

MARCIO GAMA DOS SANTOS DA COSTA

**USO DE ETILENO NO DESVERDECIMENTO DA TANGERINA ‘PONCÃ’  
PRODUZIDA NAS REGIÕES NORTE E ZONA  
DA MATA DE MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada à  
Universidade Federal de Viçosa, como  
parte das exigências do Programa de  
Pós-Graduação em Fitotecnia, para  
obtenção do título de *Magister  
Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2009

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

C837u  
2009

Costa, Marcio Gama dos Santos da, 1979-  
Uso de etileno no desverdecimento da tangerina 'Poncã'  
produzida nas regiões Norte e Zona da Mata de Minas Gerais  
/ Marcio Gama dos Santos da Costa. – Viçosa, MG, 2009.  
xiii, 89f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Inclui apêndices.

Orientador: Luiz Carlos Chamhum Salomão.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 77-82.

1. Tangerina - Cultivo. 2. Tangerina - Qualidade. 3. Etileno.  
4. Tangerina - Minas Gerais. 5. Tangerina - Zona da Mata  
(MG : Mesorregião). I. Universidade Federal de Viçosa.  
II. Título.

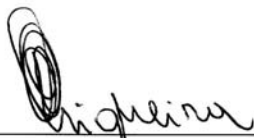
CDD 22.ed. 634.3

MARCIO GAMA DOS SANTOS DA COSTA

**USO DE ETILENO NO DESVERDECIMENTO DA TANGERINA 'PONCÃ'  
PRODUZIDA NAS REGIÕES NORTE E ZONA  
DA MATA DE MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada à  
Universidade Federal de Viçosa, como  
parte das exigências do Programa de  
Pós-Graduação em Fitotecnia, para  
obtenção do título de *Magister  
Scientiae*.

APROVADA: 25 de setembro de 2009.



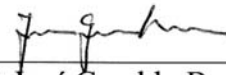
Prof. Dalmo Lopes de Siqueira  
(Coorientador)



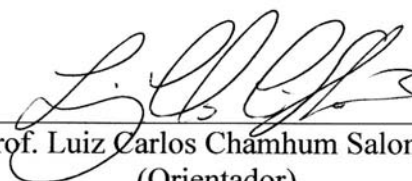
Prof. Paulo Roberto Cecon  
(Coorientador)



Prof. Rolf Puschmann



Prof. José Geraldo Barbosa



Prof. Luiz Carlos Châmhum Salomão  
(Orientador)

A Deus, generoso em sua providência.

Aos meus pais Moacyr Martins da Costa e Márcia Gama dos Santos da Costa.

Aos meus irmãos Moacyr e Marlos.

À minha avó Ruth.

Aos meus queridos sobrinhos Lucas e Miguel.

À Débora.

Com eterno carinho, ao meu avô João dos Santos Filho, *in memoriam*.

DEDICO.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, princípio movente não movido, causa eficiente de todas as coisas, Generoso em prover todo o indispensável para o curso justo da vida, por sua imensurável benignidade em me conceder o dom da ciência e a capacidade para aprender, por ter estado sempre presente ao meu lado, encorajando-me a seguir adiante.

Aos meus pais Moacyr e Márcia, por sua participação livre no consórcio da vida e por seu apoio e incentivo, mesmo a distância.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV) e ao Departamento de Fitotecnia, pela oportunidade de realização do Curso.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais, pela cessão da bolsa de auxílio financeiro.

Ao Governo do Estado de Minas Gerais, pela parceria e pelo suporte financeiro nos custos do Projeto de pesquisa.

Ao Professor Luiz Carlos Chamhum Salomão, por sua decisiva participação no processo de aprendizado e pela orientação, com destacado zelo, paciência e profundo conhecimento científico.

Ao Professor Dalmo Lopes de Siqueira, pelos ensinamentos, pela coorientação, pelas sugestões e críticas e pela participação destacada no aprimoramento da dissertação.

Ao Professor Paulo Roberto Cecon, pela contribuição nas análises estatísticas.

Aos Professores Rolf Puschmann e José Geraldo Barbosa, pelos brilhantes conselhos, pela perspicácia em suas observações e por terem aceitado prontamente participar da Banca Examinadora.

Ao Dr. Rodrigo Meireles Pimentel, pesquisador da Epamig – CTNM, pela participação decisiva na primeira etapa deste trabalho e pelos valiosos conselhos.

À Lorena, pelo indispensável auxílio em todas as etapas constituintes deste trabalho e por ter “vestido a camisa” com admirável responsabilidade; e aos demais companheiros na lida acadêmica: Aline, Andréa, Cícero, Danieele, Dierlei, Izabel, Luana, casal Negreiros (Ricardo e Cláudia), Robson e Telma, pelo precioso convívio, pela ajuda nos trabalhos e por terem-me feito digno de conhecê-los.

Ao meu irmão Moacyr e à minha cunhada Lucélia, pelo incentivo na caminhada e pela confiança sempre demonstrada de que, no fim, tudo haveria de ser bem sucedido.

À Débora, pelo incansável apoio e pela abnegação em compreender e suportar a distância que nos separava.

Enfim, a todos que, direta ou indiretamente, imprimiram sua marca neste processo constituinte de mais uma etapa de minha vida.

## **BIOGRAFIA**

MARCIO GAMA DOS SANTOS DA COSTA, filho de Moacyr Martins da Costa e Márcia Gama dos Santos da Costa, nasceu em 15 de janeiro de 1979, na cidade do Rio de Janeiro.

Em agosto de 2007, graduou-se em Engenharia Agrônômica pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, localizada em Seropédica, RJ.

Nesse mesmo mês e ano, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, em nível de Mestrado, da Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, MG, onde atuou na área de Fruticultura, na linha de pesquisa Fisiologia e Manejo Pós-Colheita de Produtos Agrícolas, submetendo-se à defesa da dissertação em 25 de setembro de 2009.

## SUMÁRIO

|   | Página |
|---|--------|
| RESUMO .....  | ix     |
| ABSTRACT .....  | xii    |
| INTRODUÇÃO GERAL .....  | 1      |
| CAPÍTULO 1 .....  | 7      |
| USO DE ETILENO NO DESVERDECIMENTO DA TANGERINA<br>'PONCÃ' PRODUZIDA NO NORTE DE MINAS GERAIS..... | 7      |
| RESUMO .....  | 7      |
| 1. INTRODUÇÃO .....   | 9      |
| 2. MATERIAL E MÉTODOS .....   | 12     |
| 2.1. Material vegetal e tratamento com etileno gasoso .....                                       | 12     |
| 2.2. Análises .....   | 14     |
| 2.2.1. Cor da casca .....   | 14     |
| 2.2.2. Pigmentos da casca .....   | 15     |
| 2.2.3. Sólidos solúveis (SS) .....  | 17     |
| 2.2.4. Acidez titulável (AT) .....  | 17     |
| 2.2.5. Relação SS/AT .....  | 18     |
| 2.2.6. Perda de massa fresca.....   | 18     |
| 2.2.7. Produção de CO <sub>2</sub> .....  | 18     |
| 2.2.8. Extravasamento de eletrólitos da casca.....  | 18     |

|  | Página |
|--|--------|
| 2.3. Delineamento experimental e análise estatística.....  | 19     |
| 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....  | 20     |
| 3.1. Cor e pigmentos da casca imediatamente após a exposição ao etileno  | 20     |
| 3.2. Parâmetros de qualidade da casca nos dias seguintes à exposição ao etileno .....  | 22     |
| 3.2.1. Diferença de cor da casca.....  | 22     |
| 3.2.2. Ângulo Hue da casca.....  | 25     |
| 3.3. Teor de clorofila total da casca .....  | 28     |
| 3.4. Teor de carotenoides totais da casca .....  | 30     |
| 3.5. Sintomas de fitotoxidez do etileno.....   | 33     |
| 3.6. Qualidade interna e extravasamento de eletrólitos da casca dos frutos imediatamente após a exposição ao etileno.....      | 35     |
| 3.7. Sólidos solúveis, acidez titulável e ratio (SS/AT) da polpa dos frutos nos dias subsequentes à exposição ao etileno ..... | 36     |
| 3.8. Extravasamento de eletrólitos da casca.....   | 37     |
| 3.9. Perda de massa fresca dos frutos.....   | 39     |
| 3.10. Produção de CO <sub>2</sub> pelos frutos .....   | 41     |
| 4. CONCLUSÕES .....  | 43     |
| CAPÍTULO 2.....  | 44     |
| USO DE ETILENO NO DESVERDECIMENTO DA TANGERINA ‘PONCÃ’ PRODUZIDA NA ZONA DA MATA DE MINAS GERAIS .....                         | 44     |
| RESUMO .....   | 44     |
| 1. INTRODUÇÃO .....  | 46     |
| 2. MATERIAL E MÉTODOS .....  | 49     |
| 2.1. Material vegetal.....   | 49     |
| 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....  | 51     |
| 3.1. Cor e pigmentos da casca imediatamente após a exposição ao etileno  | 51     |
| 3.2. Parâmetros de qualidade da casca nos dias seguintes à exposição ao etileno .....  | 53     |
| 3.2.1. Diferença de cor da casca (DE).....   | 53     |
| 3.2.2. Ângulo Hue da casca.....  | 55     |
| 3.3. Teor de clorofila total da casca .....  | 58     |

|   | Página |
|---|--------|
| 3.4. Teor de carotenoides totais da casca .....   | 61     |
| 3.5. Qualidade interna e extravasamento de eletrólitos da casca dos frutos imediatamente após a exposição ao etileno.....   | 63     |
| 3.6. Sólidos solúveis, acidez titulável, ratio (SS/AT) da polpa dos frutos e extravasamento de eletrólitos celulares da casca dos frutos nos dias subsequentes à exposição ao etileno ..... | 64     |
| 3.7. Perda de massa fresca dos frutos.....  | 66     |
| 3.8. Produção de CO <sub>2</sub> pelos frutos .....   | 68     |
| 4. CONCLUSÕES .....   | 71     |
| 5. CONCLUSÕES GERAIS .....  | 72     |
| 6. REFERÊNCIAS .....  | 74     |
| APÊNDICE .....  | 80     |
| APÊNDICE A .....  | 81     |

## RESUMO

COSTA, Marcio Gama dos Santos da, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, setembro de 2009. **Uso de etileno no desverdecimento da tangerina ‘Poncã’ produzida nas regiões Norte e Zona da Mata de Minas Gerais.** Orientador: Luiz Carlos Chamhum Salomão. Coorientadores: Dalmo Lopes de Siqueira e Paulo Roberto Cecon.

O objetivo deste trabalho foi promover o desverdecimento de tangerinas ‘Poncã’ procedentes de duas regiões do Estado de Minas Gerais, sem alterar sua qualidade interna. Foram realizados dois experimentos. No primeiro, os frutos foram colhidos em pomar comercial da região Norte; já o segundo experimento foi realizado com frutos procedentes da Zona da Mata. As tangerinas ‘Poncã’ foram colhidas quando apresentaram atributos mínimos de 35% de suco, 9 °Brix e relação sólidos solúveis/acidez titulável de 9,5. Em seguida, os frutos foram acondicionados em caixas herméticas, onde ficaram expostos por 24, 48 e 96 h nas seguintes concentrações de etileno gasoso: 0, 5, 10, 20 e 40  $\mu\text{L.L}^{-1}$ , sob as condições de temperatura e umidade relativa do ar de  $20 \pm 1$  °C e  $90 \pm 5\%$ , respectivamente. A cada 24 h, as caixas foram abertas para a renovação de sua atmosfera interna, procedendo-se à reaplicação do gás até a finalização dos tratamentos. Ao final de cada tempo de exposição, deu-se início à fase pós-tratamento com duração de 96 h, em que os frutos foram mantidos em atmosfera livre de etileno, em câmara refrigerada, sob a mesma temperatura e umidade relativa utilizadas durante a

exposição ao etileno. Durante essa fase, os frutos foram avaliados a cada 24 h, quanto a diferença de cor da casca, ângulo Hue da casca, teores de clorofila e de carotenoides totais, teor de sólidos solúveis, acidez titulável e relação SS/AT do suco, extravasamento de solutos da casca, produção de CO<sub>2</sub> e perda de massa de matéria fresca dos frutos. No primeiro experimento, os frutos apresentaram desverdecimento mais acentuado com o aumento dos tempos de exposição ao etileno, com maior destaque para 96 h. Após esse tempo de exposição, o ângulo Hue passou de 96,1° no primeiro dia de avaliação para 82,3° no final de 96 h, sendo esse valor inferior ao observado nos frutos desverdecidos naturalmente. Os frutos expostos por 24 h assemelharam-se aos não tratados quanto à evolução da cor amarela da casca. Observou-se que os frutos deixados na planta até o completo amadurecimento não apresentaram desverdecimento homogêneo da casca. Os frutos expostos ao etileno por 96 h não mostraram qualquer sinal visual de perda de qualidade de comercialização, embora tenha ocorrido aumento no extravasamento de solutos da casca durante a fase de tratamento. Os teores de sólidos solúveis, a acidez titulável e a relação SS/AT mantiveram-se inalterados ao longo de todo o período das avaliações. A síntese de carotenoides totais na casca dos frutos foi muito discreta, passando de 6,0 µg/cm<sup>2</sup>, teor observado nos frutos-controle ao final das avaliações, para um máximo de 8,2 µg/cm<sup>2</sup>, nos frutos expostos ao etileno por 96 h. Essa síntese foi insuficiente para que os frutos alcançassem a coloração alaranjada, de maneira que o desverdecimento da casca dos frutos foi consequência, quase que exclusivamente, da degradação da clorofila. No segundo experimento, os frutos apresentaram amarelecimento da casca mais acentuado do que os do primeiro experimento. O tempo de exposição de 96 h mostrou-se o mais eficiente na promoção do desverdecimento dos frutos, em relação aos demais tempos. A evolução de cor foi bastante semelhante entre os frutos-controle e os tratados por 24 e por 48 h. Nos frutos de todos os tratamentos, a síntese de carotenoides totais na casca foi muito discreta, passando de 7,3 µg/cm<sup>2</sup> nos frutos-controle para 9,2 µg/cm<sup>2</sup>, valor máximo observado nos frutos expostos por 96 h ao etileno. Mesmo nos frutos com a maior expressão de amarelecimento, observou-se pouca participação de novos pigmentos carotenoides sintetizados na composição da cor final. Os frutos levados ao pleno amadurecimento na planta alcançaram o máximo desverdecimento, atingindo a coloração alaranjada, típica da espécie. Assim, para os frutos oriundos da Zona da Mata de Minas Gerais, o desverdecimento com o uso do etileno, em pós-colheita, só

se justifica se permitir a antecipação da colheita, visto que a região apresenta condições climáticas favoráveis ao desverdecimento natural. Já quanto aos frutos do Norte de Minas Gerais, em que predominam temperaturas elevadas ao longo do ano, prejudicando o desverdecimento natural, o uso do etileno em pós-colheita deve-se prestar mais à uniformização da coloração da casca.

## ABSTRACT

COSTA, Marcio Gama dos Santos da, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, September, 2009. **Ethylene degreening treatment of 'Poncã' tangerine in the North and Zona da Mata of Minas Gerais.** Adviser: Luiz Carlos Chamhum Salomão. Co-advisers: Dalmo Lopes de Siqueira and Paulo Roberto Cecon.

The objective of this work was to promote the degreening, without losing internal fruit quality, of Poncã tangerine from two regions of Minas Gerais. Two experiments were carried out. In the first, the fruits were harvested from a commercial orchard in the northern region, and the second experiment used fruits from Zona da Mata. Fruits were harvested when showing minimum attributes of 35% juice, 9 ° Brix and soluble solids/tritable acidity ratio of 9.5. Then the fruits were packed in airtight boxes, which were exposed for 24, 48 and 96 h to different concentrations of ethylene gas: 0, 5, 10, 20 and 40  $\mu\text{L.L}^{-1}$ , at  $20 \pm 1$  °C and  $90 \pm 5\%$  relative humidity, respectively. Every 24 h, the boxes were opened for renewal of internal atmosphere, by reapplying the gas until treatment end. A post-treatment phase of 96 h duration took place at the end of each exposure time, when the fruits were kept in ethylene-free atmosphere, in cold chamber, at the same temperature and relative humidity used during the exposure to ethylene. During this phase, the fruits were evaluated every 24 h, and the difference in skin color, Hue angle of the peel, total chlorophyll and carotenoid content, soluble solids content, tritable acidity and SS/TA ratio of juice, solute leakage, CO<sub>2</sub> production and loss of fruit fresh mass. In

the first experiment, the fruits showed stronger degreening with increasing time of exposure to ethylene, most markedly for 96 h. After this exposure time, the Hue angle increased from 96.1°, in the first assessment days, to 82.3°, at the end of 96 h, which was lower than values observed in naturally degreened fruits. Fruits exposed for 24 h showed evolution of the yellow peel color similar to the untreated ones. It was observed that fruits left to ripe on the plant showed non-homogeneous peel degreening. The fruits exposed to ethylene for 96 h showed no visual signs of loss of commercial quality, although there was increased solute leakage from the peel during the treatment. Soluble solids content, titratable acidity and SS/TA ratio remained unchanged throughout the assessment period. The synthesis of total carotenoids in the peel was low, from 6.0 µg/cm<sup>2</sup>, in control fruits at the end of evaluations, to a maximum of 8.2 µg/cm<sup>2</sup>, in fruits exposed to ethylene for 96 h. This synthesis was insufficient to reach the orange color, therefore, the degreening of fruit peel was due, almost exclusively, to chlorophyll degradation. In the second experiment, the fruits showed yellowing of the peel stronger than fruits of the first experiment. The exposure time of 96 h proved to be the most efficient in promoting the fruit degreening in comparison with other times. Color evolution was quite similar between the control and fruits treated for 24 and 48 h. Fruits of all treatments had very low synthesis of total carotenoids in the peel, changing from 7.3 µg/cm<sup>2</sup> in control fruits to 9.2 µg/cm<sup>2</sup>, maximum value observed in fruits exposed to ethylene for 96 h. Even in fruits showing the strongest yellowing, there was little participation of new synthesized carotenoids in the composition of the final color. Fruits fully developed in the plant reached the maximum degreening, becoming orange, the typical color of the species. Thus, for fruits produced in the Zona da Mata region, the post-harvest degreening with ethylene is only justified to anticipate the harvest, since the region has favorable climate to natural degreening. However, for fruits produced in northern Minas Gerais, where the high temperatures prevailing throughout the year impair the natural degreening, the postharvest use of ethylene may serve to obtain a more uniform peel color.

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil é o maior produtor mundial de frutos cítricos. A laranja ocupa um lugar de destaque na citricultura brasileira, cuja produção foi estimada em torno de 18,7 milhões de toneladas, registrada no ano agrícola 2007/2008 (FAO, 2009a). No que se refere à produção de tangerinas para consumo *in natura*, no entanto, o Brasil figura como o terceiro maior produtor mundial, com produção de 1,2 milhão de toneladas (FAO, 2009b).

Alguns fatores contribuem para o sucesso da produção citrícola no Brasil, como: condições climáticas favoráveis ao cultivo em todo o território nacional; proximidade dos locais de produção dos grandes centros urbanos, o que favorece o escoamento da produção; mão de obra disponível; condições facilitadas de aquisição de terras, além do suporte técnico, gerado pelos Institutos de Pesquisa, públicos e privados.

Diferentemente dos frutos que se destinam ao processamento industrial, os de mesa, consumidos *in natura*, têm o seu valor determinado por alguns atributos de qualidade, como a composição do suco e a coloração externa. Sendo assim, além do teor de açúcares e da acidez do suco, a coloração externa ideal da casca dos frutos figura como meta a ser alcançada no manejo produtivo.

A mudança na coloração da casca, em geral, deve-se à degradação da clorofila e à síntese e, ou, manifestação dos pigmentos carotenoides. Essas alterações são influenciadas por inúmeros fatores, como temperatura, espécie e variedade,

nutrição, porta-enxerto, posição das frutas na planta, umidade relativa do ar, luminosidade e irrigação.

O uso do etileno é uma alternativa para desverdecer tangerinas produzidas em regiões tropicais, onde as temperaturas elevadas limitam a obtenção de cor alaranjada e também permitem ao produtor antecipar a colheita, comercializando parte da produção fora do período de safra. Usado sob condições controladas, o etileno induz a uniformização da cor da casca e, mesmo, a mudança de cor. Tal prática é conhecida como desverdecimento e tem sido amplamente usada em países como Espanha, Estados Unidos, Israel e Japão, principalmente nas regiões em que ocorrem temperaturas elevadas na época de maturação dos frutos cítricos (JIMENEZ-CUESTA *et al.*, 1983; KADER; ARPAIA, 1992).

Em algumas regiões produtoras de citros do Brasil, as frutas alcançam plena maturidade fisiológica e, no entanto, a coloração da casca permanece, senão totalmente, parcialmente verde. Esse é um problema enfrentado em muitos países, em que o produto é rejeitado no mercado consumidor *in natura* pelos consumidores exigentes quanto à coloração do produto (SINCLAIR, 1984; RODRIGUEZ, 1987; CASAS; MALLENT, 1988; ORTOLANI *et al.*, 1991).

Os frutos cítricos, quando removidos da planta, sofrem um pequeno e transitório aumento na respiração e na produção de etileno. Abeles *et al.* (1992) afirmaram que o etileno, aplicado em pós-colheita, pode ser utilizado no desverdecimento ou somente na quebra da clorofila persistente na casca desses frutos, porém inúmeros fatores podem influenciar este processo.

A tangerina ‘Poncã’, como todos os frutos cítricos, é classificada como não climatérica, o que implica ausência de síntese autocatalítica de etileno, além de não apresentar aumento nas taxas respiratórias durante seu amadurecimento. Não obstante, os frutos cítricos respondem bem à aplicação de etileno exógeno, manifestando algumas alterações de ordem fisiológica e molecular similares às observadas durante o processo de amadurecimento natural (EILATI *et al.*, 1975; ALONSO *et al.*, 1992, 1995; GOLDSCHMIDT *et al.*, 1993; PORAT *et al.*, 1999).

A temperatura do ar é o fator de maior influência no processo de desverdecimento da casca dos frutos cítricos. Temperaturas diurnas amenas, noites frias e também baixas temperaturas do solo induzem à coloração alaranjada dos frutos cítricos (YOUNG; ERICKSON, 1961).

Para que os processos bioquímicos relacionados com o desverdecimento da casca dos frutos ocorram de modo natural, faz-se necessário que a temperatura noturna média do ar no ambiente de cultivo seja inferior a 12,5 ou 13 °C (NOGUEIRA, 1979; GRIERSON *et al.*, 1986). Mais recentemente, Wong *et al.* (1999), isolando genes envolvidos tanto com a manifestação quanto com a repressão de injúria por frio, verificaram sua relação com o acúmulo de ACC (ácido 1-aminociclopropano 1-carboxílico) e, conseqüentemente, com a síntese de etileno durante o período de ocorrência de frio.

Sob condições tropicais, a tangerina Poncã (*Citrus reticulata*, Blanco), assim como outros frutos cítricos, normalmente não alcança a coloração alaranjada da casca, como é desejável nos frutos maduros. Isso ocorre devido à ausência das baixas temperaturas, que estão associadas ao processo de degradação da clorofila, e à síntese e, ou, manifestação de pigmentos carotenoides. Como, em geral, os consumidores associam a cor da casca à maturação da fruta, essa discrepância pode ser um obstáculo à comercialização (MOTA *et al.*, 1997).

A fim de que a cor da casca corresponda à qualidade interna, tais frutos são desverdecidos. Os trabalhos de Jahn *et al.* (1969) e Wheaton e Stewart (1973) estabeleceram que a aplicação pós-colheita de etileno resulta em melhora substancial na cor externa dos citros, associada à quebra da clorofila.

Em frutos não climatéricos, como os cítricos, a aplicação de etileno exógeno não promove a antecipação do amadurecimento, mas somente o aumento do ritmo respiratório dos frutos, além do desverdecimento da casca. Contudo, ao contrário do que ocorre nos frutos climatéricos, esse aumento da respiração cessa quando é removido o etileno (ABELES *et al.*, 1992; GOLDSCHMIDT, 1997; BIALE, 1964).

O efeito prático do etileno em citros ocorre sobre a coloração do flavedo, que passa mais rapidamente de verde para amarela ou laranja, como resposta à aplicação exógena do regulador vegetal. O etileno promove aumento na atividade das enzimas clorofilase e oxidases (SHIMOKAWA *et al.*, 1978; YAMAUCHI *et al.*, 1997), responsáveis pela degradação da clorofila e desaparecimento da cor verde. Ao mesmo tempo, o etileno estimula a carotenogênese, o que promove o aparecimento da cor amarela ou laranja (STEWART *et al.*, 1972) e conduz à decomposição das giberelinas responsáveis pela manutenção da coloração verde da fruta (ABELES *et al.*, 1992).

A técnica do desverdecimento tem como objetivo melhorar a coloração externa da fruta, possibilitando o aparecimento da cor típica da variedade (JACOMINO *et al.*, 2003). É uma operação de pós-colheita na qual o desaparecimento da clorofila da casca é acelerado e são proporcionadas condições para a manifestação dos pigmentos carotenoides, cuja síntese também é aumentada (JIMENEZ-CUESTA *et al.*, 1983).

Entre os vários produtos usados como fonte de etileno, o ethephon (ácido 2-cloroetilfosfônico), produto comercial Ethrel, é um regulador de crescimento, pertencente ao grupo químico do ácido fosfônico. Por ser líquido, seu uso dispensa o emprego de câmaras herméticas, necessárias quando se usa o etileno gasoso. Ele se degrada, liberando etileno, abaixo da superfície da casca dos frutos (CASTRO *et al.*, 1991a).

Oh *et al.* (1979), aplicando ethephon após a colheita de tangerina ‘Satsuma’ nas concentrações de 500 e 1.000 mg.L<sup>-1</sup>, observaram mudanças na coloração da casca dos frutos a partir de cinco dias após os tratamentos, ocorrendo desenvolvimento total da coloração alaranjada e a degradação completa da clorofila oito dias após, sem prejudicar as qualidades interna e externa dos frutos, como sabor e textura.

Por se tratar de um ácido, quando usado no tratamento de algumas espécies vegetais parte do ethephon é convertida em substâncias não voláteis que se acumulam na face inferior da casca dos frutos (ABELES, 1992), podendo migrar para a polpa, alterando sua qualidade sensorial e sua composição (CASTRO *et al.*, 1991a). Portanto, o uso do etileno gasoso é uma opção segura no desverdecimento dos frutos cítricos, pois se trata de um composto cuja atuação não altera a constituição desses frutos. Seu uso é amplamente difundido em países como a Espanha e os Estados Unidos para ampliar o período de comercialização das variedades de laranja e tangerina precoces (CASAS; LLACÉR, 1989).

Tangerinas ‘Poncã’ fisiologicamente maduras, provenientes da Zona da Mata mineira, foram colhidas com a casca totalmente verde e tratadas com 0, 5, 50 e 100 µL/L durante 96 h com etileno gasoso nas temperaturas de 15, 20 e 25 °C. Observou-se que a dose de 5 µL/L, na temperatura de 25 °C, propiciou os melhores resultados de desverdecimento; as doses de 50 e 100 µL/L, nas temperaturas de 20 e

25 °C, causaram desordens fisiológicas como o aparecimento de manchas na casca (MARTINS, 2003).

Limões ‘Siciliano’ foram tratados com 0, 3, 6 e 12 µL/L de etileno durante 2, 4 e 6 dias a 20 °C. Após os tratamentos, os frutos foram armazenados a 10 °C e 90% UR durante 35 dias e avaliados após 21, 28 e 35 dias. O desverdecimento das frutas ocorreu mais rapidamente à medida que a concentração de etileno e o tempo de armazenamento foram aumentados. Entretanto, os frutos submetidos à dose de 12 µL/L por 6 dias apresentaram podridão após 35 dias de armazenamento refrigerado. Não houve efeito dos tratamentos sobre o teor de sólidos solúveis, acidez titulável, perda de matéria fresca e porcentagem de suco. A aplicação de etileno na concentração de 6 µL/L, durante 4 dias, mostrou ser o tratamento mais recomendável, por proporcionar melhor qualidade visual dos frutos, sem ocorrência de podridão (JACOMINO *et al.*, 2003).

A eficiência do desverdecimento depende da espécie, cultivar, estágio de desenvolvimento do fruto, concentração de etileno aplicada, temperatura e tempo de tratamento. Outro parâmetro que determina o sucesso da aquisição da coloração típica de cada espécie cítrica no processo de desverdecimento é a coloração da casca dos frutos na colheita. Na Espanha, Jimenez-Cuesta *et al.* (1981) estabeleceram o índice de cor dos citros (ICC) para cada cultivar. Esse índice varia de -20 a +20 e, segundo esses autores, frutos colhidos com  $ICC \leq -10$  não alcançam a coloração de casca desejada para sua comercialização.

