

ALTERAÇÕES BIOQUÍMICAS E FISIOLÓGICAS DURANTE A  
MATURAÇÃO E O ARMAZENAMENTO DE GRAVIOLA SOB  
REFRIGERAÇÃO ASSOCIADA A 1-METILCICLOPROPENO E CERA

MARIA AUXILIADORA COELHO DE LIMA

---

TESE SUBMETIDA À COORDENAÇÃO DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
AGRONOMIA, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM FITOTECNIA, COMO  
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

FORTALEZA - CEARÁ

2002

L699m<sup>2</sup> Lima, Maria Auxiliadora Coêlho de

Alterações bioquímicas e fisiológicas durante a maturação e o armazenamento de graviola sob refrigeração associada a 1-metilciclopropeno e cera./Maria Auxiliadora Coêlho de Lima. Fortaleza:UFC, 2002.

208f. : il.

1. Graviola. 2. Tratamentos Pós-Colheita. 3. Maturação. 4. Armazenamento. I. Título.

CDD 631.56

Esta tese foi submetida como parte dos requisitos necessários à obtenção do Grau de Doutor em Agronomia, área de concentração em Fitotecnia, outorgado pela Universidade Federal do Ceará, e encontra-se à disposição dos interessados na *Biblioteca Central da referida Universidade*.

A citação de qualquer trecho desta tese é permitida, desde que seja feita de conformidade com as normas da ética científica.

---

Maria Auxiliadora Coêlho de Lima

APROVADA EM: 24/06/2002.

---

Prof. Francisco José Alves Fernandes Távora, PhD.  
(Orientador)

---

Pesq. Ricardo Elesbão Alves, Doutor.  
(Co-orientador)

---

Prof. Raimundo Wilane de Figueiredo, Doutor.  
(Conselheiro)

---

Prof. Renato Innecco, Doutor.  
(Conselheiro)

---

Prof. Josivan Barbosa Menezes, Doutor.  
(Conselheiro)

Aos meus pais, Antonio e Eunice,  
e a meu irmão, Arivaldo,

DEDICO

“Nunca um desejo te foi concedido sem que te tenha sido concedido o poder de torná-lo realidade.”

Richard Bach

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Ceará (UFC), através da Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, pela oportunidade de realização do curso.

À Embrapa Agroindústria Tropical, pela concessão do uso de suas instalações e pelo apoio financeiro na execução dos experimentos.

À Embrapa Semi-Árido, por facilitar a minha liberação para conclusão do curso.

À Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP), pela concessão de Bolsa de Estudos.

Ao Professor Francisco José Alves Fernandes Távora, pela disponibilidade em orientar e crédito no trabalho desenvolvido.

Ao Dr. Ricardo Elesbão Alves pela orientação, incentivo, amizade e exemplo de respeito às potencialidades e limitações individuais.

Aos professores Raimundo Wilane Figueiredo, Renato Innecco e Josivan Barbosa Menezes, pelas sugestões indispensáveis à melhoria da qualidade técnica deste trabalho.

À Dra. Heloísa Almeida Cunha Filgueiras, pelas sugestões durante a condução dos experimentos, incentivo e amizade.

Aos amigos do Laboratório de Fisiologia e Tecnologia Pós-colheita, Adriano, Aline, Amabélia, Cecília, Cyntia, Daniela, Diogo, Elizângela, Fábio, Farley, Márcio, D. Maria, Milena, Robson e Sales, pela ajuda nos momentos de acúmulo de atividades e pela convivência agradabilíssima.

Ao Dr. Francisco das Chagas Oliveira Freire pela redação dos *abstracts* e pela postura sempre prestativa.

À minha família, pelo amor sincero, apoio incondicional e presença confortante nos momentos difíceis, apesar da distância física.

A Deus, por indicar de maneira sutil e segura que se o caminho é difícil, o valor da conquista é ainda maior.

## SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABELAS	xvi
RESUMO	xvii
ABSTRACT	xviii
<b>CAPÍTULO I</b>	1
<b>1 INTRODUÇÃO</b>	1
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	4
<b>2.1 Aspectos Gerais</b>	4
<b>2.2 Maturação</b>	5
<b>2.2.1 Atividade respiratória e produção de etileno</b>	6
<b>2.2.2 Cor</b>	8
<b>2.2.3 Sólidos solúveis totais e açúcares</b>	8
<b>2.2.4 Acidez total titulável e pH</b>	10
<b>2.2.5 Compostos fenólicos</b>	11
<b>2.2.6 Firmeza</b>	13
<b>2.2.7 Amido</b>	14
<b>2.2.8 Substâncias pécticas</b>	15
<b>2.2.9 Atividade de enzimas hidrolíticas e oxidativas</b>	17
2.2.9.1 Pectinametilesterase e poligalacturonase	18
2.2.9.2 $\alpha$ - e $\beta$ -galactosidases	20
2.2.9.3 Amilase	21
2.2.9.4 Polifenoloxidase e peroxidase	22
<b>2.3 Conservação Pós-Colheita</b>	25
<b>2.3.1 Refrigeração</b>	26
<b>2.3.2 Atmosfera modificada</b>	28
<b>2.3.3 1-Metilciclopropeno</b>	30

<b>3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	32
<b>CAPÍTULO II: Maturação Pós-Colheita de Graviola (<i>Annona muricata</i> L.)</b>	49
RESUMO	49
ABSTRACT	50
<b>1 INTRODUÇÃO</b>	51
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS</b>	53
2.1 Origem e Colheita dos Frutos	53
2.2 Caracterização do Experimento	53
2.3 Avaliações	55
2.4 Delineamento Experimental e Análise Estatística	60
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	61
3.1 Perda de Matéria Fresca	61
3.2 Cor da Casca	62
3.3 Acidez Total Titulável e pH	63
3.4 Sólidos Solúveis Totais	65
3.5 Relação SST/ATT	66
3.6 Açúcares	67
3.7 Compostos Fenólicos	70
3.8 Polifenoloxidase e Peroxidase	71
3.9 Amido e Amilase	73
3.10 Pectinas	75
3.11 Pectinametilsterase e Poligalacturonase	77
3.12 $\alpha$ - e $\beta$ -galactosidases	80
3.13 Proteína	83
<b>4 CONCLUSÕES</b>	85
<b>5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	87
<b>CAPÍTULO III: Comportamento Respiratório e Qualidade Pós-Colheita de Graviola (<i>Annona muricata</i> L.)</b>	96
RESUMO	96
ABSTRACT	97
<b>1 INTRODUÇÃO</b>	98
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS</b>	100

<b>2.1 Origem e Colheita dos Frutos</b>	100
<b>2.2 Caracterização do Experimento</b>	100
<b>2.3 Avaliações</b>	102
<b>2.4 Delineamento Experimental e Análise Estatística</b>	104
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	105
<b>3.1 Atividade Respiratória e Produção de Etileno</b>	105
<b>3.2 Perda de Matéria Fresca</b>	107
<b>3.3 Cor da Casca</b>	108
<b>3.4 Cor da Polpa</b>	110
<b>3.5 Firmeza da Polpa</b>	111
<b>3.6 Acidez Total Titulável e pH</b>	112
<b>3.7 Sólidos e Açúcares Solúveis Totais</b>	114
<b>3.8 Relação SST/ATT</b>	116
<b>4 CONCLUSÕES</b>	117
<b>5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	118
<b>CAPÍTULO IV: Maturação de Graviola (<i>Annona muricata</i> L.) submetida a Aplicação Pós-Colheita de 1-Metilciclopropeno</b>	123
<b>RESUMO</b>	123
<b>ABSTRACT</b>	124
<b>1 INTRODUÇÃO</b>	125
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS</b>	126
<b>2.1 Origem e Colheita dos Frutos</b>	126
<b>2.2 Caracterização do Experimento</b>	127
<b>2.3 Avaliações</b>	128
<b>2.4 Delineamento Experimental e Análise Estatística</b>	130
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	131
<b>3.1 Atividade Respiratória e Produção de Etileno</b>	131
<b>3.2 Perda de Matéria Fresca</b>	134
<b>3.3 Cor da Casca</b>	135
<b>3.4 Cor da Polpa</b>	139
<b>3.5 Firmeza da Polpa</b>	141
<b>3.6 Acidez Total Titulável e pH</b>	143

<b>3.7 Sólidos Solúveis Totais</b>	145
<b>3.8 Açúcares Solúveis Totais</b>	146
<b>4 CONCLUSÕES</b>	147
<b>5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	148
<b>CAPÍTULO V: Armazenamento Refrigerado de Graviola (<i>Annona muricata</i> L.) associado a Aplicação Pós-Colheita de 1-Metilciclopropeno e Cera</b>	152
RESUMO	152
ABSTRACT	153
<b>1 INTRODUÇÃO</b>	154
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS</b>	156
<b>2.1 Origem e Colheita dos Frutos</b>	156
<b>2.2 Caracterização do Experimento</b>	157
<b>2.3 Avaliações</b>	159
<b>2.4 Delineamento Experimental e Análise Estatística</b>	162
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	164
<b>3.1 Atividade Respiratória e Produção de Etileno</b>	164
<b>3.2 Perda de Matéria Fresca</b>	167
<b>3.3 Cor da Casca</b>	169
<b>3.4 Cor da Polpa</b>	172
<b>3.5 Aparência</b>	175
<b>3.6 Firmeza da Polpa</b>	176
<b>3.7 Acidez Total Titulável e pH</b>	178
<b>3.8 Sólidos Solúveis Totais</b>	179
<b>3.9 Açúcares</b>	181
<b>3.10 Amido e Amilase</b>	182
<b>3.11 <math>\beta</math>-galactosidase</b>	185
<b>4 CONCLUSÕES</b>	187
<b>5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	188
<b>ANEXOS</b>	197

## LISTA DE FIGURAS

	Página
1	Valores de temperatura e de umidade relativa (UR) máximas, atuais e mínimas na câmara fria, durante o período de avaliação de graviolas 'Crioula'. 55
2	Perda de matéria fresca de graviola 'Crioula' durante a maturação a temperatura ambiente ( $26,3 \pm 0,6^{\circ}\text{C}$ e $87,6 \pm 12,2\%$ UR). 61
3	Teor de clorofila total da casca de graviola 'Crioula' durante a maturação a temperatura ambiente ( $26,3 \pm 0,6^{\circ}\text{C}$ e $87,6 \pm 12,2\%$ UR). 63
4	Acidez total titulável (ATT) e pH de graviola 'Crioula' durante a maturação a temperatura ambiente ( $26,3 \pm 0,6^{\circ}\text{C}$ e $87,6 \pm 12,2\%$ UR). 64
5	Teor de sólidos solúveis totais (SST) de graviola 'Crioula' durante a maturação a temperatura ambiente ( $26,3 \pm 0,6^{\circ}\text{C}$ e $87,6 \pm 12,2\%$ UR). 66
6	Relação sólidos solúveis totais (SST)/acidez total titulável (ATT) de graviola 'Crioula' durante a maturação a temperatura ambiente ( $26,3 \pm 0,6^{\circ}\text{C}$ e $87,6 \pm 12,2\%$ UR). 67
7	Teor de açúcares solúveis totais (AST), de açúcares redutores (AR) e de açúcares não-redutores (ANR) de graviola 'Crioula' durante a maturação a temperatura ambiente ( $26,3 \pm 0,6^{\circ}\text{C}$ e $87,6 \pm 12,2\%$ UR). 68
8	Teor de compostos fenólicos dímeros, oligoméricos e poliméricos de graviola 'Crioula' durante a maturação a temperatura ambiente ( $26,3 \pm 0,6^{\circ}\text{C}$ e $87,6 \pm 12,2\%$ UR). 70
9	Atividade das enzimas polifenoloxidase (PPO) e peroxidase (POD) de graviola 'Crioula' durante a maturação a temperatura ambiente ( $26,3 \pm 0,6^{\circ}\text{C}$ e $87,6 \pm 12,2\%$ UR). 71
10	Teor de amido e atividade amilásica de graviola 'Crioula' durante a maturação a temperatura ambiente ( $26,3 \pm 0,6^{\circ}\text{C}$ e $87,6 \pm 12,2\%$ UR). 73

11	Teores de pectina total e solúvel de graviola ‘Crioula’ durante a maturação a temperatura ambiente ( $26,3 \pm 0,6^{\circ}\text{C}$ e $87,6 \pm 12,2\%$ UR).	75
12	Percentagem de solubilização de pectinas de graviola ‘Crioula’ durante a maturação a temperatura ambiente ( $26,3 \pm 0,6^{\circ}\text{C}$ e $87,6 \pm 12,2\%$ UR).	76
13	Atividade das enzimas pectinametilesterase (PME) e poligalacturonase (PG) de graviola ‘Crioula’ durante a maturação a temperatura ambiente ( $26,3 \pm 0,6^{\circ}\text{C}$ e $87,6 \pm 12,2\%$ UR).	77
14	Atividade de $\alpha$ -galactosidases ( $\alpha$ -GAL) de graviola ‘Crioula’ durante a maturação a temperatura ambiente ( $26,3 \pm 0,6^{\circ}\text{C}$ e $87,6 \pm 12,2\%$ UR).	80
15	Atividade de $\beta$ -galactosidases ( $\beta$ -GAL) de graviola ‘Crioula’ durante a maturação a temperatura ambiente ( $26,3 \pm 0,6^{\circ}\text{C}$ e $87,6 \pm 12,2\%$ UR).	82
16	Teores de proteína de citosol e de parede celular de graviola ‘Crioula’ durante a maturação a temperatura ambiente ( $26,3 \pm 0,6^{\circ}\text{C}$ e $87,6 \pm 12,2\%$ UR).	83
17	Valores de temperatura e de umidade relativa (UR) máximas, atuais e mínimas durante o período de avaliação de graviolas ‘Morada’.	102
18	Atividade respiratória e produção de etileno de graviola ‘Morada’ durante a maturação a temperatura ambiente ( $23,4 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$ e $81,8 \pm 10,6\%$ UR).	106
19	Perda de matéria fresca de graviola ‘Morada’ durante a maturação a temperatura ambiente ( $23,4 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$ e $81,8 \pm 10,6\%$ UR).	107
20	Parâmetros da cor da casca de graviola ‘Morada’ durante a maturação a temperatura ambiente ( $23,4 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$ e $81,8 \pm 10,6\%$ UR).	108
21	Varição da cor da casca de graviola ‘Morada’ durante a maturação a temperatura ambiente ( $23,4 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$ e $81,8 \pm 10,6\%$ UR): A. 1 dia; B. 6 dias.	109
22	Parâmetros da cor da polpa de graviola ‘Morada’ durante a maturação a temperatura ambiente ( $23,4 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$ e $81,8 \pm 10,6\%$ UR).	110
23	Varição da cor da polpa de graviola ‘Morada’ durante a maturação a temperatura ambiente ( $23,4 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$ e $81,8 \pm 10,6\%$ UR).	111
24	Firmeza da polpa de graviola ‘Morada’ durante a maturação a temperatura ambiente ( $23,4 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$ e $81,8 \pm 10,6\%$ UR).	112

25	Acidez total titulável (ATT) e pH de graviola ‘Morada’ durante a maturação a temperatura ambiente ( $23,4 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$ e $81,8 \pm 10,6\%$ UR).	113
26	Teores de sólidos solúveis totais (SST) e de açúcares solúveis totais (AST) de graviola ‘Morada’ durante a maturação a temperatura ambiente ( $23,4 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$ e $81,8 \pm 10,6\%$ UR).	114
27	Relação sólidos solúveis totais(SST)/acidez total titulável (ATT) de graviola ‘Morada’ durante a maturação a temperatura ambiente ( $23,4 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$ e $81,8 \pm 10,6\%$ UR).	116
28	Câmara utilizada para tratamento dos frutos com 1-MCP.	127
29	Valores de temperatura e de umidade relativa (UR) máximas, atuais e mínimas durante o período de armazenamento dos frutos expostos a diferentes doses de 1-MCP.	128
30	Atividade respiratória de graviola ‘Crioula’ durante a maturação a temperatura ambiente ( $24,0 \pm 1,0^{\circ}\text{C}$ e $90,8 \pm 7,3\%$ UR), sob influência de doses de 1-MCP.	132
31	Produção de etileno de graviola ‘Crioula’ durante a maturação a temperatura ambiente ( $24,0 \pm 1,0^{\circ}\text{C}$ e $90,8 \pm 7,3\%$ UR), sob influência de doses de 1-MCP.	133
32	Perda de matéria fresca de graviola ‘Crioula’ durante a maturação a temperatura ambiente ( $24,0 \pm 1,0^{\circ}\text{C}$ e $90,8 \pm 7,3\%$ UR).	134
33	Perda de matéria fresca de graviola ‘Crioula’ durante a maturação sob influência de doses de 1-MCP.	135
34	Parâmetros da cor da casca graviola ‘Crioula’ durante a maturação a temperatura ambiente ( $24,0 \pm 1,0^{\circ}\text{C}$ e $90,8 \pm 7,3\%$ UR).	136
35	Variação da cor da casca de graviola ‘Crioula’ durante a maturação a temperatura ambiente ( $24,0 \pm 1,0^{\circ}\text{C}$ e $90,8 \pm 7,3\%$ UR), sob influência de doses de 1-MCP.	137
36	Cromaticidade e ângulo Hue da casca de graviola ‘Crioula’ sob influência de doses de 1-MCP.	138
37	Parâmetros da cor da polpa de graviola ‘Crioula’ durante a maturação a temperatura ambiente ( $24,0 \pm 1,0^{\circ}\text{C}$ e $90,8 \pm 7,3\%$ UR).	139

38	Variação da cor da polpa de graviola 'Crioula' durante a maturação a temperatura ambiente ( $24,0 \pm 1,0^{\circ}\text{C}$ e $90,8 \pm 7,3\%$ UR), sob influência de doses de 1-MCP.	140
39	Ângulo Hue da polpa de graviola 'Crioula' sob influência de doses de 1-MCP.	141
40	Firmeza da polpa de graviola 'Crioula' durante a maturação a temperatura ambiente ( $24,0 \pm 1,0^{\circ}\text{C}$ e $90,8 \pm 7,3\%$ UR), sob influência de doses de 1-MCP.	142
41	Acidez total titulável (ATT) de graviola 'Crioula' durante a maturação a temperatura ambiente ( $24,0 \pm 1,0^{\circ}\text{C}$ e $90,8 \pm 7,3\%$ UR), sob influência de doses de 1-MCP.	143
42	pH de graviola 'Crioula' durante a maturação a temperatura ambiente ( $24,0 \pm 1,0^{\circ}\text{C}$ e $90,8 \pm 7,3\%$ UR), sob influência de doses de 1-MCP.	144
43	Teor de sólidos solúveis totais (SST) de graviola 'Crioula' durante a maturação a temperatura ambiente ( $24,0 \pm 1,0^{\circ}\text{C}$ e $90,8 \pm 7,3\%$ UR), sob influência de doses de 1-MCP.	145
44	Teor de açúcares solúveis totais (AST) de graviola 'Crioula' durante a maturação a temperatura ambiente ( $24,0 \pm 1,0^{\circ}\text{C}$ e $90,8 \pm 7,3\%$ UR).	146
45	Procedimento de aplicação da cera.	157
46	Procedimento de aplicação de 1-MCP.	158
47	Valores de temperatura e de umidade relativa (UR) máximas, atuais e mínimas durante o armazenamento refrigerado de graviola 'Morada' submetida a tratamentos pós-colheita com 1-MCP e cera.	158
48	Atividade respiratória de graviola 'Morada' submetida a tratamentos pós-colheita com 1-MCP e cera, durante o armazenamento refrigerado ( $15,4 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$ e $86,0 \pm 7,3\%$ UR).	165
49	Produção de etileno de graviola 'Morada' submetida a tratamentos pós-colheita com 1-MCP e cera, durante o armazenamento refrigerado ( $15,4 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$ e $86,0 \pm 7,3\%$ UR).	166

