1579-1597, 1994.