Mazzuz (1996) esclareceu que o tempo de desverdecimento sofre influência do cultivar, e o mínimo necessário para o tratamento não deve ser inferior a 24 h e o máximo não superior a 120 h. Citou que a temperatura durante o tratamento deve estar entre 18 e 25° C, o que favorece a degradação da clorofila e a síntese de carotenoides.

O armazenamento refrigerado das frutas após o desverdecimento retarda o desenvolvimento de patógenos causadores de podridões (CHITARRA; CHITARRA, 2005). Os estudos de conservação pós-colheita de frutos cítricos desverdecidos são importantes, pois podem determinar a durabilidade da fruta durante o transporte a longas distâncias, como no caso de exportação, e proporcionar o prolongamento do período de comercialização.

Pouco se conhece sobre as condições ideais para a execução do desverdecimento da tangerina ‘Poncã’ no Brasil, bem como da capacidade de

conservação refrigerada da fruta após o desverdecimento. A técnica aqui empregada é semelhante à utilizada em outros países, e os resultados são muitas vezes inconsistentes ou indesejáveis.

As condições de desverdecimento estudadas divergem bastante no que diz respeito à temperatura, às doses de etileno e aos tempos de exposição, além de variarem em função da situação geográfica, do tipo de fruta e da etapa de desenvolvimento de cor em que o fruto se encontra.

Este trabalho teve por objetivos estudar o desverdecimento em frutos de tangerineira ‘Poncã’ procedentes de duas regiões de climas distintos (Norte e Zona da Mata de Minas Gerais) e identificar a melhor combinação de dose e tempo de exposição ao etileno para o desverdecimento, mantendo a qualidade interna dos frutos.

## **CAPÍTULO 1**

### **USO DO ETILENO NO DESVERDECIMENTO DA TANGERINA ‘PONCÃ’ PRODUZIDA NO NORTE DE MINAS GERAIS**

#### **RESUMO**

O objetivo deste trabalho foi promover o desverdecimento de tangerinas ‘Poncã’ sem alterar sua qualidade interna. Os frutos foram colhidos com a casca totalmente verde em pomar comercial localizado no Município de Matias Cardoso, região Norte de Minas Gerais, e transportados para Viçosa. Na colheita, os frutos apresentavam, em média, 50% de suco, 9,0 °Brix e relação sólidos solúveis/acidez titulável de 9,7. Em seguida, os frutos foram acondicionados em caixas herméticas, onde ficaram expostos por 24, 48 e 96 h nas seguintes concentrações de etileno gasoso: 0, 5, 10, 20 e 40  $\mu\text{L.L}^{-1}$ , sob as condições de temperatura e umidade relativa do ar de  $20 \pm 1$  °C e  $90 \pm 5\%$ , respectivamente. A cada 24 h, as caixas foram abertas para a renovação de sua atmosfera interna, procedendo-se à reaplicação do etileno até a finalização dos tratamentos. Ao final de cada tempo de exposição, deu-se início à fase pós-tratamento com duração de 96 h, em que os frutos foram mantidos em atmosfera livre de etileno, em câmara refrigerada, na mesma temperatura e umidade relativa utilizadas durante a exposição ao etileno. Durante essa fase, a cada 24 h os frutos foram avaliados quanto a diferença de cor (DE) da casca, ângulo Hue da casca, teores de clorofila e de carotenoides totais em  $\mu\text{g/cm}^2$  de casca amostrada, teor de

sólidos solúveis, acidez titulável e relação SS/AT do suco, extravasamento de solutos da casca, produção de CO<sub>2</sub> e perda de massa de matéria fresca dos frutos. Os frutos-controle e os expostos ao etileno por 24 h apresentaram o mesmo comportamento para a alteração da coloração da casca, degradação da clorofila total e síntese de carotenoides totais da casca. O desverdecimento foi mais acentuado nos frutos expostos ao etileno por 96 h, independentemente da dose. Nesses frutos, o ângulo Hue evidenciou perda significativa da cor verde da casca, reduzindo de 96,1° para 82,3°, ao passo que nos frutos expostos por 48 h a redução foi de 114,7° para 94,3°. A síntese de carotenoides totais da casca, entretanto, foi discreta nos frutos de todos os tratamentos, tendo os frutos de 96 h de tratamento com etileno apresentado teor máximo, ao final do período de avaliações, de 8,2 µg/cm<sup>2</sup>. Os frutos que completaram o amadurecimento na planta alcançaram a coloração final bastante desuniforme e não característica da espécie, com marcantes tons de verde na composição da cor da casca. O extravasamento de eletrólitos celulares da casca foi crescente e ocorreu de modo linear nos frutos-controle e naqueles expostos ao etileno por 24 h, não diferindo entre ambos a magnitude de alteração dos valores ao longo do tempo de avaliação. Já nos frutos tratados por 48 e por 96 h houve alteração no extravasamento de eletrólitos apenas durante a fase em que permaneceram expostos ao etileno, não tendo sido observada qualquer elevação ao longo da fase pós-tratamento. A perda de massa fresca foi pouco expressiva nos frutos de todas as condições experimentais, com perda discretamente superior registrada nos frutos que ficaram expostos ao etileno por mais tempo (96 horas). Contudo, em todas as condições, a perda de massa fresca acumulada não excedeu 1%. Não houve efeito marcante e distinto de dose sobre o comportamento respiratório dos frutos, sendo observado aumento em resposta ao efeito do etileno aplicado, seguido de declínio. A melhor combinação para o desverdecimento dos frutos foi o tempo de 96 h de exposição a 5 µL.L<sup>-1</sup> de etileno gasoso, seguido de 48 a 72 h de armazenamento, após o tratamento.

## 1. INTRODUÇÃO

A coloração externa dos frutos é de importância crucial para a comercialização. Mais do que a qualidade do suco, a cor da casca é fator determinante na compra da fruta pelo consumidor, pois, normalmente, o comprador não a degusta antes de comprá-la, associando, portanto, a cor da casca ao paladar (BROWN, 1980).

A coloração dos frutos cítricos é dependente do teor de clorofila e da ocorrência dos diversos pigmentos carotenoides no flavedo (NASCIMENTO; MEDINA, 1994). A alteração no padrão de coloração da casca se deve às relações de degradação da clorofila e síntese e, ou, manifestação dos pigmentos carotenoides (MEDINA; LIMA, 1993), decorrendo daí o desaparecimento da coloração verde e o surgimento da coloração amarelada, alaranjada ou laranja-avermelhada, dependendo da espécie cítrica, cujo mecanismo é diretamente influenciado pelas condições ambientais.

As tangerinas figuram como o segundo grupo de frutos cítricos em importância na citricultura mundial, com maior destaque atribuído às laranjas (REIS *et al.*, 2000). Quando produzida em condições de clima tropical, a tangerina ‘Poncã’, que detém a preferência do consumidor brasileiro, chega à maturidade fisiológica e a ponto de colheita, manifestando ainda traços marcantes de verde na composição final da cor da casca, assim como acontece com os demais frutos cítricos.

Em parte do Sudeste brasileiro, as condições climáticas não favorecem o desverdecimento natural dos frutos. No Norte do Estado de Minas Gerais, por

exemplo, a predominância de temperaturas elevadas ao longo de todo o ciclo de produção figura como entrave à obtenção de tangerinas ‘Poncã’ em boas condições de comercialização. Nessa região, os frutos atingem a maturidade fisiológica, completam o amadurecimento na planta e são colhidos ainda com a casca não desverdecida, apresentando marcante pigmentação verde, em decorrência da clorofila não degradada. A fim de fazer com que a cor da casca corresponda à qualidade interna, os frutos cítricos são desverdecidos.

Os trabalhos de Jahn *et al.* (1969) e Wheaton e Stewart (1973) estabeleceram que a aplicação pós-colheita de etileno resulta em melhora substancial na cor externa dos citros, associada à quebra da clorofila.

O efeito visível do etileno em citros ocorre sobre a coloração do flavedo, que passa mais rapidamente de verde para amarelo ou laranja, como resposta à aplicação exógena do regulador vegetal. O etileno promove aumento na atividade das enzimas clorofilase e oxidases (SHIMOKAWA *et al.*, 1978; YAMAUCHI *et al.*, 1997), responsáveis pela degradação da clorofila e desaparecimento da cor verde. Ao mesmo tempo, estimula a carotenogênese, o que propicia o aparecimento da cor amarela ou laranja (STEWART; WHEATON, 1972) e conduz à decomposição das giberelinas responsáveis pela manutenção da coloração verde da fruta (ABELES *et al.*, 1992).

Martins (2003), estudando a ação do etileno gasoso no desverdecimento de tangerinas ‘Poncã’ provenientes da Zona da Mata de Minas Gerais, observou que os frutos submetidos à maior temperatura testada, que foi de 25 °C, apresentaram os melhores resultados de desverdecimento, embora a síntese de carotenoides na casca tenha sido discreta, resultando em coloração final amarelada, não característica da espécie.

Embora muitos trabalhos com uso de etileno no desverdecimento de frutos cítricos já tenham sido realizados, as informações se referem a frutos oriundos de regiões de clima subtropical a temperado, como as que predominam nas principais regiões produtoras de países como Espanha e Estados Unidos. No Brasil, as informações dos trabalhos de pesquisa até hoje realizados pouco se referem a frutos cítricos oriundos de regiões de clima tropical, onde a ocorrência de temperaturas elevadas ao longo do ano limita o desverdecimento natural por completo.

Diante desse panorama, os produtores de tangerina do Norte de Minas Gerais têm recorrido a instituições de pesquisa em busca de alternativa para o problema da

persistência da coloração verde da casca dos frutos. Sua insatisfação decorre da desvalorização dos frutos no mercado pelos consumidores, que associam a coloração ao paladar, julgando estarem impróprios para o consumo. Portanto, mais do que ampliar a oferta do produto no mercado consumidor, os produtores carecem de metodologia alternativa para que os frutos alcancem a coloração de casca alaranjada, característica da espécie. Assim, a principal meta é promover a uniformização da coloração da casca dos frutos mais do que antecipar a colheita.

O uso do etileno gasoso, portanto, figura como opção de desverdecimento dos frutos, em pós-colheita, além de favorecer a uniformização da cor da casca, melhorando a qualidade visual da fruta (CASTRO *et al.*, 1991b). Com essa alternativa, os frutos podem ser oferecidos no mercado com aspecto visual mais atraente e sem traços marcantes de verde na composição da cor, como acontece frequentemente em regiões com elevadas temperaturas, como o Norte de Minas Gerais.

Neste trabalho, objetivou-se estudar a melhor combinação de dose e tempo de exposição ao etileno para o desverdecimento de tangerinas ‘Poncã’ oriundas da região Norte de Minas Gerais, sem comprometimento da qualidade interna dos frutos.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1. Material vegetal e tratamento com etileno gasoso**

Foi utilizada a tangerina Poncã fisiologicamente madura, colhida no dia 24/03/2008 em pomar comercial na região Norte de Minas Gerais, localizado no Município de Matias Cardoso, integrante do Distrito de Irrigação do Jaíba, situado nas coordenadas geográficas de 14° 51' 18'' de latitude sul e 43° 55' 19'' de longitude oeste.

A região de procedência dos frutos destaca-se por apresentar temperaturas médias diárias relativamente elevadas ao longo de todo o ano, com baixa amplitude térmica. Além disso, a precipitação é mal distribuída ao longo do ano e dos dias mais chuvosos. Em novembro de 2007, mês mais chuvoso do ano agrícola, registrou-se precipitação total de 226,2 mm, dos quais 126,3 mm foram registrados apenas em um dia. O Quadro 1 apresenta as temperaturas máximas, médias e mínimas mensais do ano agrícola 2007/2008.

Os frutos colhidos apresentavam a coloração da casca uniformemente verde (Figura 1A) e com valores médios de teor de suco, sólidos solúveis e ratio (SS/AT) de 50% p/p, 9,0 °Brix e 9,7, respectivamente, superiores ao mínimo recomendado pelo Programa Brasileiro para a Melhoria dos Padrões Comerciais e Embalagens de Hortigranjeiros (2000).

Quadro 1 – Temperaturas máximas, médias e mínimas mensais do Município de Matias Cardoso-MG, de abril de 2007 a março de 2008

| Meses                          | Abr  | Maio | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  | Jan  | Fev  | Mar  |
|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Temperatura máxima mensal (°C) | 32,7 | 32,4 | 30,8 | 31,2 | 31,2 | 33,1 | 35,5 | 35,5 | 32,3 | 32,8 | 33,0 | 31,6 |
| Temperatura média mensal (°C)  | 26,5 | 25,3 | 23,4 | 23,6 | 23,4 | 25,3 | 28,0 | 28,0 | 25,5 | 26,4 | 25,8 | 26,3 |
| Temperatura mínima mensal (°C) | 19,1 | 17,1 | 15,1 | 14,8 | 14,1 | 16,2 | 18,9 | 21,5 | 20,9 | 20,7 | 20,8 | 20,9 |



A

B

C

Figura 1 – A – colheita do fruto fisiologicamente maduro; B – frutos acondicionados na caixa para os tratamentos com etileno gasoso; e C – aplicação do etileno gasoso com seringa graduada, após o fechamento hermético da caixa.

Após a colheita, os frutos foram acondicionados em caixas plásticas revestidas internamente com plástico-bolha e transportados para o Laboratório de Análise de Frutas da Universidade Federal de Viçosa. No laboratório, foram selecionados, classificados e padronizados quanto à uniformidade da cor verde, ao tamanho e à ausência de injúrias mecânicas ou infecções fúngicas, tendo sido descartados os frutos defeituosos, manchados e de tamanhos inadequados. Posteriormente, foram lavados em água corrente para retirada de poeira e resíduos do campo, imersos por 5 min em solução aquosa de fungicida Phrocloraz (Sportak 450

CE, da empresa Hoechst Schering AgrEvo UK Ltd. – Inglaterra), na dose de 49,5 g/100 L de água e, posteriormente, secados ao ambiente.

O experimento foi iniciado cerca de 45 h após a colheita dos frutos, que foram transportados do Município de Matias Cardoso até Viçosa, em um tempo aproximado de 12 h.

Os frutos foram separados em grupos de três, dispostos em redes de náilon, e acondicionados em caixas plásticas herméticas de 186 L, equipadas com miniventiladores para promover circulação do ar em seu interior e distribuição homogênea do etileno aplicado (Figura 1B). As caixas foram dispostas em câmara refrigerada com temperatura de  $20 \pm 1$  °C e umidade relativa do ar de  $90 \pm 5\%$ . Utilizou-se etileno P.A. na concentração de 99,9% (v/v). A aplicação foi feita com seringas graduadas, injetando-se o gás através de septos de silicone existentes nas caixas, localizados próximo a ponto de ventilação, nas doses de 0 (controle), 5, 10, 20 e 40  $\mu\text{L.L}^{-1}$ , por 24, 48 e 96 h (Figura 1C).

A cada 24 h, as caixas foram abertas, para renovação de sua atmosfera interna. Após 30 min, foram novamente fechadas, e procedeu-se à reaplicação do etileno até a finalização de cada tratamento. Após cada tempo de exposição ao etileno, os frutos foram transferidos para câmara de refrigeração com temperatura e umidade relativa do ar semelhantes às utilizadas na fase de tratamento,  $20 \pm 1$  °C e  $90 \pm 5\%$ , respectivamente. Nos períodos de 0, 24, 48, 72 e 96 h após o tratamento com etileno, amostras de frutos foram conduzidas para as análises laboratoriais. Os frutos-controle foram mantidos por 24 h em caixa hermética e, em seguida, também conduzidos à mesma câmara dos demais, sendo amostrados e avaliados a cada 24 h.

## **2.2. Análises**

### **2.2.1. Cor da casca**

A mensuração da cor do fruto foi feita por reflectometria, mediante a utilização de um colorímetro Konica Minolta modelo CR-10. As leituras foram expressas no módulo  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , conforme o Sistema de Cores CIE, 1976, para medida, designação e acerto de cores, em que um sólido de cores é definido por três coordenadas retangulares, das quais se obtêm unidades ou pontos de uniformidade visual aproximada.

Como propõe o sistema, há um eixo principal  $L^*$  que indica o nível de luminosidade da cor, variando de 0 (totalmente preto) a 100 (totalmente branco); os valores intermediários definem uma escala de cinza. O matiz, que expressa a tonalidade da cor, é especificado por outros dois caracteres. O  $a^*$  descreve o eixo que vai do vermelho (+60) ao verde (-60), em que valores negativos refletem a predominância do verde e os positivos, do vermelho. O segundo caractere, identificado por  $b^*$ , define o eixo que vai do amarelo ao azul, variando igualmente de +60 a -60, em que valores negativos refletem a predominância do azul e positivos, a do amarelo (Figura 2).

A partir desses valores, foi determinada a Diferença Total de Cor (DE), conforme Mendoza *et al.* (2006), segundo as equações abaixo:

$$DE^2 = (DL^*)^2 + (Da^*)^2 + (Db^*)^2$$

em que:

$$DL^* = L^*_{t_i} - L^*_{t_o}$$

$$Da^* = a^*_{t_i} - a^*_{t_o}$$

$$Db^* = b^*_{t_i} - b^*_{t_o}$$

A DE foi determinada pela diferença total de cor ( $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ ) entre os valores registrados nos frutos em cada tempo de análise ( $t_i$ ) e aqueles obtidos nos frutos recém-colhidos ( $t_o$ ). O ângulo de cor Hue,  $^{\circ}h^* = \text{actg} (^*b/^*a)$ , é derivado dos caracteres  $a^*$  e  $b^*$  e assume valor  $0^{\circ}$  para vermelho,  $90^{\circ}$  para amarelo,  $180^{\circ}$  para verde e  $270^{\circ}$  para azul.

As medidas foram obtidas em dois pontos diametralmente opostos na zona equatorial de cada fruto analisado.

### 2.2.2. Pigmentos da casca

Os pigmentos foram extraídos a partir de amostras de flavedo dos frutos, obtidas com o auxílio de um perfurador de rolhas com diâmetro de 10 mm.

As amostras (discos de casca) foram maceradas em almofariz com o auxílio de areia fina esterilizada e acetona 100%. O extrato cetônico foi transferido para um funil de vidro com papel-filtro e lavado seguidas vezes com acetona 100% para extração completa dos pigmentos, sendo o extrato filtrado transferido para proveta de 25 mL, cujo volume foi completado com acetona 100%, ao final da filtração.

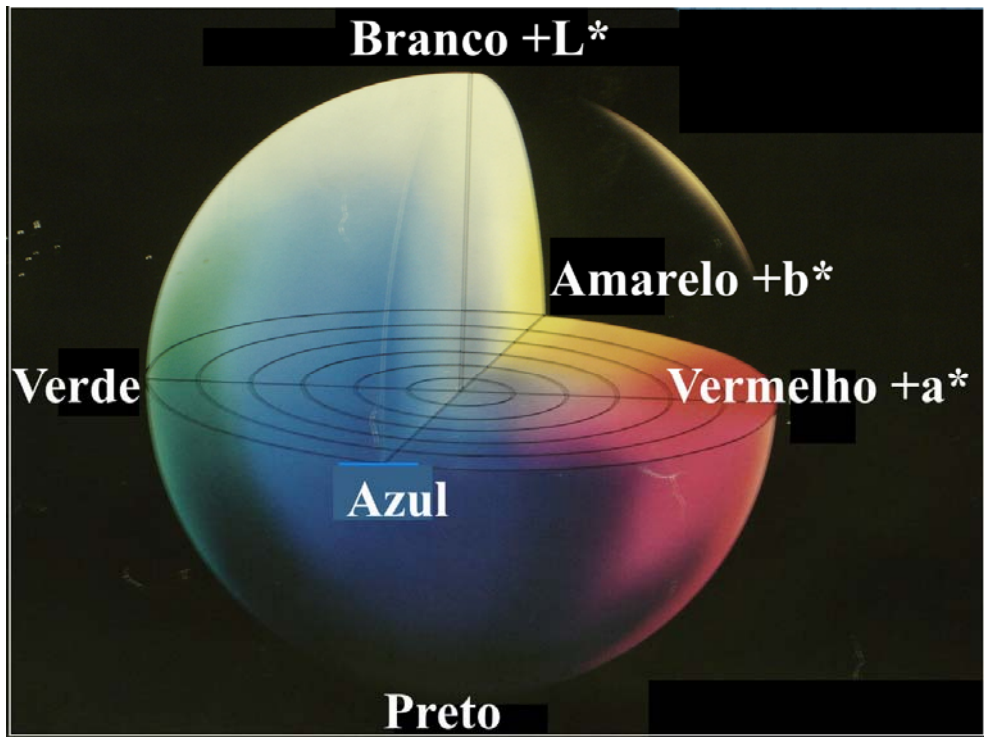
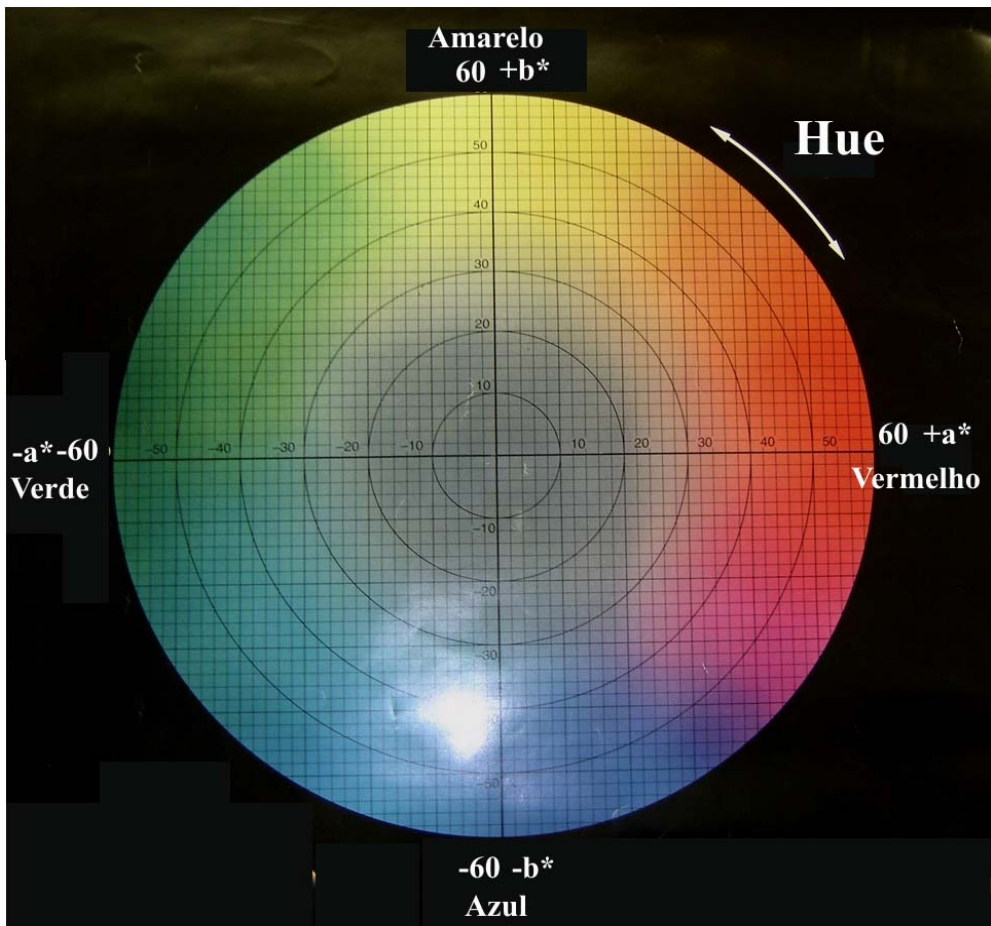


Figura 2 – Sistema de Cores CIE  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  para medida, designação e acerto de cores, um sólido de cores.

A fim de eliminar completamente a turbidez recorrente do extrato cetônico, realizaram-se duas filtrações consecutivas. Livre de qualquer sinal de turbidez, o extrato foi levado ao espectrofotômetro, cujas absorvâncias foram lidas nos comprimentos de onda de 470, 644,8 e 661,6 nm. A partir dos valores de absorvância, foram estimados os teores de clorofila *a* (*Ca*), *b* (*Cb*), total (*Ct*) e de carotenoides, em µg/mL do extrato cetônico, conforme as equações propostas por Lichtenthaler (1987):

$$Ca = 11,24 A_{661,6} - 2,04 A_{644,8}$$

$$Cb = 20,13 A_{644,8} - 4,19 A_{661,6}$$

$$Ct = 7,05 A_{661,6} + 18,09 A_{644,8}$$

$$\text{Carotenoides} = (1000 A_{470} - 1,90 Ca - 63,14 Cb)/214$$

Os resultados dos teores dos pigmentos foram expressos em µg/cm<sup>2</sup> de casca amostrada.

### **2.2.3. Sólidos solúveis (SS)**

Amostras compostas de suco dos três frutos de cada unidade experimental foram homogeneizadas e filtradas em peneira de malha fina. O teor de sólidos solúveis foi determinado com o auxílio de um refratômetro portátil, Atago modelo N1, com leitura na faixa de 0 a 32 °Brix. Foram feitas duas leituras de cada amostra, sendo utilizada sua média para a análise dos dados.

### **2.2.4. Acidez titulável (AT)**

A acidez total titulável foi determinada por meio de titulação potenciométrica, realizada sob agitação, de uma alíquota de 5 mL do suco do conjunto de frutos de cada unidade experimental, obtido conforme item 2.2.3. A alíquota de suco foi completada para 100 mL com água destilada, em erlenmeyer, e titulada com solução de NaOH 0,1 N, previamente padronizada com biftalato de potássio, usando-se fenolftaleína 1% como indicador. Os resultados foram expressos em g de ácido cítrico/100 mL de suco.

### **2.2.5. Relação SS/AT**

Essa relação foi obtida pela razão entre os teores de sólidos solúveis e acidez titulável.

### **2.2.6. Perda de massa fresca**

Os frutos foram pesados em balança eletrônica de precisão de 0,1 g. Os resultados foram expressos em porcentagem, considerando-se a diferença entre a massa inicial do fruto e aquela obtida em cada período de amostragem.

### **2.2.7. Produção de CO<sub>2</sub>**

A produção de CO<sub>2</sub> pelos frutos foi determinada após o término de cada período de exposição ao etileno e nos demais dias de amostragem. As determinações foram feitas por cromatografia gasosa, utilizando-se um cromatógrafo a gás Gow Mac série 550 equipado com detector de condutividade térmica.

Os frutos foram acondicionados em frascos de vidro herméticos com volume de 3.260 mL e, após 60 min de retenção dos frutos nos frascos, alíquotas de 1,0 mL de sua atmosfera interna foram retiradas com o uso de seringas e injetadas no cromatógrafo a gás, equipado com coluna de alumínio preenchida com Porapak Q.

As condições de trabalho foram as seguintes: fluxo de 40,0 mL por minuto de gás hélio, que foi o gás de arraste; corrente elétrica de 150 mA; temperaturas da coluna, do detector e do injetor de 50, 70 e 80 °C, respectivamente; e temperatura ambiente em torno de 25 °C.

A quantificação de CO<sub>2</sub> produzido foi feita pela tomada das medidas das alturas dos picos registrados no cromatograma e sua comparação com os picos referentes à injeção de uma alíquota-padrão composta de 5,96% mol de CO<sub>2</sub> por mol de mistura CO<sub>2</sub> + N<sub>2</sub>. Os resultados foram expressos em mg de CO<sub>2</sub> . kg<sup>-1</sup> . h<sup>-1</sup>.

### **2.2.8. Extravasamento de eletrólitos da casca**

A análise foi realizada de acordo com a metodologia descrita por Serek *et al.* (1995), com modificações. Foram retirados discos de 10 mm de diâmetro da casca dos frutos com o auxílio de um perfurador de rolhas, totalizando 9 discos por repetição (três discos de cada um dos frutos). Os discos foram lavados em água

destilada e secados superficialmente com papel absorvente. Em seguida, foram mantidos em repouso por duas h em tubos de ensaio contendo 20 mL de água destilada em condições ambientes. Ao fim do repouso, foi medida a condutividade elétrica da água com um condutivímetro Schott modelo CG 853. Posteriormente, os tubos de ensaio com as amostras dos discos de casca foram levados à autoclave (121 °C a 1,5 atm) por 30 min e, em seguida, foi feita uma segunda medição da condutividade elétrica. Os resultados foram expressos como a razão entre os valores obtidos na primeira e na segunda medição, multiplicados por 100.

### **2.3. Delineamento experimental e análise estatística**

O experimento foi organizado no esquema de parcelas subdivididas, tendo nas parcelas as doses de etileno (0, 5, 10, 20 e 40 µL/L) e nas subparcelas os tempos de avaliação: 0, 24, 48, 72 e 96 h após cada tempo de exposição dos frutos ao etileno (24, 48 e 96 h). O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado (DIC), com quatro repetições e três frutos por unidade experimental.