50	Perda de matéria fresca de graviola 'Morada' submetida a tratamentos pós-colheita com 1-MCP e cera, durante o armazenamento refrigerado ( $15,4 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$ e $86,0 \pm 7,3\%$ UR).	168
51	Luminosidade da casca de graviola 'Morada' submetida a tratamentos pós-colheita com 1-MCP e cera, durante o armazenamento refrigerado ( $15,4 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$ e $86,0 \pm 7,3\%$ UR).	169
52	Cromaticidade e ângulo Hue da casca de graviola 'Morada' durante o armazenamento refrigerado ( $15,4 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$ e $86,0 \pm 7,3\%$ UR).	170
53	Variação da cor da casca de graviola 'Morada' submetida a tratamentos pós-colheita com 1-MCP e cera, durante o armazenamento refrigerado ( $15,4 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$ e $86,0 \pm 7,3\%$ UR).	171
54	Luminosidade da polpa de graviola 'Morada' submetida a tratamentos pós-colheita com 1-MCP e cera, durante o armazenamento refrigerado ( $15,4 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$ e $86,0 \pm 7,3\%$ UR).	173
55	Cromaticidade e ângulo Hue da polpa de graviola 'Morada' durante o armazenamento refrigerado ( $15,4 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$ e $86,0 \pm 7,3\%$ UR).	173
56	Variação da cor da polpa de graviola 'Morada' submetida a tratamentos pós-colheita com 1-MCP e cera, durante o armazenamento refrigerado ( $15,4 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$ e $86,0 \pm 7,3\%$ UR).	174
57	Aparência de graviola 'Morada' submetida a tratamentos pós-colheita com 1-MCP e cera, durante o armazenamento refrigerado ( $15,4 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$ e $86,0 \pm 7,3\%$ UR).	175
58	Firmeza da polpa de graviola 'Morada' submetida a tratamentos pós-colheita com 1-MCP e cera, durante o armazenamento refrigerado ( $15,4 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$ e $86,0 \pm 7,3\%$ UR).	177
59	Acidez total titulável (ATT) e pH de graviola 'Morada' durante o armazenamento refrigerado ( $15,4 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$ e $86,0 \pm 7,3\%$ UR).	179
60	Teor de sólidos solúveis totais (SST) de graviola 'Morada' submetida a tratamentos pós-colheita com 1-MCP e cera, durante o armazenamento refrigerado ( $15,4 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$ e $86,0 \pm 7,3\%$ UR).	180

- 61 Teores de açúcares solúveis totais (AST) e de açúcares redutores (AR) de graviola 'Morada' durante o armazenamento refrigerado ( $15,4 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$  e  $86,0 \pm 7,3\%$  UR). 181
- 62 Teor de amido de graviola 'Morada' durante o armazenamento refrigerado ( $15,4 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$  e  $86,0 \pm 7,3\%$  UR). 182
- 63 Atividade amilásica de graviola 'Morada' submetida a tratamentos pós-colheita com 1-MCP e cera, durante o armazenamento refrigerado ( $15,4 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$  e  $86,0 \pm 7,3\%$  UR). 184
- 64 Atividade de  $\beta$ -galactosidase ( $\beta$ -GAL) de graviola 'Morada' durante o armazenamento refrigerado ( $15,4 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$  e  $86,0 \pm 7,3\%$  UR). 185

## LISTA DE TABELAS

		Página
1	Dados meteorológicos do município de Pacajus, CE, durante o ano que antecedeu a colheita dos frutos.	54
2	Dados meteorológicos da Estação Experimental de Paraipaba/Embrapa Agroindústria Tropical, Paraipaba, CE, durante o ano que antecedeu a colheita dos frutos.	101
3	Precipitação pluvial do município de Quixeré, CE, durante o ano que antecedeu a colheita dos frutos.	126
4	Precipitação pluvial do município de Limoeiro do Norte, CE, durante o ano que antecedeu a colheita dos frutos.	156

## RESUMO

Realizou-se quatro experimentos com graviola, objetivando avaliar: 1. alterações que afetam a qualidade durante a maturação, em temperatura ambiente; 2. alterações físicas, físico-químicas e químicas durante a maturação, sob temperatura ambiente, relacionando-as às taxas respiratória (RS) e de produção de etileno (ET); 3. efeito de doses de 1-MCP na maturação, sob temperatura ambiente; e 4. efeito de tratamentos pós-colheita com cera e 1-MCP na conservação, durante o armazenamento refrigerado. Em 1, os frutos foram avaliados ( $26,3 \pm 0,6^{\circ}\text{C}$  e  $87,6 \pm 12,2\%$  UR) a 1, 2, 3, 4 e 5 dias após a colheita. A acidez total titulável (ATT) aumentou oito vezes em relação ao primeiro dia, enquanto o teor de sólidos solúveis totais (SST) duplicou. A atividade da polifenoloxidase aumentou até o quarto dia enquanto a da peroxidase já decrescia após o segundo. A pectinametilesterase aumentou continuamente e a poligalacturonase (PG) atingiu o máximo aos três dias, seguido por decréscimo que coincidiu com a queda no teor de pectina total. O aumento da  $\beta$ -galactosidase de parede celular, em associação à PG, é coerente com a evolução do amaciamento. Ainda, o decréscimo no teor de amido coincidiu com o aumento na atividade amilásica. Em 2, os frutos foram avaliados ( $23,4 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$  e  $81,8 \pm 10,6\%$  UR) a 0, 1, 2, 3, 4 e 6 dias. A firmeza da polpa (FP) diminuiu de 60 para 0,9 N, tendo esta queda sido iniciada antes mesmo que a ET fosse detectada. Nos frutos maduros, o teor de SST foi 14,4°Brix e a ATT, de 0,92% de ácido málico. Em 3, submeteu-se os frutos a 0, 200, 400 e 600 ppb de 1-MCP e a armazenamento ( $24,0 \pm 1,0^{\circ}\text{C}$  e  $90,8 \pm 7,3\%$  UR) por 0, 2, 4, 6 e 8 dias. O 1-MCP atrasou o tempo de ocorrência e reduziu a intensidade dos picos de RS, assim como da ET. A perda de matéria fresca (PMF) foi 13 a 24% menor nos frutos tratados. O 1-MCP também atrasou a redução na FP, sendo 200 ppb a dose mais eficiente. Em 4, testou-se tratamentos pós-colheita (controle, 1-MCP 200 ppb, cera e cera+1-MCP 200 ppb) e o tempo de armazenamento ( $15,4 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$  e  $86,0 \pm 7,3\%$  UR) de 0, 4, 8, 11, 13 e 15 dias. Os tratamentos pós-colheita resultaram em atraso no tempo ou na intensidade da RS e da ET e em retenção da FP. O tratamento com cera foi o mais eficiente pois reduziu a PMF e proporcionou frutos de melhor aparência até 13 dias.

## ABSTRACT

Four experiments with soursop were conducted aiming to evaluate: 1. changes that affect fruit quality during ripening, under ambient temperature; 2. physical, physico-chemical and chemical changes during ripening under ambient temperature, and their relationship with respiratory rate (RR) and ethylene production (EP); 3. effects of dosages of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on the fruit ripening, under ambient temperature, and 4. effect of postharvest treatments with wax coating and 1-MCP for fruit conservation under refrigerated storage. For experiment 1, fruits were evaluated at 1, 2, 3, 4 and 5 days after harvest, under  $26.3 \pm 0.6^\circ\text{C}$  and  $87.6 \pm 12.2\%$  RH. Total titratable acidity (TTA) increased 8 times in relation to the 1<sup>st</sup> day, while the total soluble solids (TSS) doubled. Polyphenol oxidase activity increased until the 4<sup>th</sup> day, while peroxidase activity decreased from the 2<sup>nd</sup> day. Pectin methylesterase increased steadily and the polygalacturonase (PG) reached its peak in the 3<sup>rd</sup> day, decreasing coincidentally with the decrease of total pectin content. The increase of cell wall  $\beta$ -galactosidase associated with the PG was expected with the fruit softening progress. Besides, the decrease of starch content coincided with the increase of amylase activity. For experiment 2, fruits were evaluated at 0, 1, 2, 3, 4 and 6 days after harvest under  $23.4 \pm 1.1^\circ\text{C}$  and  $81.8 \pm 10.6\%$  RH. Pulp firmness (FP) decreased from 60 N to 0.9 N. Such decrease was perceivable even before the EP had been detected. In ripe fruits the TSS content was 14.4°Brix and the TTA was equivalent to 0.92% of malic acid. For experiment 3, fruits were kept at 0, 200, 400 and 600 ppb of 1-MCP and stored for 0, 2, 4, 6 and 8 days under  $24.0 \pm 1.0^\circ\text{C}$  and  $90.8 \pm 7.3\%$  RH. The 1-MCP delayed the time of occurrence and reduced the peak intensity of RR as well as of EP. The weight loss (WL) was 13 to 24% lower in treated fruits. The 1-MCP also delayed the reduction of PF, with 200 ppb as the most efficient dosage. For experiment 4, the following postharvest treatments were evaluated: control, 1-MCP 200 ppb, wax coating and wax coating + 1-MCP 200 ppb, together with storage periods of 0, 4, 8, 11, 13 and 15 days, under  $15.4 \pm 1.1^\circ\text{C}$  and  $86.0 \pm 7.3\%$  RH. Postharvest treatments delayed the period and the intensity of RR and EP, besides being retentive of PF. The wax coating was the most efficient treatment in reducing the WL and allowing fruits with best appearance until 13 days.

## CAPÍTULO I

### 1 INTRODUÇÃO

Em se tratando de uma cultura de exploração comercial recente, as informações disponíveis sobre produtividade e área cultivada com gravioleira (*Annona muricata* L.) no Brasil são bastante escassas. Os estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Pernambuco, Paraíba, Pará e Minas Gerais têm sido citados como os principais produtores (DONADIO et al., 1998). Em termos de área cultivada, PINTO & RAMOS (1999) destacam o Ceará, a Bahia e a região de cerrados do Brasil central.

Com a evolução do mercado, novas áreas produtoras estão sendo implantadas, especialmente nas regiões litorâneas e semi-áridas do Nordeste do Brasil (SÃO-JOSÉ, 1997). Estas áreas concentram-se principalmente nos estados da Bahia, Ceará, Pernambuco e Alagoas (SÃO-JOSÉ et al., 2000).

A produção era destinada em sua quase totalidade para a agroindústria, visando à obtenção de polpa, suco, néctar, etc. Atualmente, uma parcela representativa é comercializada como fruta fresca, em especial nos mercados de São Paulo, Rio de Janeiro, Recife, Salvador, Fortaleza e Brasília. Há, inclusive, tendência da graviola ocupar uma fatia cada vez maior do mercado de fruta fresca nos próximos anos (SÃO-JOSÉ et al., 2000).

Na região Nordeste, onde estão os principais mercados atacadistas do Brasil, tem-se observado ofertas regulares do fruto durante o ano, em razão do cultivo sob irrigação, com variação de preços relativamente pequena. Na Região Sudeste, por sua vez, Belo Horizonte é um dos mais importantes centros de comercialização de graviola. No entanto, a oferta da fruta concentra-se basicamente no segundo semestre do ano. No estado de São Paulo, a graviola recebe maior valorização, podendo ser vendida a R\$ 5,50/kg, na cidade de Campinas (SIMA, 2001). Na Região Sul do país, a distância dos

centros de produção e a dificuldade em compatibilizar oferta e perecibilidade da fruta contribuem para sua valorização.

Segundo BLEICHER et al. (1997), a demanda crescente e o interesse dos consumidores e da indústria de polpa justificam a inclusão da graviola como um dos frutos tropicais brasileiros de excelente valor comercial.

Entretanto, em função da instalação relativamente recente de cultivos comerciais de gravioleira, esta cultura possui problemas que tem limitado seu potencial produtivo. Inicialmente, a inexistência de variedades com características genéticas definidas (BORRERO et al., 1995; DONADIO et al., 1998; RAMOS, 1999) compromete a regularidade da produção e a homogeneidade do plantio. No Brasil, cultivam-se principalmente as gravioleiras Morada, FAO I, FAO II e Nordestina, também denominada Crioula ou Comum. Dependendo do material genético, associado aos tratos culturais adotados, a produtividade pode variar de 3 a 20 t.ha<sup>-1</sup> (SÃO-JOSÉ et al., 2000), tendo início a partir do terceiro ano após o plantio (SÃO-JOSÉ et al., 1997).

A presença de pragas, como a broca da semente (*Bephrateloidea maculicollis*), a broca do fruto (*Cerconota anonella*) e a broca do tronco (*Cratosomus* spp), também se constitui em problema para a cultura. Destas, a broca da semente, que é de difícil controle, causa danos que podem resultar na perda total do fruto (SÃO-JOSÉ et al., 2000). Além disso, a dificuldade na determinação do ponto de colheita com base em métodos não destrutivos, o rápido período de maturação que se segue e a conseqüente alta perecibilidade do fruto (AZIZ & YUSOF, 1994) contribuem para o elevado percentual de perdas pós-colheita, inviabilizando a comercialização para mercados mais distantes (MOSCA et al., 1997).

A redução das perdas pós-colheita da graviola e a exploração de novos mercados dependem, portanto, do conhecimento da fisiologia e da bioquímica da maturação do fruto e do estudo de tecnologias de armazenamento adequadas ao seu metabolismo. Estas tecnologias podem incluir desde refrigeração e modificação da atmosfera ao redor do fruto por materiais (como ceras e filmes poliméricos) que limitam as trocas com o meio até o uso de inibidores de etileno.

Poucos estudos foram realizados visando verificar o efeito da refrigeração sobre a maturação pós-colheita da graviola. Como conseqüência da alta atividade metabólica (AZIZ & YUSOF, 1994), o atraso na maturação decorrente da redução da temperatura

de armazenamento é pequeno. Graviolas armazenadas a 15°C, por exemplo, amadurecem em nove dias, segundo MOSCA (1996).

A associação de outras técnicas de conservação à refrigeração também é pouco conhecida para graviola. Os registros na literatura relatam que graviolas tratadas com película de ésteres de açúcares e de ácidos graxos e armazenadas a 16°C não completam o amadurecimento normal (GUERRA et al., 1995). No entanto, o emprego de um filme flexível de polietileno garantiu uma vida útil de vinte e dois dias para graviolas armazenadas a 12°C (SILVA et al., 2001).

No que se refere a inibidores de etileno, seu uso pode representar uma expectativa de incremento na vida útil da graviola, como o é para outros frutos. Alguns compostos foram identificados como apresentando tal propriedade, entre os quais o 1-metilciclopropeno (1-MCP) (SISLER & SEREK, 1997), que tem se mostrado efetivo em testes realizados em vários frutos (FAN et al., 1999, 2000; JIANG et al., 1999a, 1999b; KU et al., 1999; HARRIS et al., 2000).

Diante do exposto, o presente trabalho teve por objetivos:

- a) caracterizar as alterações físicas, físico-químicas, químicas e bioquímicas que afetam a qualidade da graviola durante a maturação a temperatura ambiente;
- b) avaliar as alterações físicas, físico-químicas e químicas durante a maturação da graviola, sob temperatura ambiente, relacionando-as às taxas respiratória e de produção de etileno;
- c) verificar o efeito da aplicação de diferentes doses de 1-MCP na maturação da graviola, sob temperatura ambiente;
- d) avaliar o efeito da aplicação pós-colheita de 1-MCP e cera na conservação da graviola durante o armazenamento refrigerado.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Aspectos Gerais

A graviola, como os demais frutos do gênero *Annona*, é um sincarpo formado pela fusão de pistilos e receptáculos numa larga estrutura polposa. Trata-se, portanto, de um fruto composto formado por um agregado de bagas, cujos componentes carpelares individuais persistem na casca, durante todo o desenvolvimento, na forma de espículas ou pseudo-acúleos polposos, curvos e curtos (BUESO, 1980; WORRELL et al., 1994). Cada unidade resultante da fertilização de um ovário recebe o nome de frutinho.

Os frutos podem apresentar formato irregular (BUESO, 1980), decorrente de falhas na fertilização e frutificação. Tais problemas de fertilização se devem essencialmente aos fenômenos de heterostilia (RAMOS, 1999) e dicogamia protogínica (WORRELL et al., 1994; RAMOS, 1999). No entanto, nos cultivos comerciais em que a polinização manual é prática regular, os frutos são ovóides ou cordiformes, medindo de 15 a 30 cm de comprimento e 10 a 20 cm de largura. A casca é fina e de cor verde escura. O mesocarpo contém sementes de cor marrom escuro, brilhantes, que medem cerca de 2 cm de comprimento e 1 cm de largura. A polpa é branca, de sabor ácido e aroma característico (ZAYAS, 1966; BUESO, 1980; FALCÃO et al., 1982).

⇒ O padrão de crescimento do fruto, segundo WORRELL et al. (1994) e LIVERA & GUERRA (1996), é do tipo sigmoidal duplo, apresentando três fases características. A primeira (fase de rápido crescimento inicial) se inicia logo após o término da quiescência (período de repouso que sucede a fertilização da flor e é caracterizado pelo escurecimento da parte superior dos carpelos). Ao final desta fase, a graviola já atinge metade do seu tamanho final e se verifica o desenvolvimento de ombros em torno do ponto de ligação do fruto ao pedicelo. A seguinte (fase estacionária) caracteriza-se por um crescimento bastante lento, que antecede a fase final (fase de crescimento rápido). Nesta, o fruto atinge a maturidade e o tamanho máximo (WORRELL et al., 1994).