Para os dados referentes à dose zero, em que não houve variação de tempos de exposição, procedeu-se à análise de regressão simples. Já, para os dados referentes às doses de 5, 10, 20 e 40 µL.L<sup>-1</sup> de etileno, procedeu-se à fixação dos diversos tempos de exposição ao etileno, verificando as variações dos efeitos das doses (D) e dos tempos após a exposição ao etileno (T) sobre cada uma das variáveis estudadas. Para tanto, utilizou-se a técnica de superfície de resposta.

A escolha dos modelos se baseou na significância dos coeficientes de regressão pelo teste 't' (Student) a 5% de probabilidade, no coeficiente de determinação e no potencial do modelo para explicar o fenômeno biológico. No caso em que um dos fatores de determinação de efeito, dose (D) ou tempo após exposição ao etileno (T) excedeu os 5% de significância, adotou-se a regressão linear para o estudo do comportamento da variável, em função daquele fator cujo efeito foi significativo a pelo menos 5% de probabilidade, pelo teste 't' (Student). Para a variável taxa de respiração, utilizou-se a estatística descritiva.

Para as variáveis diferença de cor, ângulo Hue e teores de clorofila e de carotenoides totais da casca, adotou-se ainda o teste de Dunnett para a comparação dos frutos recém-colhidos com aqueles amostrados após cada tempo de exposição ao etileno.

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1. Cor e pigmentos da casca imediatamente após a exposição ao etileno**

Para a variável diferença de cor (DE), observou-se diferença, pelo teste de Dunnett, entre a testemunha (frutos recém-colhidos) e os demais tratamentos, em todos os tempos de exposição (Quadro 2).

Os frutos recém-colhidos foram tomados como referência para o acompanhamento da evolução da cor da casca dos demais frutos tratados, bem como para todas as outras variáveis; por isso, sua diferença de cor foi considerada como zero ('0'). No teste de Dunnett, foram comparados os frutos de todos os tratamentos, indistintamente, com os frutos-referência.

Apenas o ângulo Hue dos frutos expostos ao etileno por 96 h diferiu do observado nos frutos-controle, independentemente da dose. Esse resultado demonstra que, durante a fase de tratamento com etileno, não houve alteração sensível na coloração da casca dos frutos expostos ao etileno por períodos de 24 e 48 h que, a 5% de probabilidade pelo teste de Dunnett, não diferiu da coloração da testemunha (Quadro 2).

O teor de clorofila total da casca dos frutos expostos ao etileno por 48 e 96 h diferiu do observado nos fruto-controle, exceto para 48 h de exposição a 10 µL/L de etileno, diversamente do que foi verificado nos frutos expostos ao etileno por 24 h (Quadro 2). Dessa forma, pressupõe-se a insuficiência do tempo de 24 h em permitir a ação do etileno no processo de degradação da clorofila da casca.

Quadro 2 – Valores médios das variáveis diferença de cor (DE), ângulo Hue, clorofila total e carotenoides totais de frutos de tangerineira ‘Poncã’ recém-colhidos (testemunha) e após cada tempo de exposição a diferentes doses de etileno

| Tratamentos (D;T) <sup>1</sup> | DE       | Ângulo Hue | Clorofila total (µg/cm <sup>2</sup> ) | Carotenoides totais (µg/cm <sup>2</sup> ) |
|--------------------------------|----------|------------|---------------------------------------|---|
| Testemunha <sup>2</sup>        | 0,00     | 119,03     | 25,22                                 | 4,6                                       |
| (5;24)                         | 1,64* b  | 118,11 a   | 21,38 a                               | 5,9 a                                     |
| (5;48)                         | 5,50* b  | 113,42 b   | 17,40* a                              | 5,2 a                                     |
| (5;96)                         | 26,24* a | 94,45* c   | 6,46* b                               | 6,3 a                                     |
| (10;24)                        | 2,70* b  | 119,95 a   | 23,30 a                               | 5,1 a                                     |
| (10;48)                        | 5,07* b  | 115,34 a   | 18,95 a                               | 5,2 a                                     |
| (10;96)                        | 23,32* a | 97,35* b   | 6,77* b                               | 5,8 a                                     |
| (20;24)                        | 3,33* b  | 118,63 a   | 24,12 a                               | 6,3 a                                     |
| (20;48)                        | 4,72* b  | 115,55 a   | 16,79* b                              | 4,9 b                                     |
| (20;96)                        | 22,62* a | 94,72* b   | 5,76* c                               | 5,4 ab                                    |
| (40;24)                        | 3,31* b  | 117,34 a   | 21,33 a                               | 5,6 a                                     |
| (40;48)                        | 8,11* b  | 112,49 a   | 14,47* ab                             | 5,1 a                                     |
| (40;96)                        | 17,20* a | 98,15* b   | 8,12* b                               | 6,4* a                                    |

Médias seguidas de “\*” nas colunas diferem estatisticamente da testemunha, pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade; <sup>1</sup>D (dose de etileno, em µL/L); T (tempo de exposição ao etileno, em horas); e <sup>2</sup> Média dos frutos recém-colhidos, com a casca verde. As médias seguidas de mesma letra minúscula dentro de cada dose nas colunas não diferiram entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Como visto no Quadro 2, observou-se que o tempo de 96 h foi o mais eficiente na alteração dos valores das variáveis DE, ângulo Hue e teor de clorofila total da casca. Os efeitos dos tempos de 24 e 48 h de exposição sobre as variáveis foram semelhantes entre si e diferiram dos observados em 96 h. Assim, tempos de exposição inferiores a 96 h podem apresentar baixa eficiência na promoção da completa difusão do gás para o interior dos frutos, comprometendo, conseqüentemente, sua ação no desverdecimento da casca.

Quanto ao teor de carotenoides, não foi observada alteração significativa dos valores, independentemente do tempo de exposição, salvo para 96 h de exposição a 40 µL/L de etileno, em que se verificou diferença em relação à testemunha (fruto recém-colhido), pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade (Quadro 2). O fato de

não ter ocorrido aumento nos teores de carotenoides totais sugere que, durante a fase em que os frutos estiveram expostos ao etileno, a mudança na coloração da casca ocorreu somente devido à degradação de clorofila, seguida de revelação de pigmentos carotenoides pré-sintetizados, visto que os frutos, ao fim dos tratamentos, já apresentavam sinais de amarelecimento da casca.

## **3.2. Parâmetros de qualidade da casca nos dias seguintes à exposição ao etileno**

### **3.2.1. Diferença de cor da casca**

A variável diferença de cor, independentemente do tempo de exposição dos frutos ao etileno, apresentou efeito de tempo após exposição (T) significativo a 1% de probabilidade, ao passo que o efeito de dose (D) foi significativo a 5% de probabilidade, apenas nos tempos de 24 e 96 h de exposição (Figura 3). Essa observação ressalta a importância do tempo transcorrido após a exposição ao etileno para que o desverdecimento seja completado. Apesar disso, Purvis e Barmore (1981), trabalhando com tangerina ‘Robinson’, obtiveram resultados satisfatórios de desverdecimento após as 72 h seguintes à exposição dos frutos a 7,7  $\mu\text{L/L}$  de etileno por 24 h.

Os frutos-controle (tempo de exposição “0”), não submetidos ao tratamento com etileno gasoso, apresentaram alteração na coloração da casca, que seguiu comportamento sigmoidal. Os frutos apresentaram valores iniciais de DE em torno de 3, com discreta evolução nas primeiras 24 h, seguida de aumento significativo entre 24 e 72 h, com tendência de estabilização entre 72 e 96 h, em torno de 20 (Figura 3A).

Mazzuz (1996) observou que a faixa de temperatura mais propícia ao desverdecimento é de 18 a 25 °C, e, segundo Jimenez-Cuesta *et al.* (1983), a umidade relativa do ar considerada mais apropriada situa-se entre 85 e 95%. Como todos os frutos foram mantidos nessas condições, mesmo aqueles não tratados com etileno apresentaram discreta degradação de clorofila, que foi suficiente para o aumento da diferença de cor, como observado nos frutos-controle.

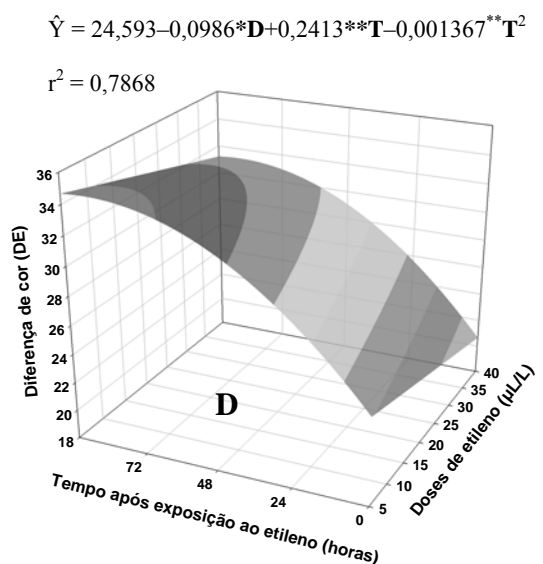
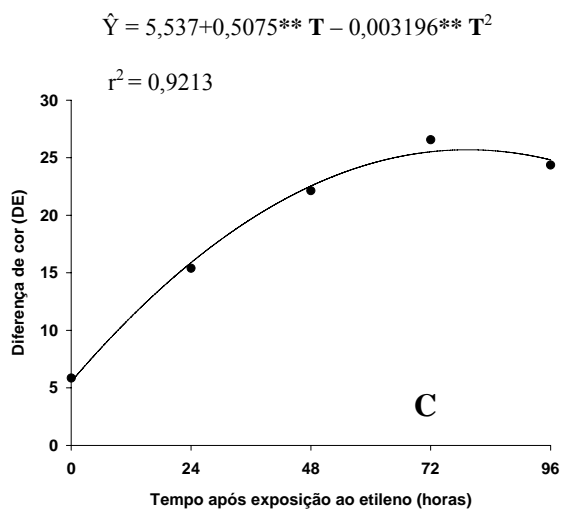
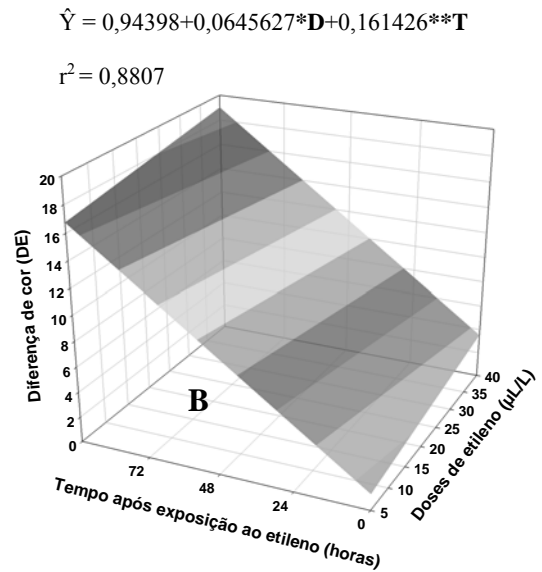
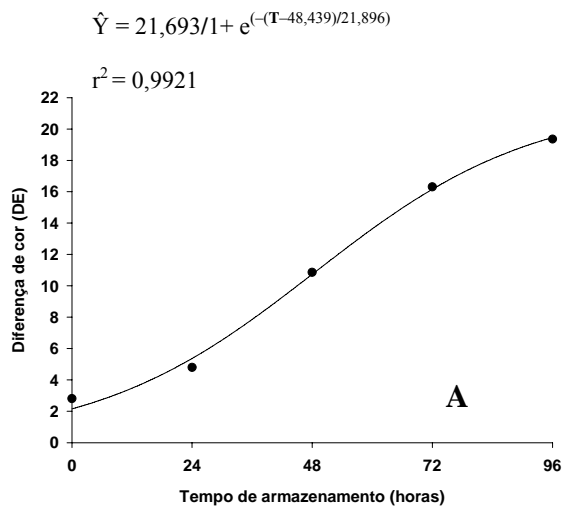


Figura 3 – Estimativa da diferença de cor de frutos de tangerineira ‘Poncã’ em relação aos frutos recém-colhidos, em função das doses (D) e do tempo após a exposição ao etileno (T). **A** – frutos-controle, não tratados; **B** – frutos expostos ao etileno por 24 h; **C** – frutos expostos ao etileno por 48 h; e **D** – frutos expostos ao etileno por 96 h.

Já os frutos expostos ao etileno por 24 h (Figura 3 B) apresentaram evolução linear para a mudança de cor da casca, em função tanto do aumento do tempo após o tratamento com etileno quanto com o incremento das doses aplicadas do gás. Como se observa na Figura 3B, a magnitude dos valores de DE ao longo do tempo é muito semelhante àquela verificada nos frutos-controle, indicando a baixa eficiência do

tempo de 24 h na promoção da diferença de cor dos frutos, provavelmente em decorrência da insuficiente difusão do gás para o interior dos frutos, comprometendo sua ação no desverdecimento da casca.

Os frutos tratados por 48 h (Figura 3C), embora tenham apresentado maiores valores para DE em relação aos frutos-controle e aos expostos por 24 h em cada dia de avaliação, não se mostraram tão destacados desses na cor final apresentada. Houve tendência de estabilização dos valores de DE, com um ponto de máximo de 25,7, alcançado com 79,4 h após a exposição ao etileno. Contudo, quando comparados com os frutos tratados por 96 h, os valores de DE dos frutos de 48 h foram inferiores. Com 96 h de exposição, os frutos já apresentavam, assim que saíram da atmosfera com etileno, valores iniciais de DE bem superiores aos observados nos frutos dos outros tratamentos (Quadro 2), com valor médio entre as doses de 22,3.

A alteração da cor da casca dos frutos expostos ao etileno por 96 h, iniciada na fase de tratamento, completou-se na fase pós-tratamento, em que os frutos apresentaram valor máximo de 35,2, alcançado com 88,2 h após o fim do tratamento com etileno, independentemente da concentração do gás (Figura 3 D). Portanto, os frutos expostos ao etileno por 96 h apresentaram valores crescentes de DE por mais tempo em relação aos expostos por 48 h, que apresentaram valores estáveis já com 79,4 h após a exposição ao etileno. É provável que o maior tempo de exposição tenha concorrido para o efeito mais proeminente do etileno sobre os frutos tratados por 96 h, o que foi confirmado pela observação visual dos frutos ao longo do tempo em que foram avaliados.

Assim, para as condições experimentais praticadas, o tempo de 96 h de exposição dos frutos ao etileno propiciou maior diferença de cor da casca dos frutos, com discreto, porém, significativo efeito atribuído ao fator dose (D) e com destacado efeito atribuído ao tempo transcorrido após a exposição dos frutos ao etileno. Isso indica a necessidade de um tempo superior a 48 h de exposição, para que o etileno, em quantidade fisiologicamente ativa, seja difundido para o interior dos frutos e desencadeie a perda da coloração verde da casca.

Tão somente a diferença de cor não finaliza a caracterização da cor atingida pelo fruto. Ela indica apenas que está ocorrendo mudança de cor sem, contudo, informar a natureza dessa nova cor adquirida. Assim, qualquer evento que altere a coloração da casca dos frutos pode interferir na variação positiva da diferença de cor,

tal como um processo de senescência, o que não foi percebido pela qualidade visual, tampouco pelo sabor da polpa dos frutos.

### 3.2.2. Ângulo Hue da casca

Não houve efeito de dose (D) sobre o comportamento da variável ângulo Hue, independentemente do tempo de exposição ao etileno a que estiveram submetidos os frutos. Para todas as condições, observou-se, apenas, efeito atribuído ao tempo após a exposição ao etileno (Figura 4).

Nos frutos não tratados com etileno (Figura 4A), o ângulo Hue apresentou comportamento linear em função dos tempos de armazenamento, com tendência de diminuição dos valores ao longo do tempo. Esses frutos passaram de um ponto de coloração verde, com  $117,2^\circ$  para  $100,7^\circ$ , ao longo das 96 h em que estiveram na câmara, indicando alteração da cor no sentido do amarelecimento. Embora os frutos-controle tenham apresentado evolução de verde para amarelo ao longo das 96 h, percebeu-se que ainda careciam de desverdecimento mais acentuado, e de chegar a uma coloração final mais homogênea.

Os valores de ângulo Hue observados nos frutos-controle e nos expostos ao etileno por 24 h foram semelhantes entre si ao longo das 96 h após a exposição ao gás (Figura 4AB). Tanto a magnitude dos valores, ao longo do tempo, quanto a coloração final dos frutos de ambas as condições foram semelhantes, indicando que o tempo de 24 horas de exposição ao etileno foi insuficiente para um desverdecimento completo, o que corrobora o que foi observado em função da variável diferença de cor. Assim, a quantidade de etileno fisiologicamente ativo que migrou para o interior dos frutos em 24 h de exposição, independentemente da dose, exerceu efeito sobre a mudança da cor da casca semelhante ao que se verificou nos frutos-controle, em decorrência da quantidade basal de etileno sintetizado.

Esses dados se assemelham aos obtidos por Mendonça *et al.* (2003), que, trabalhando com limão Siciliano, encontraram resposta para ângulo Hue significativa e distinta do controle (frutos não tratados) para tempo mínimo de 48 h de exposição ao etileno, nas doses de 3, 6 e 12  $\mu\text{L/L}$ . Nessas mesmas doses, os efeitos em tempos maiores de exposição (96 e 144 h) foram ainda mais distintos daqueles verificados nos frutos-controle.

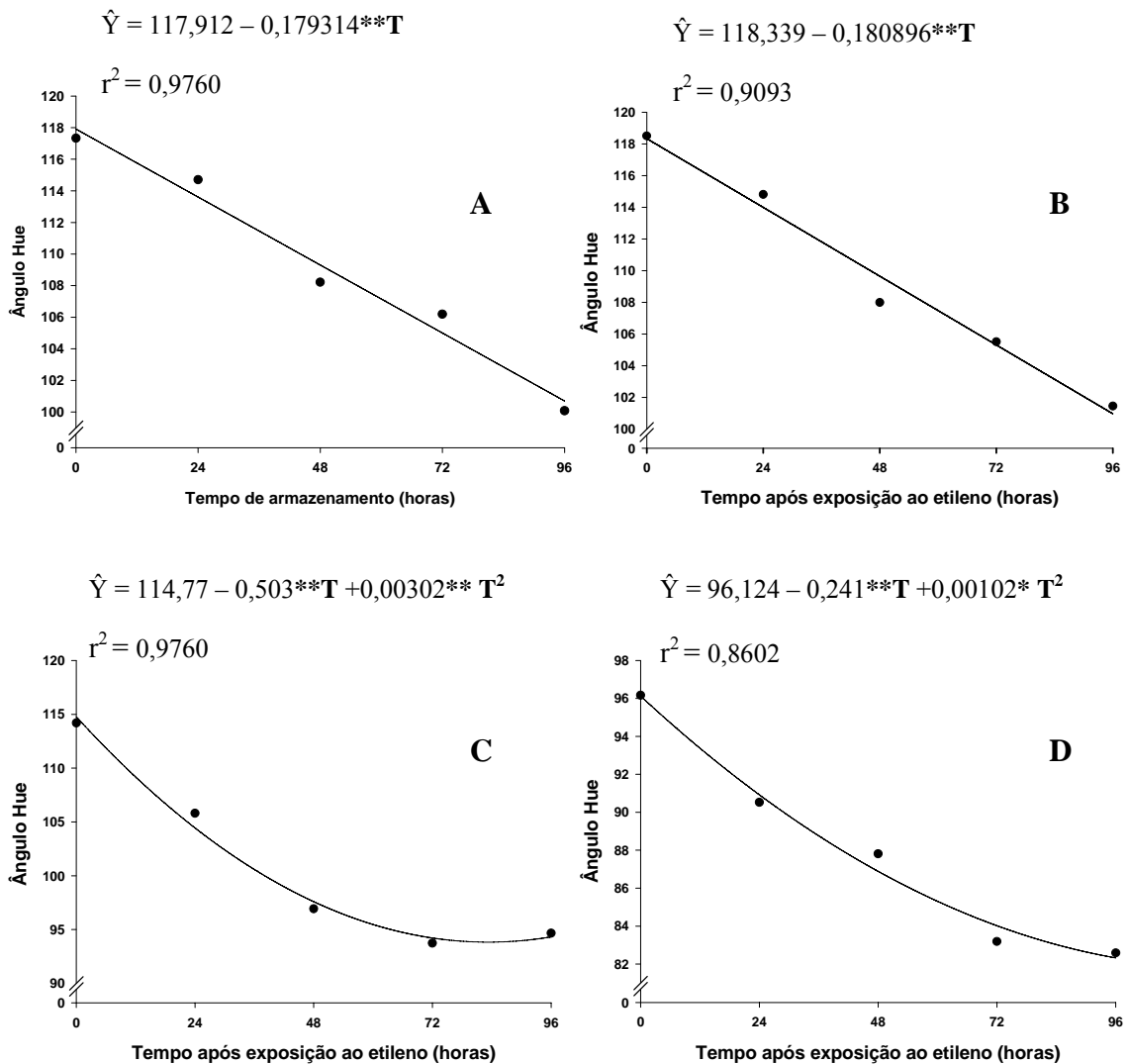


Figura 4 – Estimativa do ângulo Hue (h) de frutos de tangerineira ‘Poncã’, em função do tempo após a exposição ao etileno (T). **A** – frutos-controle não tratados; **B** – frutos expostos ao etileno por 24 horas; **C** – frutos expostos ao etileno por 48 horas; **D** – frutos expostos ao etileno por 96 horas.

Os frutos expostos ao etileno por 48 h (Figura 4C) apresentaram mudança de cor da casca mais acentuada ao longo das 96 h seguintes à fase de tratamento. Embora tenham apresentado cor da casca, ao final desse tempo, mais amarela do que nos frutos de 24 h, os de 48 h de exposição ainda tinham traços de verde, com predominância do amarelo. Os frutos apresentaram valor mínimo de ângulo Hue de 93,8°, observado depois de 83,3 h transcorridas após a exposição ao etileno. Esse valor final adquirido está ainda além dos 90°, referente à cor amarela.

Apenas os frutos expostos ao etileno por 96 h apresentaram valores de ângulo Hue inferiores a  $90^\circ$ , indicando tendência de aquisição de cor alaranjada, obtidos já a partir das 24 h seguintes ao tratamento com etileno, independentemente da dose aplicada. Esses frutos chegaram ao fim das 96 h após a exposição ao etileno apresentando ângulo Hue de  $82,3^\circ$  (Figura 4D). Já no início da fase pós-tratamento, tão logo os frutos saíram da exposição ao etileno, já apresentavam valores médios de ângulo Hue, independentemente da dose, de  $96,2^\circ$ , portanto inferiores a  $114,2^\circ$ , valor observado nos de 48 h de exposição, nas mesmas condições (Quadro 2 e Figura 4CD).

Embora os frutos expostos ao etileno por 96 h tenham alcançado maior grau de desverdecimento ao final do tempo de avaliações em relação aos demais tratamentos, notou-se que a perda da cor verde da casca dos frutos estava intimamente relacionada ao tempo total (fase de tratamento + fase pós-tratamento), mais do que ao tempo de exposição dos frutos ao etileno (24, 48 e 96 h). Isso fica claro quando se observam os valores do ângulo Hue dos frutos de 48 h de exposição seguidas de 48 h de armazenamento na fase pós-tratamento. Com um total de 96 h (48 h de exposição + 48 h após a exposição), os frutos apresentaram valores de ângulo Hue semelhantes aos observados nos frutos expostos ao etileno por 96 h assim que saíram da exposição ao gás (Figura 4CD).

A alteração dos valores do ângulo Hue observada nos frutos de 96 h foi bem mais suave e discreta do que nos frutos de 48 h. Essa informação, associada ao fato de que os frutos tratados por 96 h ficaram mais amarelos, pode indicar que a maior eficiência desse tempo de exposição esteja relacionada à maior difusão do etileno para o interior dos frutos, resultando em maior disponibilidade para a promoção de um desverdecimento da casca mais completo.

Ao longo dos tempos de avaliações, o ângulo Hue observado nos frutos expostos ao etileno por 96 h apresentou variação decrescente e quadrática, sem estabilização dos valores (Figura 4D).

O valor de  $82,3^\circ$  apresentado pelos frutos ao final das 96 h após a exposição ao etileno é inferior ao que foi observado nos frutos amadurecidos na planta, em condições de desverdecimento natural. Uma amostra representativa de frutos foi tomada 77 dias após a colheita realizada para a montagem do experimento. Os frutos desverdecidos naturalmente na planta apresentaram valor médio de ângulo Hue de  $88,3^\circ$  e a cor da casca desuniforme e com fortes traços de verde. Destaca-se ainda

que os frutos tratados por 96 h já apresentavam a cor da casca uniformemente amarela e sem qualquer indício visual de perda de qualidade entre 48 e 72 h após a exposição.

O desverdecimento mais completo foi conseguido no maior tempo de exposição dos frutos ao etileno (96 h). Contudo, mesmo nessa melhor condição experimental, os frutos não atingiram a coloração característica da tangerina ‘Poncã’, que é o laranja-avermelhado, conseguida naturalmente em regiões em que ocorrem temperaturas mais baixas, como as que se verificam no Município de Viçosa, localizado na Zona da Mata mineira. Nessas condições, os frutos chegaram ao completo amadurecimento na planta apresentando a casca com a coloração típica da espécie e valores de ângulo Hue de 60,8° (ver Capítulo 2).

Na Espanha, onde a técnica do desverdecimento com uso de etileno gasoso é empregada em escala comercial, adota-se um índice denominado ICC (índice de cor dos citros), proposto por Jimenez-Cuesta *et al.* (1981) e calculado a partir dos caracteres de cor  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ , da seguinte forma:  $ICC = (1000 \times a^*) / (L^* \times b^*)$ . Cada cultivar de citros possui um índice de coloração mínimo na colheita para um desverdecimento ótimo. O índice de cor dos citros varia de -20 a +20 e, segundo esses autores, frutos que apresentam  $ICC \leq -10$  quando submetidos ao desverdecimento não alcançam a coloração mínima comercial. Os frutos oriundos do Norte de Minas Gerais foram colhidos com a casca totalmente verde, apresentando  $ICC = -11,3$ ; portanto, essa é uma possível explicação para que os frutos não tenham manifestado a coloração alaranjada, típica das tangerinas ‘Poncã’.

### **3.3. Teor de clorofila total da casca**

Ao final das 96 h após a exposição ao etileno, os frutos tratados por 48 e 96 h apresentaram teor de clorofila total menor do que o observado nos frutos-controle (Figura 5). Por sua vez, aqueles expostos por 24 h ao etileno mostraram teores tanto iniciais quanto finais semelhantes aos dos frutos não tratados, o que ratifica o que já foi destacado acerca da insuficiência do tempo de exposição de 24 h.

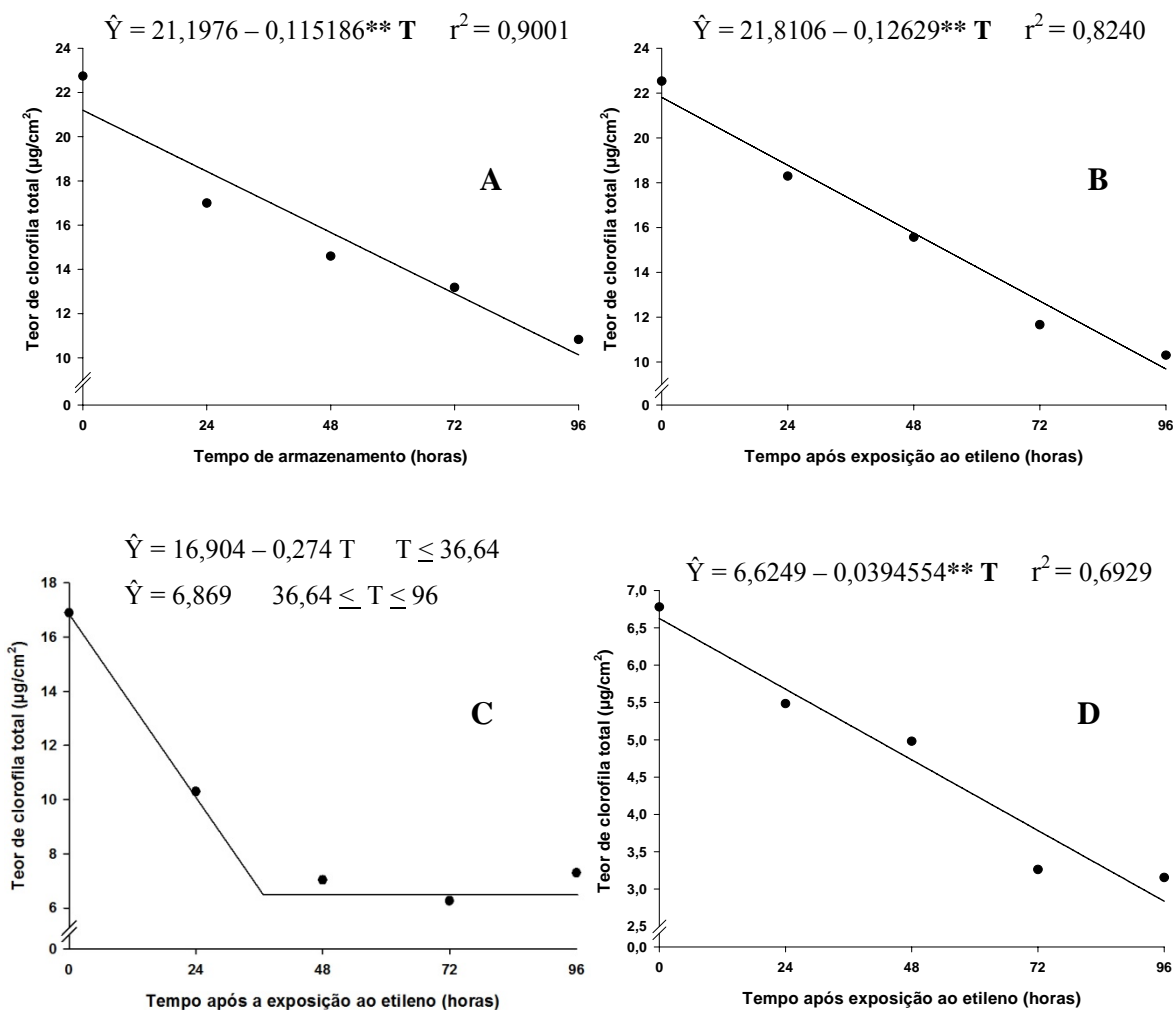


Figura 5 – Estimativa do teor de clorofila total da casca de frutos de tangerineira ‘Poncã’, em função do tempo após a exposição ao etileno (T). **A** – frutos-controle, não tratados; **B** – frutos expostos ao etileno por 24 h; **C** – frutos expostos ao etileno por 48 h; e **D** – frutos expostos ao etileno por 96 h.

Assim como observado no comportamento da variável ângulo Hue, o teor de clorofila total na casca dos frutos-controle não diferiu do verificado nos frutos tratados por 24 h. Como no ângulo Hue, tanto a magnitude dos valores quanto a sua variação, ao longo do tempo, foi semelhante entre os frutos de ambas as condições (Figura 5AB).

Nos frutos expostos ao etileno por 48 h (Figura 5C), a variável apresentou comportamento linear em função do tempo após a exposição ao etileno (T). Assim que foram retirados das caixas de aplicação do gás, os frutos apresentaram teor médio, entre as doses, de clorofila total da casca de  $16,9 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ , tendo sido

verificada queda acentuada até 36,6 h após o tratamento, momento em que se observou valor mínimo médio para a variável de 6,9  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ , com estabilização até o final do tempo de avaliações.

Por sua vez, os frutos expostos por 96 h ao etileno, já no início da fase pós-tratamento, apresentavam teores de clorofila total semelhantes ao mínimo apresentado pelos frutos de 48 h, alcançado apenas com 36,6 h após o fim da exposição (Figura 5CD). Nos frutos tratados por 96 h, o teor de clorofila total reduziu-se linearmente ao longo das 96 h pós-tratamento. A degradação foi máxima com 96 h após o fim do tratamento com etileno, alcançando teor médio de 2,8  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ .

Embora os menores valores tenham sido atingidos ao final das 96 h, entre 48 e 72 h os frutos já apresentavam a cor da casca amarela e uniforme, como visto no item 3.2.2., para os valores do ângulo Hue. Esses resultados estão em acordo com os que Martins (2003) obteve quando, trabalhando com tangerinas ‘Poncã’, observou que a maior degradação de clorofila ocorreu entre 48 e 96 h após a exposição dos frutos ao etileno com a menor dose de 5  $\mu\text{L}/\text{L}$ .

Assim, o binômio 96 h de exposição ao etileno acrescido de mais 48 a 72 h surge, novamente, como a melhor opção para se obterem frutos com aspecto visual e cor de casca favoráveis à comercialização. Essa combinação foi a que propiciou maior grau de desverdecimento que, segundo Purvis (1980), consiste no desarranjo da estrutura interna dos cloroplastos, mecanismo-chave do processo de desverdecimento, além da maior atividade das enzimas clorofilase e oxidase, incrementando, assim, a degradação da clorofila na casca dos frutos (SHIMOKAWA *et al.*, 1978; YAMAUCHI *et al.*, 1997).

#### **3.4. Teor de carotenoides totais da casca**

A caracterização exata da participação do etileno na biossíntese de carotenoides em frutos cítricos é pouco conhecida. Sabe-se, contudo, que sua ação, tanto no desverdecimento natural (etileno endógeno) quanto em pós-colheita (etileno exógeno), induz a degradação da molécula de clorofila e a biossíntese de carotenoides (WHEATON; STEWART, 1973; GOLDSCHMIDT *et al.*, 1993).

Não obstante, a síntese de carotenoides na casca dos frutos, independentemente da condição de tratamento a que estiveram submetidos, elevou-se

discretamente ao longo do tempo decorrido após os tratamentos. Diferentemente das demais variáveis, não houve destaque do teor de carotenoides na casca dos frutos tratados com etileno por 96 h; mesmo nessa condição, ocorreu pequeno incremento, comparável aos observados nos frutos dos demais tratamentos (Figura 6).

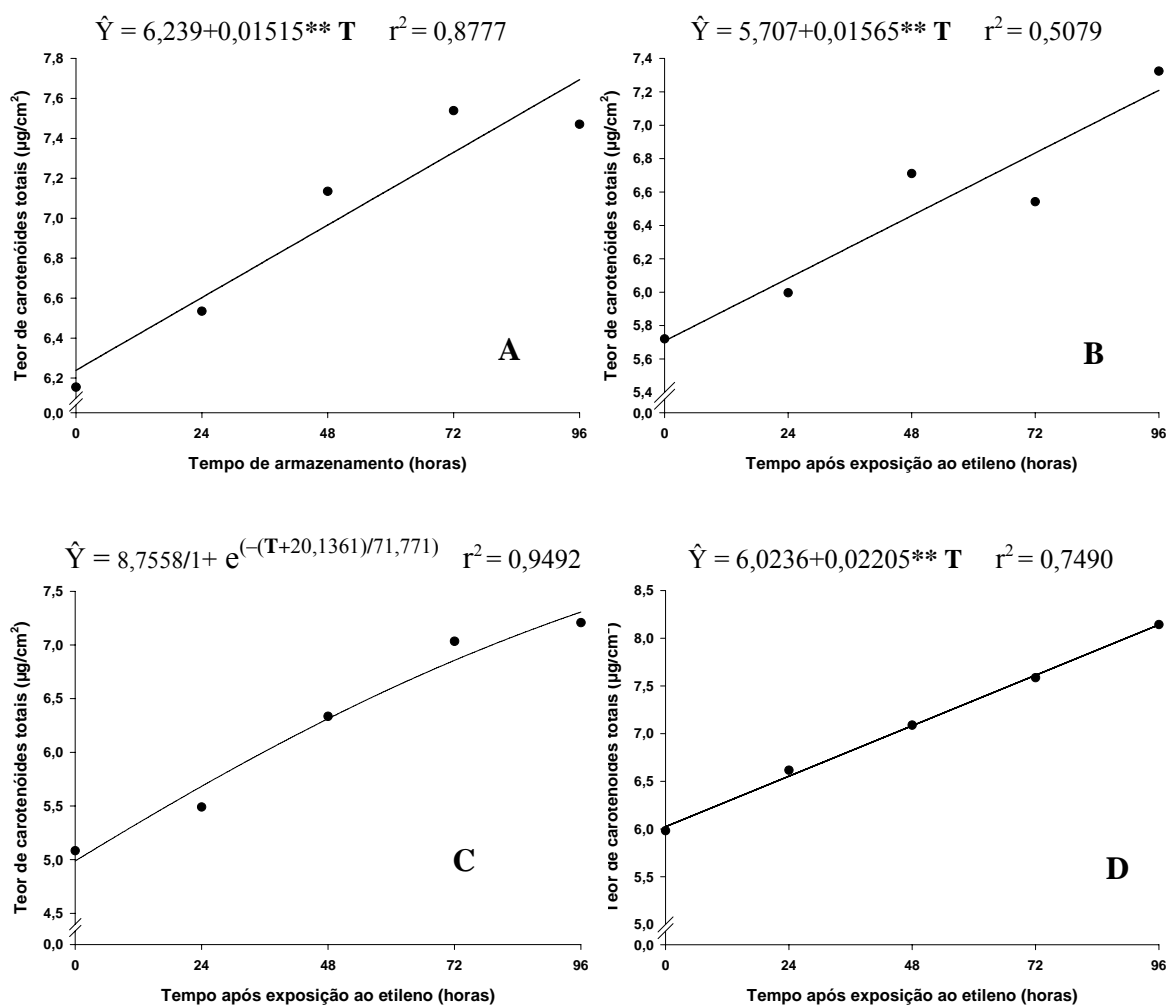


Figura 6 – Estimativa do teor de carotenoides totais da casca de frutos de tangerineira ‘Poncã’, em função do tempo após a exposição ao etileno (T). **A** – frutos-controle, não tratados; **B** – frutos expostos ao etileno por 24 h; **C** – frutos expostos ao etileno por 48 h; e **D** – frutos expostos ao etileno por 96 h.

Como destacado no item 3.2.2., Sala *et al.* (1988) asseveraram que os resultados obtidos com o desverdecimento artificial, em pós-colheita, são comprometidos quanto mais precoce é a colheita. Assim, como os frutos foram

colhidos com a casca totalmente verde, sem qualquer indício de que já havia sido iniciado o desverdecimento natural, o etileno agiu de modo marcante, estimulando a atividade da clorofilase, bem como a sua síntese *de novo* (AZUMA *et al.*, 1999), concorrendo para o desverdecimento, cuja causa mais expressiva foi a degradação da clorofila, contudo com pouca expressão de síntese de novos pigmentos carotenoides na casca dos frutos.

Mediante análise de correlação de Pearson a 5% de significância, realizada entre os valores de ângulo Hue em relação aos teores de clorofila e de carotenoides da casca dos frutos na fase pós-exposição ao etileno, verificaram-se, porém, correlações significativa e positiva entre ângulo Hue e teor de clorofila (0,98; 0,97; 0,99) e significativa e negativa entre ângulo Hue e teor de carotenoides (-0,96; -0,95; -0,98), nos três tempos de exposição ao etileno (24, 48 e 96 h). Assim, embora a síntese de carotenoides tenha sido bastante discreta, o incremento observado contribuiu, juntamente com a degradação da clorofila, para o amarelecimento da casca dos frutos, medido quantitativamente pelo ângulo Hue da casca.

Com a aplicação de etileno, esperava-se que, paralelamente à degradação de clorofila, ocorresse também a síntese de carotenoides na casca dos frutos, de tal modo expressivo que fosse alcançada a cor de casca característica das tangerinas. Contudo, Martins (2003), trabalhando com desverdecimento da tangerina ‘Poncã’, observou decréscimo no teor de carotenoides durante a mudança da cor da casca dos frutos. Segundo esse autor, essa diminuição dos carotenoides durante a mudança de cor da casca dos frutos ocorreu devido à transformação dos cloroplastos em cromoplastos e à consequente degradação de clorofilas e de parte dos carotenoides, principalmente os da série  $\alpha$ -ionona, associados ao tecido fotossintético. Esse autor ainda destacou que esse tipo de comportamento também foi observado por Farin *et al.* (1983), ao estudarem a alteração dos pigmentos durante o amadurecimento de tangerinas ‘Michal’.

Neste trabalho, a síntese pouco expressiva de carotenoides provavelmente não correspondeu aos carotenoides que conferem a coloração alaranjada, típica da espécie, que são a  $\beta$ -citraurina e a criptoxantina (STEWART; WHEATON, 1971; FARIN *et al.*, 1983), o que não é possível afirmar que não ocorreria caso os frutos fossem colhidos mais tardiamente.

Stewart e Wheaton (1972), trabalhando com tangerinas ‘Robinson’ submetidas ao etileno, verificaram correspondência direta entre o acúmulo de

criptoxantina e  $\beta$ -citraurina e o surgimento da coloração laranja-avermelhada, típica da tangerina, nos frutos tratados com etileno, ao passo que nos frutos não tratados o pigmento predominante foi a violaxantina, resultando em coloração amarela.

### 3.5. Sintomas de fitotoxidez do etileno

Alguns frutos submetidos às maiores doses de etileno apresentaram manchas de tonalidade marrom na casca. As manchas começaram a surgir 72 h após o tratamento, nos frutos expostos a 40  $\mu\text{L/L}$  de etileno por 96 h. Decorridas 96 h após o fim do tratamento, os frutos expostos à dose de 20  $\mu\text{L/L}$  de etileno por 96 h também apresentaram o sintoma de toxidez de modo bastante expressivo, comprometendo quase toda a superfície da casca (Figura 7).

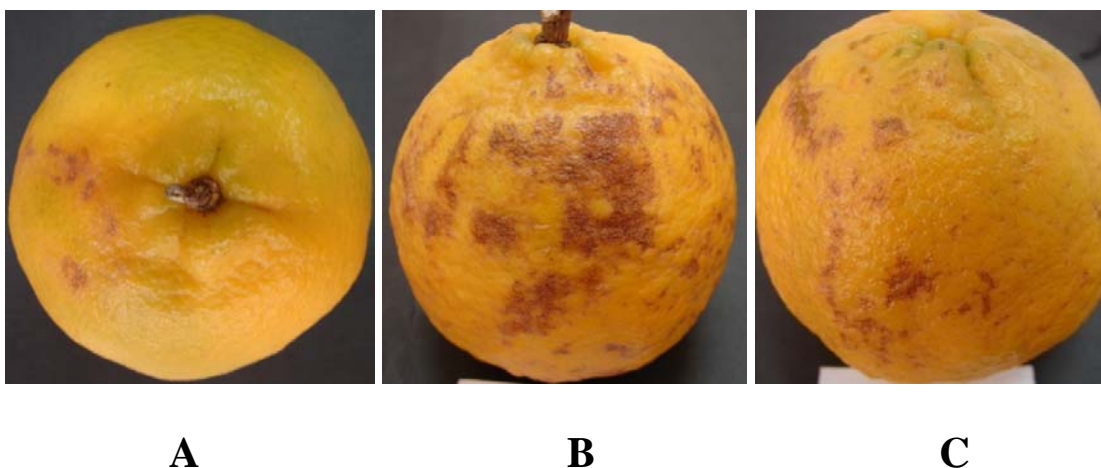


Figura 7 – Manchas na casca de frutos de tangerineira ‘Poncã’ tratados com etileno gasoso. **A** – fruto exposto a 40  $\mu\text{L/L}$  de etileno por 96 h após o fim do tratamento; **B** – fruto exposto a 20  $\mu\text{L/L}$  de etileno por 96 horas e 96 h após o fim do tratamento; e **C** – fruto exposto a 40  $\mu\text{L/L}$  de etileno por 96 h e 96 h após o fim do tratamento.

De acordo com Amat (1988), elevadas concentrações de etileno podem causar o aparecimento de queimaduras na casca de frutos cítricos submetidos ao desverdecimento, principalmente naqueles de casca fina; segundo esse autor, ainda

que as manchas não apareçam durante o processo de mudança de cor da casca dos frutos, podem surgir dias depois de completado o desverdecimento.

Pividal (1980), trabalhando com frutos de limão 'Eureka' e tangerina 'Dancy', verificou o aparecimento de manchas na superfície dos frutos expostos a doses de etileno que variaram de 25 a 50  $\mu\text{L/L}$ .

Martins (2003) observou os mesmos sinais de sensibilidade às altas concentrações de etileno, quando trabalhou com o desverdecimento de tangerinas 'Poncã', em frutos submetidos às doses de 50 e 100  $\mu\text{L/L}$  de etileno gasoso por 96 h. As manchas nos frutos apareceram 48 h após o fim da exposição, portanto mais precocemente, o que pode ser justificado pelas elevadas doses de etileno utilizadas e pelo longo tempo de exposição dos frutos ao etileno (96 h).

A sensibilidade dos frutos cítricos às elevadas concentrações de etileno parece ser bastante variável entre os diversos grupos. Muitos são os trabalhos em que se aplicaram elevadas concentrações de etileno, sem que ocorresse o aparecimento de manchas na casca dos frutos. Assim, Knee *et al.* (1988) submeteram frutos de laranja 'Washington Navel' a concentrações de etileno de até 1.250  $\mu\text{L/L}$ , por vários dias, enquanto Ladaniya (2000) expôs tangerinas 'Nagpur' a concentrações de etileno de até 100  $\mu\text{L/L}$ , durante 48 h. Em comum, esses autores mantiveram as concentrações de etileno em fluxo contínuo de ar, evitando, assim, o acúmulo de  $\text{CO}_2$  e, ainda, a diminuição prejudicial dos níveis de  $\text{O}_2$ , e não observaram qualquer sinal de distúrbio fisiológico na casca dos frutos que pudesse ser causado pelas elevadas concentrações de etileno.

Neste trabalho, procedeu-se à renovação da atmosfera das caixas em que os frutos ficaram expostos às doses de etileno; conseqüentemente, não houve acúmulo de  $\text{CO}_2$ , cujo excesso poderia ocasionar sintomas de toxidez nos frutos, sugerindo que as manchas apresentadas pelos frutos foram decorrentes das elevadas doses de etileno utilizadas, em associação com o tempo total de tratamento (fase tratamento + fase pós-tratamento).

A ocorrência dessas manchas acusando toxidez nas maiores doses de etileno e a combinação de fatores que levaram ao seu aparecimento (dose, tempo de exposição e tempo após a exposição) devem ser observados, a fim de evitar a depreciação e a perda dos frutos. A rápida disponibilização dos frutos para o consumo, imediatamente após a exposição ao etileno, bem como a utilização de doses menores, visto que não houve efeito distinto de dose sobre o desverdecimento, podem reduzir ou, mesmo, evitar a fitotoxidez do etileno sobre os frutos.

### 3.6. Qualidade interna e extravasamento de eletrólitos da casca dos frutos imediatamente após a exposição ao etileno

Independentemente da dose e do tempo de exposição ao etileno, não houve alteração dos atributos que definem a qualidade interna dos frutos: sólidos solúveis, acidez titulável e ratio (SS/AT) em relação aos frutos recém-colhidos, tampouco em relação aos tempos de exposição, dentro de cada dose (Quadro 3). O Quadro 3 revela, porém, que o extravasamento de eletrólitos celulares, dentro de cada dose, diferiu do observado nos frutos recém-colhidos, segundo o teste de Dunnett a 5% de significância.

Quadro 3 – Valores médios das variáveis sólidos solúveis, acidez titulável, eletrólitos da casca e ratio (SS/AT) de frutos de tangerineira Poncã recém-colhidos (testemunha) e após cada tempo de exposição a diferentes doses de etileno

| Tratamentos (D;T) <sup>1</sup> | S.S. (°Brix) | A.T. (% de ác. cítrico) | Ratio (SS/AT) | Extravasamento de Eletrólitos (%) |
|--------------------------------|--------------|-------------------------|---------------|-----------------------------------|
| Testemunha <sup>2</sup>        | 9,0          | 0,93                    | 9,7           | 21,0                              |
| (5;24)                         | 9,0 a        | 0,92 a                  | 9,8 a         | 24,0* a                           |
| (5;48)                         | 8,8 a        | 0,97 a                  | 9,1 a         | 31,2* a                           |
| (5;96)                         | 8,8 a        | 0,93 a                  | 9,5 a         | 30,2* a                           |
| (10;24)                        | 9,1 a        | 0,99 a                  | 9,3 a         | 24,3* b                           |
| (10;48)                        | 9,0 a        | 0,90 a                  | 10,0 a        | 35,8* a                           |
| (10;96)                        | 9,4 a        | 0,99 a                  | 9,5 a         | 29,2* ab                          |
| (20;24)                        | 9,1 a        | 0,90 a                  | 10,1 a        | 23,5* b                           |
| (20;48)                        | 9,1 a        | 0,96 a                  | 9,5 a         | 31,8* a                           |
| (20;96)                        | 9,0 a        | 0,91 a                  | 9,9 a         | 31,0* a                           |
| (40;24)                        | 9,0 a        | 0,90 a                  | 10,0 a        | 23,6* b                           |
| (40;48)                        | 8,8 a        | 0,88 a                  | 10,0 a        | 30,3* a                           |
| (40;96)                        | 8,9 a        | 0,94 a                  | 9,8 a         | 29,7* a                           |

Médias seguidas de “\*” na coluna diferem estatisticamente da testemunha, pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade; <sup>1</sup>D (dose de etileno, em µL/L); T (tempo de exposição às doses); e <sup>2</sup>Média dos frutos recém-colhidos, com a casca verde. As médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas, dentro de cada dose, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os maiores valores para o extravasamento de eletrólitos celulares podem ser consequência dos maiores tempos de exposição dos frutos às doses de etileno, visto que, à exceção dos frutos expostos a 5  $\mu\text{L/L}$  de etileno, os demais apresentaram maiores valores de extravasamento de eletrólitos da casca nos tempos de 48 e 96 h de exposição ao gás. Com o desarranjo da estrutura das membranas mais acentuado, em decorrência da maior quantidade de etileno no interior dos frutos, ocorreu maior extravasamento de eletrólitos. Convém destacar que, embora o maior valor de extravasamento de eletrólitos tenha sido registrado nos frutos expostos a 10  $\mu\text{L/L}$  de etileno (Quadro 3), eles não apresentaram manchas na casca, encontradas somente em alguns frutos submetidos a 20 e 40  $\mu\text{L/L}$  de etileno por 96 h.

Embora não tenha ocorrido alteração dos atributos de qualidade interna (sólidos solúveis e acidez titulável) com a aplicação dos tratamentos, os frutos apresentaram perda de qualidade com o aumento do tempo de exposição ao etileno, caracterizada pelo aumento do extravasamento de eletrólitos celulares, o que implica diminuição da vida útil do produto. Assim, há que se avaliem as vantagens do desverdecimento sobre o risco de perda da qualidade dos frutos, de tal modo que o uso do etileno na melhoria do aspecto visual das tangerinas não comprometa sua aceitação pelo consumidor.

### **3.7. Sólidos solúveis, acidez titulável e ratio (SS/ATT) da polpa dos frutos nos dias subsequentes à exposição ao etileno**

As variáveis sólidos solúveis, acidez titulável e a relação entre as duas (ratio) não apresentaram alteração significativa ao longo do tempo, em função dos tratamentos a que estiveram submetidos os frutos. Assim, o comportamento dessas variáveis seguiu modelo matemático definido pelas respectivas médias (Quadro 4).

Esses resultados confirmam os obtidos por Mendonça *et al.* (2003), que, trabalhando com até 144 h de exposição de frutos de limão ‘Siciliano’ a doses de 3, 6 e 12  $\mu\text{L/L}$ , também observaram que os tratamentos não alteraram o teor de sólidos solúveis e a acidez titulável dos frutos. Artéz *et al.* (1999) verificaram o mesmo, trabalhando com limões, pomelos e laranjas, e atribuíram tal comportamento ao fato de os citros serem frutos não climatéricos. Já Cohen (1981), testando diferentes combinações de desverdecimento da tangerina ‘Satsuma’, também não verificou alteração na acidez titulável e no teor de sólidos solúveis dos frutos.

Quadro 4 – Valores médios das variáveis sólidos solúveis, acidez titulável e ratio e os respectivos modelos

| Tempo de exposição (horas) | Sólidos solúveis (°Brix) | Acidez titulável (% de ác. cítrico) | Ratio (SS/AT) |
|----------------------------|--------------------------|-------------------------------------|---------------|
| 0                          | 9,0                      | 0,96                                | 9,40          |
| 24                         | 9,1                      | 0,92                                | 9,89          |
| 48                         | 9,1                      | 0,94                                | 9,68          |
| 96                         | 9,0                      | 0,96                                | 9,40          |
| Média total                | 9,0                      | 0,95                                | 9,59          |

Martins (2003) não observou alteração significativa para SS, AT e ratio, durante o desverdecimento de tangerinas ‘Poncã’, principalmente na concentração de 5  $\mu\text{L/L}$ , à temperatura de 25 °C. Entretanto, o autor observou discreta alteração nas variáveis em função dos tempos de avaliações (48 até 144 h), tendo a acidez titulável diminuído e o teor de sólidos solúveis aumentado, destacando terem ocorrido em tal magnitude que não comprometeu a qualidade de comercialização dos frutos.

Assim como discutido no item 2.1., as recomendações técnicas para a colheita de tangerina, prescritas pelo Programa Brasileiro para a Melhoria dos Padrões Comerciais e Embalagens de Hortigranjeiros (2000), foram seguidas, de maneira que, quando colhidos, os frutos já apresentavam qualidades mínimas exigidas para sua comercialização. Assim, não tendo sido alterada a qualidade interna dos frutos pelas condições experimentais a que estiveram submetidos, as tangerinas chegaram ao fim dos tratamentos apresentando os mesmos atributos iniciais, tendo sido, portanto, alcançado um dos objetivos deste trabalho, que foi promover o desverdecimento dos frutos sem alterar sua qualidade interna.

### 3.8. Extravasamento de solutos da casca

O extravasamento de eletrólitos celulares verificado nos frutos-controle foi semelhante ao observado nos frutos expostos ao etileno por 24 h, independentemente das doses, com comportamento crescente e linear ao longo do tempo. Embora a dispersão dos valores, ao longo do tempo, tenha sido maior nos frutos expostos ao etileno por 24 h, a amplitude dos valores, ao final das 96 h de avaliação, foi semelhante àquela verificada nos frutos-controle (Figura 8).

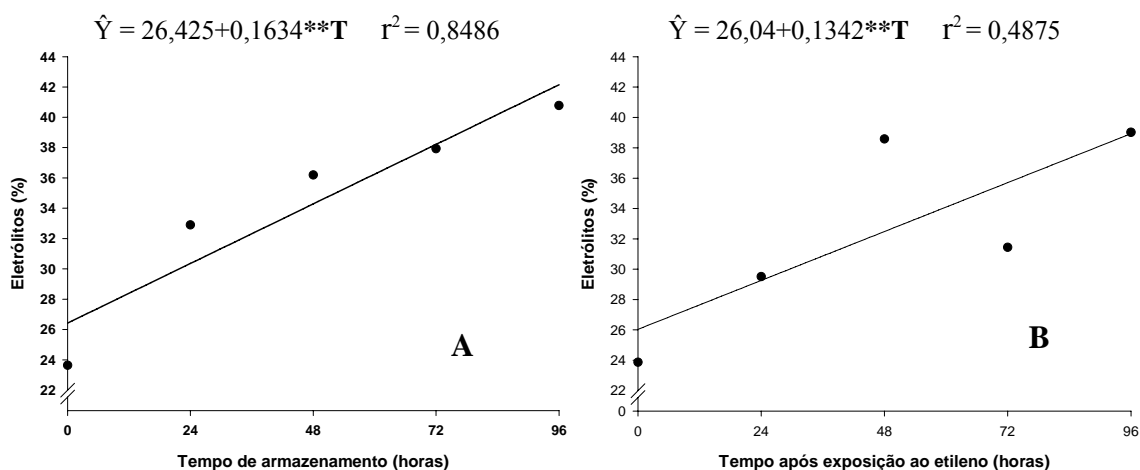


Figura 8 – Estimativa do extravasamento de eletrólitos celulares da casca de frutos de tangerineira ‘Poncã’ não tratados com etileno gasoso (frutos-controle) (A) e de frutos tratados com etileno por 24 h de exposição (B), em função do tempo decorrido a partir de cada tratamento.

O aumento do extravasamento de eletrólitos indica perda da permeabilidade seletiva das membranas celulares, em decorrência do processo natural de senescência. As mudanças são decorrentes da diminuição da fluidez dos lipídeos e alteração estrutural e da perda das proteínas de membrana durante a senescência (SEREK *et al.*, 1995).

Já os frutos expostos ao etileno por 48 e 96 h não apresentaram variação dos valores de extravasamento de eletrólitos durante a fase pós-tratamento. Ao final da fase de tratamento, porém, os frutos já apresentavam valores médios entre as doses de 32,3 e 30,0% de extravasamento, para 48 e 96 h de exposição ao etileno, respectivamente (Quadro 2). Nesses casos, os frutos mostraram maior perda de permeabilidade de suas membranas celulares durante o tempo em que ficaram expostos ao etileno.