Nas condições climáticas do Brasil, a graviola atinge a completa maturação entre 4 e 6 meses após a polinização, dependendo da época do ano (SÃO-JOSÉ, 1997). Na Região Nordeste, estudos têm demonstrado que o fruto atinge a maturidade fisiológica aproximadamente aos 90 dias após o início do período quiescente (MOSCA, 1996).

## 2.2 Maturação

A maturação constitui a fase final do desenvolvimento dos frutos na qual as células atingem seu tamanho máximo e adquirem uma composição característica (KAYS, 1991). Na graviola, as principais alterações associadas à maturação são: maior separação entre as terminações estilares (espículas); perda de consistência ou de rigidez das mesmas; perda de consistência da superfície da fruta, que pode ser observada mediante o tato; as divisões entre os lóculos se acentuam e se tornam proeminentes, evidenciando os frutinhos; as sementes adquirem uma coloração marrom escuro brilhante; na maioria dos fenótipos, o brilho da casca aumenta e a cor muda de verde escuro para uma tonalidade mais clara (ZAYAS, 1966; WORRELL et al., 1994; BORRERO et al., 1995; LIVERA & GUERRA, 1996; SÃO-JOSÉ, 1997; SALGADO et al., 1998). Por outro lado, o tempo decorrido entre a formação do fruto e a maturidade fisiológica, utilizado como índice seguro de colheita para algumas culturas, não é adequado para a graviola (BORRERO et al., 1995; LIVERA & GUERRA, 1996). A duração diferencial da segunda fase de crescimento, segundo LIVERA & GUERRA (1996), resulta em variações de estádios de maturação entre frutos de uma mesma idade.

Durante o amadurecimento, que compreende as fases finais da maturação e o início da senescência, ocorrem caracteristicamente uma série de mudanças, muitas das quais independentes uma da outra. Destas, pode-se destacar aquelas que resultam em alterações no *flavor*, na cor e na firmeza (KAYS, 1991; WILLS et al., 1998).

Na graviola, as modificações relativas ao amadurecimento do fruto acontecem num período muito curto (PAULL, 1982; AZIZ & YUSOF, 1994; MOSCA et al., 1997), refletindo uma elevada atividade metabólica. Estudos realizados por PAULL

(1982) mostraram que frutos colhidos na maturidade fisiológica e mantidos a temperatura ambiente tornaram-se maduros em cinco dias.

Até atingir o completo amadurecimento, a graviola passa por mudanças na atividade respiratória, na produção de etileno, nos teores de sólidos solúveis totais, de açúcares, de amido, nos compostos voláteis e na acidez total titulável (PAULL, 1982, 1990; PAULL et al., 1983; BRUINSMA & PAULL, 1984; CASTRO et al., 1984; AZIZ & YUSOF, 1994; WORRELL et al., 1994; BORRERO et al., 1995; MOSCA et al., 1997).

### **2.2.1 Atividade respiratória e produção de etileno**

Os frutos da família *annonaceae*, a qual pertence a graviola, são classificados como climatéricos por apresentarem aumento de atividade respiratória e de produção de etileno durante a maturação. Estes frutos completam o amadurecimento depois de colhidos (ALVES et al., 1997).

Entretanto, a atividade respiratória da graviola durante o amadurecimento é distinta daquela da maioria das espécies climatéricas. BIALE & BARCUS (1970) caracterizaram a graviola como tendo um climatério difuso com mais de um ponto máximo. O mesmo foi observado em outras espécies do gênero *Annona* e foi atribuído ao fato da fruta ser formada por muitos ovários agregados. Assim, o desenvolvimento e conseqüente amadurecimento de cada frutinho parecia ser variável na polpa do órgão como um todo.

Outros autores têm desenvolvido estudos relativos à atividade respiratória em graviola (PAULL, 1982, 1990; PAULL et al., 1983; BRUINSMA & PAULL, 1984; WORRELL et al., 1994). A maioria destes estudos foram realizados com o fruto intacto. No entanto, BRUINSMA & PAULL (1984) estudaram a atividade respiratória em frutos inteiros e em discos de tecidos da graviola. Os autores observaram que o climatério difuso também ocorria nos discos. Diante disso, consideraram que o aumento respiratório inicial se devia à elevação na respiração mitocondrial decorrente de um incremento no fornecimento de substratos carboxilados induzido, provavelmente, pela separação do fruto da planta. Esta informação contraria a consideração de que a

existência dos dois picos respiratórios refletiria as mudanças nos tecidos que estão em estádios fisiológicos distintos (BIALE & BARCUS, 1970; PAULL, 1982).

Mudanças na cor, na firmeza e no desenvolvimento de sabor e aroma, entre outras características próprias do amadurecimento, estão associadas ao climatério (BIALE & BARCUS, 1970). Alguns dos referidos eventos são dependentes da produção do fitormônio etileno (JEFFERY et al., 1984; AYUB et al., 1996).

A produção de etileno é desencadeada a partir da metionina que, por reações sucessivas, forma S-adenosil-metionina e ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC). Este sob ação da oxidase do ACC produz etileno ( $C_2H_4$ ),  $CO_2$  e cianeto (DEAN & MATTOO, 1991; KAYS, 1991; KENDE, 1993). O etileno sintetizado se liga a sítios nas membranas celulares que possuem características de receptores. São, portanto, saturáveis, apresentam alta afinidade e especificidade pelo etileno, podem sofrer desnaturação e estão sujeitos a inibição competitiva por moléculas estruturalmente similares (PALIYATH & DROILLARD, 1992). Sob este aspecto, trabalhos têm sido realizados com o objetivo de atrasar o amadurecimento ou a senescência de alguns órgãos. Estudos desta natureza levaram à identificação do gene ETR1 que codifica para uma proteína receptora de etileno (BLEECKER & SCHALLER, 1996).

Nos frutos climatéricos, a elevação na produção de etileno durante o amadurecimento pode anteceder, suceder ou coincidir com o climatério respiratório. Naqueles frutos, a biossíntese de etileno é denominada autocatalítica (TUCKER, 1993).

Resultados experimentais têm demonstrado que a produção de etileno em graviola não é detectável até praticamente dois dias após a colheita (BRUINSMA & PAULL, 1984). A partir daí, a síntese é incrementada até atingir o pico, que é seguido por decréscimo (PAULL, 1982; BRUINSMA & PAULL, 1984; WORRELL et al., 1994).

Durante a produção autocatalítica de etileno, mudanças relativas ao amadurecimento, como desenvolvimento de *flavor*, escurecimento da casca e amaciamento, também foram registradas em graviola (BRUINSMA & PAULL, 1984; WORRELL et al., 1994).

### 2.2.2 Cor

Apesar de nem todos os frutos mudarem de cor durante o amadurecimento, esta é uma das características mais associadas ao ponto de colheita e maturidade para consumo (TUCKER, 1993). A época, a velocidade e a intensidade da mudança variam entre espécies e entre cultivares de uma mesma espécie (KAYS, 1991).

As mudanças mais representativas ocorrem a nível de degradação da clorofila. Embora o mecanismo exato desta degradação ainda não esteja totalmente entendido, supõe-se que a molécula de clorofila seja solubilizada das membranas dos tilacóides do cloroplasto para o estroma, onde é oxidada (TUCKER, 1993).

Concomitante à degradação de clorofila, pode haver síntese de outros pigmentos em alguns frutos (KAYS, 1991; TUCKER, 1993; WILLS et al., 1998). Na graviola, as mudanças na cor da casca se devem à degradação da clorofila. WORRELL et al. (1994) registraram variações na intensidade da cor da casca desde o desenvolvimento até a maturidade fisiológica. Por ocasião do amadurecimento dos frutos, PAULL (1982) e AZIZ & YUSOF (1994) observaram que a casca adquire uma cor verde mais clara. Aproximando-se a senescência, constatou-se escurecimento, que tende a ser generalizado (PAULL, 1982).

Uma vez que mudanças na cor do fruto podem ou não coincidir com o desenvolvimento de outras características associadas ao amadurecimento, geralmente não podem ser consideradas um meio seguro para avaliar a maturação (KAYS, 1991).

### 2.2.3 Sólidos solúveis totais e açúcares

O conteúdo de sólidos solúveis totais (SST), definido como a percentagem de SS dissolvidos no suco extraído da polpa, tem sido utilizado como índice de maturidade para frutos como acerola, laranja, melão e uva (ALVES, 1993; LIMA, 1998; MENEZES et al., 1998), e é constituído na sua maior parte por açúcares (ALVES, 1993).

Durante a maturação, ocorre aumento nos teores de SST e de açúcares. Este acréscimo é atribuído, principalmente, à hidrólise de carboidratos de reserva

acumulados durante o crescimento do fruto na planta, resultando na produção de açúcares solúveis totais (AST) (KAYS, 1991; SIGRIST, 1992; WILLS et al., 1998).

O conteúdo de AST de muitos frutos está na faixa de 5 a 10% mas pode variar consideravelmente com a cultivar, o tipo de solo e as condições climáticas durante o período de vida da planta. Além disso, podem ocorrer variações significativas no teor de açúcares em frutos climatéricos, no período compreendido entre a colheita e o estágio ideal para consumo (WHITING, 1970). Segundo BORRERO et al. (1995), o teor de SST da graviola aumenta durante os diferentes estádios de desenvolvimento até atingir 7,0°Brix, quando a fruta está fisiologicamente madura. O sabor característico, assim como o aroma, é adquirido durante o armazenamento (BORRERO et al., 1995), quando o teor de AST aumenta à medida que ocorre o aumento climatérico (PAULL, 1982). O mesmo foi observado em atemóia (*Annona atemoya*) por WILLS et al. (1984).

Dentre os açúcares presentes na polpa dos frutos, os principais são glicose, frutose e sacarose. O dissacarídeo sacarose é o principal açúcar não-redutor enquanto glicose e frutose constituem os principais açúcares redutores, havendo, na maioria dos frutos, predomínio do primeiro. Durante o crescimento e a maturação, os teores de açúcares redutores aumentam tanto em frutos climatéricos quanto nos não-climatéricos (WHITING, 1970).

Na maioria dos frutos em maturidade fisiológica, a sacarose é o açúcar predominante (WHITING, 1970). Estudos realizados com graviola apresentam-se contraditórios neste sentido. De acordo com CHAN JUNIOR & LEE (1975), a sacarose representa 61,5% dos AST, enquanto glicose e frutose totalizam, respectivamente 21,5% e 17,0%. AZIZ & YUSOF (1994), todavia, obtiveram níveis de sacarose menores que os de glicose e de frutose, desde os estádios iniciais de crescimento do fruto até o amadurecimento. A explicação para menores teores de sacarose pode ser a mesma usada por OHYAMA et al. (1995), em experimentos realizados com tomate: as enzimas invertase ácida e sintase da sacarose, principalmente a primeira, podem hidrolisar a sacarose impedindo que se acumule.

A proporção entre os diferentes tipos de açúcares é um importante atributo de qualidade uma vez que diferem em grau de doçura. A sacarose, por exemplo, possui grau de doçura maior que o da glicose e em ambas este grau é menor que o da frutose (PANGBORN, 1963). Assim, frutos com teores de frutose superiores aos demais

açúcares têm, conseqüentemente, sabor mais doce, conforme relatado por ESTEVES & CARVALHO (1982), em goiaba.

#### 2.2.4 Acidez total titulável e pH

As mudanças na acidez também são importantes no desenvolvimento do sabor característico dos frutos. Embora vários ácidos orgânicos sejam encontrados, geralmente apenas um ou dois se acumulam em um mesmo tipo de fruto (KAYS, 1991).

Para a maioria dos frutos, o teor de ácidos orgânicos diminui com o amadurecimento devido à utilização no Ciclo de Krebs, durante o processo respiratório (ULRICH, 1970), e nas reações de síntese de novos compostos (KAYS, 1991). É o que ocorre em acerola (ALVES, 1993), manga (KRISHNAMURTHY & SUBRAMANYAM, 1973; MARIN & CANO, 1992) e uva (LIMA, 1998; LIMA et al., 2000), entre outros.

Contudo, em graviola (PAULL, 1982; PAULL et al., 1983; BRUINSMA & PAULL, 1984; AZIZ & YUSOF, 1994) e em outras anonáceas, como atemóia (WILLS et al., 1984) e cherimólia (MUÑOZ et al., 1997), verifica-se aumento nos teores dos referidos ácidos durante o amadurecimento.

Na graviola, a acidez total titulável (ATT) aumenta lentamente durante o crescimento (BARRERO et al., 1995) e a maturação (AZIZ & YUSOF, 1994). Com o amadurecimento, no entanto, o aumento é mais acentuado. Dos ácidos presentes, o málico é o que mais se acumula quando o fruto amadurece. PAULL et al. (1983) verificaram aumento de sete vezes no conteúdo daquele ácido, enquanto para o cítrico os teores apenas triplicaram. Assim, o aumento em ácido málico, conforme PAULL (1982), contribui significativamente para o sabor ácido do fruto.

De forma semelhante, a ATT da atemóia aumenta consideravelmente no início do incremento climatérico, refletindo o acúmulo de ácido málico, que se torna estável a partir daí. Já o teor de ácido cítrico, que é o mais abundante neste fruto, mantém-se relativamente constante durante o amadurecimento (WILLS et al., 1984).

Em geral, o sabor ácido está associado, principalmente, ao íon hidrogênio e ao grau de dissociação. Ácidos fortes (completamente dissociados) apresentam maior

acidez do que soluções de um ácido fraco de normalidade equivalente. Neste sentido, o ácido cítrico tem se destacado por sua alta acidez relativa (PANGBORN, 1963).

Como consequência das alterações na ATT, o pH é concomitantemente modificado. Durante o desenvolvimento da graviola, o pH decresce lentamente de 5,6 para 5,4. Contudo, quando o amadurecimento é desencadeado, o pH cai bruscamente a valores em torno de 3,7 (AZIZ & YUSOF, 1994). O mesmo ocorre em atemóia (WILLS et al., 1984). Em cherimólia, MUÑOZ et al. (1997) registraram decréscimo no pH de 6,2 para 4,8, como consequência do acúmulo de ácido málico no vacúolo.

A partir das citadas variações no conteúdo dos ácidos orgânicos e da sua concentração em relação aos açúcares, o sabor dos frutos e as propriedades do *flavor* da polpa podem ser significativamente afetados (PANGBORN, 1963).

### 2.2.5 Compostos fenólicos

Os compostos fenólicos constituem uma das principais classes de metabólitos secundários, sendo derivados da via do chiquimato e do metabolismo dos fenilpropanóides e possuindo funções e estruturas diversas (ROBARDS et al., 1999). São encontrados nas plantas em geral e são particularmente notórios nos frutos (VAN BUREN, 1970). Sua distribuição não é uniforme entre as espécies e nem mesmo entre partes de uma mesma planta (WILLIAMS, 1957).

As principais substâncias classificadas como fenólicos são: os ácidos cinâmicos e seus derivados, dos quais se destaca o ácido clorogênico; as flavanas; as antocianidinas e antocianinas; os flavonóis e suas formas glicosídicas; os polifenóis condensados, cujos precursores possivelmente sejam flavanas; e outros menos comuns, como flavonas, flavononas e isoflavonas (VAN BUREN, 1970). Deve-se destacar também os taninos, substâncias que podem formar pontes de hidrogênio entre grupos fenólicos e sítios receptores de moléculas de colágeno, de maneira a constituir uma estrutura razoavelmente estável (WHITE, 1957).

A nível subcelular, os fenólicos localizam-se principalmente nos vacúolos com pequenas quantidades no espaço livre e nenhuma no citoplasma. Em alguns casos,

verifica-se acúmulo de fenólicos do tipo lignina e outras moléculas mais simples, como flavonóides e ésteres do ácido ferúlico, na parede celular (ROBARDS et al., 1999).

A adstringência dos frutos é, até certo limite, determinada pelos compostos fenólicos (WILLIAMS, 1957). E resulta da capacidade dos fenólicos de massa molar intermediária (oligoméricos) formar complexos insolúveis com proteínas e mucopolissacarídeos da saliva, reduzindo sua ação lubrificante (GOLDSTEIN & SWAIN, 1963).

Nos frutos, os compostos fenólicos estão presentes em diferentes graus de polimerização e podem ser separados em frações, conforme suas solubilidades em solventes orgânicos puros ou diluídos. A fração solúvel em metanol absoluto contém compostos simples, de baixa massa molar, denominados dímeros. A fração solúvel em metanol diluído contém os compostos de massa molar intermediária (fenólicos oligoméricos). A fração solúvel em água, os fenólicos poliméricos, contém flavolanas que estão firmemente ligadas aos polissacarídeos da parede celular ou a outros polímeros de massa molar superior às duas outras frações (GOLSTEIN & SWAIN, 1963; FILGUEIRAS & CHITARRA, 1988).

Comparado a outros tecidos, os níveis de fenólicos nos frutos são relativamente baixos, mas podem ser significativos na determinação da qualidade (TUCKER, 1993). Durante a maturação, por exemplo, a adstringência diminui, possivelmente por causa da menor solubilidade das flavanas altamente condensadas presentes no meio e da sua ligação a outros componentes celulares (VAN BUREN, 1970). Segundo AZIZ & YUSOF (1994), o aumento nos teores de açúcares também contribui para a redução na adstringência.

Estudos com graviola confirmaram a redução no conteúdo de fenólicos durante a maturação (PAULL, 1982; OLIVEIRA et al., 1994). A resposta foi comum àquela obtida em goiaba por MOWLAH & ITOO (1982), que verificaram uma redução na relação entre taninos e outros tipos de fenólicos.

A composição dos fenólicos é determinada por fatores genéticos e ambientais, mas pode ser modificada por reações oxidativas durante o armazenamento e o processamento. Os dois processos mais importantes envolvem a atividade antioxidante dos fenóis e o escurecimento oxidativo (ROBARDS et al., 1999). Alguns frutos são especialmente sensíveis ao escurecimento, inclusive a graviola (OLIVEIRA et al., 1994;

BORRERO et al., 1995), tendo suas propriedades sensoriais e valor nutricional afetados (MAYER & HAREL, 1979). O fenômeno também ocorre em lichia (ZHANG & QUANTICK, 1997), maçã (MURATA et al., 1995), pêra (AMIOT et al., 1995) e uva (VALERO et al., 1989; ZAPATA et al., 1995). Em todos eles, a suscetibilidade ao escurecimento é maior nos estádios iniciais de maturação.

### 2.2.6 Firmeza

A firmeza é uma das características pós-colheita mais importantes. Ela não apenas influencia a palatabilidade mas também os métodos de colheita, manuseio e transporte, a resistência a doenças e a vida útil do fruto (HUBER, 1983; SEYMOUR & GROSS, 1996). Em alguns frutos, ela é usada como índice de maturidade prático e confiável (HUBER, 1983).