Como não houve variação do extravasamento de eletrólitos nos frutos tratados por 48 e 96 h, o comportamento da variável é descrito pela média dos valores registrados ao longo das 96 h de análise, que foi igual entre as duas condições, ou seja, 33,9%. Esse valor médio encontra-se abaixo do máximo verificado nos frutos-controle e de 24 h de exposição, que foi de 42% e 39%, respectivamente, no tempo de 96 h após o término da exposição ao etileno. Contudo, o valor médio de 33,9% de perda de solutos da casca pode ser considerado alto, o

qual foi observado ao longo de todo o tempo de avaliações nos frutos tratados por 48 e 96 h.

Mesmo tendo apresentado valores médios elevados e constantes ao longo de toda a fase pós-tratamento, deve-se ressaltar que os frutos submetidos às doses de etileno por mais tempo (48 e 96 h) não apresentaram perda de qualidade visual. Por isso, não houve problema de se adotarem os maiores tempos de exposição dos frutos ao etileno, encaminhando o produto para comercialização tão logo se finalize o tratamento de exposição, reduzindo, assim, o tempo de chegada ao mercado e os riscos de perda dos frutos antes de sua comercialização.

### **3.9. Perda de matéria fresca dos frutos**

A perda de massa fresca dos frutos aumentou, de modo linear, em função do tempo transcorrido após a exposição ao etileno, independentemente do tratamento a que foram submetidos (Figura 9). Entretanto, a perda acumulada, ao final de 96 h, foi de apenas 0,9% no último dia de avaliação, referente aos frutos que ficaram mais tempo (96 h) expostos às maiores doses de etileno (Figura 9D).

Não foi observado efeito de dose sobre a perda de massa fresca dos frutos. Mendonça *et al.* (2003) também não constataram efeito de doses sobre a perda de massa fresca de limões ‘Siciliano’. Para esses autores, independentemente da dose, a perda de massa foi atribuída ao tempo de tratamento, atingindo valores ao redor de 1%, ao final de 144 h de tratamento.

A perda de massa de matéria fresca é função, principalmente, das taxas transpiratórias que o fruto apresenta, influenciadas diretamente pelo déficit de pressão de vapor (DPV) (GRIERSON; WARDOWSKI, 1978), que consiste na diferença de potencial de vapor d’água entre os tecidos do fruto e o ar circundante. O DPV varia de acordo com a dinâmica de temperatura e umidade relativa do ar que compõem a atmosfera. Assim, em temperaturas constantes, a taxa transpiratória aumenta para menores valores de umidade relativa do ar e diminui para maiores valores; da mesma forma, com valores de umidade constantes, em temperaturas mais elevadas, a transpiração tende a aumentar (HARDENBURG *et al.*, 1986)

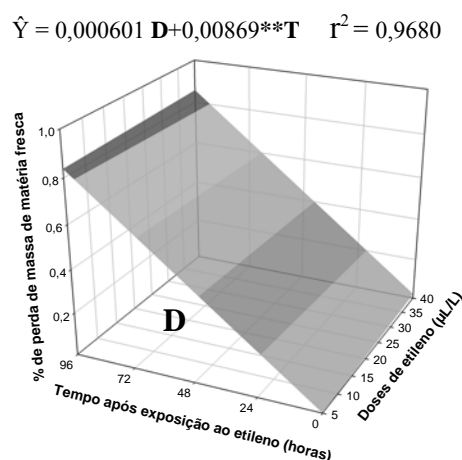
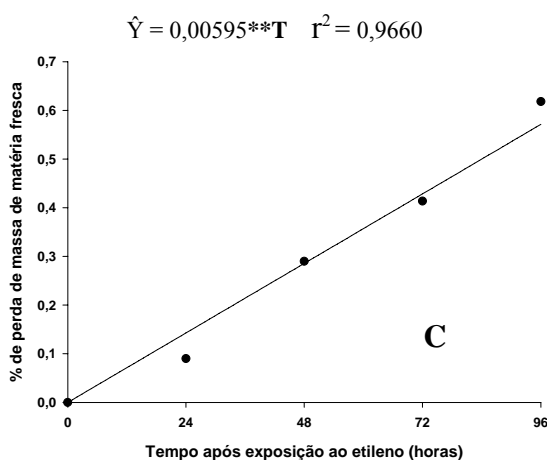
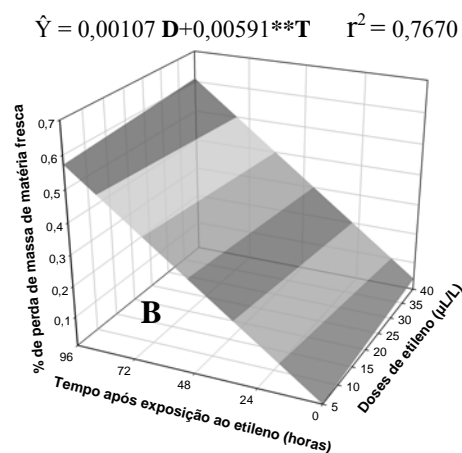
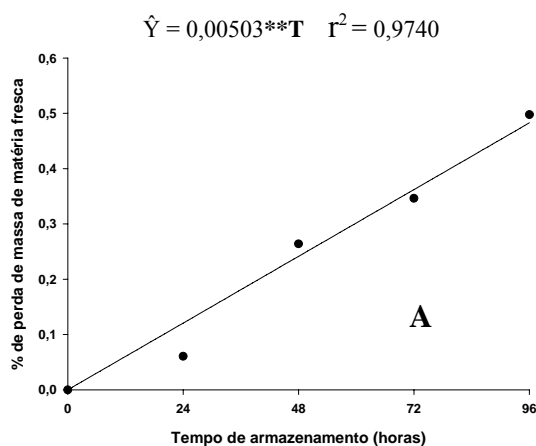


Figura 9 – Estimativa da perda de massa de matéria fresca de frutos de tangerineira ‘Poncã’ em função de dose (**D**) e do tempo após a exposição ao etileno (**T**). **A** – frutos-controle, não tratados; **B** – frutos expostos ao etileno por 24 h; **C** – frutos expostos ao etileno por 48 h; e **D** – frutos expostos ao etileno por 96 h.

Martins (2003) observou que tangerinas ‘Poncã’ tratadas com 100 µL/L de etileno por 96 h à temperatura de 25 °C apresentaram perda de massa fresca acumulada de 4,7% ao final de oito dias após o início dos tratamentos. Essa combinação de dose e temperatura foi a mais elevada proposta pelo autor, resultando em perda de massa bem superior ao que se obteve neste trabalho (0,9%) com a maior dose de etileno (40 µL/L) a 20 °C no maior tempo de exposição dos frutos (96 h).

A perda de massa fresca dos frutos pouco expressiva pode ser explicada pela alta umidade relativa no ar do interior das câmaras onde os frutos foram mantidos durante e após os tratamentos com etileno.

Esses valores bastante baixos de perda de massa fresca acumulada, independentemente do tempo de exposição dos frutos ao etileno, asseguram a possibilidade de recomendação dos maiores tempos de exposição, visto que, como observado, os frutos não apresentaram, em qualquer momento, sinais de murchamento ou enrugamento da casca, o que poderia depreciá-los.

### **3.10. Produção de CO<sub>2</sub> pelos frutos**

Imediatamente após o término do período de exposição ao etileno, os frutos apresentaram as maiores taxas de respiração registradas ao longo dos cinco tempos de análises, independentemente da dose aplicada. Os frutos não submetidos ao etileno (controle) apresentaram o mesmo comportamento (Figura 10). Isso se deve ao fato de que os frutos de todos os tratamentos ficaram acondicionados em caixas herméticas, incluindo os frutos-controle, durante a fase de exposição ao etileno. Nessa condição, a concentração de CO<sub>2</sub> no interior das caixas elevou-se, inibindo a difusão do gás do interior para o exterior dos tecidos.

Em geral, após as 24 h da fase pós-tratamento houve queda na taxa respiratória dos frutos de todos os tratamentos, independentemente do tempo de exposição e da dose aplicada (Figura 10), como era esperado de um fruto não climatérico. Essa diminuição severa da respiração após o término da exposição ao etileno pode ter sido consequência da difusão tanto do etileno quanto do CO<sub>2</sub> do interior dos frutos para a atmosfera externa aos tecidos. Sem a interferência do etileno exógeno sobre o metabolismo dos frutos e sem a restrição à difusão do CO<sub>2</sub> dos tecidos para o ambiente externo, o ritmo respiratório caiu e tendeu à estabilização ao final do período de avaliações (Figura 10).

A queda da taxa respiratória dos frutos foi mais suave naqueles tratados com etileno por 96 h (Figura 10 C), provavelmente em decorrência do maior tempo a que os frutos ficaram expostos ao etileno, resultando em maior concentração do gás no interior dos tecidos e difusão mais lenta do interior dos frutos para a atmosfera externa. Porém, independentemente da dose, os frutos apresentaram comportamento respiratório semelhante, indicando não ter ocorrido efeito nítido de dose sobre o seu padrão respiratório.

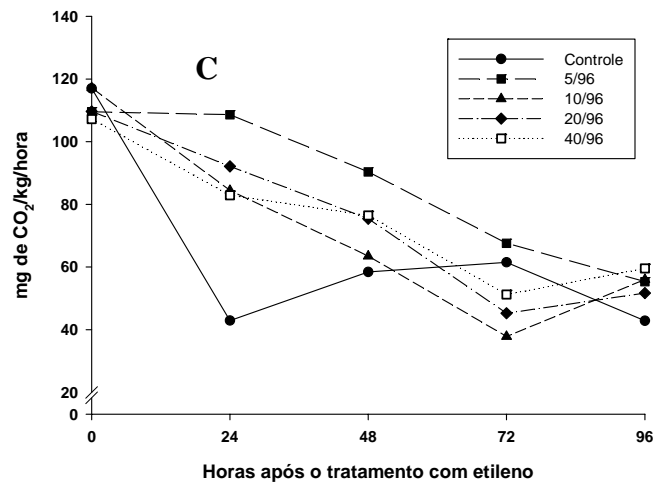
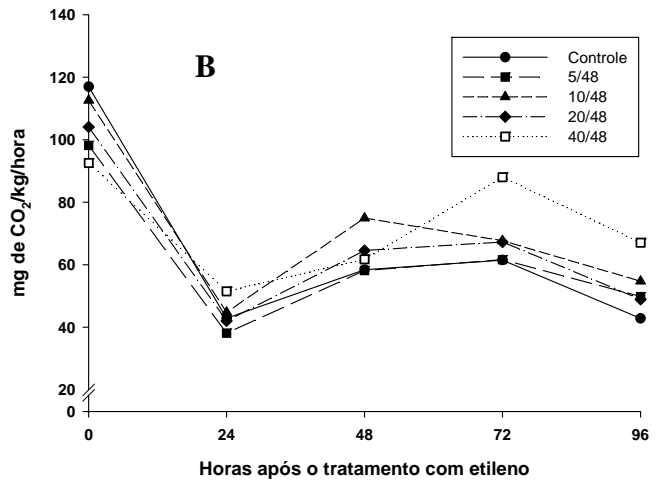
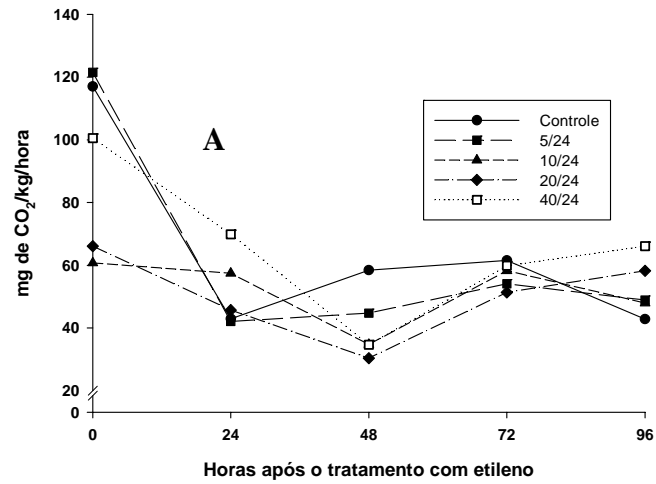


Figura 10 – Produção de CO<sub>2</sub> de tangerinas ‘Poncã’ submetidas a etileno gasoso nas doses de 0, 5, 10, 20 e 40 µL/L, nas 96 h subsequentes aos tratamentos. A – frutos expostos por 24 h; B – frutos expostos por 48 h; e C – frutos expostos por 96 h.

#### **4. CONCLUSÕES**

A exposição ao etileno por 96 h mais 48 a 72 h após a exposição foi a combinação que proporcionou os melhores resultados no desverdecimento dos frutos, que não apresentaram qualquer indício de perda de qualidade de comercialização, ao final dos tratamentos, independentemente da concentração de etileno utilizada.

A síntese de carotenoides em decorrência da ação do etileno foi bastante discreta. Os frutos apresentaram-se amarelados, na melhor combinação experimental, porém sem a cor alaranjada, característica da espécie, o que significa que o desverdecimento foi, principalmente, consequência direta da degradação da clorofila presente na casca.

## **CAPÍTULO 2**

### **USO DO ETILENO NO DESVERDECIMENTO DA TANGERINA ‘PONCÃ’ PRODUZIDA NA ZONA DA MATA DE MINAS GERAIS**

#### **RESUMO**

O objetivo deste trabalho foi promover o desverdecimento de tangerinas ‘Poncã’, sem alterar sua qualidade interna. Os frutos foram colhidos com a casca totalmente verde em pomar experimental localizado na Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, na Zona da Mata de Minas Gerais. Na colheita, os frutos apresentavam, em média, 43,4% p/p de suco, 9,4 °Brix e relação sólidos solúveis/acidez titulável de 11,3. Em seguida, os frutos foram acondicionados em caixas herméticas, onde ficaram expostos por 24, 48 e 96 h nas seguintes concentrações de etileno gasoso: 0, 5, 10, 20 e 40  $\mu\text{L.L}^{-1}$ , sob as condições de temperatura e umidade relativa do ar de  $20 \pm 1$  °C e  $90 \pm 5\%$ , respectivamente. A cada 24 h, as caixas foram abertas para a renovação de sua atmosfera interna, procedendo-se à reaplicação do etileno até a finalização dos tratamentos. Ao final de cada tempo de exposição, deu-se início à fase pós-tratamento com duração de 96 h, em que os frutos foram mantidos em atmosfera livre de etileno, em câmara refrigerada, na mesma temperatura e umidade relativa utilizadas durante a exposição ao etileno. Durante essa fase, a cada 24 h os frutos foram avaliados quanto a diferença de cor da casca, ângulo Hue da casca, teores de clorofila e de carotenoides

totais da casca, teor de sólidos solúveis, acidez titulável e relação SS/AT do suco, extravasamento de solutos da casca, produção de CO<sub>2</sub> e perda de massa de matéria fresca dos frutos. Durante a fase pós-tratamento, os frutos-controle apresentaram variação de cor ao longo do tempo muito semelhante à observada nos frutos expostos ao etileno por 24 e por 48 h, independentemente da dose aplicada. Apenas os frutos expostos ao etileno por 96 h mostraram-se em estágio de desverdecimento destacado dos frutos-controle e dos demais tratamentos. Nos frutos tratados por 96 h, o desverdecimento ocorreu quase que completamente durante a exposição ao etileno, com discreta alteração complementar ao longo das 96 h após a exposição ao gás, quando os frutos apresentaram valor final de ângulo Hue de 77,6°, contudo ainda acima dos 60,8° apresentados pelos frutos amadurecidos na planta. Os teores de clorofila total decresceram com o aumento do tempo de exposição ao etileno. Com 96 h de tratamento, os frutos já apresentavam média de 3,1 µg/cm<sup>2</sup> no teor de clorofila total, ao passo que os frutos recém-colhidos mostravam 27,4 µg/cm<sup>2</sup>. Houve pequeno incremento no teor de carotenoides em função dos tratamentos com etileno, com discreta superioridade observada nos frutos tratados com etileno por 96 h, tendo apresentado teor final de 9,2 µg/cm<sup>2</sup>. Independentemente da condição experimental, os frutos apenas amareleceram, sem aquisição da coloração característica da espécie (laranja-avermelhada), conseguida apenas em condições naturais, em que se observaram teores de carotenoides da ordem de 27,4 µg/cm<sup>2</sup>. Os tratamentos aplicados não alteraram a qualidade interna dos frutos, contudo se observou aumento no extravasamento de eletrólitos da casca nos frutos tratados em relação aos não tratados. Houve perda de massa fresca acumulada semelhante entre os frutos-controle e os tratados por 24 e por 48 h, ao passo que os expostos ao etileno por 96 h apresentaram maior perda de massa acumulada sem, contudo, apresentarem qualquer sinal visível de perda de qualidade de comercialização. Os frutos responderam às diferentes concentrações de etileno com produções de CO<sub>2</sub> semelhantes, nos três tempos de exposição, com taxas elevadas registradas logo após o tratamento com o etileno, com posterior declínio e estabilização. Os frutos amadurecidos na planta atingiram a coloração alaranjada da casca. Experimentalmente, a exposição a 5 µL.L<sup>-1</sup> de etileno por 96 h, acrescida de 72 h pós-tratamento, foi a combinação que proporcionou os resultados de desverdecimento mais próximos ao que se verificou naturalmente, embora os frutos tratados não tenham alcançado a coloração alaranjada.

## 1. INTRODUÇÃO

As tangerinas representam o segundo grupo de frutos cítricos de maior importância na citricultura mundial, que ocupa uma das maiores faixas de variação climática, com alguns cultivares apresentando boa adaptação a regiões de clima bastante variável, com temperaturas baixas a relativamente elevadas (REIS *et al.*, 2000).

A ‘Poncã’ (*Citrus reticulata*, Blanco) é a tangerina de maior preferência entre os consumidores brasileiros por apresentar frutos grandes, com casca pouco aderente, poucas sementes, com polpa alaranjada e macia, de sabor e odor agradáveis (FIGUEIREDO, 1991). Entretanto, sua oferta no mercado está restrita a um curto intervalo de tempo. No Sudeste, o período de safra se concentra nos meses mais frios do ano, e isso implica menores preços praticados entre maio e agosto, o que desestimula o produtor (AGRIANUAL, 2009).

A sazonalidade da produção pode ser reduzida com algumas técnicas que permitem, por exemplo, a antecipação da colheita, seguida da aplicação, em pós-colheita, de etileno gasoso nos frutos, a fim de levá-los à coloração própria para comercialização. Contudo, a aplicação de etileno possibilita a antecipação da colheita, desde que os frutos já apresentem qualidade interna mínima para o consumo *in natura* (LIEGEOIS *et al.*, 1995); do contrário, os frutos estarão ainda fisiologicamente imaturos, com baixo teor de suco e de açúcares e com o processo de desverdecimento prejudicado (SALA *et al.*, 1988), comprometendo sua comercialização.

Na Zona da Mata de Minas Gerais, Estado que é o quarto maior produtor brasileiro de tangerina ‘Poncã’ (AGRIANUAL, 2009), as condições climáticas são favoráveis ao desverdecimento natural dos frutos, sem a necessidade de intervenção, em pós-colheita. Em função das temperaturas baixas que ocorrem ao longo do ano, principalmente nos meses de desenvolvimento dos frutos, estes adquirem, naturalmente, a coloração laranja-avermelhada, típica da espécie. Contudo, a fim de atender à demanda de produtores que buscam melhores preços, existe a possibilidade de se antecipar a colheita dos frutos, completando seu desverdecimento com a aplicação de etileno, em pós-colheita.

Embora as temperaturas mais baixas interfiram no desenvolvimento fenológico das plantas, que tendem a ser mais tardias em sua produção, os frutos têm seu processo de mudança de cor favorecido e antecipado, em decorrência do acúmulo, sob baixas temperaturas, do ácido 1-aminociclopropano 1-carboxílico (ACC), precursor imediato do etileno (WONG *et al.*, 1999; NOGUEIRA, 1979; GRIERSON *et al.*, 1986). Dessa forma, é possível ainda, a fim de ampliar o período de oferta do fruto no mercado pela antecipação da colheita, completar o seu desverdecimento com aplicação de etileno em pós-colheita, conferindo a cor característica à casca, de modo uniforme e homogêneo.

A eficiência do emprego do etileno em pós-colheita no desverdecimento dos frutos cítricos está relacionada, entre outros fatores, com a temperatura, a concentração utilizada do gás e o tempo de exposição dos frutos. Segundo Mazzuz (1996), as concentrações de etileno mais recomendadas estão entre 1 e 10  $\mu\text{L/L}$ , e o tempo de exposição deve ser de, no mínimo, 24 h e não exceder 120 h. Ainda segundo esse autor, a temperatura deve estar entre 18 e 25 °C, favorecendo, assim, a degradação da clorofila e a síntese de carotenoides.

Martins (2003), usando etileno no desverdecimento de tangerinas ‘Poncã’ oriundas da Zona da Mata de Minas Gerais, obteve resultados satisfatórios para 96 h de exposição dos frutos ao gás, único tempo de exposição testado; contudo, os frutos não atingiram a coloração de casca típica da espécie, em pós-colheita. Segundo o referido autor, houve maior degradação de clorofila, e os frutos adquiriram a melhor coloração final na temperatura de 25 °C.

Não obstante, pouco se conhece a respeito das condições ideais para a execução do desverdecimento da tangerina ‘Poncã’ no Brasil, bem como da capacidade de conservação refrigerada da fruta após o desverdecimento. A

tecnologia, aqui empregada, é semelhante à utilizada em outros países, e os resultados são muitas vezes inconsistentes ou indesejáveis. Para tanto, há que se estudarem combinações de doses de etileno, tempos de exposição dos frutos e a eventual necessidade de um tempo subsequente ao tratamento de exposição ao etileno para que se complete o seu efeito sobre o desverdecimento dos frutos.

Neste trabalho, objetivou-se estudar o desverdecimento da tangerina ‘Poncã’ proveniente da Zona da Mata de Minas Gerais e identificar a melhor combinação de dose e tempo de exposição ao etileno para o desverdecimento, sem comprometimento da qualidade interna dos frutos.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Material vegetal

Tangerinas ‘Poncã’ (*Citrus reticulata*, Blanco) foram colhidas em Pomar experimental pertencente à Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, na Zona da Mata de Minas Gerais, localizada nas coordenadas geográficas de 20°45’ de latitude sul e 42°51’ de longitude oeste e altitude de 651 m.

Os frutos foram colhidos no dia 02/05/2008 fisiologicamente maduros e com a casca total e uniformemente verde. Na colheita, os frutos apresentavam 43,4% p/p de teor de suco, 9,4 °Brix e 11,3 de ratio (SS/AT), respeitando-se, assim, as recomendações técnicas para a colheita de tangerina do Programa Brasileiro para a Melhoria dos Padrões Comerciais e Embalagens de Hortigranjeiros (2000).

Segundo a classificação de Köpen, o Município de Viçosa tem seu clima enquadrado no subtipo Cwb, mesotérmico, com verões brandos e chuvosos e invernos secos (GOLFARI, 1975). O Quadro 1 apresenta as temperaturas máximas, médias e mínimas mensais ao longo do ano agrícola 2007/2008, em que se colheram as tangerinas ‘Poncã’.

Após a colheita, os frutos foram acondicionados em caixas plásticas devidamente forradas com plástico-bolha e encaminhados ao Laboratório de Análise de Frutas do Setor de Fruticultura da Universidade Federal de Viçosa, onde foram selecionados quanto ao tamanho e à eventual ocorrência de injúrias. Em seguida, os frutos foram lavados em água corrente para retirada de poeira e resíduos do campo,

imersos por 5 min em solução aquosa de fungicida Phrocloraz (Sportak 450 CE, da empresa Hoechst Schering AgrEvo UK Ltd. – Inglaterra), na dose de 49,5 g/100 L de água e, posteriormente, secados ao ambiente.

Quadro 1 – Temperaturas máximas, médias e mínimas mensais do Município de Viçosa, MG, de maio de 2007 a abril de 2008

| Meses                          | Maio | Jun. | Jul. | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  |
|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Temperatura máxima mensal (°C) | 25,6 | 25,2 | 24,6 | 26,8 | 27,7 | 29,6 | 27,9 | 29,8 | 27,2 | 28,9 | 28,1 | 27,7 |
| Temperatura média mensal (°C)  | 18,3 | 16,3 | 16,7 | 18,0 | 19,6 | 21,5 | 22,0 | 22,8 | 21,5 | 22,7 | 22,0 | 21,3 |
| Temperatura mínima mensal (°C) | 13,1 | 10,9 | 11,2 | 11,6 | 13,7 | 16,2 | 18,2 | 18,5 | 18,4 | 19,1 | 18,4 | 18,0 |

A caracterização dos tratamentos com etileno, o delineamento experimental e a abordagem estatística, bem como as análises laboratoriais realizadas com os frutos, seguiram as mesmas metodologias descritas no Capítulo 1.

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1. Cor e pigmentos da casca imediatamente após a exposição ao etileno**

Para as variáveis diferença de cor (DE) e teor de clorofila total, observou-se diferença estatística no nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Dunnett, entre a testemunha (frutos recém-colhidos) e os demais tratamentos, em cada tempo de exposição ao etileno (T) (Quadro 2).

Para a variável ângulo Hue, apenas os frutos expostos ao etileno por 24 h não diferiram da testemunha, ao passo que, ao final da exposição ao etileno por 48 e 96 h, os frutos já apresentavam significativas mudanças na coloração da casca. O Quadro 2 ainda revela que o teor de carotenoides totais na casca dos frutos tratados apresentou ligeira queda em relação à testemunha, como consequência provável de uma degradação combinada de clorofila e de carotenoides totais (ver item 3.4.).

Em geral, observaram-se aumento da DE e sensível diminuição do ângulo Hue e do teor de clorofila total em função do aumento do tempo de exposição dos frutos ao etileno (Quadro 2), sendo notado maior alteração nos valores médios de 48 para 96 h. Os frutos tratados com etileno por 96 h apresentaram valores sempre distintos dos demais, com maiores expressões de desverdecimento. De modo geral, houve progressão na mudança de verde para amarelo na cor da casca dos frutos de 24 para 48 h e, especialmente, de 48 para 96 h de exposição.

Quadro 2 – Valores médios das variáveis diferença de cor (DE), ângulo Hue, clorofila total e carotenoides totais de frutos de tangerineira ‘Poncã’ recém-colhidos (testemunha) e após cada tempo de exposição a diferentes doses de etileno

| Tratamentos (D;T) <sup>1</sup> | DE      | Ângulo Hue | Clorofila total (µg/cm <sup>2</sup> ) | Carotenoides totais (µg/cm <sup>2</sup> ) |
|--------------------------------|---------|------------|---------------------------------------|---|
| Testemunha <sup>2</sup>        | 0,00    | 119,5      | 27,4                                  | 7,1                                       |
| (5;24)                         | 2,3* b  | 117,5 a    | 21,8* a                               | 6,4 a                                     |
| (5;48)                         | 5,4* b  | 113,8* a   | 13,8* b                               | 6,3 a                                     |
| (5;96)                         | 31,6* a | 88,0* b    | 2,8* c                                | 6,3 a                                     |
| (10;24)                        | 3,4* b  | 118,8 a    | 23,4* a                               | 6,8 ab                                    |
| (10;48)                        | 5,0* b  | 113,1* b   | 12,8* b                               | 5,5* b                                    |
| (10;96)                        | 31,7* a | 86,1* c    | 3,3* c                                | 7,0 a                                     |
| (20;24)                        | 2,2* c  | 116,8 a    | 19,4* a                               | 6,0 a                                     |
| (20;48)                        | 9,2* b  | 111,1* b   | 11,1* b                               | 6,3 a                                     |
| (20;96)                        | 34,9* a | 86,3* c    | 2,1* c                                | 6,1 a                                     |
| (40;24)                        | 2,1* b  | 118,2 a    | 21,8* a                               | 6,3 b                                     |
| (40;48)                        | 6,0* b  | 113,3* a   | 12,9* b                               | 5,4* b                                    |
| (40;96)                        | 28,4* a | 87,9* b    | 4,3* c                                | 8,0 a                                     |

Médias seguidas de “\*” na coluna diferem estatisticamente da testemunha, pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade; <sup>1</sup>D (dose de etileno, em µL/L); T (tempo de exposição ao etileno, em h); e <sup>2</sup> Média dos frutos recém-colhidos, com a casca verde. As médias seguidas de mesma letra minúscula dentro de cada dose, nas colunas, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Resultados semelhantes foram observados nos frutos oriundos do Norte de Minas Gerais, como destacado no Capítulo 1. O comportamento semelhante dos frutos do Norte e da Zona da Mata de Minas Gerais pode ser explicado pelo fato de terem sido colhidos em um mesmo estádio de cor da casca e submetidos às mesmas condições experimentais.

Nas condições de desenvolvimento fisiológico em que se encontravam os frutos, o tempo de 24 h de exposição ao etileno foi insuficiente na promoção do desverdecimento, o que pode ser observado tanto pela avaliação qualitativa da cor da casca (DE e ângulo Hue) quanto pela pouca expressiva degradação de clorofila total.

## **3.2. Parâmetros de qualidade da casca nos dias seguintes à exposição ao etileno**

### **3.2.1. Diferença de cor da casca (DE)**

A evolução da cor da casca, medida pela DE, foi semelhante entre os frutos-controle e os expostos ao etileno por 24 e 48 h, independentemente da dose aplicada. Nessas três condições de tratamento, os frutos apresentaram magnitude de valores de DE e coloração final semelhantes entre si, embora os frutos tratados por 48 h tenham demonstrado ascensão dos valores de DE mais acentuada nas primeiras horas após a exposição ao etileno, ao passo que os frutos-controle e os de 24 h mostraram comportamento sigmoidal, com evolução suave dos valores nas primeiras 24 h (Figura 1ABC). Essa maior evolução de cor dos frutos tratados por 48 h pode ser uma resposta ao maior tempo de exposição ao etileno, de maneira que, em 48 h, maior foi a quantidade de etileno difundida para o interior dos frutos, resultando em resposta inicial diferenciada dos demais.

Já os frutos expostos ao etileno por 96 h, independentemente da dose, apresentaram, tão logo retirados das caixas de aplicação do gás, valores bastante elevados de DE (Quadro 2 e Figura 1D). O valor inicial de DE de 32,6 apresentado pelos frutos de 96 h de exposição foi semelhante aos valores máximos observados nos frutos dos demais tratamentos (frutos-controle, expostos por 24 e por 48 h ao etileno), registrados ao final da fase pós-tratamento.

Por se tratar de frutos produzidos na Zona da Mata mineira, pode-se inferir que as baixas temperaturas do ar a que estiveram submetidos durante seu desenvolvimento foram favoráveis à indução do desverdecimento natural da casca. Assim, ainda que verdes os frutos quando colhidos, como se desenvolveram sob baixas temperaturas (ver Quadro 1), a evolução da cor promovida em pós-colheita com a aplicação de etileno gasoso foi mais rápida e intensa em relação aos frutos colhidos no Norte de Minas Gerais (ver Capítulo 1), em função do acúmulo natural de ACC (ácido 1-carboxílico-1-aminociclopropano), precursor imediato do etileno (WONG *et al.*, 1999). Dessa forma, a eventual conversão do ACC, acumulado sob baixas temperaturas, em etileno pode ter potencializado o efeito das doses do gás aplicado em pós-colheita e no maior tempo de exposição dos frutos ao etileno (96 h), mais expressivos foram os resultados.

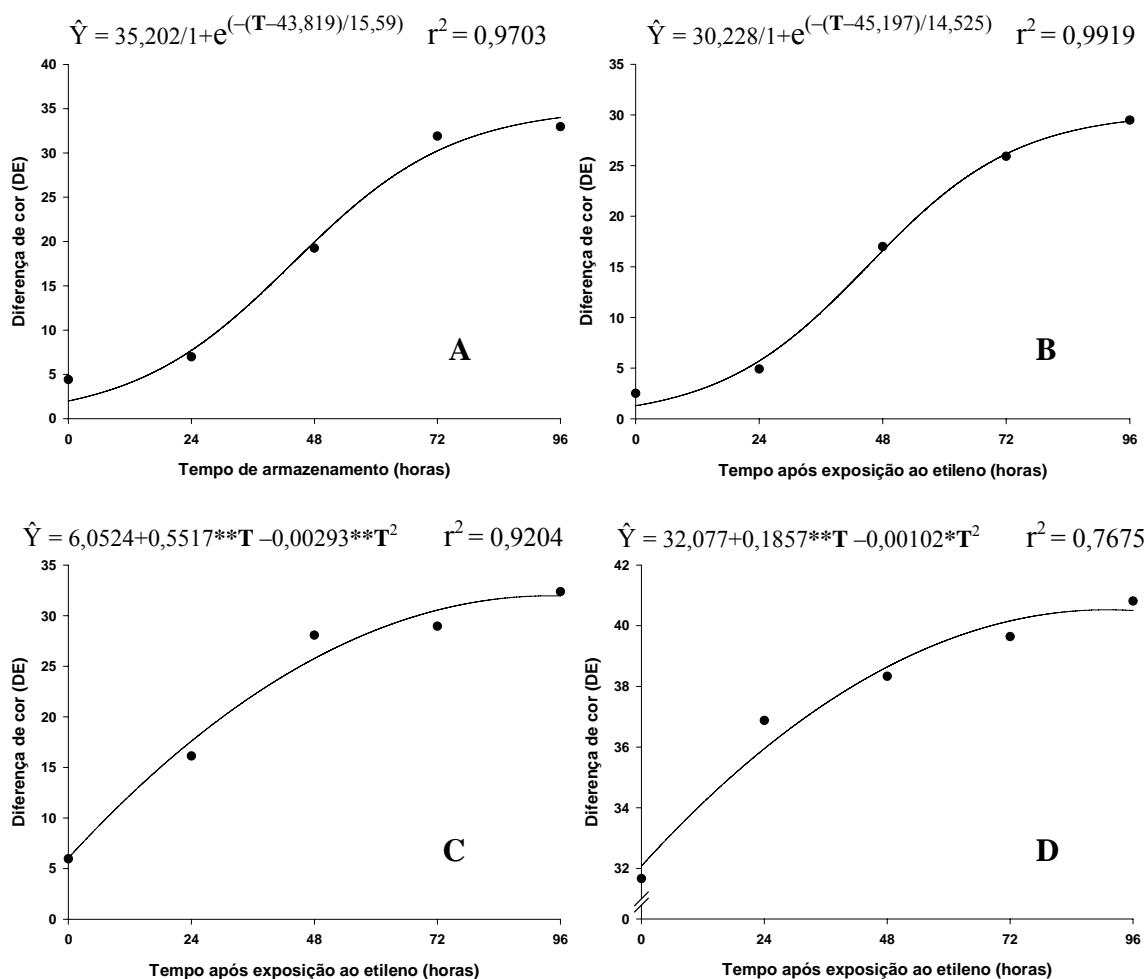


Figura 1 – Estimativa da diferença de cor da casca de frutos de tangerineira ‘Poncã’, em função do tempo após a exposição ao etileno (T). **A** – frutos-controle, não tratados; **B** – frutos expostos ao etileno por 24 h; **C** – frutos expostos ao etileno por 48 h; e **D** – frutos expostos ao etileno por 96 h.

Em comparação com os frutos oriundos do Norte de Minas Gerais (Capítulo 1), em que ocorrem temperaturas médias mensais bem superiores às registradas na Zona da Mata, houve intervalo de 39 dias entre colheitas. Assim, os frutos provenientes da Zona da Mata de Minas Gerais foram colhidos mais tardiamente em decorrência do retardamento de seu desenvolvimento pelas baixas temperaturas da região. Não obstante, o efeito benéfico das baixas temperaturas sobre a mudança da cor da casca dos frutos foi verificado pela mais rápida evolução da cor, em resposta ao tratamento com etileno.

Wheaton e Stewart (1973) observaram que a faixa ótima de temperatura para a síntese de carotenoides é de 15 a 25 °C. Segundo esses autores, em muitos

cultivares a síntese é ineficiente a 30 °C. Assim, quanto mais amenas as temperaturas predominantes no local de desenvolvimento dos frutos, maior a síntese de carotenoides. Além disso, temperaturas elevadas, que favorecem a degradação da clorofila, prejudicam a síntese e o acúmulo de  $\beta$ -citraurina (STEWART; WHEATON, 1971; FARIN *et al.*, 1983) que, juntamente com a criptoxantina, confere coloração laranja-avermelhada à casca dos frutos.

### **3.2.2. Ângulo Hue da casca**

O ângulo Hue, à semelhança do que se verificou para DE (item 3.2.1.), não diferiu entre os frutos-controle e aqueles tratados com etileno por 24 e por 48 h, indicando, ao mesmo tempo, que os frutos apresentaram tanto magnitudes de mudança de cor quanto a cor final semelhantes entre si (Figura 2ABC), embora, em função do comportamento quadrático da variável nos frutos tratados por 48 h, estes tenham apresentado queda inicial mais acentuada. Não foi observado efeito de doses sobre o comportamento da variável.

A queda acentuada do ângulo Hue nos frutos tratados por 48 h, observada nas primeiras 48 h após a exposição, provavelmente ocorreu em função do maior tempo de exposição à ação do etileno. Com maior quantidade de etileno difundida para o interior dos frutos, observou-se queda dos valores do ângulo Hue da casca dos frutos de 113,2°, no início do período de avaliações para 92,5° (Figura 2C). A partir de então, até o final da fase pós-tratamento os frutos das três condições experimentais (frutos-controle e os expostos ao etileno por 24 e 48 h) apresentaram valores de ângulo Hue semelhantes entre si (Figura 2ABC).

Já os frutos-controle, embora não tenham sido submetidos à aplicação de etileno gasoso, apresentaram discreta tendência de perda da cor verde da casca. Assim, é provável que esses frutos tenham se valido de pequena quantidade do gás de origem natural, provavelmente resultante da conversão do ACC, que fora acumulado nos frutos em decorrência das baixas temperaturas a que estiveram submetidos durante seu desenvolvimento, para terem sua coloração de casca também alterada ao longo do tempo em que permaneceram na câmara refrigerada. Além disso, a temperatura de 20 °C pode ter concorrido para a degradação incipiente da clorofila da casca dos frutos não tratados, visto que, segundo Mazzuz (1996), as temperaturas entre 18 e 25 °C são mais indicadas para a degradação da clorofila no desverdecimento em pós-colheita.

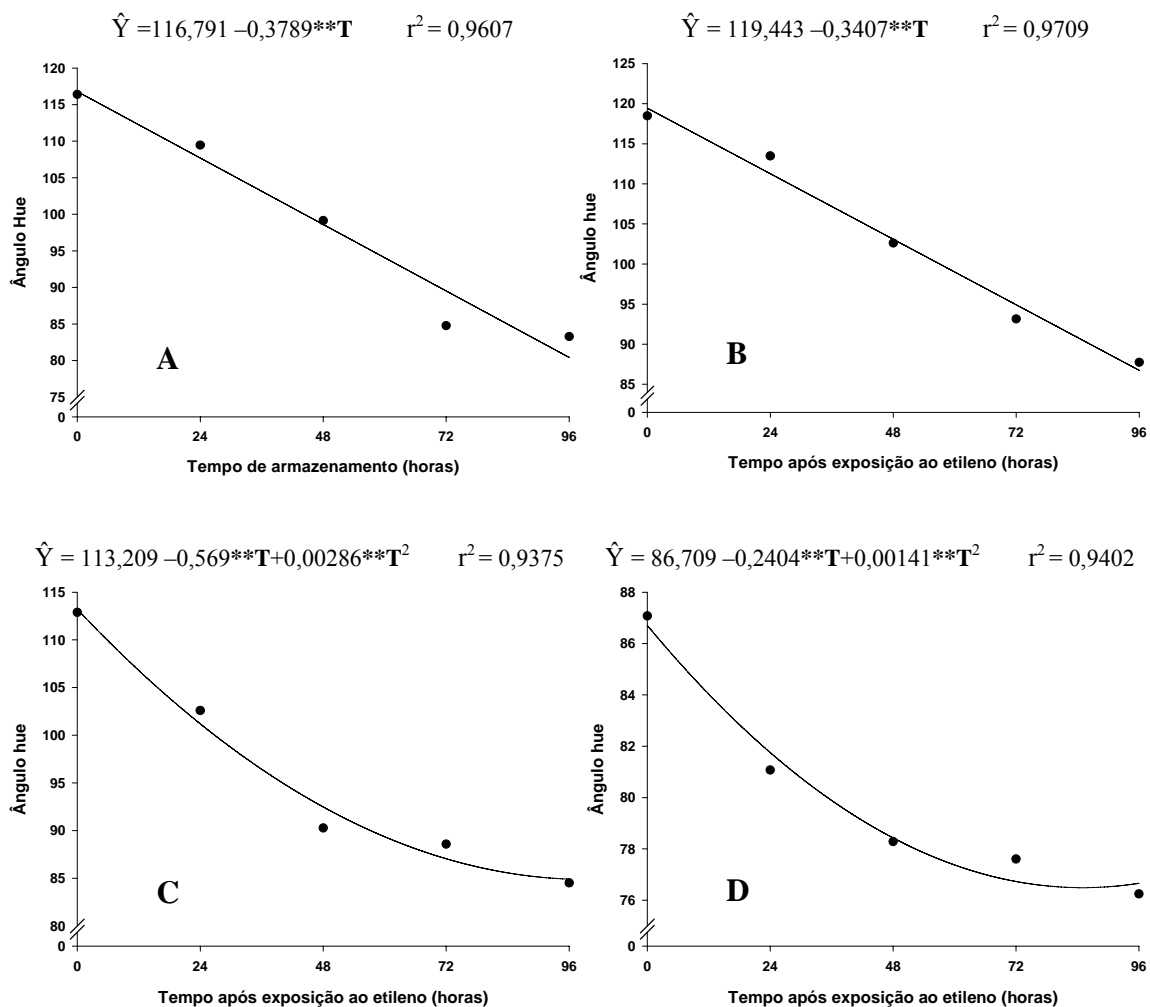


Figura 2 – Estimativa do ângulo Hue da casca de frutos de tangerineira ‘Poncã’, em função do tempo após a exposição ao etileno (T). **A** – frutos-controle, não tratados; **B** – frutos expostos ao etileno por 24 h; **C** – frutos expostos ao etileno por 48 h; e **D** – frutos expostos ao etileno por 96 h.

Por sua vez, os frutos expostos ao etileno por 96 h apresentaram comportamento marcadamente distinto do apresentado pelos demais frutos. A mudança da coloração da casca de verde para amarela ocorreu quase que completamente durante a exposição ao gás, com discreta alteração complementar ao longo das 96 h após a exposição. Isso mostra que a degradação da clorofila é mais intensa entre 48 e 96 h de exposição, confirmando o que já havia observado Martins (2003). Assim como verificado nesses mesmos frutos para DE, o valor médio do ângulo Hue, ao final da fase de tratamento, foi bastante baixo, 87,1°, muito próximo aos valores médios apresentados pelos demais frutos (controle, de 24 e de 48 h de exposição) ao final das 96 h após o tratamento (Figura 2).

Os frutos não alcançaram a coloração laranja-avermelhada, típica da espécie, mesmo na melhor condição de desverdecimento, conseguido no maior tempo de exposição dos frutos ao etileno (96 h), como se observa na Figura 4. O valor mínimo de ângulo Hue da casca dos frutos conseguido foi de 76,5° (Figura 2D), com 85,2 h após o fim da exposição dos frutos ao etileno. Além disso, os frutos apresentaram-se, ao final do experimento, apenas amarelados, portanto ainda aquém do laranja-avermelhado, típico da espécie. Quando levados ao seu desenvolvimento máximo na planta, submetidos às baixas temperaturas da Zona da Mata de Minas Gerais, os frutos atingiram a coloração que caracteriza a tangerina ‘Poncã’, apresentando valores médios de ângulo Hue de 60,8°, bem abaixo do que foi conseguido experimentalmente. Os frutos amadurecidos na planta foram colhidos no dia 20/06/2008, portanto 49 dias após a colheita realizada para a montagem do experimento.

Jimenez-Cuesta *et al.* (1981) estabeleceram o índice de cor dos citros (ICC), utilizado em escala comercial na Espanha, a fim de otimizar o desverdecimento dos frutos. Cada cultivar de citros possui um índice de coloração mínimo na colheita para um desverdecimento ótimo. Esse índice é calculado a partir dos caracteres de cor L\*, a\* e b\*, da seguinte forma:  $ICC = (1.000 \times a^*) / (L^* \times b^*)$ . O ICC pode variar de -20 a +20, e, segundo os referidos autores, frutos que apresentam, na colheita,  $ICC \leq -10$ , quando submetidos ao desverdecimento, não alcançam a coloração mínima comercial.

Quando colhidos, os frutos apresentavam  $ICC = -10,6$ , portanto incapazes de alcançarem a coloração alaranjada quando submetidos ao desverdecimento, à semelhança do que aconteceu com os frutos oriundos da região Norte de Minas Gerais (ver item 3.2.2. do Capítulo 1), o que pode explicar a cor amarela da casca dos frutos tratados com etileno.

Stewart e Wheaton (1972), trabalhando com tangerinas ‘Robinson’ submetidas ao etileno, verificaram correspondência direta entre o acúmulo de criptoxantina e  $\beta$ -citraurina e o surgimento da coloração laranja-avermelhada, típica da tangerina, nos frutos tratados com etileno, ao passo que nos frutos não tratados o pigmento predominante foi a violaxantina, resultando em coloração amarela.

Segundo Farin *et al.* (1983), durante o amadurecimento dos frutos cítricos ocorrem mudanças qualitativas na concentração dos pigmentos carotenoides. Assim,

como os frutos foram colhidos com a casca totalmente verde, com elevada concentração de clorofila total na casca, não se conseguiu, mediante os tratamentos com etileno, que as tangerinas adquirissem coloração típica. Além disso, como a região da Zona da Mata de Minas Gerais dispõe de temperaturas que favorecem o pleno desverdecimento natural dos frutos, convém considerar que a intervenção em pós-colheita com o uso de etileno gasoso só se justifica quando planejado de maneira a permitir a antecipação da colheita, de tal modo que os frutos já tenham iniciado alguma mudança visível da cor da casca, visto que, quando colhidos totalmente verdes, a cor alcançada com a aplicação do etileno é apenas o amarelo, não característico da espécie, o que pode prejudicar a comercialização do produto, em decorrência da rejeição pelo consumidor.

### **3.3. Teor de clorofila total da casca**

Ao final dos tratamentos com etileno, os frutos apresentaram teores de clorofila total marcadamente distintos em função de cada tempo de exposição a que estiveram submetidos, de tal modo que, em 96 h de tratamento, a degradação de clorofila foi sensivelmente superior às observadas nas cascas dos frutos-controle e nos de 24 e 48 h de exposição (Quadro 2).

Os frutos-controle e os expostos ao etileno por 24 h apresentaram comportamentos bastante semelhantes quanto à variação do teor de clorofila total ao longo do tempo, não diferindo quanto à amplitude dos valores e à inclinação das curvas (Figura 3AB). Esse fato corrobora o que foi observado para DE e ângulo Hue nos mesmos frutos. O tempo de 24 h de exposição, portanto, parece não ser suficiente para promover efeito diferenciado no desverdecimento dos frutos.

Com 48 h de exposição, contudo, os frutos já apresentavam, assim que retirados da atmosfera com etileno, valores intermediários aos observados nos frutos expostos ao gás por 24 e por 96 h e estatisticamente distintos de ambos (Quadro 2). Durante a fase pós-tratamento, os frutos expostos ao etileno por 48 h (Figura 3C) ainda apresentaram redução no teor de clorofila total, cujos valores tenderam à estabilização em  $3,7 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ , a partir de 40,5 h após o fim do tratamento. Esse valor final foi semelhante aos exibidos pelos frutos-controle e pelos expostos ao etileno por 24 h, ao final do período de avaliações (Figura 3ABC).

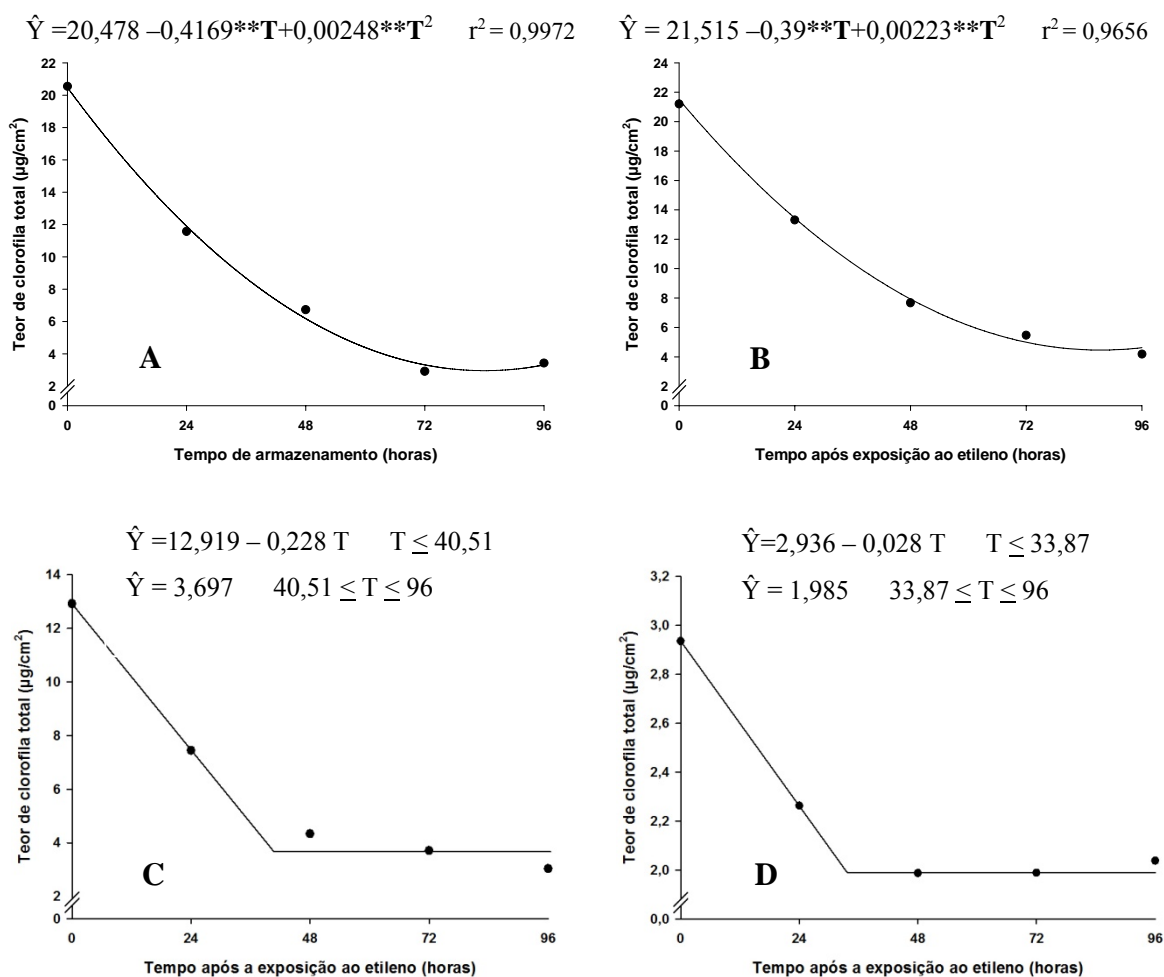


Figura 3 – Estimativa do teor de clorofila total da casca de frutos de tangerineira ‘Poncã’, em função do tempo após a exposição ao etileno (T). **A** – frutos-control, não tratados; **B** – frutos expostos ao etileno por 24 h; **C** – frutos expostos ao etileno por 48 h; e **D** – frutos expostos ao etileno por 96 h.

Nos frutos tratados com etileno por 96 h (Figura 3D), durante a fase pós-tratamento observou-se discreta degradação complementar de clorofila, tendo ocorrido pequena queda no teor desse pigmento de 2,9 para 2,0 µg/cm<sup>2</sup>. Esse valor mínimo de 2,0 µg/cm<sup>2</sup> foi alcançado já com 33,9 h após o fim da exposição dos frutos ao etileno, a partir de quando houve estabilização do teor de clorofila total.

Pelo que se verificou, 95,7% da clorofila total presente na casca dos frutos foi degradada durante a fase em que os frutos estiveram expostos ao gás por 96 h, com discreta degradação na fase pós-tratamento. Como visto no item 3.2.2., nesses mesmos frutos a variação total do ângulo Hue durante a fase pós-tratamento foi de 10,1°, o que significa que a discreta degradação de clorofila não seria suficiente para

promover essa alteração. Assim, deve-se admitir a participação de pigmentos carotenoides sintetizados na fase pós-tratamento na diminuição do ângulo Hue da casca dos frutos (ver item 3.4.).

Os frutos tratados por 96 h com etileno apresentaram, ao final das avaliações, teor de clorofila semelhante ao observado nos frutos amadurecidos em condições naturais. Enquanto nos frutos tratados o teor variou de 2,9 para 2,0  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ , durante a fase pós-tratamento, os frutos levados ao desverdecimento natural apresentaram teor médio de clorofila total de 2,7  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$  de casca amostrada, quando totalmente desverdecidos. Pela Figura 4, é possível perceber que, mesmo na melhor condição experimental de desverdecimento, os frutos não alcançaram a coloração da casca típica da espécie, que é a laranja-avermelhada, conseguida apenas quando o fruto foi conduzido ao amadurecimento e ao consequente desverdecimento sob condições naturais (Figura 4F).

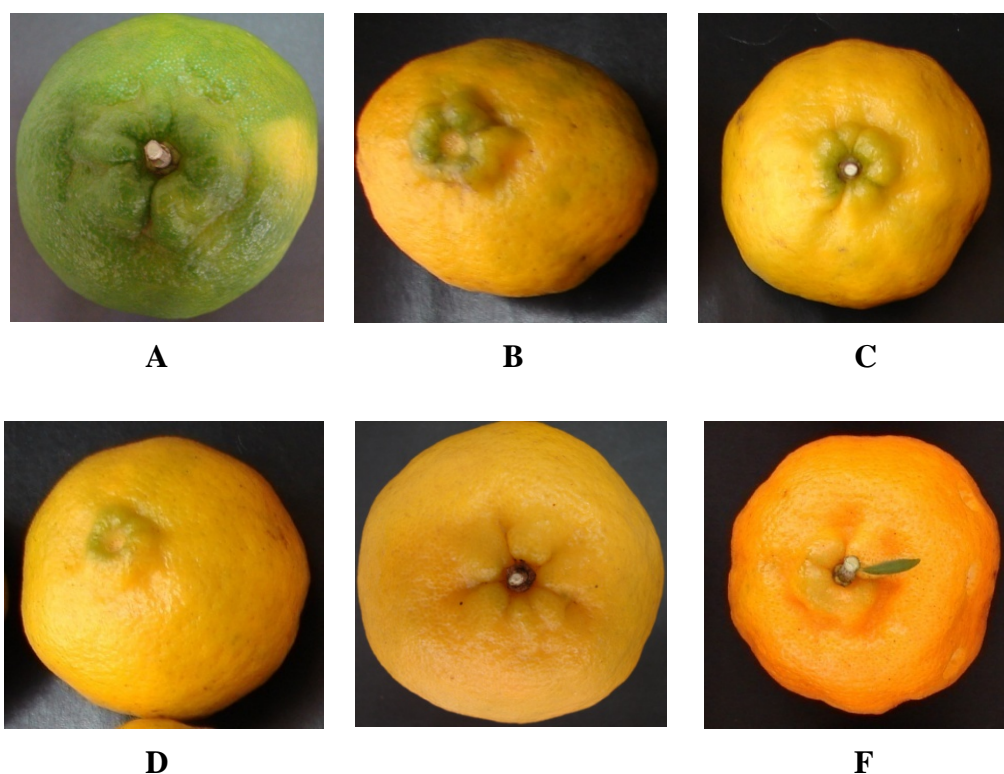


Figura 4 – Aspecto visual de frutos de tangerineira ‘Poncã’ ao final de 96 h transcorridas após o fim dos respectivos tratamentos. A – fruto recém-colhido; B – fruto-controle (não tratado); C – fruto exposto ao etileno por 24 h; D – fruto exposto ao etileno por 48 h; E – fruto exposto ao etileno por 96 h; e F – fruto amadurecido na planta.

Como é possível perceber, não há entrave à degradação de clorofila, mas sim à aquisição pelos frutos da coloração de casca laranja-avermelhada, característica das tangerinas 'Poncã' e conseguida mediante a síntese de carotenoides.

### **3.4. Teor de carotenoides totais da casca**

Os frutos tratados com etileno, tão logo foram retirados das caixas de aplicação do gás, apresentaram teores de carotenoides totais da casca semelhantes ao observado nos frutos recém-colhidos, com a casca totalmente verde, exceto os expostos às doses de 10 e 40  $\mu\text{L/L}$  de etileno por 48 h (Quadro 2).

Durante a fase pós-tratamento, em que os frutos foram mantidos em atmosfera livre de etileno, sob a mesma temperatura de quando expostos ao gás, verificou-se discreta tendência de elevação dos teores de carotenoides totais (Figura 5). Os frutos tratados com etileno por 24 h apresentaram incremento médio de carotenoides totais inferior a 2  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$  desde o fim do tratamento até a conclusão da fase pós-tratamento, passando de 6,2 para 8,0  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$  (Figura 5A) e não tendo sido observado efeito de dose (D) sobre o comportamento da variável. Os frutos-controle, por sua vez, não apresentaram variação no teor de carotenoides totais da casca, com valor médio de 7,3  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ .

Comportamento semelhante foi observado nos frutos tratados com etileno por 48 h, que apresentaram ao longo de toda a fase pós-tratamento incremento médio no teor de carotenoides totais da casca de pouco mais de 2  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ . Nesses frutos houve efeito de dose (D) sobre o comportamento da variável, de modo que às menores doses corresponderam os maiores teores de carotenoides na casca dos frutos (Figura 5B), cuja variação média ao longo do tempo indicou uma síntese de carotenoides totais na casca dos frutos de 2,3  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ .

Os teores de carotenoides da casca dos frutos alcançados por intermédio da ação do etileno não foram suficientes para a promoção da coloração típica da espécie (Figura 4). Mesmo na condição em que os frutos ficaram por mais tempo expostos ao etileno, o que se verificou de diferente em relação aos demais tratamentos quanto à síntese de carotenoides totais não se traduziu em coloração de casca mais característica (Figura 5C). Nesses frutos, a amplitude dos valores de carotenoides totais também não foi expressiva, tendo apresentado incremento médio, independentemente da dose de etileno, de apenas 2,4  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ .

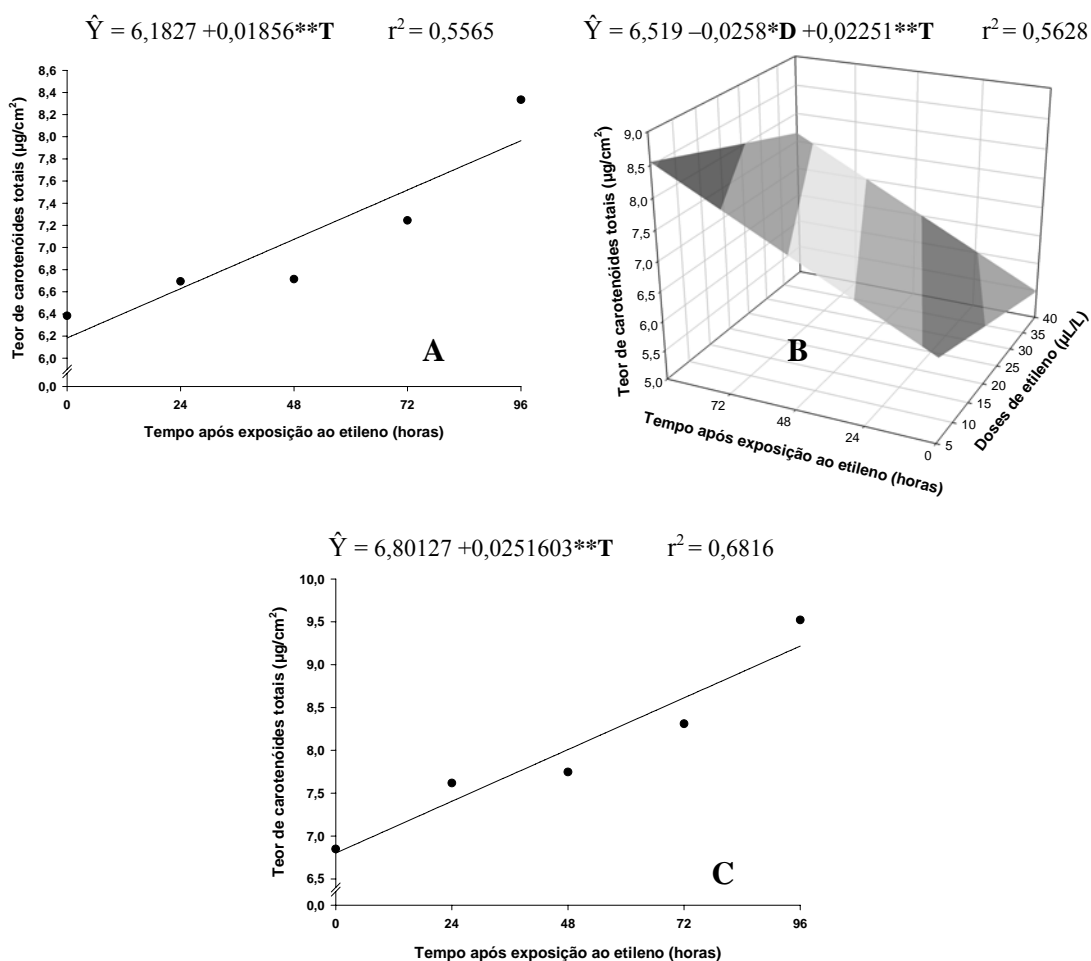


Figura 5 – Estimativa do teor de carotenóides totais da casca de frutos de tangerineira ‘Poncã’, em função da dose (D) e do tempo após a exposição ao etileno (T). **A** – frutos expostos ao etileno por 24 h; **B** – frutos expostos ao etileno por 48 h; e **C** – frutos expostos ao etileno por 96 h.

Provavelmente, a colheita precoce tenha sido a causa do comprometimento da síntese dos pigmentos carotenóides na casca dos frutos, pois, como já destacado no estudo das outras variáveis que compuseram este trabalho, a colheita dos frutos totalmente verdes pode dificultar a promoção da coloração típica das tangerinas, mediante a utilização do etileno, em pós-colheita (SALA *et al.*, 1988). Além disso, como observaram Farin *et al.* (1983), durante o amadurecimento dos frutos ocorre alteração qualitativa na concentração de pigmentos carotenóides presentes na casca, com o surgimento da coloração alaranjada, em decorrência da síntese de  $\beta$ -citraurina e criptoxantina.

Em condições naturais de amadurecimento, os frutos que perderam sua coloração verde estando ligados ainda à planta apresentaram evolução de cor intimamente relacionada ao que é característico da espécie, manifestando teores médios de carotenoides totais da casca de  $27,4 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ , bem superior ao que foi conseguido com a aplicação do etileno. A Figura 4 permite a distinção clara dos frutos tratados com etileno e aquele levado ao seu pleno desverdecimento sob condições naturais. Portanto, sendo conveniente a intervenção com o uso de etileno para o desverdecimento dos frutos, faz-se necessário que os estes, na colheita, já apresentem sinais visíveis de mudança de cor da casca, a fim de que o etileno apenas complete o que já fora iniciado naturalmente.

### **3.5. Qualidade interna e extravasamento de eletrólitos da casca dos frutos imediatamente após a exposição ao etileno**

O teor de sólidos solúveis, a acidez titulável e a relação SS/AT não se alteraram durante a fase de tratamento, em que os frutos ficaram expostos ao etileno por até 96 h (Quadro 3). O gás promoveu a mudança na coloração da casca dos frutos tratados e, mesmo nos frutos-controle, a pequena quantidade de origem endógena foi suficiente para induzir, ainda que incompleto, o processo de desverdecimento dos frutos. Contudo, pelo que se observa no Quadro 2, não houve efeito dos tratamentos sobre os atributos de qualidade interna dos frutos.

Os frutos chegaram ao fim dos tratamentos com a mesma caracterização de qualidade interna que apresentavam quando foram colhidos, independentemente da dose de etileno e do tempo de exposição. O extravasamento de eletrólitos celulares, porém, diferiu em função dos tempos de exposição nas doses de 5 e de 10  $\mu\text{L}/\text{L}$ , tendo aumentado em relação aos frutos recém-colhidos durante o tempo em que eles ficaram expostos ao etileno (Quadro 3). Com 24 h de exposição ao etileno, os frutos apresentaram os maiores valores de extravasamentos de eletrólitos, com média de 31,0 e 29,8%, nas doses de 5 e de 10  $\mu\text{L}/\text{L}$ , respectivamente. Não obstante, essa variação observada na perda de eletrólitos foi pouco expressiva e não esperada em decorrência das menores doses, visto que seu efeito é, teoricamente, menos danoso às membranas celulares do que o de doses maiores.

Quadro 3 – Valores médios das variáveis sólidos solúveis, acidez titulável, eletrólitos da casca e ratio (SS/AT) de frutos de tangerineira Poncã recém-colhidos (testemunha) e após cada tempo de exposição a diferentes doses de etileno

| Tratamentos (D;T) <sup>1</sup> | S.S. (°Brix) | A.T. (% de ác. cítrico) | Ratio (SS/AT) | Extravasamento de eletrólitos (%) |
|--------------------------------|--------------|-------------------------|---------------|-----------------------------------|
| Testemunha <sup>2</sup>        | 9,4          | 0,72                    | 11,3          | 20,3                              |
| (5;24)                         | 9,3 a        | 0,68 a                  | 13,7 a        | 31,0* a                           |
| (5;48)                         | 9,3 a        | 0,77 a                  | 12,1 a        | 27,8* ab                          |
| (5;96)                         | 9,7 a        | 0,71 a                  | 13,6 a        | 26,8* b                           |
| (10;24)                        | 9,4 a        | 0,71 a                  | 12,1 a        | 29,8* a                           |
| (10;48)                        | 9,3 a        | 0,75 a                  | 11,6 a        | 23,1* b                           |
| (10;96)                        | 9,4 a        | 0,75 a                  | 12,5 a        | 26,8* ab                          |
| (20;24)                        | 9,3 a        | 0,75 a                  | 12,4 a        | 27,6* a                           |
| (20;48)                        | 9,5 a        | 0,68 a                  | 14,0 a        | 28,3* a                           |
| (20;96)                        | 9,3 a        | 0,76 a                  | 12,2 a        | 25,8* a                           |
| (40;24)                        | 9,5 a        | 0,70 a                  | 13,6 a        | 26,8* a                           |
| (40;48)                        | 9,4 a        | 0,77 a                  | 12,2 a        | 27,9* a                           |
| (40;96)                        | 9,6 a        | 0,70 a                  | 13,7 a        | 25,5* a                           |

Médias seguidas de “\*” diferem estatisticamente da testemunha, pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade; <sup>1</sup>D (dose de etileno, em µL/L); T (tempo de exposição às doses); e <sup>2</sup>Média dos frutos recém-colhidos, com a casca verde. As médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas, dentro de cada dose, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

### 3.6. Sólidos solúveis, acidez titulável, ratio (SS/ATT) da polpa dos frutos e extravasamento de eletrólitos celulares da casca dos frutos nos dias subsequentes à exposição ao etileno

Assim como observado ao final da fase de tratamento, o teor de sólidos solúveis e a acidez titulável dos frutos mantiveram-se inalterados ao longo da fase pós-tratamento (Quadro 4). Os frutos apresentaram expressivas mudanças na coloração da casca, proporcional ao tempo a que ficaram expostos ao etileno, contudo, independentemente de qualquer combinação de fatores experimentais, a qualidade interna dos frutos e o extravasamento de eletrólitos não foram afetados

após a remoção do etileno. O fato de os atributos de qualidade do suco não terem se alterado confirma que a ‘Poncã’ não está sujeita a maiores alterações desses atributos no período pós-colheita.

Quadro 4 – Valores médios das variáveis sólidos solúveis, acidez titulável, relação SS/AT e extravasamento de eletrólitos celulares e os respectivos modelos

| Tempo de exposição (horas) | Sólidos solúveis (°Brix) | Acidez titulável (% de ác. cítrico) | Ratio (SS/AT) | Extravasamento de eletrólitos (%) |
|----------------------------|--------------------------|-------------------------------------|---------------|-----------------------------------|
| 0                          | 9,3                      | 0,67                                | 13,9          | 28,5                              |
| 24                         | 9,4                      | 0,71                                | 13,4          | 28,6                              |
| 48                         | 9,5                      | 0,71                                | 13,6          | 28,3                              |
| 96                         | 9,5                      | 0,71                                | 13,8          | 26,4                              |
| Média total                | 9,4                      | 0,70                                | 13,7          | 27,9                              |

Os frutos levados ao amadurecimento em condições naturais apresentaram entretanto, valores médios de teores de sólidos solúveis e de acidez de 11,4 °Brix e 0,59% de ácido cítrico, respectivamente. Como a tangerina é um fruto não climatérico, a qualidade interna apresentada pelos frutos quando colhidos foi a mesma durante e após o fim dos tratamentos. Embora os frutos tenham sido colhidos acima dos padrões mínimos de qualidade fisiológica estabelecidos pelo Programa Brasileiro para a Melhoria dos Padrões Comerciais e Embalagens de Hortigranjeiros (2000) para a colheita da tangerina, observou-se que, quanto mais seja possível o atraso na colheita dos frutos, maior será sua qualidade interna, que será preservada durante e após os tratamentos para o desverdecimento da casca com o etileno.

Martins (2003), estudando o desverdecimento de tangerinas ‘Poncã’, verificou que o teor de sólidos solúveis e a acidez dos frutos não variaram em função das concentrações de etileno utilizadas e das temperaturas em que se realizaram os tratamentos. Contudo, referido o autor observou discreta alteração nas variáveis em razão dos tempos de avaliações (48 até 144 h), tendo a acidez titulável diminuído e o teor de sólidos solúveis aumentado.

A manutenção da qualidade interna dos frutos, sem alteração dos valores ao longo do tempo, no contexto deste trabalho foi desejável, haja vista ter sido um dos

seus objetivos. Assim, o interesse era promover o desverdecimento dos frutos, sem alterar sua qualidade, o que foi conseguido, embora os frutos não tenham, experimentalmente, alcançado a coloração típica da espécie.

Como visto acerca dos atributos da qualidade de cor da casca (itens 3.2.1. e 3.2.2.), quanto mais tardiamente os frutos forem colhidos, mais expressivos serão os resultados na mudança da cor da casca promovida pela ação do etileno, visto que durante o desenvolvimento do fruto há aumento na concentração dos carotenoides, além de mudança qualitativa na ocorrência dos carotenoides que conferem a cor alaranjada à casca dos frutos (FARIN *et al.*, 1983). Além disso, pelo que foi observado acerca do teor de sólidos solúveis e acidez, com um atraso planejado na colheita, os frutos poderão ganhar também em qualidade interna, valorizando sua apreciação pelo consumidor.

O Quadro 3 possibilita a observação de que a permeabilidade das membranas dos frutos tratados apresentou discreta alteração durante a fase em que ficaram expostos à ação do etileno nas doses de 5 e de 10  $\mu\text{L/L}$ . No Quadro 4, entretanto, verifica-se que o tempo transcorrido após a exposição dos frutos ao etileno (T) não exerceu efeito sobre a permeabilidade das membranas celulares da casca dos frutos, que não apresentaram alteração do extravasamento de eletrólitos ao longo das 96 h da fase pós-tratamento, independentemente da dose e do tempo de exposição ao gás.

Convém ainda destacar que, para todos os tempos de exposição ao etileno, os valores médios do extravasamento de eletrólitos celulares da casca dos frutos foram sempre inferiores a 30,2%, valor médio observado nos frutos desverdecidos naturalmente na planta.

### **3.7. Perda de massa fresca dos frutos**

Os frutos-controle e também os frutos expostos ao etileno apresentaram perda de massa de matéria fresca acumulada crescente e com comportamento linear, medida durante a fase pós-tratamento, influenciada pelo tempo após a exposição dos frutos ao etileno (T), cuja significância de efeito foi de 1%, pelo teste 't' de Student, ao passo que não se observou efeito atribuído à dose (D) sobre a variável (Figura 6).

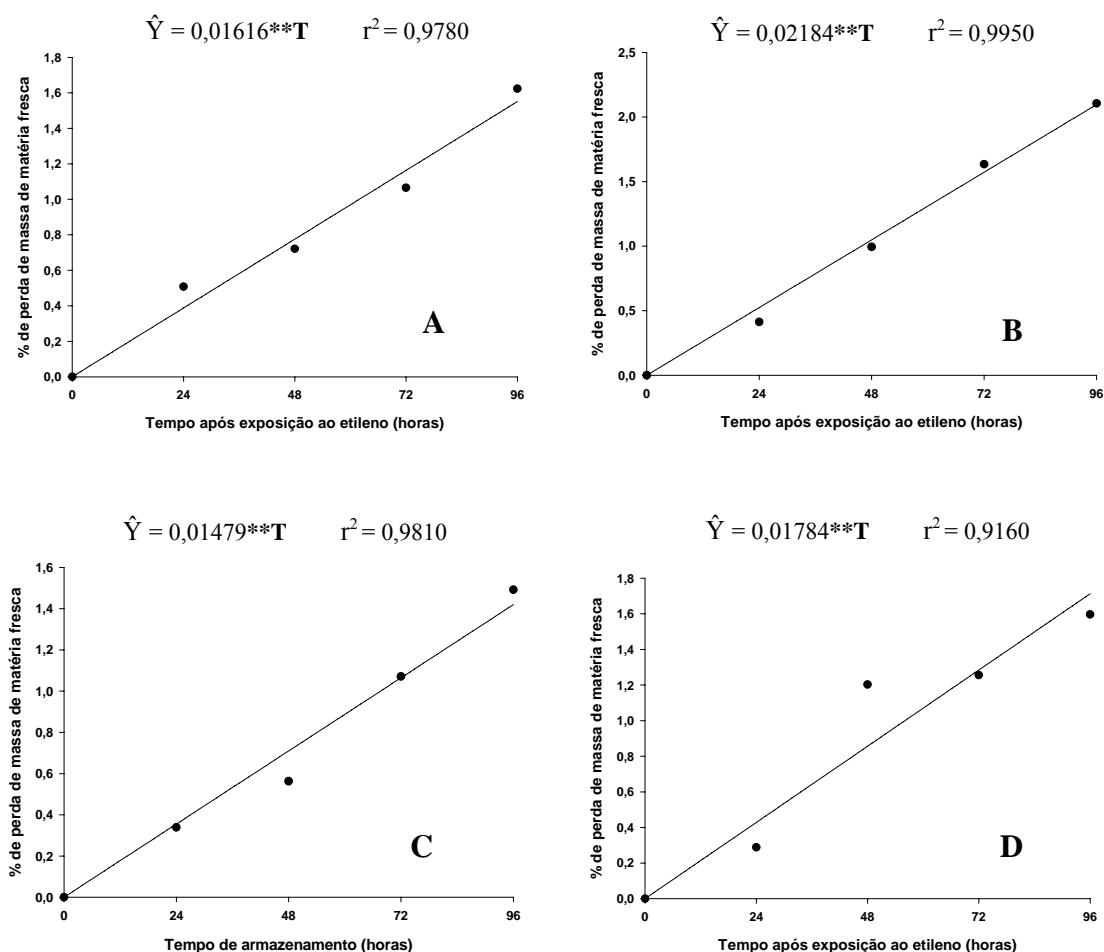


Figura 6 – Estimativa da perda de massa de matéria fresca de frutos de tangerineira ‘Poncã’, em função do tempo após a exposição ao etileno (T). **A** – frutos-controle, não tratados; **B** – frutos expostos ao etileno por 24 h; **C** – frutos expostos ao etileno por 48 h; **D** – frutos expostos ao etileno por 96.

Martins (2003), submetendo tangerinas ‘Poncã’ ao desverdecimento com etileno, observou discreto efeito de dose sobre a perda de massa dos frutos, que depois de tratados foram mantidos em ambiente com temperatura média de 26 °C; porém, a variação entre doses distintas, ao final do período de avaliações, foi de apenas 0,2% de perda de massa acumulada. Mendonça *et al.* (2003), desverdecendo limões ‘Siciliano’, observaram que a perda de massa dos frutos aumentou apenas em função do tempo, ao passo que as concentrações de etileno não interferiram na perda de massa.

Nos frutos-controle e naqueles expostos às doses de etileno por 24 e 48 h (Figura 6ABC), a perda de massa fresca acumulada máxima dos frutos foi muito

semelhante. Os frutos não tratados apresentaram, ao final das 96 h do tempo de armazenamento, perda de massa fresca acumulada de 1,4%, ao passo que os frutos tratados com etileno por 24 e 48 h apresentaram 1,7% e 1,5%, respectivamente.

Por sua vez, os frutos expostos às doses de etileno por 96 h responderam com maior perda de massa fresca acumulada ao longo das horas subsequentes ao fim do tratamento com o etileno. O maior tempo de exposição à ação do gás proporcionou a perda máxima acumulada de massa fresca dos frutos de 2,1% (Figura 6D). Porém, quando analisada a perda de massa fresca diária, os frutos expostos ao etileno por 96 h apresentaram 0,26% de perda por dia (2,1% de perda em oito dias de tratamento), ao passo que os frutos expostos ao etileno por 48 h apresentaram perda de massa fresca de 0,25% por dia (1,5% de perda em seis dias de tratamento). Além disso, não se observaram quaisquer sinais visíveis de perda de qualidade de comercialização dos frutos submetidos ao maior tempo de tratamento, como enrugamento da casca.

Uma suposta perda na permeabilidade das membranas celulares da casca dos frutos tratados por 96 h poderia torná-las mais permeáveis a substâncias de baixo peso molecular, podendo aumentar a perda de água pelos frutos. Contudo, o extravasamento de eletrólitos celulares da casca dos frutos manteve-se inalterado ao longo do tempo, em todos os tempos de exposição ao etileno (ver item 3.7.), o que leva a crer que a maior perda de massa fresca dos frutos, embora pouco expressiva e não percebida visualmente, tenha sido uma resposta ao maior grau de senescência provocado pela ação do etileno no maior tempo de exposição dos frutos.

### **3.8. Produção de CO<sub>2</sub> pelos frutos**

Os frutos de todos os tempos de exposição ao etileno apresentaram alta taxa de produção de CO<sub>2</sub> imediatamente após o fim dos tratamentos. Nas horas subsequentes, o ritmo respiratório dos frutos diminuiu, tendendo à estabilização (Figura 7). Essa constatação tem como fundamento o fato de que a aplicação de etileno exógeno em frutos não climatéricos promove o aumento da respiração dos frutos, sendo cessado esse aumento quando ocorre a remoção do gás dos tecidos vegetais (BIALE, 1960). Assim, invariavelmente, em todos os tempos de exposição os frutos responderam à difusão do etileno para o seu interior com imediata ascensão respiratória.

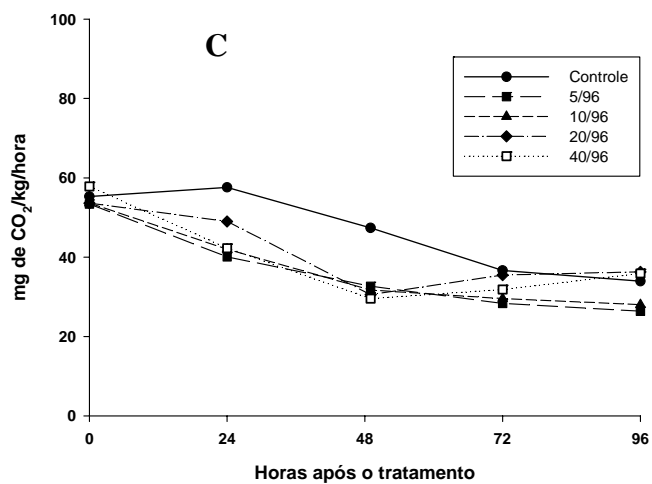
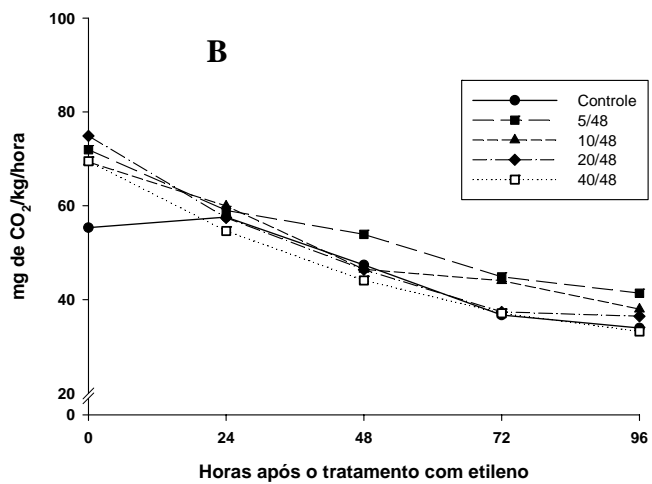
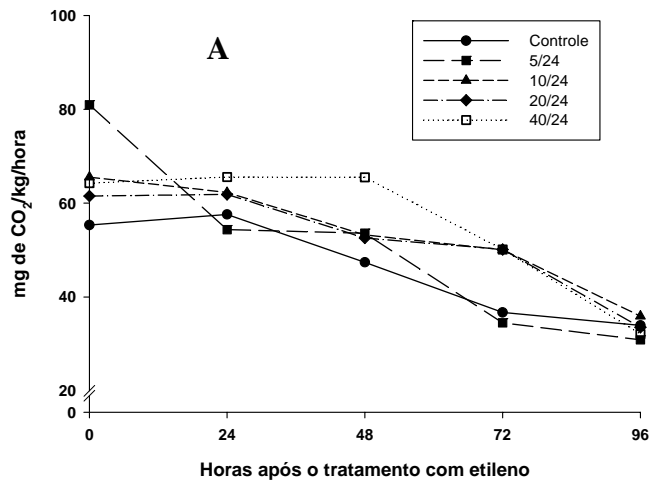


Figura 7 – Produção de CO<sub>2</sub> de tangerinas ‘Poncã’ submetidas a etileno gasoso nas doses de 0, 5, 10, 20 e 40 µL/L, nas 96 h subsequentes aos tratamentos. A – frutos expostos por 24 h; B – frutos expostos por 48 h; e C – frutos expostos por 96 h.

As maiores taxas de respiração, observadas imediatamente após a fase de tratamento, devem-se ao fato de que os frutos ficaram acondicionados em caixas herméticas enquanto durou a fase de tratamento, incluindo os frutos-controle. Dessa forma, com o aumento da concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera interna das caixas, a difusão desse gás do interior para o exterior dos tecidos foi inibida.

Entre os frutos dos três tempos de exposição ao etileno, aqueles expostos por 96 h apresentaram a menor taxa respiratória inicial, com valores inferiores a 60 mg de CO<sub>2</sub>/kg/hora, comportamento muito semelhante ao dos frutos-controle (Figura 7).

Independentemente dos tempos de exposição ao etileno, os frutos apresentaram tendência de estabilização da respiração em cerca de 40 mg de CO<sub>2</sub>/kg/hora entre 72 e 96 h após o término da exposição ao etileno (Figura 7). Além disso, o padrão respiratório dos frutos, independentemente do tempo a que ficaram expostos ao etileno e das doses, foi característico dos frutos não climatéricos, com declínio seguido de estabilização, depois de uma elevação em resposta à presença do etileno no interior dos seus tecidos.

#### **4. CONCLUSÕES**

As tangerinas ‘Poncã’ provenientes da Zona da Mata de Minas Gerais são capazes de atingir a coloração alaranjada em condições naturais, no entanto o desverdecimento com etileno é alternativa que permite a colheita antecipada dos frutos. Nesse caso, a combinação de 5  $\mu\text{L/L}$  de etileno por 96 h de exposição mais 72 h após o tratamento foi a que proporcionou os resultados mais próximos ao que se verificou naturalmente, embora os frutos não tenham adquirido a coloração alaranjada.

## 5. CONCLUSÕES GERAIS

O tempo de 96 h de exposição ao etileno mostrou ser o mais eficiente na promoção do desverdecimento dos frutos oriundos das regiões Norte e Zona da Mata de Minas Gerais, por permitir a difusão de maior quantidade de etileno para o interior dos frutos, desencadeando, assim, um desverdecimento mais acentuado e completo. Como não houve efeito distinto de dose, sendo necessária a adoção do desverdecimento com o uso de etileno gasoso, recomenda-se a menor dose testada, 5  $\mu\text{L/L}$ .

O processo artificial de desverdecimento com o uso de etileno foi mais eficiente no caso dos frutos procedentes do Norte de Minas Gerais, visto que a região não dispõe de temperaturas do ar favoráveis ao desverdecimento natural. Ainda que os frutos tratados tenham ficado apenas amarelados e não alaranjados, os frutos amadurecidos em condições naturais apresentaram muitos traços persistentes de verde na composição final da cor do fruto. Nesse caso, o etileno, em pós-colheita, pode ser usado para o desverdecimento e para a uniformização da coloração final da casca dos frutos, atendendo à demanda dos produtores da região e dos consumidores.

Em relação aos frutos oriundos da Zona da Mata mineira, a coloração alaranjada da casca só foi conseguida em condições naturais. O desverdecimento artificial só se justifica em caso comprovado de ganhos com a antecipação da colheita.

O extravasamento de eletrólitos celulares da casca dos frutos tratados com etileno aumentou ao longo do tempo, embora os frutos não tenham apresentado sinais visíveis de perda de qualidade. Contudo, convém considerar que o etileno é um agente indutor de senescência, portanto sua utilização para fins de desverdecimento deve ser tal que não comprometa a qualidade de comercialização dos frutos.

## 6. REFERÊNCIAS

ABELES, F. B.; MORGAN, P. W.; SALTVEIT, M. E. **Ethylene in plant biology**. 2. ed. San Diego: Academic Press, Inc., 1992. 414 p.

AGRIANUAL. **Anuário Estatístico da Agricultura Brasileira**. São Paulo: FNP – Consultoria e Comércio, 2009. p. 294-300.