Alguns fatores são responsáveis pela firmeza. Os principais são a integridade da parede celular, a turgescência das células e as características anatômicas (BARTLEY & KNEE, 1982; SEYMOUR & GROSS, 1996). Mudanças em qualquer um deles resulta em amaciamento. Tais alterações são mais evidentes durante o amadurecimento, podendo decorrer de mecanismos enzimáticos e/ou não-enzimáticos (HUBER, 1983).

Segundo TUCKER (1993), o amaciamento é ocasionado por perda de turgescência, degradação do amido ou desestruturação da parede celular. A perda de turgescência é um processo não-fisiológico associado à desidratação pós-colheita, tendo maior importância durante o armazenamento. Naqueles frutos em que o amido constitui uma alta percentagem do peso fresco, sua degradação resulta em mudanças acentuadas na firmeza. Mas, em geral, as alterações na firmeza durante o amadurecimento resultam, predominantemente, da desestruturação da parede celular. A velocidade com que estas transformações ocorrem depende do tipo de fruto e das condições nas quais é mantido (KAYS, 1991), especialmente a temperatura (JOHNSTON et al., 2001).

Em kiwi, a perda de firmeza é acompanhada pela queda no conteúdo de amido, pelo aumento na solubilização de pectina e pela perda de galactose da parede celular (REDGWELL & HARKER, 1995). Em banana, KAJUNA et al. (1997) verificaram que

o amaciamento é acompanhado pela hidrólise do amido. O mesmo tem sido observado em graviola (AZIZ & YUSOF, 1994).

### 2.2.7 Amido

O amido é a forma de carbono de reserva mais importante nas plantas (KAYS, 1991; MARTIN & SMITH, 1995). Consiste de diferentes polímeros de glicose arranjados numa estrutura cristalina tridimensional. Sua biossíntese envolve tanto a produção de glucanas quanto o seu arranjo no grânulo de amido (MARTIN & SMITH, 1995).

Dois tipos de polímeros de glucanas podem ser formados a partir do fracionamento do amido: a amilose e a amilopectina. A amilose consiste de cadeias predominantemente lineares de resíduos de glicose unidos por ligações  $\alpha(1\rightarrow4)$ , possuindo baixo nível de ramificação por ligações  $\alpha(1\rightarrow6)$ . A amilopectina, por sua vez, consiste de cadeias de glucanas altamente ramificadas (MARTIN & SMITH, 1995).

Em muitos frutos, a degradação do amido é um evento característico do amadurecimento (JOHN & DEY, 1986; TUCKER, 1993), que promove a palatabilidade (KAYS, 1991). A velocidade e a extensão da hidrólise durante este estágio variam entre frutos de diferentes espécies (KAYS, 1991) e envolvem a ação das enzimas  $\alpha$ -amilase,  $\beta$ -amilase e amido fosforilase (TUCKER, 1993). A ação cooperativa destas e de outras enzimas, como a  $\alpha$ -glicosidase, resulta na dissolução do amido armazenado, que forma, num primeiro momento, oligossacarídeos e, em seguida, maltose, glicose ou glicose-1-fosfato (IRVING et al, 1999). Estes produtos podem ser utilizados na respiração, participando de reações da glicólise, ou na síntese de sacarose (TUCKER, 1993).

A importância das reações de degradação de amido é de tal forma significativa que BROOKFIELD et al. (1997) relacionaram o *status* de carboidratos com o período de armazenamento. Segundo os autores, os frutos que possuem baixos níveis de carboidratos provavelmente não podem ser armazenados por períodos longos e perdem suas características de *flavor* e firmeza mais rapidamente.

A graviola é um exemplo típico de fruto que possui teores elevados de amido (PAULL, 1982, 1990; PAULL et al., 1983; CASTRO et al., 1984; AZIZ & YUSOF,

1994). No entanto, trata-se de um fruto altamente perecível (PAULL, 1982; MOSCA et al., 1997). Com o amadurecimento, o amido é convertido em açúcares solúveis (PAULL, 1982, 1990; PAULL et al., 1983; CASTRO et al., 1984) e ácidos orgânicos (PAULL, 1982; CASTRO et al., 1984), reduzindo a firmeza (AZIZ & YUSOF, 1994).

O mesmo é observado, por exemplo, em abóbora (IRVING et al., 1997), atemóia (WILLS et al., 1984), banana (AGRAVANTE et al., 1990), goiaba (ESTEVES & CARVALHO, 1982) e manga (TANDON & KALRA, 1983).

### 2.2.8 Substâncias pécticas

As alterações que ocorrem na parede celular no amadurecimento consistem de uma aparente dissolução da região da lamela média, que é rica em pectina (TUCKER, 1993). As pectinas atuam como agente cimentante entre paredes celulares adjacentes (KAYS, 1991), possuem carga negativa e formam uma malha tridimensional que é entrelaçada à rede celulose-hemicelulose (CUTILLAS-ITURRALDE et al., 1994; REITER, 1998). A associação da rigidez das moléculas de pectina à interação com outros constituintes da parede celular é que determina sua ação cimentante (SATO, 1998).

As pectinas são compostas por ácido D-galacturônico, L-ramnose, L-arabinose e D-galactose. Em menor proporção, os açúcares D-xilose, 2-O-metil-L-fucose, D-apiose e o ácido D-glucônico também estão presentes. A análise de fragmentos das moléculas dos polissacarídeos pécticos sugere a presença de regiões estruturalmente diferentes, referidas como ramnogalacturonana I, ramnogalacturonana II, homogalacturonana, arabinanas, galactanas e arabinogalactanas (JOHN & DEY, 1986).

A nível bioquímico, mudanças nos polímeros pécticos da parede celular podem ser observadas durante o amadurecimento. Durante este estágio, há perda de açúcares neutros, constituintes das pectinas neutras, e alterações na fração ramnogalacturonana ou pectina ácida. Ainda, há aumento na solubilidade dos poliuronídeos, que podem se tornar progressivamente despolimerizados (HUBER, 1983; KAYS, 1991; TUCKER, 1993).

O aumento na proporção de pectinas solúveis é um dos fenômenos mais observados durante o amadurecimento dos frutos (ROE & BRUEMMER, 1981; BARTLEY & KNEE, 1982; TANDON & KALRA, 1984; McCOLLUM et al., 1989; ESTEBAN et al., 1993; BATISSE et al., 1994; KOJIMA et al., 1994; MARTIN-CABREJAS et al., 1994; REDGWELL & HARKER, 1995; GALLEGO & ZARRA, 1997; PERCY et al., 1997). Ele está diretamente associado ao amaciamento (KAYS, 1991) e, de acordo com GOLDBERG et al. (1986), pode explicar as diferenças de seletividade entre paredes celulares jovens e maduras.

Em estudo realizado com graviola, AZIZ & YUSOF (1994) registraram redução no conteúdo total de pectina e na fração solúvel em hidróxido de sódio durante o amadurecimento. Esta variação coincidiu com a redução da firmeza da polpa.

Em cereja, observou-se aumento nas frações solúveis em água e em oxalato de amônio a partir do início do amadurecimento, enquanto o percentual de protopectina decrescia (BATISSE et al., 1994). Especificamente as frações solúvel e insolúvel em água (protopectina) possuem graus de esterificação e teor de açúcares neutros diferentes. A insolúvel, além do alto grau de esterificação, possui açúcares neutros tanto nas cadeias laterais quanto na principal (GOLDBERG et al., 1986), assegurando a firmeza do tecido. Esta fração, após hidrólise, produz pectina solúvel (BARTLEY & KNEE, 1982; ESTEBAN et al., 1993).

A solubilização pode ocorrer por outros tipos de mudanças, como a quebra de ligações entre moléculas (KAYS, 1991). Em melão, o aumento da solubilidade durante o amadurecimento foi acompanhado por um decréscimo no tamanho da molécula resultante da quebra de ligações entre pectinas e hemiceluloses (McCOLLUM et al., 1989). KRISHNAMURTHY & SUBRAMANYAM (1973), de forma semelhante, consideraram que a degradação de pectina em manga envolve redução no tamanho e no grau de esterificação da molécula.

Segundo McCOLLUM et al. (1989), as mudanças aparentemente mais importantes no conteúdo de substâncias pécticas são qualitativas. Elas envolvem, por exemplo, diferenças nas proporções dos açúcares da parede celular entre os estádios de desenvolvimento e de maturação. Em tomate, GREVE & LABAVITCH (1991) observaram aumento no conteúdo de ramnose e de xilose no pericarpo no início do amadurecimento, enquanto HUYSAMER et al. (1997) verificaram aumento na

incorporação de uronídeos. Já em pêra, MARTIN-CABREJAS et al. (1994) registraram aumento nos ácidos urônicos.

Deve-se destacar, assim, que as modificações nos polissacarídeos da parede celular de frutos em amadurecimento podem provir tanto da degradação quanto da síntese de polímeros. Além disso, outros mecanismos podem estar envolvidos, como: alterações no pH da parede, afetando a atividade enzimática; distribuição de ácidos orgânicos e íons inorgânicos; remoção de cadeias laterais de galacturonanas; e o metabolismo do cálcio, já que este íon se liga normalmente aos ácidos poligalacturônicos, formando a estrutura denominada *caixa de ovo* (HUBER, 1983; SEYMOUR & GROSS, 1996).

### 2.2.9 Atividade de enzimas hidrolíticas e oxidativas

O amadurecimento envolve intensa atividade metabólica num período que, conforme mencionado, pode ser bastante curto para alguns frutos, como a graviola. Nesta fase, verificam-se transformações quantitativas e qualitativas no conjunto normal de enzimas que respondem por grande parte das mudanças no *flavor*, na pigmentação e no amaciamento (KAYS, 1991). Outras têm sua importância associada à aparência do fruto. É o caso de algumas oxidases envolvidas no escurecimento dos tecidos (MAYER & HAREL, 1979, 1981, 1991).

Durante o amadurecimento, mudanças degradativas nas paredes celulares estão associadas à síntese e/ou ativação de enzimas (KAYS, 1991). São principalmente hidrolases cuja ação ocorre ao mesmo tempo em que outras atividades bioquímicas e fisiológicas são desencadeadas (JOHN & DEY, 1986; WAKABAYASHI, 2000).

O conteúdo das enzimas hidrolíticas aumenta como consequência da mudança nas taxas de síntese e/ou degradação e não como resultado da ativação de uma molécula precursora sintetizada durante o início do desenvolvimento. Considera-se que com o tempo um produto instável da expressão gênica (proteína) se torna estável. Para as enzimas, que normalmente atuam na parede celular ou no vacúolo, esta estabilidade seria consequência de um mecanismo de transporte ou transformação de produtos primários da tradução gênica (BRADY, 1987).

É improvável que uma única enzima seja responsável pelas mudanças na firmeza. Provavelmente, elas envolvem uma interação complexa da atividade de enzimas, inclusive as que degradam amido (TUCKER, 1993).

#### 2.2.9.1 Pectinametilesterase e poligalacturonase

As mudanças mais evidentes na parede celular ocorrem na fração péctica e envolvem a ação degradativa de enzimas, principalmente pectinametilesterase (PME) ou pectinesterase, poligalacturonase (PG) ou D-galacturonanase,  $\beta$ -galactosidase ( $\beta$ -GAL) e  $\alpha$ -galactosidase ( $\alpha$ -GAL) (JOHN & DEY, 1986; SEYMOUR & GROSS, 1996).

A PME (E.C. 3.1.1.11) catalisa a desesterificação de resíduos galacturonosil das ramnogalacturonanas, em que o grupo carboxílico é metil esterificado. A enzima procede a uma quebra linear da molécula de pectina e não hidrolisa metil ésteres em galacturonanas de cadeia curta (JOHN & DEY, 1986; KAYS, 1991; TUCKER, 1993; BORDENAVE, 1996). Segundo SEYMOUR & GROSS (1996), a PME influencia a taxa de solubilização das substâncias pécticas. As funções da enzima estão associadas à geleificação das substâncias pécticas, à maturação do fruto e, possivelmente, a processos fitopatogênicos (BORDENAVE, 1996). Em muitos casos, está presente desde os estádios iniciais de desenvolvimento dos frutos, atingindo atividade máxima geralmente antes ou no início do climatério (HUBER, 1983; JOHN & DEY, 1986).

Entretanto, a distribuição espacial diferenciada da PME e de seus substratos pode explicar porque, às vezes, as paredes celulares contêm altas quantidades de substâncias pécticas metiladas mesmo com um número de moléculas da enzima teoricamente suficiente para desmetilá-las. De fato, a maioria das PMEs estão presentes principalmente na lamela média enquanto as substâncias pécticas se distribuem por toda a parede. Um ambiente iônico favorável possibilitaria o movimento das substâncias pécticas na direção da lamela média (BORDENAVE, 1996).

A atividade da PME tem mostrado diferentes respostas durante o amadurecimento. ABU-SARRA & ABU-GOUKH (1992) estudaram sua atividade em três cultivares de manga e observaram que, no geral, a atividade diminui durante o amadurecimento. Os trabalhos realizados por ROE & BRUEMMER (1981) também demonstraram redução na atividade durante o armazenamento de manga 'Keitt'. Em

durian, obteve-se apenas um leve aumento na atividade durante o amaciamento (KETSA & DAENGKANIT, 1999). Já em melão, a enzima não apresentou atividade substancial (MENEZES et al., 1997).

Em graviola, as informações são escassas. AZIZ & YUSOF (1994) apenas registraram que há atividade da enzima PME. Alguns estudos têm sido realizados com o objetivo de purificação e caracterização da PME da graviola, que está presente, neste fruto, em duas isoformas (ARBAISAH et al., 1996, 1997a, 1997b).

Diferentes isoformas da PME foram registradas também em acerola (ASSIS et al., 2000), kiwi (GIOVANE et al., 1990), mamão (LIM & CHUNG, 1993) e tomate (PRESSEY & WOODS, 1992).

Geralmente, tem-se sugerido que a função da PME é promover a desesterificação das galacturonanas para permitir a ação das PGs (HUBER, 1983; SEYMOUR et al., 1987; GIOVANE et al., 1990; KAYS, 1991). As PGs são enzimas pectolíticas identificadas como endo- (E.C. 3.2.1.15) e exo-PGs (E.C. 3.2.1.67). A endo-PG catalisa a quebra hidrolítica ao acaso das ligações  $\alpha(1\rightarrow4)$  das galacturonanas. A exo-PG, por sua vez, hidrolisa os resíduos galacturonosil terminais das extremidades não redutoras da molécula, liberando ácido galacturônico (HUBER, 1983; JOHN & DEY, 1986; KAYS, 1991; SEYMOUR & GROSS, 1996).

A atividade da PG tem sido observada em vários frutos. Em pêssego, pêra, abacate, tâmara, manga (ROE & BRUEMER, 1981; ABU-SARRA & ABU-GOUKH, 1992), durian (KETSA & DAENGKANIT, 1999) e tomate (TIEMAN & HANDA, 1989; BRETT & WALDRON, 1990), tem-se verificado aumento na atividade durante o amaciamento, possivelmente desencadeado pela produção de etileno. A enzima promove a degradação da lamela média das células parenquimáticas, o que resulta em amaciamento.

GALLEGO & ZARRA (1998) consideraram que a PG pode estar envolvida na liberação autocatalítica de ácidos urônicos durante o crescimento de kiwi. Durante o amadurecimento deste fruto, no entanto, REDGWELL et al. (1992) concluíram que a PG atua na degradação de polímeros pécticos solubilizados mas não na solubilização em si. Já em pêra, a PG atua na despolimerização dos poliuronídeos (YOSHIOKA et al., 1992).

Em tomate, existe um volume consistente de informações sobre esta enzima, especialmente a partir de trabalhos com material transgênico. Segundo GIOVANNONI et al. (1989), a PG mantém sua atividade mesmo nos mutantes *rin* de tomate, apesar de não induzir o amaciamento.

Em graviola, a única informação disponível registra um aumento brusco na atividade da PG por ocasião do climatério (AZIZ & YUSOF, 1994).

Há, ainda, frutos, como melão (McCOLLUM et al., 1989; RANWALA et al., 1992), caqui (CUTILLAS-ITURRALDE et al., 1993) e cereja (BATISSE et al., 1994), em que a atividade da PG não foi detectada.

#### 2.2.9.2 $\alpha$ - e $\beta$ -galactosidases

Várias glicosidases têm sido associadas à degradação de polissacarídeos da parede celular (BARTLEY & KNEE, 1982). Estas enzimas ocorrem tanto no meio extra quanto intracelular e as mais importantes são as  $\alpha$ - ( $\alpha$ -GAL, E.C. 3.2.1.22) e  $\beta$ -galactosidases ( $\beta$ -GAL, E.C. 3.2.1.23) (BURNS, 1990). A  $\alpha$ -GAL tem destacada importância em melancia (ITOH et al., 1986) e em uva (KANG & LEE, 2001). ITOH et al. (1986) caracterizaram a enzima como sendo uma glicoproteína monomérica que cliva os resíduos  $\alpha$ -galactosil de metil  $\alpha$ -galactosídeo, melibiose, rafinose e estaquiase. Em outros frutos, sua atividade é menos significativa. Em laranja 'Valencia', BURNS (1990) relatou uma atividade constante durante o armazenamento. Das duas isoformas presentes no fruto, apenas a  $\alpha$ -GAL II foi capaz de liberar grupos redutores das paredes celulares. Já em manga 'Harumanis', a atividade foi moderadamente alta porém inferior à da  $\beta$ -GAL (ALI et al., 1995).

Registram-se, ainda, decréscimos na atividade da  $\alpha$ -GAL desde os estádios iniciais de crescimento do fruto. É o que ocorre em abóbora (IRVING et al., 1997). Segundo os autores, a  $\alpha$ -GAL pode ser responsável pela degradação de rafinose na fase inicial de crescimento rápido.

A  $\beta$ -GAL remove resíduos galactosil de terminações não-redutoras dos polímeros da parede celular (BARTLEY & KNEE, 1982; SEYMOUR & GROSS, 1996). O seu papel no amadurecimento ainda não está claro (SEYMOUR & GROSS, 1996) mas alguns estudos têm enfatizado sua importância no amaciamento.

Em trabalhos realizados com laranja ‘Valencia’, BURNS (1990) destacou a  $\beta$ -GAL como a glicosidase mais ativa nos frutos recém-colhidos. Durante o armazenamento, todavia, sua atividade decresceu significativamente. Em kiwi, GALLEGO & ZARRA (1998) atribuíram, parcialmente, à referida enzima o amaciamento do fruto durante os últimos meses de desenvolvimento.

ALI et al. (1995) também observaram que a  $\beta$ -GAL é a glicosidase predominante em manga ‘Harumanis’. A enzima está presente em três isoformas e sua atividade aumenta à medida que a firmeza do fruto decresce. Segundo os autores, é a enzima-chave na modificação da pectina, talvez complementando a ação da PG. É possível que também possa estar envolvida na degradação das substâncias pécticas de caqui (CUTILLAS-ITURRALDE et al., 1993) e kiwi (REDGWELL et al., 1992).

Em melão, duas isoformas de  $\beta$ -GAL foram observadas. Elas estão relacionadas à modificação de polímeros pécticos e componentes hemicelulósicos (RANWALA et al., 1992). Diferentes isoformas também foram registradas em pêra (KITAGAWA et al., 1995), espinafre (HIRANO et al., 1994) e maçã (YOSHIOKA et al., 1995). Por outro lado, em alguns frutos, a  $\beta$ -GAL não deve estar envolvida no amaciamento. É o caso de durian, que, conforme KETSA & DAENGGANIT (1999), não possui diferenças na atividade desta enzima ao longo dos estádios de maturação.

Os mecanismos responsáveis pela liberação de resíduos galactosil não são relevantes apenas pela modificação que promovem na parede celular mas também pelo papel na modulação dos níveis de galactose, que provavelmente são importantes para o amadurecimento como um todo (SEYMOUR & GROSS, 1996).

### 2.2.9.3 Amilase

O amido pode ser convertido em glicose por pelo menos três diferentes enzimas:  $\alpha$ -amilase (E.C. 3.2.1.1),  $\beta$ -amilase (E.C. 3.2.1.2) e amido fosforilase (EC 2.4.1.1). A primeira hidrolisa ao acaso as ligações  $\alpha(1\rightarrow4)$  da amilose e da amilopectina, produzindo glicose, maltose e dextrina limite. Entretanto, não atua sobre ligações do tipo  $\alpha(1\rightarrow6)$ . A  $\beta$ -amilase, por sua vez, remove unidades de maltose a partir de extremidades não-redutoras e hidrolisa até o ponto da ramificação que contenha ligação  $\alpha(1\rightarrow6)$ . A maltose produzida é, então, hidrolisada a glicose através de uma glicosidase

(E.C. 3.2.1.20). Finalmente, a amido fosforilase hidrolisa as ligações  $\alpha(1-4)$  terminais, formando glicose-1-fosfato, que pode ser convertida a glicose-6-fosfato pela ação da fosfoglico mutase (E.C. 2.7.5.5) (KAYS, 1991; TUCKER, 1993).

Em todos os casos, as enzimas são ativas em cadeias glicolíticas lineares de amilose, sendo incapazes de degradar as ligações  $\alpha(1\rightarrow6)$  encontradas na amilopectina. Portanto, a degradação completa do amido por estas enzimas não é possível (KAYS, 1991).

Alguns estudos têm ressaltado a atividade destas enzimas em frutos. TANDON & KALRA (1983) observaram que, em manga 'Dashehari', a atividade amilásica aumentou durante o crescimento do fruto, decrescendo quando amadureceu. Segundo os autores, o decréscimo estava associado à redução no conteúdo de amido que ocorreu nos últimos estádios de desenvolvimento. Em banana, AGRAVANTE et al. (1990) concluíram que, na polpa, a  $\beta$ -amilase é mais ativa do que a  $\alpha$ -amilase. Os autores observaram que a atividade da primeira aumentou durante o amadurecimento. No entanto, geralmente considera-se que a  $\beta$ -amilase não é capaz de promover uma degradação significativa (PRESSEY, 1993). Por outro lado, é possível que entre materiais genéticos distintos existam diferenças no modo de degradação do amido (IRVING et al., 1999).

Em graviola, PAULL et al. (1983) determinaram a atividade amilásica antes do climatério e no fruto maduro, observando um aumento de praticamente dezoito vezes de um estágio para o outro.

#### 2.2.9.4 Polifenoloxidase e peroxidase

Os compostos fenólicos são os substratos de várias oxirredutases, principalmente polifenoloxidases (PPO) e peroxidases (POD), cujas ações estão relacionadas ao escurecimento dos tecidos (ROBARDS et al., 1999).

As PPOs são metaloproteínas que contêm cobre em seus sítios ativos e compreendem dois tipos de enzimas: o-difenol oxidases (catecoloxidases, tirosinase, fenolase, PPO) e p-difenol oxidases ou lacases. As PPOs se associam a dois tipos de reações seqüenciais. Na primeira, as enzimas, denominadas monofenol mono-oxigenases (E.C. 1.14.18.1), hidroxilam um monofenol para formar um o-difenol

(atividade cresolase) incolor. A reação seguinte, referida como atividade catecolase (E.C. 1.10.3.2), é a oxidação do o-difenol em compostos de cor ligeiramente amarela, as o-quinonas (MAYER & HAREL, 1979, 1991; SILVA, 2000).

As quinonas, por sua vez, sofrem reações secundárias, enzimáticas ou não, formando os pigmentos marrons característicos do fenômeno, as melanoproteínas ou, simplesmente, melaninas (MAYER & HAREL, 1991; AWAD, 1993; MURATA et al., 1995; SILVA, 2000).

Os principais substratos das enzimas são ésteres do ácido hidroxicinâmico e flavanas monoméricas e diméricas (VAN BUREN, 1970; AMIOT et al., 1995). Os difenóis que não têm uma hidroxila na posição *para* são oxidados pelas lacases (E.C. 1.10.3.1) (SILVA, 2000), que não estão presentes em todos os tecidos vegetais (MAYER & HAREL, 1991).

Geralmente, as reações de escurecimento são indesejáveis porque resultam em modificações na aparência e no *flavor* do fruto (MAYER & HAREL, 1979; MURATA et al., 1995).

As funções fisiológicas das PPOs nas plantas ainda não estão claras. WHITE (1957), MAYER & HAREL (1991) e SILVA (2000) consideram que elas desempenham papéis importantes na regulação de potenciais de oxi-redução; em reações do metabolismo intermediário; na respiração; no funcionamento do fotossistema II da fotossíntese, uma vez que oxidam as quinonas reduzidas formadas no fotossistema I; na proteção contra patógenos e predadores; na cicatrização de ferimentos; na formação de pigmentos e na sinalização do amadurecimento dos frutos.

No que se refere à reação com compostos fenólicos, a catecol oxidase não atua em tecidos intactos. É necessário que o tecido sofra uma injúria, principalmente mecânica, para que o escurecimento ocorra. A quebra da integridade física acelera a oxigenação dos tecidos e coloca as PPOs, geralmente localizadas no citoplasma, os compostos fenólicos (nos vacúolos) e as proteínas, previamente compartimentalizados, em contato direto, desencadeando as reações químicas (MAYER & HAREL, 1979; GALEAZZI, 1984; AWAD, 1993).

A enzima, no entanto, não está presente apenas no citoplasma. Ela pode estar ligada à membrana, principalmente em tecidos não senescentes (MAYER & HAREL, 1991). Vários trabalhos relatam sua atividade em cloroplastos e outros plastídios,

mitocôndrias, microcorpos e, até mesmo, parcialmente associada à parede celular (MAYER & HAREL, 1981, 1991; GALEAZZI 1984; MURATA et al., 1995; SILVA, 2000). Sua localização precisa depende, todavia, da espécie, da idade do tecido e do grau de maturidade (LIMA, 1999). Durante o amadurecimento, por exemplo, a PPO se torna mais solúvel (MAYER & HAREL, 1971, 1981; KIDRON et al. 1978; MURATA et al., 1995).

A atividade da PPO muda consideravelmente durante o desenvolvimento, amadurecimento e armazenamento do fruto, podendo atingir níveis mínimos em alguns casos (MAYER & HAREL, 1981). Segundo SILVA (2000), a atividade é maior durante o desenvolvimento. Resultados obtidos por OLIVEIRA et al. (1994) confirmam esta tendência em graviola. Por outro lado, em outros frutos, a atividade pode aumentar com o amadurecimento. É o que ocorre em pêsego e abacate (SILVA, 2000), em goiaba (MOWLAH & ITOH, 1982), em manga (KRISHNAMURTHY & SUBRAMANYAM, 1973) e em uva (LIMA, 1998; LIMA et al., 2000), embora, no último caso, as respostas variem entre cultivares (VALERO et al., 1989). CARBONARO & MATTERA (2001) destacam, ainda, que a atividade da PPO é influenciada pelas condições de cultivo.

O aumento na atividade desta enzima, assim como o aparecimento de isoenzimas, é decorrente de síntese *de novo* (MAYER & HAREL, 1979). FLURKEY & JEN (1978) observaram mudanças nas isoenzimas de PPO de pêsegos em diferentes estádios de maturação.

O escurecimento enzimático nos frutos pode ser evitado pela inativação da PPO ou pela redução das quinonas para fenóis através de agentes redutores (AWAD, 1993). Em cherimólia, os ácidos benzóico, isovanílico, cinâmico, p-cumárico, salicílico e 3-hidroxibenzóico inibiram a oxidação do catecol e a hidroxilação de tiramina (MARTÍNEZ-CAYUELA et al., 1988). Os ácidos p-cumárico, cinâmico e benzóico também exerceram inibição da catecol oxidase em uvas (GUNATA et al., 1987). Em pêsego e nectarina, CHENG & CRISOSTO (1995) observaram que o fator limitante no processo é a disponibilidade de ácido clorogênico.

As PODs (E.C. 1.11.1.7), por sua vez, têm seu papel no escurecimento enzimático limitado pela disponibilidade de peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). Exceto em poucos casos, como o da lichia (FINGER et al., 1997), pode-se dizer que a ação isolada da POD no escurecimento raramente é importante. Geralmente, ela incrementa a

degradação de fenóis, desde que a PPO esteja presente no meio. A última gera o  $H_2O_2$  necessário para ação da POD. Além disso, as quinonas formadas podem ser usadas pela POD como substratos (ROBARDS et al., 1999).

A POD parece estar localizada em todas as partes da planta e organelas celulares, mas pode variar em número e atividade de acordo com mudanças fisiológicas (ROBINSON, 1991). Durante a maturação de pêssego (FLURKEY & JEN, 1978) e morango (CIVELLO et al., 1995), a atividade da enzima decresceu. Segundo CIVELLO et al. (1995), a resposta se justifica quando a atividade da POD está principalmente associada às membranas, que se desestruturam com o amadurecimento. Em manga, por outro lado, a atividade aumentou nos primeiros estádios de amadurecimento e depois permaneceu quase constante (ZAUBERMAN et al., 1988; MARIN & CANO, 1992).

Diversas reações podem ser promovidas pelas PODs uma vez que podem ser encontradas em diferentes isoformas (ROBINSON, 1991; MARIN & CANO, 1992; BACHMANN, 1994; CIVELLO et al., 1995), os substratos fenólicos podem ser oxidados na presença de pequenas quantidades de  $H_2O_2$  e vários compostos são suscetíveis à oxidação por estas enzimas (ROBINSON, 1991). Elas estão envolvidas, ainda, em respostas a estresses após ataques patogênicos (BACHMANN, 1994); na biossíntese de lignina; na formação de extensina e da malha de ligações cruzadas do diferulato com hemiceluloses ou substâncias pécticas na parede celular; na degradação da clorofila e na senescência (ROBINSON, 1991).

### **2.3 Conservação Pós-Colheita**

Sendo um fruto altamente perecível, a graviola requer cuidados no manuseio e no transporte que podem ser decisivos para sua conservação. A importância destes cuidados aumenta por causa da falta de informações sobre técnicas de armazenamento que proporcionem manter a qualidade do fruto pelo maior período possível.

A qualidade de um fruto pode ser entendida como ausência de defeitos ou grau de excelência, envolvendo aspectos sensoriais, nutricionais e de segurança alimentar (SHEWFELT, 1999). No caso da graviola, a boa qualidade, segundo BORRERO et al.

(1995), é obtida quando a colheita se realiza no estágio de maturação correto. Se colhidas imaturas, as graviolas mostram uma maturação irregular, que compromete seriamente a qualidade. E quando colhidas maduras, não resistem ao armazenamento prolongado, ocorrendo perdas. Alterações na qualidade ocorrem, nos frutos em geral, como resultado, principalmente, das mudanças fisiológicas (SHEWFELT, 1999).

Cuidados com o manuseio e o transporte reduzem ou podem eliminar a ocorrência de injúrias. Danos mecânicos decorrentes de queda e de fricção, em graviola, resultam em coloração escura na casca. Esta alteração na cor deprecia o fruto (ZAYAS, 1966) e, dependendo da intensidade, pode acelerar a maturação e facilitar a infecção por microrganismos. O manuseio inadequado aumenta, ainda, a perda de matéria fresca, podendo afetar significativamente a qualidade textural durante o período pós-colheita (KAYS, 1991). Uma perda de matéria fresca de apenas 5% pode causar murchamento ou enrugamento em muitos produtos perecíveis (WILLS et al., 1998).

Vários outros fatores estão envolvidos na qualidade. O escurecimento da polpa é um deles. O fenômeno pode ser de natureza enzimática ou não, mas ambos resultam na formação de melaninas. Diferenciam-se principalmente pelo fato do escurecimento não enzimático requerer calor externo enquanto o enzimático pode ocorrer a temperatura ambiente (SILVA, 2000).

A utilização de tecnologias que retardam o amadurecimento poderia prolongar o período de conservação da graviola, mantendo as características de qualidade próprias do fruto.

### **2.3.1 Refrigeração**

As condições ideais de armazenamento correspondem àquelas em que os produtos podem ser acondicionados, pelo maior espaço de tempo possível, sem perda apreciável de seus atributos de qualidade, como sabor, aroma, firmeza, cor e teor de umidade. Dentre os métodos de conservação disponíveis, a refrigeração é o mais utilizado e eficiente para o armazenamento de frutos e hortaliças (CHITARRA & CHITARRA, 1990).

Com a redução da temperatura, a atividade das enzimas envolvidas nas reações de síntese e de degradação após a colheita também diminui (KAYS, 1991; WILLS et al., 1998). Entretanto, este efeito não é uniforme para todas as mudanças fisiológicas e a temperatura ideal de armazenamento varia consideravelmente (WILLS et al., 1998).

Comparando-se o uso de refrigeração e o armazenamento a temperatura ambiente, KHADER (1992) observou que mangas armazenadas a 15°C apresentaram menor degradação de ácido ascórbico e de clorofila, síntese mais lenta de carotenóides, menor declínio da atividade da POD e maiores valores de ATT. O autor cita, ainda, que a atividade da  $\alpha$ -amilase foi reduzida, o que repercutiu em menores teores de SST. Em goiaba, por outro lado, GONZAGA NETO et al. (1999) obtiveram valores de SST mais altos nos frutos acondicionados a 10°C.

Estudos realizados por CAMPBELL et al. (1989) demonstraram que a refrigeração possibilitou menor perda de peso e melhor aparência em carambola.

Alguns estudos realizados com graviola registraram que, na temperatura de 22°C, os frutos amadureciam em até seis dias (MACIEL et al., 1994; MOSCA, 1996). Reduzindo a temperatura para 21°C, LIVERA & GUERRA (1995) observaram que os frutos atingiram condições de consumo em até sete dias. MOSCA (1996), por sua vez, concluiu que, quando a temperatura de armazenamento era de 15°C, o tempo necessário para o amadurecimento da graviola aumentava para nove dias. Por outro lado, SILVA et al. (2001) observaram que o fruto, mesmo mantido a 12°C e a 14°C, já apresentava limitações à comercialização, em função da aparência, após seis dias de armazenamento.

Apesar do limite inferior para o metabolismo normal ser o ponto de congelamento dos tecidos, algumas espécies mostram sintomas de danos por frio mesmo em temperaturas superiores àquele ponto (WILLS et al., 1998; LUCHSINGER, 1999). ZAUBERMAN et al. (1988) relataram a ocorrência de dano pelo frio em manga 'Keitt' armazenada a 5°C. Para atemóia, WILLS et al. (1984) salientam que o uso de temperaturas inferiores a 15°C incorreria em risco de danos daquela natureza.

As principais alterações fisiológicas associadas a danos por frio são: escurecimento da polpa, perda de sabor, danos superficiais (descoloração e depressões), manutenção ou aumento da firmeza da polpa, perda da capacidade de amadurecer, aceleração da senescência, etc. A ocorrência destes danos depende da espécie, da

cultivar, do estágio de maturação e das condições de cultivo (LUCHSINGER, 1999). Em graviola, danos pelo frio a 12°C foram relatados por MACIEL et al. (1994), MOSCA (1996) e SALGADO et al. (1998).

Em geral, o período de armazenamento depende da atividade respiratória do produto, da suscetibilidade à perda de umidade e da resistência a patógenos (CHITARRA & CHITARRA, 1990). Os dois últimos são dependentes da umidade relativa (UR) do meio. Valores de UR altos favorecem o desenvolvimento de microrganismos e os baixos, a ocorrência de desordens fisiológicas e a desuniformidade de maturação, além da perda de turgescência. Segundo SALGADO et al. (1998), para armazenar graviola, a U.R. adequada é de 90%.

### **2.3.2 Atmosfera modificada**

O uso de atmosfera modificada (AM) complementando a refrigeração tem aumentado bastante e contribuído significativamente para estender o tempo de vida de frutos e hortaliças, mantendo sua qualidade (KADER, 1995). Estudos realizados com manga (YANTARASRI et al., 1995; BALDWIN et al., 1999), abacaxi (CHITARRA & SILVA, 1999), maçã 'Gala' (SAFTNER, 1999), romã (NANDA et al., 2001) e ervilha (PARIASCA et al., 2000) confirmam esta afirmativa.

A razão primária dos benefícios da AM é a redução na taxa respiratória decorrente dos níveis baixos de O<sub>2</sub> e elevados de CO<sub>2</sub> que são mantidos no meio (KADER, 1995).

A AM pode se formar e ser mantida com o uso de filmes poliméricos e ceras comestíveis (EXAMA et al., 1993; KADER, 1995). No caso de filmes, o uso eficiente depende do atendimento de algumas exigências básicas. A princípio, devem ter permeabilidade à água e a gases suficientemente baixas para reduzir a perda de umidade e a atividade respiratória a níveis que permitam conservar o fruto por mais tempo. Além disso, o material deve ser inodoro e ter alta massa molar, de modo que os ácidos, óleos e ceras naturais do fruto não possam dissolvê-lo (SASS, 1993).

O benefício da AM mais observado é a redução da perda de matéria fresca. Com o uso desta técnica tem se conseguido menor perda de matéria fresca em abacaxi

(CHITARRA & SILVA, 1999), ameixa (KLUGE et al., 1999), berinjela (HENZ & SILVA, 1995), citros (RODOV et al., 2000), goiaba (GONZAGA NETO et al., 1999), lichia (ZHANG & QUANTICK, 1997), maçãs (SAFTNER, 1999), manga (YANTARASRI et al., 1995), romã (NANDA et al., 2001) e pimentão (OTMA, 1989).