ALONSO, J. M.; CHAMARRO, J.; GRANELL, A. Evidence for the involvement of ethylene in the expression of specific RNAs during maturation of the orange, a non-climateric fruit. **Plant Molecular Biology**, n. 29, p. 385-390, 1995.

ALONSO, J. M.; GARCÍA-MARTÍNEZ, J. L.; CHAMARRO, J. Two dimensional gel electrophoresis pattern of total, *in vivo* labeled and *in vitro* translated polypeptides from orange flavedo during maturation and following ethylene treatment. **Plant Physiology**, n. 85, p. 147-156, 1992.

AMAT, S. R. **Defectos y alteraciones de los frutos cítricos en su comercialización**. Comité de Gestión para la Exportación de Frutos Cítricos. España: Editorial Lit Nicolau, 1988. 15 p.

ARTÉZ, F.; MARÍN, J. C.; PORRAS, I.; MARTÍNEZ, J. A. Evolución de la calidad del limón, pomelo y naranja durante la desverdización. **Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha**, Sonora, v. 2, n. 1, p. 71-79, 1999.

AZUMA, R.; KURATA, H.; MASARU, A.; SHIMOKAWA, K. Degreening of *Citrus unshiu* fruits via ethylene – induced soluble chlorophyllase. **Journal of the Japanese Society for Horticultural Science**, v. 68, n. 3, p. 558-562, 1999.

BIALE, J. B. The postharvest biochemistry of tropical and subtropical fruits. **Advances in Food Research**, v. 10, p. 293-354, 1960.

BIALE, J. B. Growth, maturation, and senescence in fruits. **Science**, v. 146, n. 3646, p. 880-888, 1964.

BROWN, G. E. Fruit handling and decay control techniques affecting quality. **ACS Symposium Series**, Washington, v.143, p.193-224, 1980.

CASAS, A.; LLACÉR, J. El color de los frutos cítricos. III. Modificación del color mediante tratamientos pre-recolección. **Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos**, Valencia, v. 29, n. 2, p. 173-190, 1989.

CASAS, A.; MALLENT, D. El color de los frutos cítricos. I. Generalidades. II. Factores que influyen en el color. Influencia de la especie, de la variedad y de la temperatura. **Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos**, Valencia, v. 28, n. 2, p. 185-202, 1988.

CASTRO, J. V.; FERREIRA, V. L. P.; PIO, R. M. Influência da temperatura no desverdecimento e qualidade do Tangor Murcote. **Laranja**, v. 12, n. 1, p. 211-224, 1991a.

CASTRO, J. V.; FERREIRA, V. L. P.; YOTSUYANAGI, K. Aplicação pós-colheita de etileno e de ethrel no desverdecimento de Tangor Murcote. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 13, p. 237-242, 1991b.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2. ed. Rev. e Ampl. Lavras, MG: UFLA, 2005. 785 p.

COHEN, E. Methods of degreening 'Satsuma' mandarin. **Proceedings of the International Society of Citriculture**. [S.I.: s.n.], v. 2, p. 748-750, 1981.

EILATI, S. K.; BUDOWSKI, P.; MONSELISE, S. P. Carotenoid changes in the 'Shamouti' orange peel during chloroplast-chromoplast transformation on and off the tree. **Journal of Experimental Botany**, n. 26, p. 624-632, 1975.

FARIN, D.; IKAN, R.; GROSS, J. The carotenoid pigments in the juice and flavedo of a mandarin hybrid (*Citrus reticulata*) cv. 'Michal' during ripening. **Phytochemistry**, v. 22, n. 2, p. 403-408, 1983.

FAO. **Agriculture production**: orange production. Rome, 2009. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>>. Acesso em: 25 ago. 2009a.

FAO. **Agriculture production**: tangerine production. Rome, 2009. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>>. Acesso em: 25 ago. 2009b.

FIGUEIREDO, J. O. Variedades-copa de valor comercial. In: RODRIGUES, O.; VIÉGAS, F.; POMPEU JR., J.; AMARO, A.A. (Eds.). **Citricultura brasileira**. Campinas, SP: Fundação Cargill, 1991. p. 228-264.

GOLDSCHMIDT, E. E. Ripening of Citrus and other non-climateric fruits: A role for ethylene. **Acta Horticultural**, v. 463, p. 335-340, 1997.

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

GOLFARI, L. **Zoneamento ecológico do Estado de Minas Gerais para reflorestamento**. Belo Horizonte: PRODEPEF, 1975. 65 p. Série técnica 3.

GRIERSON, W.; COHEN, E.; KITAGAWA, H.; Degreening. In: WARDOWSKI, W. F.; NAGY, S.; GRIERSON, W. (Eds.). **Fresh citrus fruits**. New York: An AVI Book, 1986. p. 253-274.

GRIERSON, W.; WARDOWSKI, W. F. Relative humidity effects on the postharvest life in fruits and vegetables. **HortScience**, v. 13, n. 5, p. 22-26, 1978.

HARDENBURG, R. E.; WATADA, A. E.; WANG, C. Y. **The commercial storage of fruits, vegetables, and florist, and nursery stocks**. Washington: USDA, 1986. 130 p.

JACOMINO, A. P.; MENDONÇA, K.; KLUGE, R. A. Armazenamento refrigerado de limões 'Siciliano' tratados com etileno. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, n. 1, p. 45-48, 2003.

JAHN, O. L.; CHACE JR., W. G.; CUBBEDGE, R. H. Degreening of citrus fruits in response to varying levels of oxygen and ethylene. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 94, p.123-125, 1969.

JIMENEZ-CUESTA, M.; CUQUERELLA, J.; MARTINEZ-JÁVAGA, J. M. Determination of color index for citrus fruit degreening. **Proceedings of the International Society of Citriculture**, v. 2, p. 750-753, 1981.

JIMENEZ-CUESTA, M.; CUQUERELLA CAYUELA, J.; MARTINEZ-JÁVAGA, J. M. **Teoría y práctica de la desverdización de los cítricos**. Madrid: INIA, 1983. 22 p. (INIA – Hoja Técnica, 46).

KADER, A. A.; ARPAIA, M. L. Postharvest handling system: subtropical fruits. In: KADER, A. A. (Ed.). **Postharvest technology of horticultural crops**. 2. ed. Oakland: University of California, 1992. p. 233-240.

KNEE, M.; TSANTILI, E.; HATFIELD, G. S. Promotion and inhibition by ethylene of chlorophyll degradation in orange fruits. **The Annals of Applied Biology**, v. 113, p. 129-135, 1988.

LADANIYA, M. S. Response of 'Nagpur' mandarin to degreening by ethylene trickle method, mechanized wax coating and storage at ambient condition. **Journal of Food Science and Technology**, v. 37, n. 2, p. 103-110, 2000.

LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods in Enzymology**, v. 148, n. 22, p. 350-382, 1987.

LIEGEOIS, S.; PONS, J.; JUAN, M.; ALMELA, V.; AGUSTÍ, M. Effects de différents traitements sur l'évolution de la maturation de la mandarine Marisol (*Citrus reticulata* Blanco). **Fruits**, v. 50, n. 2, p. 117-124, 1995.

MAZZUZ, C. F. **Calidad de frutos cítricos**: manual para sugestion desde la recoleccion hasta la expedicion. Barcelona: Ediciones de Horticultura, 1996. 317 p.

MARTINS, D. N. **Desverdecimento da tangerina 'Poncã' (*Citrus reticulata*, Blanco) sob diferentes concentrações de etileno e temperaturas**. 2003. 57 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2003.

MEDINA, V. M.; LIMA, L. F. do N. Biossíntese pós-colheita de pigmentos carotenoides em laranja 'Pera'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 15, n. 2, p. 15-19, 1993

MENDONÇA, K.; JACOMINO, A. P.; MELHEM, T. X.; KLUGE, R. A. Concentração de etileno e tempo de exposição para desverdecimento de limão 'Siciliano'. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 6, n. 2, p. 179-183, 2003

MENDOZA, F.; DEJMEK, P.; AGUILERA, J. M. Calibrated colour measurements of agricultural foods using image analysis. **Postharvest Biology and Technology**, v. 41, p. 285-295, 2006.

MOTA, R. V. da; BASSINELLO, P. Z.; MELOTTO, E.; CASTRO, P. R. C. Desverdecimento e conservação em pós-colheita de frutos de kunquat (*Fortunella Margarita* Swingle) em resposta a tratamentos com ethephon e cera. **Scientia Agrícola**, v. 54, n. 3, p. 241-246, 1997.

NASCIMENTO, L. F. do; MEDINA, V. M. Usos do ethephon no desverdecimento de laranjas 'Pera' e 'Baianinha'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 16, n. 3, p. 127-140, 1994.

NOGUEIRA, D. J. P. O clima na citricultura. **Informe Agropecuário**, v. 5, n. 52, p. 3-13, 1979.

OH, S. D.; KIM, Y. Y.; HONG, S. B.; CHUNG, S. K. Effect of postharvest application of ethephon, ethylene and methionine on colour and quality of satsuma. **Journal of the Korean Society for Horticultural Science**, Suwon, v. 20, n. 2, p. 142-147, 1979.

ORTOLANI, A. A.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; ALFONSI, R. R. Agroclimatologia e o cultivo dos citros. In: RODRIGUEZ, O.; VIÉGAS, F.; POMPEU JUNIOR, J.; AMARO, A. A. (Eds.). **Citricultura brasileira**. Campinas, SP: Fundação Cargill, 1991. v. 1, p. 152-195.

PALMER, J. K. The banana. In: HULME, A. C. (Ed.). **The biochemistry of fruits and their productions**. London: Academic Press, 1971. v. 2, p. 65-105.

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

PIVIDAL, F. **Aspectos preliminares sobre la desverdización de la mandarina 'Dancy'**. [S.l.]: Departamento de Frutas y Vegetales, CINC, 1980. p. 20 (Informe Técnico).

PROGRAMA BRASILEIRO PARA A MELHORIA DOS PADRÕES COMERCIAIS E EMBALAGENS DE HORTIGRANJEIROS. Classificação das tangerinas. São Paulo: Centro de Qualidade em Horticultura – Ceagesp, 2000. Não paginado.

PURVIS, A. C. Sequence of chloroplast degreening in Calamondin fruit as influenced by ethylene and AgNO<sub>3</sub>. **Plant Physiology**, v. 66, p. 624-627, 1980.

PURVIS, A. C.; BARMORE, C. R. Involvement of ethylene in chlorophyll degradation in peel of citrus fruits. **Plant Physiology**, v. 68, p. 854-856, 1981.

REIS, J. M. R.; LIMA, L. C.; VILAS-BOAS, E. V. B.; CHITARRA, A. B. Relação entre o grau de coloração da casca e algumas características de qualidade de tangerina 'Ponkan'. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 24, p. 182-186, dez. 2000.

RODRIGUEZ, O. Ecofisiologia dos citros. In: CASTRO, P. R. C.; FERREIRA, S. O.; YAMADA, T. **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba, SP: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. 249 p.

SALA, J. M.; MALLENT, D.; PERÉZ-ZÚNIGA, F.; CUNAT, P. La evolución del color de naranjas y mandarinas em el proceso de desverdizacion com etileno. **Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos**, v. 28, n. 4, p. 556-558, 1988.

SEREK, M.; TAMARI, G.; SISLER, E. C.; BOROCHOV, A. Inhibition of ethylene-induced cellular senescence symptoms by 1-methylcyclopropene, a new inhibitor of ethylene action. **Physiologia Plantarum**, v. 94, p. 229-232, 1995.

SHIMOKAWA, K.; SHIMADA, S.; YAEAO, K. Ethylene-enhanced chlorophyllase activity during degreening of *Citrus unshiu* Marc. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 8, n. 2, p. 129-135, 1978.

SINCLAIR, W. B. **The biochemistry and physiology of the lemon and other citrus fruits**. Oakland: University of California, 1984. 946 p.

STEWART, I.; WHEATON, T. A. Effects of ethylene and temperature on carotenoid pigmentation of citrus peel. **Florida State Horticultural Society**, p. 264-266, 1971.

STEWART, I.; WHEATON, T. A. Carotenoids in citrus: their accumulation induced by ethylene. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, Washington, v. 20, n. 2, p. 448-449, 1972.

WHEATON, T. A.; STEWART, I. Optimum temperature and ethylene concentrations for postharvest development of carotenoid pigments in citrus. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 98, n. 4, p. 337-340, 1973.

WONG, W. S.; NING, W.; XU, P. L.; KUNG, S. D.; YANG, S. F.; LI, N. Identification of two chilling-regulated 1-aminocyclopropane-1-carboxylate synthase genes from citrus (*Citrus sinensis*, Osbeck) fruit. **Plant Molecular Biology**, v. 41, p. 587-600, 1999.

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, n. 1/2, p. 35-42, 1997.

YOUNG, L. B.; ERICKSON, L. C. Influences of temperature on color change in Valencia oranges. **Proceedings of the American Society for Horticultural Science**, n. 78, p. 197-200, 1961.

## **APÉNDICE**

## APÊNDICE A

Quadro 1A – Resumo da análise de variância das variáveis em estudo, em tangerina ‘Poncã’ proveniente do Norte de Minas Gerais e tratada por 24 h com diferentes doses de etileno gasoso

| Fontes de Variação  | Graus de Liberdade 3 | Quadrado Médio      |                     |                     |                    |                     |                      |                     |                      |                       |
|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|
|                     |                      | DE                  | h                   | TCl                 | TC                 | AT                  | SS                   | (SS/AT)             | Eletrólitos          | PM                    |
| Dose (D)            | 3                    | 21,01 <sup>ns</sup> | 15,86 <sup>ns</sup> | 28,12**             | 1,78 <sup>ns</sup> | 0,060 <sup>ns</sup> | 0,211 <sup>ns</sup>  | 10,73 <sup>ns</sup> | 91,498**             | 0,4917 <sup>ns</sup>  |
| Resíduo (a)         | 12                   | 16,95               | 8,14                | 6,15                | 1,49               | 0,032               | 0,126                | 4,22                | 21,393               | 0,0669                |
| Tempo (T)           | 4                    | 610,67**            | 768,87**            | 379,15**            | 6,32**             | 0,012 <sup>ns</sup> | 0,0796 <sup>ns</sup> | 8,969*              | 656,033**            | 0,9910**              |
| D x T               | 12                   | 24,21 <sup>ns</sup> | 14,68 <sup>ns</sup> | 13,59 <sup>ns</sup> | 0,97 <sup>ns</sup> | 0,029 <sup>ns</sup> | 0,0529 <sup>ns</sup> | 4,43 <sup>ns</sup>  | 27,411 <sup>ns</sup> | 0,00567 <sup>ns</sup> |
| Resíduo (b)         | 48                   | 14,27               | 11,73               | 12,51               | 1,08               | 0,024               | 0,157                | 3,30                | 21,089               | 0,00514               |
| CV <sup>1</sup> (%) |                      | 41,5                | 2,60                | 15,74               | 18,89              | 19,37               | 3,94                 | 20,65               | 14,24                | 89,56                 |
| CV <sup>2</sup> (%) |                      | 38,14               | 3,12                | 22,46               | 16,07              | 16,93               | 4,37                 | 18,24               | 14,14                | 24,815                |

<sup>ns</sup> F não significativo a 5%; \* F significativo a 5%; \*\* F significativo a 1%; CV<sup>1</sup> – coeficiente de variação das parcelas; CV<sup>2</sup> – coeficiente de variação das subparcelas; DE – diferença de cor; h – ângulo Hue; TCl – teor de clorofila total; TC – teor de carotenoides totais; AT – acidez titulável; SS – sólidos solúveis; e PM – perda de massa.

Quadro 2A – Resumo da análise de variância das variáveis em estudo, em tangerina ‘Poncã’ proveniente do Norte de Minas Gerais e tratada por 48 h com diferentes doses de etileno gasoso

| Fontes de Variação  | Graus de Liberdade | Quadrado Médio       |                      |                     |                     |                      |                      |                     |                      |                       |
|---------------------|--------------------|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|
|                     |                    | DE                   | h                    | TCl                 | TC                  | AT                   | SS                   | (SS/AT)             | Eletrólitos          | PM                    |
| Dose (D)            | 3                  | 19,995 <sup>ns</sup> | 19,298 <sup>ns</sup> | 6,743 <sup>ns</sup> | 0,688 <sup>ns</sup> | 0,0106 <sup>ns</sup> | 0,0832 <sup>ns</sup> | 2,471 <sup>ns</sup> | 7,697 <sup>ns</sup>  | 0,00691 <sup>ns</sup> |
| Resíduo (a)         | 12                 | 124,225              | 12,493               | 8,624               | 1,234               | 0,0124               | 0,0891               | 1,575               | 14,175               | 0,00348               |
| Tempo (T)           | 4                  | 1125,22**            | 1227,13**            | 307,323**           | 13,901**            | 0,1036**             | 0,4364*              | 8,959*              | 131,151**            | 1,0566**              |
| D x T               | 12                 | 20,832 <sup>ns</sup> | 16,954 <sup>ns</sup> | 7,719 <sup>ns</sup> | 1,154 <sup>ns</sup> | 0,0183 <sup>ns</sup> | 0,1474 <sup>ns</sup> | 3,158 <sup>ns</sup> | 20,124 <sup>ns</sup> | 0,00145 <sup>ns</sup> |
| Resíduo (b)         | 48                 | 15,228               | 9,427                | 9,458               | 1,391               | 0,0247               | 0,1191               | 2,739               | 12,007               | 0,000977              |
| CV <sup>1</sup> (%) |                    | 59,12                | 3,50                 | 30,69               | 17,83               | 11,82                | 3,30                 | 12,78               | 11,10                | 22,69                 |
| CV <sup>2</sup> (%) |                    | 20,70                | 3,04                 | 32,14               | 18,90               | 16,70                | 3,82                 | 16,85               | 10,22                | 11,94                 |

<sup>ns</sup> F não significativo a 5%; \* F significativo a 5%; \*\* F significativo a 1%; CV<sup>1</sup> – coeficiente de variação das parcelas; CV<sup>2</sup> – coeficiente de variação das subparcelas; DE – diferença de cor; h – ângulo Hue; TCl – teor de clorofila total; TC – teor de carotenoides totais; AT – acidez titulável; SS – sólidos solúveis; e PM – perda de massa.

Quadro 3A – Resumo da análise de variância das variáveis em estudo, em tangerina ‘Poncã’ proveniente do Norte de Minas Gerais e tratada por 96 h com diferentes doses de etileno gasoso

| Fontes de Variação  | Graus de Liberdade | Quadrado Médio       |                      |                     |                     |                      |                     |                      |                      |                       |
|---------------------|--------------------|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
|                     |                    | DE                   | h                    | TCl                 | TC                  | AT                   | SS                  | (SS/AT)              | Eletrólitos          | PM                    |
| Dose (D)            | 3                  | 49,008 <sup>ns</sup> | 14,346 <sup>ns</sup> | 3,008 <sup>ns</sup> | 0,908 <sup>ns</sup> | 0,0096 <sup>ns</sup> | 0,217 <sup>ns</sup> | 0,0983 <sup>ns</sup> | 17,202 <sup>ns</sup> | 0,0169 <sup>ns</sup>  |
| Resíduo (a)         | 12                 | 29,801               | 7,196                | 3,384               | 0,352               | 0,0229               | 0,127               | 2,650                | 9,615                | 0,00814               |
| ∞ Tempo (T)         | 4                  | 325,241**            | 502,15**             | 37,854**            | 11,232**            | 0,0030 <sup>ns</sup> | 0,199 <sup>ns</sup> | 0,346 <sup>ns</sup>  | 125,285**            | 1,925**               |
| D x T               | 12                 | 27,194 <sup>ns</sup> | 17,65 <sup>ns</sup>  | 3,491 <sup>ns</sup> | 0,929 <sup>ns</sup> | 0,0258 <sup>ns</sup> | 0,146 <sup>ns</sup> | 2,566 <sup>ns</sup>  | 9,714 <sup>ns</sup>  | 0,00408 <sup>ns</sup> |
| Resíduo (b)         | 48                 | 11,920               | 10,015               | 4,708               | 1,271               | 0,0241               | 0,117               | 2,390                | 12,908               | 0,00117               |
| CV <sup>1</sup> (%) |                    | 18,44                | 3,04                 | 38,89               | 8,38                | 15,73                | 3,95                | 17,05                | 9,12                 | 21,58                 |
| CV <sup>2</sup> (%) |                    | 11,66                | 3,59                 | 45,83               | 15,92               | 16,15                | 3,79                | 16,17                | 10,57                | 8,17                  |

<sup>ns</sup> F não significativo a 5%; \* F significativo a 5%; \*\* F significativo a 1%; CV<sup>1</sup> – coeficiente de variação das parcelas; CV<sup>2</sup> – coeficiente de variação das subparcelas; DE – diferença de cor; h – ângulo Hue; TCl – teor de clorofila total; TC – teor de carotenoides totais; AT – acidez titulável; SS – sólidos solúveis; e PM – perda de massa.

Quadro 4A – Resumo da análise de variância das variáveis em estudo, em tangerina ‘Poncã’ proveniente da Zona da Mata de Minas Gerais e tratada por 24 h com diferentes doses de etileno gasoso

| Fontes de Variação  | Graus de Liberdade | Quadrado Médio      |                      |                     |                     |                       |                      |                     |                      |                       |
|---------------------|--------------------|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|----------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|
|                     |                    | DE                  | h                    | TCl                 | TC                  | AT                    | SS                   | (SS/AT)             | Eletrólitos          | PM                    |
| Dose (D)            | 3                  | 1,018 <sup>ns</sup> | 12,741 <sup>ns</sup> | 5,762 <sup>ns</sup> | 3,276**             | 0,0137 <sup>ns</sup>  | 0,0343 <sup>ns</sup> | 5,413 <sup>ns</sup> | 52,09**              | 0,0605 <sup>ns</sup>  |
| Resíduo (a)         | 12                 | 13,547              | 79,979               | 7,212               | 0,456               | 0,0106                | 0,0968               | 4,641               | 3,142                | 0,0173                |
| Tempo (T)           | 4                  | 2344,367**          | 2637,14**            | 782,32**            | 11,857**            | 0,00803 <sup>ns</sup> | 0,403**              | 2,942 <sup>ns</sup> | 73,49**              | 7,525**               |
| D x T               | 12                 | 9,185 <sup>ns</sup> | 7,602 <sup>ns</sup>  | 4,418 <sup>ns</sup> | 1,009 <sup>ns</sup> | 0,0143 <sup>ns</sup>  | 0,0639 <sup>ns</sup> | 5,063 <sup>ns</sup> | 15,137 <sup>ns</sup> | 0,00382 <sup>ns</sup> |
| Resíduo (b)         | 48                 | 11,238              | 9,521                | 3,682               | 0,612               | 0,0109                | 0,101                | 3,856               | 8,327                | 0,00594               |
| CV <sup>1</sup> (%) |                    | 23,06               | 8,68                 | 25,90               | 9,48                | 14,40                 | 3,30                 | 16,02               | 7,98                 | 15,15                 |
| CV <sup>2</sup> (%) |                    | 21,00               | 2,99                 | 18,51               | 10,99               | 14,65                 | 3,376                | 14,60               | 9,88                 | 8,875                 |

<sup>ns</sup> F não significativo a 5%; \* F significativo a 5%; \*\* F significativo a 1%; CV<sup>1</sup> – coeficiente de variação das parcelas; CV<sup>2</sup> – coeficiente de variação das subparcelas; DE – diferença de cor; h – ângulo Hue; TCl – teor de clorofila total; TC – teor de carotenoides totais; AT – acidez titulável; SS – sólidos solúveis; e PM – perda de massa.

Quadro 5A – Resumo da análise de variância das variáveis em estudo, em tangerina ‘Poncã’ proveniente da Zona da Mata de Minas Gerais e tratada por 48 h com diferentes doses de etileno gasoso

| Fontes de Variação  | Graus de Liberdade | Quadrado Médio       |                      |                     |                     |                      |                      |                     |             |                      |
|---------------------|--------------------|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|---------------------|-------------|----------------------|
|                     |                    | DE                   | h                    | TCl                 | TC                  | AT                   | SS                   | (SS/AT)             | Eletrólitos | PM                   |
| Dose (D)            | 3                  | 40,155 <sup>ns</sup> | 29,645 <sup>ns</sup> | 9,74 <sup>ns</sup>  | 4,36 <sup>ns</sup>  | 0,0421 <sup>ns</sup> | 0,0053 <sup>ns</sup> | 2,407 <sup>ns</sup> | 106,58**    | 0,0045 <sup>ns</sup> |
| Resíduo (a)         | 12                 | 15,832               | 12,79                | 3,66                | 1,719               | 0,00871              | 0,0837               | 4,337               | 11,40       | 0,0120               |
| Tempo (T)           | 4                  | 1969,15**            | 2191,03**            | 265,26**            | 16,054**            | 0,0220 <sup>ns</sup> | 0,2831 <sup>ns</sup> | 11,69*              | 123,77**    | 5,935**              |
| D x T               | 12                 | 19,887 <sup>ns</sup> | 22,589 <sup>ns</sup> | 3,647 <sup>ns</sup> | 1,258 <sup>ns</sup> | 0,0199 <sup>ns</sup> | 0,123 <sup>ns</sup>  | 8,165 <sup>ns</sup> | 44,23**     | 0,0449 <sup>ns</sup> |
| Resíduo (b)         | 48                 | 13,118               | 13,221               | 4,135               | 0,634               | 0,0108               | 0,137                | 4,151               | 13,28       | 0,00432              |
| CV <sup>1</sup> (%) |                    | 17,89                | 3,73                 | 30,41               | 18,44               | 12,98                | 3,04                 | 15,30               | 11,30       | 14,01                |
| CV <sup>2</sup> (%) |                    | 16,28                | 3,80                 | 32,31               | 11,19               | 14,51                | 3,88                 | 14,96               | 12,20       | 8,40                 |

<sup>ns</sup> F não significativo a 5%; \* F significativo a 5%; \*\* F significativo a 1%; CV<sup>1</sup> – coeficiente de variação das parcelas; CV<sup>2</sup> – coeficiente de variação das subparcelas; DE – diferença de cor; h – ângulo Hue; TCl – teor de clorofila total; TC – teor de carotenoides totais; AT – acidez titulável; SS – sólidos solúveis; e PM – perda de massa.

Quadro 6A – Resumo da análise de variância das variáveis em estudo, em tangerina ‘Poncã’ proveniente da Zona da Mata de Minas Gerais e tratada por 96 h com diferentes doses de etileno gasoso

| Fontes de Variação  | Graus de Liberdade | Quadrado Médio      |                     |                     |                     |                       |                      |                     |                     |                       |
|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|
|                     |                    | DE                  | h                   | TCl                 | TC                  | AT                    | SS                   | (SS/AT)             | Eletrólitos         | PM                    |
| Dose (D)            | 3                  | 12,95 <sup>ns</sup> | 4,433 <sup>ns</sup> | 0,468 <sup>ns</sup> | 2,173 <sup>ns</sup> | 0,0174 <sup>ns</sup>  | 0,211 <sup>ns</sup>  | 5,589 <sup>ns</sup> | 14,658**            | 0,0047 <sup>ns</sup>  |
| Resíduo (a)         | 12                 | 9,31                | 1,855               | 0,855               | 1,006               | 0,0135                | 0,0789               | 6,267               | 8,988               | 0,0120                |
| Tempo (T)           | 4                  | 162,23**            | 295,71**            | 2,740**             | 15,784**            | 0,00408 <sup>ns</sup> | 0,121 <sup>ns</sup>  | 3,682 <sup>ns</sup> | 49,983**            | 11,859**              |
| D x T               | 12                 | 7,38 <sup>ns</sup>  | 2,255 <sup>ns</sup> | 1,231**             | 1,157 <sup>ns</sup> | 0,0177 <sup>ns</sup>  | 0,0701 <sup>ns</sup> | 4,291 <sup>ns</sup> | 9,097 <sup>ns</sup> | 0,00171 <sup>ns</sup> |
| Resíduo (b)         | 48                 | 5,87                | 4,783               | 0,402               | 0,756               | 0,0110                | 0,118                | 4,532               | 5,078               | 0,00155               |
| CV <sup>1</sup> (%) |                    | 8,13                | 1,70                | 41,46               | 12,54               | 16,48                 | 2,92                 | 18,10               | 11,36               | 10,74                 |
| CV <sup>2</sup> (%) |                    | 6,44                | 2,73                | 28,43               | 10,85               | 14,88                 | 3,59                 | 15,39               | 8,54                | 3,82                  |

<sup>ns</sup> F não significativo a 5%; \* F significativo a 5%; \*\* F significativo a 1%; CV<sup>1</sup> – coeficiente de variação das parcelas; CV<sup>2</sup> – coeficiente de variação das subparcelas; DE – diferença de cor; h – ângulo Hue; TCl – teor de clorofila total; TC – teor de carotenoides totais; AT – acidez titulável; SS – sólidos solúveis; e PM – perda de massa.