Outros efeitos incluem manutenção da firmeza (CHITARRA & SILVA, 1999; NANDA et al., 2001) e da cor (DEL CURA et al., 1996; GONZAGA NETO et al., 1999); redução na atividade de enzimas como PG (KANELLIS et al., 1989b; DEL CURA et al., 1996), celulase (KANELLIS et al., 1989b), PPO, POD (ZHANG & QUANTICK, 1997), sintase do ACC e oxidase do ACC (KADER, 1995). Em banana, frutos submetidos a níveis reduzidos de O<sub>2</sub> exibiram atraso no declínio da atividade da PME (KANELLIS et al., 1989a). XU et al. (2001) enumeram, ainda, que o uso de filmes pode inibir a troca de gases, reduzir a perda de nutrientes e evitar o desenvolvimento de microrganismos. Por sua vez, quando a modificação da atmosfera é obtida através de revestimentos, como ceras, observa-se um incremento na aparência do fruto, que adquire brilho mais intenso (BALDWIN et al., 1999).

Deve-se ressaltar, contudo, que a modificação da atmosfera não pode gerar níveis de CO<sub>2</sub> altos a ponto de induzir as vias fermentativas, o que resulta em acúmulo de succinato e/ou alanina e queda do pH e dos níveis de ATP intracelulares (KADER, 1995). O uso da AM deve, portanto, considerar os níveis de tolerância a CO<sub>2</sub> e os limites mínimos de O<sub>2</sub>. Estes níveis, segundo SASS (1993), variam entre espécies e até mesmo entre cultivares (FERNÁNDEZ-TRUJILLO et al., 1999).

Poucos estudos foram realizados sobre a utilização de AM em graviola. GUERRA et al. (1995) testaram o uso de películas de ésteres de açúcares e de ácidos graxos em graviolas armazenadas a 16°C. Contudo, os frutos não amadureceram normalmente. O mesmo foi obtido por MACIEL et al. (1994) com o uso de filmes de polietileno envolvendo as caixas de embalagem de graviola.

Resultados promissores foram obtidos por SILVA et al. (2001). Estes autores utilizaram filme de polietileno flexível para embalagem individual de graviolas em bandejas de poliestireno, mantidas a 12°C e a 14°C. Os frutos armazenados a 12°C sob AM mantiveram-se com boa qualidade até os vinte e dois dias.

### 2.3.3 1-Metilciclopropeno

O amadurecimento dos frutos pode ser atrasado por meio do uso de inibidores da produção e da ação de etileno (KENDE, 1993; ABDI et al., 1998). Dentre estes, pode-se destacar os ciclopropenos como antagonistas eficientes do etileno, que competem com este hormônio pelos sítios de ligação nos receptores das membranas (SISLER & SEREK, 1997). Estes receptores são específicos e têm como função o reconhecimento do sinal hormonal (PALIYATH & DROILLARD, 1992).

Basicamente três compostos ciclopropenos têm sido estudados como inibidores da ação do etileno: o ciclopropeno (CP), o 1-metilciclopropeno (1-MCP) e o 3,3-dimetilciclopropeno (3,3-DMCP). Segundo SISLER et al. (1996) e SISLER & SEREK (1997), todos eles são efetivos, mas o CP e o 1-MCP são cerca de 1.000 vezes mais ativos que o 3,3-DMCP. A temperatura ambiente, os três são gases, não têm odor nas concentrações necessárias para proteger as plantas e, possivelmente, ligam-se ao receptor de etileno através de um metal.

A maioria dos estudos têm sido feitos com o 1-MCP, que é mais estável que o CP e mais ativo que o 3,3-DMCP. Quando se liga a um receptor, o 1-MCP impede a formação do complexo receptor ativo. Este complexo é formado quando a molécula de  $C_2H_4$  que se ligou ao receptor é liberada (SISLER & SEREK, 1997).

JIANG et al. (1999b) salientam que a inibição promovida pelo 1-MCP é não-competitiva e que a afinidade do composto pelos sítios de ligação de etileno é maior do que a do próprio hormônio. E uma vez que este desencadeia algumas alterações (eventos dependentes de etileno) durante o amadurecimento (AYUB et al., 1996), o 1-MCP poderia atrasá-las ou até inibi-las.

Resultados experimentais têm revelado que a aplicação de 1-MCP pode estender a vida útil pós-colheita de frutos (FAN et al., 1999, 2000; JIANG et al., 1999a, 1999b; KU et al., 1999; HARRIS et al., 2000), de hortaliças (KU & WILLS, 1999; WILLS & KU, 2002) e de flores (MÜLLER et al., 2000; CAMERON & REID, 2001). Os efeitos são, principalmente, retenção da firmeza (FAN et al., 1999, 2000; JIANG et al., 1999a, 1999b; FENG et al., 2000; WATKINS et al., 2000; ARGENTA et al., 2001; DONG et al., 2002; JEONG et al., 2002) e da cor (ABDI et al., 1998; GOLDING et al., 1998; JIANG et al., 1999a; KU & WILLS, 1999; PORAT et al., 1999; FAN et al., 2000;

JEONG et al., 2002); redução e/ou atraso na atividade respiratória e na produção de etileno (ABDI et al., 1998; FAN et al., 1999, 2000; GOLDING et al., 1999; KU & WILLS, 1999; FENG et al., 2000; WATKINS et al., 2000; DONG et al., 2002; JEONG et al., 2002; WILLS & KU, 2002); menor perda de matéria fresca (JEONG et al., 2002); maior ATT (FAN et al., 1999, 2000; DONG et al., 2002; WILLS & KU, 2002); síntese reduzida de compostos voláteis (FAN et al., 2000, 2001) e menor suscetibilidade a desordens fisiológicas (WATKINS et al., 2000; MITCHAM et al., 2001; SELVARAJAH et al., 2001) e ataque fúngico (JIANG et al., 2001; DONG et al., 2002). No entanto, PORAT et al. (1999) registraram maior incidência de injúria pelo frio nos frutos tratados com 1-MCP.

De modo geral, as respostas são dependentes da concentração e do tempo de exposição ao gás (SISLER & SEREK, 1997; JIANG et al., 1999b; JEONG et al., 2002; WILLS & KU, 2002) mas variam com a espécie (SISLER & SEREK, 1997; HARRIS et al., 2000), as características morfológicas e fisiológicas, incluindo o volume do órgão (JIANG & JOYCE, 2000), o grau de maturidade (HARRIS et al., 2000), a cultivar e as condições de armazenamento (WATKINS et al., 2000), principalmente a temperatura (SISLER et al., 1996; SISLER & SEREK, 1997; KU & WILLS, 1999) e a duração (DONG et al., 2002). MITCHAM et al. (2001) mencionam, ainda, a temperatura na qual os frutos são tratados como um importante fator que influencia a duração dos efeitos do 1-MCP.

Aliado ao incremento na vida útil pós-colheita de vários frutos testados, a aplicação de 1-MCP assim como de outras substâncias inibidoras da ação do etileno, apresenta a vantagem de proteger o tecido não apenas da produção endógena daquele hormônio mas também da exógena (FEN et al., 2000).

### 3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDI, N. et al. Responses of climateric and suppressed-climateric plums to treatment with propylene and 1-methylcyclopropene. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.14, n.1, p.29-39, 1998.

ABU-SARRA, A.F.; ABU-GOUKH, A.A. Changes in pectinesterase, polygalacturonase e cellulase activity during mango fruit ripening. **The Journal of Horticultural Science**, Ashford, v.67, n.4, p.561-568, 1992.

AGRAVANTE, J.U.; MATSUI, T.; KITAGAWA, H. Starch breakdown and changes in amylase activity during ripening of ethylene- and ethanol-treated bananas. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n.269, p.133-140, 1990.

ALI, Z.M.; ARMUGAM, S.; LAZAN, H.  $\beta$ -galactosidase and its significance in ripening mango fruit. **Phytochemistry**, Oxford, v.38, n.5, p.1109-1114, 1995.

ALVES, R.E. **Acerola (*Malpighia emarginata* D.C.): fisiologia da maturação e armazenamento refrigerado sob atmosfera ambiente e modificada.** 1993. 99f. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1993.

ALVES, R.E.; FILGUEIRAS, H.A.C.; MOSCA, J.L. Colheita e pós-colheita de anonáceas. In: SÃO-JOSÉ, A.R. et al. **Anonáceas: produção e mercado.** Vitória da Conquista: DFZ/UESB, 1997. p.240-256.

AMIOT, M.J. et al. Influence of cultivar, maturity stage, and storage conditions on phenolic composition and enzymatic browning of pear fruits. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Columbus, v.43, n.5, p.1132-1137, 1995.

ARBAISAH, S.M. et al. Determination of optimum conditions for pectinesterase extraction from soursop fruit (*Anona muricata*) using response surface methodology. **Food Chemistry**, Oxford, v.55, n.3, p.289-292, 1996.

\_\_\_\_\_. Purification and properties of pectinesterase from soursop (*Anona muricata*) pulp. **Food Chemistry**, Oxford, v.59, n.1, p.33-40, 1997a.

- ARBAISAH, S.M. et al. Soursop pectinesterases: thermostability and effect on cloud stability of soursop juice. **Carbohydrate Polymers**, Oxford, v.34, n.3, p.177-182, 1997b.
- ARGENTA, L.C; MATTHEIS, J.; FAN, X. Retardamento da maturação de maçãs 'Fuji' pelo tratamento com 1-MCP e manejo da temperatura. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.23, n.2, p.270-273. 2001.
- ASSIS, S.A. de; LIMA, D.C.; OLIVEIRA, O.M.M. de F. Acerola's pectin methylesterase: studies of heat inactivation. **Food Chemistry**, Oxford, v.71, n.4, p.465-467, 2000.
- AWAD, M. **Fisiologia pós-colheita de frutos**. São Paulo: Nobel, 1993. 114p.
- AYUB, R. et al. Expression of ACC oxidase antisense gene inhibits ripening of cantaloupe melon fruits. **Nature Biotechnology**, New York, v.14, p.862-866, 1996.
- AZIZ, P.A.; YUSOF, S. Physico-chemical characteristics of soursop fruit (*Anona muricata*) during growth and development. **ASEAN Food Journal**, New York, v.9, n.4, p.147-150, 1994.
- BACHMANN, O. Peroxidase isoenzyme patterns in Vitaceae. **Vitis**, Landau, v.33, n.3, p.151-153, 1994.
- BALDWIN, E.A. et al. Effect of two edible coatings with different permeability characteristics on mango (*Mangifera indica* L.) ripening during storage. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.17, n.3, p.215-216, 1999.
- BARTLEY, I.M.; KNEE, M. The chemistry of textural changes in fruit during storage. **Food Chemistry**, Oxford, v.9, n.1, p.47-58, 1982.
- BATISSE, C.; FILS-LYCAON, B.; BURET, M. Pectin changes in ripening cherry fruit. **Journal of the Food Science**, Chicago, v.59, n.2, p.389-393, 1994.
- BIALE, J.B.; BARCUS, D.E. Respiratory patterns in tropical fruits of the Amazon basin. **Tropical Science**, London, v.12, n.2, p.93-104, 1970.
- BLEECKER, A.B.; SCHALLER, G.E. The mechanism of ethylene perception. **Plant Physiology**, Rockville, v.111, n.3, p.653-660, 1996.

BLEICHER, E. et al. Growth aspects of reproductive phase of soursop tree (*Annona muricata* L.). In: CONGRESO INTERNACIONAL DE ANONACEAS, 1997, Chapingo. **Memorias...**Chapingo: Universidad Autónoma Chapingo, 1997. p.315-322.

BORDENAVE, M. Analyses of pectin methyl esterases. In: LINSKENS, H.F.; JACKSON, J.F. **Plant cell wall analysis: modern methods on plant analysis**. Berlin: Springer-Verlag, 1996. v.17, p.165-180.

BORRERO, F.V. et al. Determinación de índices de madurez de cosecha en guanábana (*Annona muricata* L.) en dos regiones de Colombia (S.A.). In: SIMPOSIO INTERNACIONAL DE MANEJO, CALIDAD Y FISIOLOGÍA POSTCOSECHA DE FRUTAS, 4, 1995, Santiago. **Memorias...**Santiago: Universidad de Chile, 1995. p.25-43.

BRADY, C.J. Fruit ripening. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v.38, p.155-178, 1987.

BRETT, C.; WALDRON, K. **Physiology and biochemistry of plant cell walls**. London: Academic Division of Unwin Hyman, 1990. 194p. (Topics in plant physiology, 2).

BROOKFIELD, P. et al. Starch degradation and starch pattern indices, interpretation and relationship to maturity. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.11, n.1, p.23-30, 1997.

BRUINSMA, J.; PAULL, R.E. Respiration during postharvest development of soursop fruit, *Annona muricata* L. **Plant Physiology**, Rockville, v.76, n.1, p.131-138, 1984.

BUESO, C.E. Soursop, tamarind and chironja. In: NAGY, S.; SHAW, P.E. **Tropical and subtropical fruits**. Westport: AVI Publishing Company, 1980. p.375-406.

BURNS, J.K.  $\alpha$ - and  $\beta$ -galactosidase activities in juice vesicles of stored Valencia oranges. **Phytochemistry**, Oxford, v.29, n.8, p.2425-2429, 1990.

CAMERON, A.C.; REID, M.S. 1-MCP blocks ethylene-induced petal abscission of *Pelargonium peltatum* but the effect is transient. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.22, n.2, p.169-177, 2001.

CAMPBELL, C.A.; HUBER, D.J.; KOCH, K.E. Postharvest changes in sugars, acids, and color of carambola fruit at various temperatures. **HortScience**, Alexandria, v.24, n.3, p.472-475, 1989.

- CARBONARO, M.; MATTERA, M. Polyphenoloxidase activity and polyphenols levels in organically and conventionally grown peach (*Prunus persica* L., cv. Regina bianca) and pear (*Pyrus communis* L., cv. Williams). **Food Chemistry**, Oxford, v.72, n.4, p.419-424, 2001.
- CASTRO, F.A. de et al. Características físicas e químicas da graviola. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.19, n.3, p.361-365, 1984.
- CHAN JUNIOR, H.T.; LEE, C.W.Q. Identification and determination of sugars in soursop, rose apple, mountain apple and surinam cherry. **Journal of Food Science**, Chicago, v.40, n.4, p.892-893, 1975.
- CHENG, G.W.; CRISOSTO, C.H. Browning potencial, phenolic composition, and polyphenoloxidase activity of buffer extracts of peach and nectarine skin tissues. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.120, n.5, p.835-838, 1995.
- CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A.B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Lavras: ESAL/FAEPE, 1990. 320p.
- CHITARRA, A.B.; SILVA, J.M.da. Effect of modified atmosphere on internal browning of 'Smooth Cayenne' pineapples. **Acta Horticulturae**, Brugge, n.485, p.89-90, 1999.
- CIVELLO, P.M. et al. Peroxidase from strawberry fruit (*Fragaria ananassa* Duch.): partial purification and determination of some properties. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Columbus, v.43, n.10, p.2596-2601, 1995.
- CUTILLAS-ITURRALDE, A. et al. Implication of persimmon fruit hemicellulose metabolism in the softening process. Importance of xyloglucan endotransglycosylase. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v.91, n.2, p.169-176, 1994.
- CUTILLAS-ITURRALDE, A.; ZARRA, I.; LORENCES, E.P. Metabolism of cell wall polysaccharides from persimmon fruit. Pectin solubilization during fruit ripening occurs in apparent absence of polygalacturonase activity. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v.89, n.2, p.369-375, 1993.
- DEAN, J.F.D.; MATTOO, A.K. The role of ethylene in fruit ripening and senescence. In: FOX, P.F. **Food Enzimology**. London: Elsevier Applied Science, 1991, v.1, p.271-301.

DEL CURA, B. et al. High carbon dioxide delays postharvest changes in RuBPCase and polygalacturonase-related protein in cherimoya peel. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.121, n.4, p.735-739, 1996.

DONADIO, L.C.; NACHTIGAL, J.C.; SACRAMENTO, C.K. **Frutas exóticas**. Jaboticabal: FUNEP, 1998. 279p.

DONG, L.; LURIE, S.; ZHOU, H.W. Effect of 1-methylcyclopropene on ripening of 'Canino' apricots and 'Royal Zee' plums. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.24, n.2, p.135-145, 2002.

ESTEBAN, R.M. et al. Pectin changes during the development and ripening of eggplant fruits. **Food Chemistry**, Oxford, v.46, n.2, p.289-292, 1993.

ESTEVES, M.T. da C.; CARVALHO, V.D. de. Modificações nos teores de amido, açúcares e grau de doçura de frutos de seis cultivares de goiabeira (*Psidium guajava* L.) em diferentes estádios de maturação. **Ciência e Prática**, Lavras, v.6, n.2, p.208-218, 1982.

EXAMA, A. et al. Suitability of various plastic films for modified atmosphere packaging of fruits and vegetables: gas transfer properties and effect of temperature fluctuation. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n.343, p.175-180, 1993.

FALCÃO, M. de A.; LIERAS, E.; LEITE, A.M.C. Aspectos fenológicos, ecológicos e de produtividade da graviola (*Annona muricata* L.) na região de Manaus. **Acta Amazônica**, Manaus, v.12, n.1, p.27-32, 1982.

FAN, X.; ARGENTA, L.; MATTHEIS, J.P. Inhibition of ethylene action by 1-methylcyclopropene prolongs storage life of apricots. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.20, n.2, p.135-142, 2000.

\_\_\_\_\_. Impacts of ionizing radiation on volatile production by ripening Gala apple fruit. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Columbus, v.49, p.254-262, 2001.

FAN, X.; BLANKENSHIP, S.M.; MATTHEIS, J.P. 1-Methylcyclopropene inhibits apple ripening **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.124, n.6, p.690-695, 1999.

FENG, X. et al. Control of ethylene responses in avocado fruit with 1-methylcyclopropene. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.20, n.2, p.143-150, 2000.

FERNÁNDEZ-TRUJILLO, J.P.; NOCK, J.F.; WATKINS, C.B. Fermentative metabolism and organic acid concentrations in fruit of selected strawberry cultivars with different tolerances to carbon dioxide. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.124, n.6, p.696-701, 1999.

FILGUEIRAS, H.A.C.; CHITARRA, M.I.F. Influência da embalagem e temperatura de armazenamento sobre os teores de compostos fenólicos em ameixa roxa Delfim Moreira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.23, n.1, p.63-74, 1988.

FINGER, F.L.; VIEIRA, G.; LEDSHAM, L.R. Maturity standard and pericarp browning of litchi fruit. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Brasília, v.9, n.1, p.15-19, 1997.

FLURKEY, W.H.; JEN, J.J. Peroxidase and polyphenol oxidase activities in developing peaches. **Journal of Food Science**, Chicago, v.43, n.6, p.1826-1831, 1978.

GALEAZZI, M.A.M. Comportamento das polifenoloxidasas em alimentos. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, Havana, v.34, n.2, p.269-289, 1984.

GALLEGO, P.P.; ZARRA, I. Cell wall autolysis during kiwifruit development. **Annals of Botany**, London, v.81, n.1, p.91-96, 1998.

\_\_\_\_\_. Changes in cell wall composition and water-soluble polysaccharides during kiwifruit development. **Annals of Botany**, London, v.79, n.3, p.695-701, 1997.

GIOVANE, A. et al. Pectin methyl esterase from *Actinidia chinensis* fruits. **Phytochemistry**, Oxford, v.29, n.9, p.2821-2823, 1990.

GIOVANNONI, J.J. et al. Expression of a chimeric polygalacturonase gene in transgenic *rin* (ripening inhibitor) tomato fruit results in polyuronide degradation but not fruit softening. **The Plant Cell**, Rockville, v.1, n.1, p.53-63, 1989.

GOLDBERG, R.; MORVAM, C.; ROLAND, J.C. Composition, properties and localization of pectins in young and mature cells of the mung bean hypocotyl. **Plant and Cell Physiology**, Tokyo, v.27, n.3, p.417-429, 1986.

GOLDING, J.B. et al. Application of 1-MCP and propylene to identify ethylene-dependent ripening processes in mature banana fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.14, n.1, p.87-98, 1998.

GOLDING, J.B. et al. Relationship between respiration, ethylene, and aroma production in ripening banana. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Columbus, v.47, p.1646-1651, 1999.

GOLDSTEIN, J.L.; SWAIN, T. Changes in tannins in ripening fruits. **Phytochemistry**, Oxford, v.2, n.4, p.371-383, 1963.

GONZAGA NETO, L.; CRISTO, A.S.; CHOUDHURY, M.M. Conservação pós-colheita de frutos de goiabeira, variedade Paluma. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.1, p.1-6, 1999.

GREVE, L.C.; LABAVITCH, J.M. Cell wall metabolism in ripening fruit. V. Analysis of cell wall synthesis in ripening tomato pericarp tissue using a D-[U-<sup>13</sup>C] glucose tracer and gas chromatography-mass spectrometry. **Plant Physiology**, Rockville, v.97, n.4, p.1456-1461, 1991.

GUERRA, N.B.; BACHMANN, C.; MELO FILHO, A.B. de. Influência do tempo de estocagem sobre a qualidade de gaviolas (*Annona muricata* L.) revestidas com "SemperFresh". In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 13, 1995. Salvador. **Resumos...** Salvador: SBF, p.601-602, v.2, 1995.

GUNATA, Y.Z.; SAPI, J.C.; MOUTOUNET, M. Substrates and aromatic carboxylic acid inhibitors of grape phenol oxidases. **Phytochemistry**, Oxford, v.26, n.6, p.1573-1575, 1987.

HARRIS, D.R. et al. Effect of fruit maturity on efficiency of 1-methylcyclopropene to delay the ripening of bananas. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.20, n.3, p.303-308, 2000.

HENZ, G.P.; SILVA, C. Conservação de frutos de berinjela cv. Ciça através de refrigeração e embalagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.30, n.2, p.157-162, 1995.

HIRANO, Y.; TSUMURAYA, Y.; HASHIMOTO, Y. Characterization of spinach leaf  $\alpha$ -L-arabinofuranosidases and  $\beta$ -galactosidases and their synergistic action on endogenous arabinogalactan-protein. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v.92, n.2, p.286-296, 1994.

HUBER, D.J. The role of cell wall hidrolases in fruit softening. **Horticultural Reviews**, Westport, v.5, p.169-219, 1983.

HUYSAMER, M.; GREVE, L.C.; LABAVITCH, J.M. Cell wall metabolism in ripening fruit. IX. Synthesis of pectic and hemicellulosic cell wall polymers in the outer pericarp of mature green tomatoes (cv XMT-22). **Plant Physiology**, Rockville, v.114, n.4, p.1523-1531, 1997.

IRVING, D.E.; HURST, P.L.; RAGG, J.S. Changes in carbohydrates and carbohydrate metabolizing enzymes during the development, maturation, and ripening of buttercup squash (*Cucurbita maxima* D. 'Delica'). **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.122, n.3, p.310-314, 1997.

IRVING, D.E.; SHINGLETON, G.J.; HURST, P.L. Starch degradation in buttercup squash (*Cucurbita maxima*). **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.124, n.6, p.587-590, 1999.

ITOH, T.; UDA, Y.; NAKAGAWA, H. Purification and characterization of  $\alpha$ -galactosidase from watermelon. **The Journal of Biochemistry**, Tokyo, v.99, n.1, p.243-250, 1986.

JEFFERY, D. et al. Ethylene-independent and ethylene-dependent biochemical changes in ripening tomatoes. **Plant Physiology**, Rockville, v.74, n.1, p.32-38, 1984.

JEONG, J.; HUBER, D.J.; SARGENT, S.A. Influence of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on ripening and cell-wall matrix polysaccharides of avocado (*Persea americana*) fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 25, n.3, p.241-246, 2002.

JIANG, Y.; JOYCE, D.C. Effects of 1-methylcyclopropene alone and in combination with polyethylene bags on the postharvest life of mango fruit. **Annals of Applied Biology**, London, v.137, n.2, p.321-327, 2000.

JIANG, Y.; JOYCE, D.C.; FERRY, L.A. 1-Methylcyclopropene treatments affects strawberry fruit decay. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.23, n.3, p.227-232, 2001.

JIANG, Y.; JOYCE, D.C.; MACNISH, A. Extension of the shelf life of banana fruit by 1-methylcyclopropene in combination with polyethylene bags. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.16, n.2, p.187-193, 1999a.

\_\_\_\_\_. Responses of banana fruit treatment with 1-methylcyclopropene. **Journal of Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v.28, n.1, p.77-82, 1999b.

JOHN, M.A.; DEY, P.M. Postharvest changes in fruit cell wall. **Advances in Food Research**, New York, v.30, p.139-185, 1986.

JOHNSTON, J.W. et al. Temperature induces differential softening responses in apple cultivars. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.23, n.2, p.185-196, 2001.

KADER, A.A. Regulation on fruit physiology by controlled/modified atmospheres. **Acta Horticulturae**, Kyoto, n.398, p.81-91, 1995.

KAJUNA, S.T.A.R.; BILANSKI, W.K.; MITTAL, G.S. Textural changes of banana and plantain pulp during ripening. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v.75, n.2, p.244-250, 1997.

KANELLIS, A.K.; SOLOMOS, T.; MATTOO, A.K. Changes in sugars, enzyme activities and acid phosphatase isoenzyme profiles of bananas ripened in air or stored in 2,5% O<sub>2</sub> with and without ethylene. **Plant Physiology**, Rockville, v.90, n.1, p.251-258, 1989a.

\_\_\_\_\_. Hydrolitic enzyme activities and protein pattern of avocado fruit ripened in air in low oxygen, with and without ethylene. **Plant Physiology**, Rockville, v.90, n.1, p.259-266, 1989b.

KANG, H.C; LEE, S.H. Characteristics of an  $\alpha$ -galactosidase associated with grape flesh. **Phytochemistry**, Oxford, v.58, n.2, p.213-219, 2001.

KAYS, S.J. **Postharvest physiology of perishable plant products**. New York: AVI Book, 1991. 532p.

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

KETSA, S.; DAENGGANIT, T. Firmness and activities of polygalacturonase, pectinesterase,  $\beta$ -galactosidase and cellulase in ripening durian harvested at different stages of maturity. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.80, n.3-4, p.181-188, 1999.

KHADER, S.E.S.A. Effect of gibberellic acid and vapor gard on ripening amylase and peroxidase activities and quality of mango fruits during storage. **The Journal of Horticultural Science**, Ashford, v.67, n.6, p.855-860, 1992.

KIDRON, M.; HAREL, E.; MAYER, A.M. Catechol oxidase activity in grapes and wine. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v.29, n.1, p.30-35, 1978.

KITAGAWA, Y.; KANAYAMA, Y.; YAMAKI, S. Isolation of  $\beta$ -galactosidase fractions from Japanese pear: activity against native cell wall polysaccharides. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v.93, n.3, p.545-550, 1995.

KLUGE, R.A.; BILHALVA, A.B.; CANTILLANO, R.F.F. Influência do estágio de maturação e da embalagem de polietileno na frigoconservação de ameixa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.3, p.323-329, 1999.

KOJIMA, K.; SAKARAI, N.; KURAISHI, S. Fruit softening in banana correlation among stress-relaxation parameters, cell wall components and starch during ripening. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v.90, n.4, p.772-778, 1994.

KRISHNAMURTHY, S.; SUBRAMANYAM, H. Pre- and post-harvest physiology of the mango fruit: a review. **Tropical Science**, London, v.15, n.2, p.167-193, 1973.

KU, V.V.V.; WILLS, R.B.H. Effect of 1-methylcyclopropene on the storage life of broccoli. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.17, n.2, p.127-132, 1999.

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

LIM, Y.M.; CHUNG, M.C.M. Isolation and characterization of pectin methylesterase from papaya. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, Orlando, v.307, n.1, p.15-20, 1993.

LIMA, E.D.P. de A. **Purificação e caracterização bioquímica da polifenoloxidase (PPO) em fruto da família anonácea – pinha (*Annona squamosa* L.)**. 1999. 132f. Tese (Doutorado em Ciências de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.

LIMA, M.A.C. de. **Desenvolvimento, maturação e armazenamento refrigerado de uva ‘Itália’ sob a influência do cálcio**. 1998. 121f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1998.

LIMA, M.A.C. de et al. Qualidade, fenóis e enzimas oxidativas de uva ‘Itália’ sob influência do cálcio, durante a maturação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.12, p.2493-2499, 2000.

LIVERA, A.V.S.; GUERRA, N.B. Desenvolvimento físico da graviola. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, v.18, n.2, p.225-233, 1996.

LIVERA, A.V.S.; GUERRA, N.B. Determinação da maturidade comercial da graviola (*Annona muricata* L.) através de um disco de coleta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 14, 1995, Salvador. **Resumos...** Salvador: SBF, p.603-604, v.2, 1995.

- LUCHSINGER, L.E. Problemas de oscurecimento interno em frutas por efecto de tratamentos postcosecha. In: ALVES, R.E.; VELOZ, C.S. (Org.). **Exigências quarentenárias para exportação de frutas tropicais e subtropicais**. Fortaleza: Embrapa – CNPAT/CYTED/CONACYT, 1999. p.183-190.
- MACIEL, M.I.S.; GUERRA, N.B.; TAVARES, M.O.C. Ensaio preliminar sobre a conservação da graviola (*Annona muricata* L.). **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.28, n.1, p.64-68, 1994.
- MARIN, M.A.; CANO, M.P. Patterns of peroxidase in ripening mango (*Mangifera indica*, L.) fruits. **Journal of Food Science**, Chicago, v.57, n.3, p.690-692, 1992.
- MARTIN-CABREJAS, M.A. et al. Ripening-related changes in the cell wall of Spanish pear (*Pyrus communis*). **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v.91, n.4, p.671-679, 1994
- MARTIN, C.; SMITH, A.M. Starch biosynthesis. **The Plant Cell**, Rockville, v.7, n.7, p.971-985, 1995.
- MARTÍNEZ-CAYUELA, M. et al. Effect of some phenolic carboxylic acids on cherimoya (*Annona cherimolia*) polyphenoloxidase activity. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v.45, n.3, p.215-222, 1988.
- MAYER, A.M.; HAREL, E. Phenoloxidasas and their significance in fruit and vegetables. In: FOX, P.F. **Food Enzimology**. London: Elsevier Applied Science, 1991, v.1, p.373-398.
- \_\_\_\_\_. Polyphenol oxidases in fruits – changes during ripening. In: FRIEND, J.; RHODES, M.J.C. **Recent advances in the biochemistry of fruits and vegetables**. London: Academic Press, 1981. p.161-180.
- \_\_\_\_\_. Polyphenol oxidases in plants. **Phytochemistry**, Oxford, v.18, n.2, p.193-215, 1979.
- McCOLLUM, T.G.; HUBER, D.J.; CANTLIFFE, D.J. Modification of polyuronides and hemicelluloses during muskmelon fruit softening. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v.76, n.3, p.303-308, 1989.
- MENEZES, J.B. et al. Caracterização do melão tipo Galia durante a maturação. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.16, n.2., p.123-127, 1998.
- \_\_\_\_\_. Modificações dos componentes de parede celular do melão tipo Galia durante a maturação. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.17, n.3, p.301-308, 1997.

MITCHAM, B. et al. Responses of European pears to 1-MCP. **Perishables Handling Quarterly**, Davis, v.108, p.16-19, 2001.

MOSCA, J.L. **Estudios de maduración e prácticas pós-colheita para conservação de frutos de anonáceas *in natura***. Fortaleza: EMBRAPA-CNPAT, 1996. 6p. (Relatório Técnico Parcial ao FUNDECI/BNB).

MOSCA, J.L. et al. Determination of harvest index for soursop fruits (*Annona muricata* L.) In: CONGRESO INTERNACIONAL DE ANONACEAS, 1997, Chapingo. **Memorias...** Chapingo: Universidad Autónoma Chapingo. 1997. p.315-322.

MOWLAH, G.; ITOO, S. Quantitative changes in guava polyphenols and the polyphenoloxidase (PPO) at different stages of maturation, ripening and storage. **Journal of the Japanese Society of Food Science and Technology**, Tokyo, v.29, n.7, p.413-417, 1982.

MÜLLER, R.; SISLER, E.C.; SEREK, M. Stress induced ethylene production, ethylene binding, and the response to the ethylene action inhibitor 1-MCP in miniature roses. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.83, n.1, p.51-59, 2000.

MUÑOZ, M.T.; ESCRIBANO, M.I.; MERODIO, C. Ethanol metabolism in cherimoya fruit during storage at ambient and under high CO<sub>2</sub> atmosphere. **The Journal of Horticultural Science**, Ashford, v.72, n.3, p.363-370, 1997.

MURATA, M. et al. Relationship between apple ripening and browning: changes in polyphenol content and polyphenol oxidase. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Columbus, v.43, n.5, p.1115-1121, 1995.

NANDA, S.; RAO, D.V.S.; KRISHNAMURTHY, S. Effects of shrink film wrapping and storage temperature on the shelf life and quality of pomegranate fruits cv. Ganesh. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.22, n.1, p.61-69, 2001.

OHYAMA, A. et al. Suppression of acid invertase activity by antisense RNA modifies the sugar composition of tomato fruit. **Plant and Cell Physiology**, Tokyo, v.36, n.2, p.369-376, 1995.

OLIVEIRA, S.L. de et al. Polyphenoloxidase activity, polyphenols concentration and browning intensity during soursop (*Annona muricata*, L.) maturation. **Journal of Food Science**, Chicago, v.59, n.4, p.1050-1052, 1994.

OTMA, E.C. Controlled atmosphere storage and film wrapping of red bell peppers (*Capsicum annuum* L.). **Acta Horticulturae**, Wageningen, n.258, p. 515-521, 1989.

PALIYATH, G.; DROILLARD, M.J. The mechanism of membrane deterioration and disassembly during senescence. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v.30, n.6, p.789-812, 1992.

PANGBORN, R.M. Relative taste intensities of selected sugars and organic acids. **Journal of Food Science**, Chicago, v.28, n.6, p.726-733, 1963.

PARIASCA, J.A.T. et al. Effect of modified atmosphere packaging (MAP) and controlled atmosphere (CA) storage on the quality of snow pea pods (*Pisum sativum* L. var. *saccharatum*). **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.21, n.2, p.213-223, 2000.

PAULL, R.E. Postharvest variation in composition of soursop (*Annona muricata* L.) fruit in relation to respiration and ethylene production. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.107, n.4, p.582-585, 1982.

\_\_\_\_\_. Soursop fruit ripening – starch breakdown. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n.269, p.277-281, 1990.

PAULL, R.E.; DEPUTY, J.; CHEN, N.J. Changes in organic acids, sugars, and headspace volatiles during fruit ripening of soursop. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.108, n.6, p.931-934, 1983.

PERCY, A.E.; MELTON, L.D.; JAMESON, P.E. Xyloglucan and hemicelluloses in the cell wall during apple fruit development and ripening. **Plant Science**, Limerick, v.125, n.1, p.31-39, 1997.

PINTO, A.C.Q.; RAMOS, V.H.V. Graviola: formação do pomar e tratos culturais. In: PINTO, A.C.Q. **A cultura da graviola**. Fortaleza: SINDIFRUTA, FRUTAL, 1999. p.2-19.

PORAT, R. et al. Effects of ethylene and 1-methylcyclopropene on the postharvest qualities of 'Shamouti' oranges. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.15, n.2, p.155-163, 1999.

PRESSEY, R. Cell wall compositions and enzymes of potatoes, jicamas and chinese water chestnuts. **Journal of Food Biochemistry**, Westport, v.17, n.1, p.85-95, 1993.

PRESSEY, R.; WOODS, F.W. Purification and properties of two pectinesterases from tomatoes. **Phytochemistry**, Oxford, v.31, n.4, p.1139-1142, 1992.

RAMOS, V.H.V. A potencialidade da gravioleira no cerrado. In: PINTO, A.C.Q. **A cultura da graviola**. Fortaleza: SINDIFRUTA/INSTITUTO FRUTAL, 1999. p.42-58.

RANWALA, A.P.; SUEMATSU, C.; MASUDA, H. The role of  $\beta$ -galactosidases in the modification of cell wall components during muskmelon fruit ripening. **Plant Physiology**, Rockville, v.100, n.3, p.1318-1325, 1992.

REDGWELL, R.J.; HARKER, R. Softening of kiwifruit discs: effect of inhibition of galactose loss from cell walls. **Phytochemistry**, Oxford, v.39, n.6, p.1319-1323, 1995.

REDGWELL, R.J.; MELTON, L.D.; BRASCH, D.J. Cell wall dissolution in ripening kiwifruit (*Actinidia deliciosa*). **Plant Physiology**, Rockville, v.98, n.1, p.71-81, 1992.

REITER, W.D. The molecular analyses of cell wall in the interactions of plant cells: analysis using carrots cultured cells. **Trends in Plant Science**, Paris, v.3, n.1, p.27-32, 1998.

ROBARDS, K. et al. Phenolic compounds and their role in oxidative processes in fruits. **Food Chemistry**, Oxford, v.66, n.4, p.401-436, 1999.

ROBINSON, D.S. Peroxidases and their significance in fruits and vegetables. In: FOX, P.F. **Food enzymology**. London: Elsevier Applied Science, 1991. v.1, p.399-426.

RODOV, V. et al. Effect of combined application of heat treatments and plastic packaging on keeping quality of 'Oroblanco' fruit (*Citrus grandis* L. x *C. paradisi* Macf.). **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.20, n.3, p.287-294, 2000.

ROE, B.; BRUEMMER, J.H. Changes in pectic substances and enzymes during ripening and storage of 'Keitt' mango. **Journal of Food Science**, Chicago, v.46, n.1, p.186-189, 1981.

SAFTNER, R.A. The potential of fruit coating and film treatments for improving the storage and shelf-life qualities of 'Gala' and 'Golden Delicious' apples. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.124, n.6, p.682-689, 1999.

SALGADO, F.R.; LÓPEZ, M.; GUTIÉRREZ, A. **Manejo post-cosecha de la guanábana (*Annona muricata* L.)**. Edición Magnitud Ltda. Santa Fé de Bogotá: NRI, SENA, DFID. 1998. 332p. (Serie de paquetes de capacitación sobre manejo post-cosecha de frutas y hortalizas, 8).

SÃO-JOSÉ, A.R. Aspectos generales de las anonáceas en Brasil. In: CONGRESO INTERNACIONAL DE ANONACEAS, I, 1997, Chapingo. **Memorias...** Chapingo: Universidad Autónoma Chapingo, 1997, p.92-103.

SÃO-JOSÉ, A.R. et al. Cultivo da graviola. In: SEMANA INTERNACIONAL DE FRUTICULTURA E AGROINDÚSTRIA, 7, 2000, Fortaleza, **Cursos...**Fortaleza: SINDIFRUTA, INSTITUTO FRUTAL, 2000. CD-ROM

SASS, P. **Fruit storage**. Budapest: Mezogazda Kiado, 1993, 347p.

SATOH, S. Functions of the cell wall in the interactions of plant cells: analysis using carrots cultured cells. **Plant and Cell Physiology**, Tokyo, v.39, n.4, p.361-368, 1998.

SELVARAJAH, S.; BAUCHOT, A.D.; JOHN, P. Internal browning in cold-stored pineapples is suppressed by a postharvest application of 1-methylcyclopropene. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.23, n.2, p.167-170, 2001.

SEYMOUR, G.B.; GROSS, K.C. Cell wall disassembly and fruit softening. **Postharvest News and Information**, London, v.7, n.3, p.45-52, 1996.

SEYMOUR, G.B.; LASSLETT, Y.; TUCKER, G.A. Differential effects of pectolytic enzymes on tomato polyuronides *in vivo* and *in vitro*. **Phytochemistry**, Oxford, v.26, n.12, p.3137-3139, 1987.

SHEWFELT, R.L. What is quality? **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.15, n.3, p.197-200, 1999.

SIGRIST, J.M.M. Respiração. In: BLEINROTH, E.W. et al. **Tecnologia pós-colheita de frutos e hortaliças**. Campinas: ITAL, 1992, p.21-27.

SILVA, E.M. Mecanismos bioquímicos de fisiopatias importantes de frutas. In: CONGRESO IBEROAMERICANO DE TECNOLOGIA POSTCOSECHA Y AGROEXPORTACIONES, 2, 2000, Bogotá, **Memorias...**Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2000. p.5-19.

SIMA. Boletim de preços agrícolas. Fortaleza: SEAGRI, 2001. np.

SILVA, S.M. et al. Conservação pós-colheita de frutos de graviola (*Annona muricata* L.) sob atmosfera modificada. **Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha**, Hermosillo, v.4, n.1, p.6-12, 2001.

SISLER, E.C.; MARGARETHE, S.; DUPILLE, E. Comparison of cyclopropene, 1-methylcyclopropene, and 3,3,-dimethylcyclopropene as ethylene antagonists in plants. **Journal of Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v.18, p.169-174, 1996.

SISLER, E.C.; SEREK, M. Inhibitors of ethylene responses in plants at the receptor level: recent developments. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v.100, n.3, p.577-582, 1997.

TANDON, D.K.; KALRA, S.K. Changes in sugars, starch and amylase activity during development of mango fruit cv. Dashehari. **The Journal of Horticultural Science**, Ashford, v.58, n.3, p.449-453, 1983.

\_\_\_\_\_. Pectin changes during the development of mango fruit cv. Dashehari. **The Journal of Horticultural Science**, Ashford, v.59, n.2, p.283-286, 1984.

TIEMAN, D.M.; HANDA, A.K. Immunocytolocalization of polygalacturonase in ripening tomato fruit. **Plant Physiology**, Rockville, v.90, n.1, p.17-20, 1989.

TUCKER, G.A. Introduction. In: SEYMOUR, G.B.; TAYLOR, J.E.; TUCKER, G.A. **Biochemistry of fruit ripening**. London: Chapman & Hall, 1993. p.1-51.

ULRICH, R. Organic acids. In: HULME, A.C. **The biochemistry of fruits and their products**. New York: Academic Press, 1970. v.1, p.89-118.

VALERO, E. et al. Evolution of grape polyphenol oxidase activity and phenolic content during maturation and vinification. **Vitis**, Landau, v.28, n.2, p.85-95, 1989.

VAN BUREN, J. Fruit phenolics. In: HULME, A.C. **The biochemistry of fruits and their products**. New York: Academic Press, 1970, v.1, p.269-304.

WAKABAYASHI, K. Changes in cell wall polysaccharides during fruit ripening. **Journal of Plant Research**, Tokyo, v.113, n.2, p.231-237, 2000.

WATKINS, C.B.; NOCK, J.F.; WHITAKER, B.D. Responses of early, mid and late season apple cultivars to postharvest application of 1-methylcyclopropene (1-MCP) under air controlled atmosphere storage conditions. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.19, n.1, p.17-32, 2000.

WHITE, T. Tannins - their occurrence and significance. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v.8, n.7, p.377-385, 1957.

WHITING, G.C. Sugars. In: HULME, A.C. **The biochemistry of fruits and their products**. New York: Academic Press London, v.1, 1970, p.1-31.

WILLIAMS, A.H. The simpler phenolic substances of plants. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v.8, n.7, p.385-389, 1957.

WILLS, R. et al. **Postharvest: an introduction to the physiology & handling of fruit, vegetables & ornamentals**. 4<sup>th</sup> ed. Wallingford: New South Wales University Press, 1998. 262p.

WILLS, R.B.H. et al. Postharvest changes in fruit composition of *Annona atemoya* during ripening and effects of storage temperature on ripening. **HortScience**, Alexandria, v.19, n.1, p.96-97, 1984.

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

WORRELL, D.B.; CARRINGTON, C.M.S.; HUBER, D.J. Growth, maturation and ripening of soursop. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.57, n.1, p.7-15, 1994.

XU, S.; CHEN, X.; SUN, D.W. Preservation of kiwifruit coated with an edible film at ambient temperature. **Journal of Food Engineering**, Amsterdam, v.50, n.4, p.211-216, 2001.

YANTARASRI, T. et al. Development of perforated modified atmosphere package for mango. **Acta Horticulturae**, Kyoto, n.398, p.81-91, 1995.

YOSHIOKA, H.; AOBA, K.; KASHIMURA, Y. Molecular weight and degree of methoxylation in cell wall polyuronide during softening in pear and apple fruit. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.117, n.4, p.600-606, 1992.

YOSHIOKA, H.; KASHIMURA, Y.; KANEKO, K.  $\beta$ -D-galactosidase and  $\alpha$ -L-arabinofuranosidase activities during the softening of apples. **Journal of the Japanese Society of Horticultural Science**, Kyoto, v.63, n.4, p.871-878, 1995.

ZAPATA, J.M.; CALDERÓN, A.A.; ROS BARCELÓ, A. Actual browning and peroxidase level are not correlated in red and white berries from grapevine (*Vitis vinifera*) cultivars. **Fruit Varieties Journal**, Fayetteville, v.49, n.2, p.82-84, 1995.

ZAYAS, J.C. **Las frutas anonaceas**. Ediciones Frutícolas: Havana, 1966. 63p.

ZAUBERMAN, G. et al. Chilling injury, peroxidase, and cellulase activities in the peel of mango fruit at low temperature. **HortScience**, Alexandria, v.23, n.4, p.732-733, 1988.

ZHANG, D.; QUANTICK, P.C. Effects of chitosan coating on enzymatic browning and decay during postharvest storage of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.12, n.2, p.195-202, 1997.

## CAPÍTULO II

### MATURAÇÃO PÓS-COLHEITA DE GRAVIOLA (*Annona muricata* L.)

#### RESUMO

Este trabalho objetivou caracterizar alterações físicas, físico-químicas, químicas e bioquímicas que afetam a qualidade da graviola (*Annona muricata* L.) durante a maturação a temperatura ambiente. Os frutos do tipo 'Crioula', colhidos na maturidade fisiológica e provenientes da Estação Experimental de Pacajus (Embrapa Agroindústria Tropical), foram armazenados a  $26,3 \pm 0,6^{\circ}\text{C}$  e  $87,6 \pm 12,2\%$  UR, por 1, 2, 3, 4 e 5 dias. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com 4 repetições. Avaliou-se: perda de matéria fresca (PMF); clorofila da casca; pH; acidez total titulável (ATT); sólidos solúveis totais (SST); relação SST/ATT; açúcares solúveis totais (AST), açúcares redutores (AR) e açúcares não-redutores (ANR); compostos fenólicos; amido; pectina total e solúvel; proteína e atividades de polifenoloxidase (PPO), peroxidase (POD), amilase, pectinametilsterase (PME), poligalacturonase (PG) e  $\alpha$ - e  $\beta$ -galactosidases ( $\alpha$ - e  $\beta$ -GAL). Não houve variações significativas nos teores de clorofila, ANR, compostos fenólicos e pectina solúvel. Aos cinco dias, a PMF atingiu 5% mas não promoveu enrugamento ou murcha. A ATT aumentou de 0,13 para 1,02% de ácido málico enquanto o pH decresceu. O teor de SST duplicou em relação ao primeiro dia. A relação SST/ATT, por consequência, diminuiu. Verificou-se incrementos nos teores de AST e AR. Por sua vez, os teores de proteínas e de amido decresceram, o último coincidindo com o aumento na atividade amilásica. A atividade da PPO aumentou até quatro dias enquanto a da POD decrescia após o segundo. O teor de pectina total aumentou até o terceiro dia, decrescendo, em seguida. A atividade da PME aumentou continuamente, enquanto a da PG atingiu o máximo aos três dias, seguido por decréscimo que coincidiu com a queda no teor de pectina total. O aumento da atividade  $\beta$ -GAL de parede celular até quatro dias, em associação à PG, é coerente com a evolução do amaciamento.

## POSTHARVEST MATURATION OF SOURSOP FRUIT (*Annona muricata* L.)

### ABSTRACT

The present work aimed to determine the physical, physico-chemical, chemical and biochemical alterations that affect the quality of soursop fruit (*Annona muricata* L.) during maturation at ambient temperature. Fruits of 'Crioula' type were harvested at the physiological maturity stage from plants grown at the Embrapa Experimental Station, in Pacajus county, State of Ceara (Brazil), and stored under  $26.3 \pm 0.6^\circ\text{C}$  e  $87.6 \pm 12.2\%$  RH, during 1, 2, 3, 4 e 5 days. A completely randomized design was used with four replicates. The following variables were evaluated: weight loss (WL); chlorophyll content; pH; total titratable acidity (TTA); total soluble solids (TSS); TSS/TTA ratio; total soluble sugars (TS), reducing sugars (RS); non reducing sugars (NRS); phenolic compounds; starch; total pectin and soluble pectin; proteins and polyphenol oxidase activity (PPO), peroxidase (POD), amylase, pectin metylesterase (PME), polygalacturonase (PG) and  $\alpha$ - e  $\beta$ -galactosidases ( $\alpha$ - e  $\beta$ -GAL) activities. There were no significative variations in the chlorophyll content, NRS, phenolic compounds and soluble pectin. After five days the WL reached 5% but without causing fruit shrinkage. The TTA increased from 0.13 to 1.02% of malic acid while the pH decreased. The TSS content doubled compared with the 1<sup>st</sup> day. In consequence TSS/TTA ratio decreased. There were increases for TS and RS. On the other hand, contents of proteins and starch decreased, the later coinciding with the increase of amylase activity. The PPO activity increased until the 4<sup>th</sup> day while the POD activity decreased after the 2<sup>nd</sup> day. The total pectin content increased until the 3<sup>rd</sup> day, decreasing afterwards. The PME activity increased steadily while PG activity reach its peak at the 3<sup>rd</sup> day, decreasing coincidently with the total pectin content decrease. The increase of cell wall  $\beta$ -GAL activity until the 4<sup>th</sup> day, in association with PG increase, is compatible with the softening progress.

## 1 INTRODUÇÃO

O gênero *Annona* inclui mais de 100 espécies porém as que possuem importância econômica são apenas a graviola (*A. muricata*), a pinha (*A. squamosa*), a condessa (*A. reticulata*), a cherimólia (*A. cherimola*) e a atemóia (*A. atemoya*) (WILLS et al., 1984; WORRELL et al., 1994). No Brasil, as áreas cultivadas com pinha e graviola são as mais representativas (SÃO-JOSÉ et al., 1997).

Para graviola, a escassez de informações estatísticas oficiais limita a apresentação de um diagnóstico da cultura no país. No entanto, a expansão das áreas cultivadas é evidente. Segundo SÃO-JOSÉ (1997), novas áreas produtoras estão sendo instaladas especialmente nas regiões litorâneas e semi-áridas do Nordeste, onde predomina a graviola 'Nordestina' ou 'Crioula' ou 'Comum'. Este tipo possui frutos cordiformes, de casca verde-escura com pseudo-acúleos proeminentes e numerosos, peso entre 1,5 e 3,0 kg, polpa mole e sabor doce a sub-ácido (RAMOS, 1999; CRUZ et al., 2000).

A produção, que era destinada totalmente para a agroindústria, hoje tem um volume significativo comercializado como fruta fresca. São Paulo, Rio de Janeiro, Recife, Salvador, Fortaleza e Brasília são os principais mercados consumidores de graviola *in natura*. Nos próximos anos, a tendência é de que ocupe uma fatia cada vez maior deste mercado (SÃO-JOSÉ et al., 1997).

No entanto, a alta perecibilidade do fruto e o curto período de conservação após a colheita (AZIZ & YUSOF, 1994) respondem pelo elevado percentual de perdas (MOSCA et al., 1997).

Qualquer tentativa de redução no nível de perdas pós-colheita e de conservação da qualidade da graviola por um período compatível com a demanda do mercado requer o conhecimento do metabolismo do fruto durante o amadurecimento. Tal conhecimento possibilitaria propor estratégias e tecnologias que reduzissem a velocidade das transformações fisiológicas e bioquímicas, sem prejuízo da qualidade.

Existem poucos estudos sobre as mudanças pós-colheita que ocorrem com a

graviola (WILLS et al., 1984). Os trabalhos, em geral, caracterizam as alterações na cor da casca e nos teores de açúcares, ácidos orgânicos e compostos fenólicos da polpa (PAULL, 1982, 1990; PAULL et al., 1983; BRUINSMA & PAULL, 1984; CASTRO et al., 1984; AZIZ & YUSOF, 1994; OLIVEIRA et al., 1994; BORRERO et al., 1995; MOSCA et al., 1997). O conhecimento de outras modificações, como aquelas relacionadas à firmeza, e das atividades das principais enzimas envolvidas no amadurecimento ainda permanece como uma lacuna.

O presente trabalho teve por objetivo caracterizar as alterações físicas, físico-químicas, químicas e bioquímicas que afetam a qualidade da graviola durante a maturação a temperatura ambiente.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Origem e Colheita dos Frutos

Os frutos foram provenientes da Estação Experimental de Pacajus, da Embrapa Agroindústria Tropical, localizada em Pacajus, CE, a 54 km de Fortaleza, cujas coordenadas geográficas são 4°10' S e 38°27' W Grm e a altitude é de 60 m. O clima da microrregião é muito seco, com a evapotranspiração potencial superior à precipitação, sendo classificado como Bw (classificação de KÖEPPEN). A temperatura média anual do ar é de 26,3°C, sendo a média das máximas de 31,8°C e das mínimas, de 20,8°C. A precipitação pluvial média anual é de 925,3 mm (EMBRAPA, 2000).

Os dados meteorológicos médios ou totais, referentes ao ano que antecedeu a colheita, foram obtidos da Estação Meteorológica de Pacajus (Embrapa Agroindústria Tropical) e encontram-se na TABELA 1.

As graviolas foram colhidas na maturidade fisiológica, indicada principalmente por leve perda de consistência da superfície da fruta, quando submetida a pressão pelo tato. A colheita realizou-se em 02 de agosto de 1999, nas primeiras horas da manhã.

As plantas eram do tipo 'Crioula', cultivadas em espaçamento 5,0 x 4,0 m, e estavam com 4 anos de idade.

### 2.2 Caracterização do Experimento

Após a colheita, os frutos foram imediatamente transportados para o Laboratório de Fisiologia e Tecnologia Pós-Colheita, da Embrapa Agroindústria Tropical, em Fortaleza, CE. Os frutos foram submetidos à seleção, com base na sanidade e uniformidade de maturação e formato, e divididos em cinco épocas de avaliação, aos 1, 2, 3, 4 e 5 dias após a colheita, cada um com quatro repetições. Cada unidade experimental foi constituída por um fruto.

TABELA 1 - Dados meteorológicos do município de Pacajus, CE, durante o ano que antecedeu a colheita dos frutos<sup>1</sup>.

MÊS/ANO	Temperatura do ar (°C)			Umidade relativa do ar (%)	Precipitação pluvial <sup>2</sup> (mm)	Insolação (h)
	Mínima	Média	Máxima			
Agosto/98	21,2	27,0	33,2	60,6	20,0	11,2
Setembro/98	22,0	27,4	33,4	58,0	3,2	7,4
Outubro/98	22,4	27,7	33,6	58,9	5,2	8,3
Novembro/98	20,9	27,4	33,1	64,3	3,1	8,9
Dezembro/98	21,0	27,7	33,2	67,7	6,0	12,0
Janeiro/99	22,1	27,2	32,3	65,0	62,8	8,2
Fevereiro/99	22,5	27,4	32,7	67,7	109,6	7,1
Março/99	22,4	26,2	30,2	78,0	216,4	4,8
Abril/99	22,2	26,7	31,1	74,0	124,8	6,0
Mai/99	21,8	26,1	30,0	77,9	141,8	4,7
Junho/99	20,6	26,1	31,2	67,1	35,9	8,5
Julho/99	20,1	27,2	32,6	60,0	1,5	9,0

<sup>1</sup>Valores obtidos da Estação Experimental de Pacajus/Embrapa Agroindústria Tropical

<sup>2</sup>Total mensal

Os frutos foram, então, armazenados em câmara fria, até a data da avaliação, à temperatura de  $26,3 \pm 0,6^\circ\text{C}$  e  $87,8 \pm 12,6\%$  de UR. Os valores de temperatura e de umidade relativa do período estudado estão registrados na FIGURA 1.

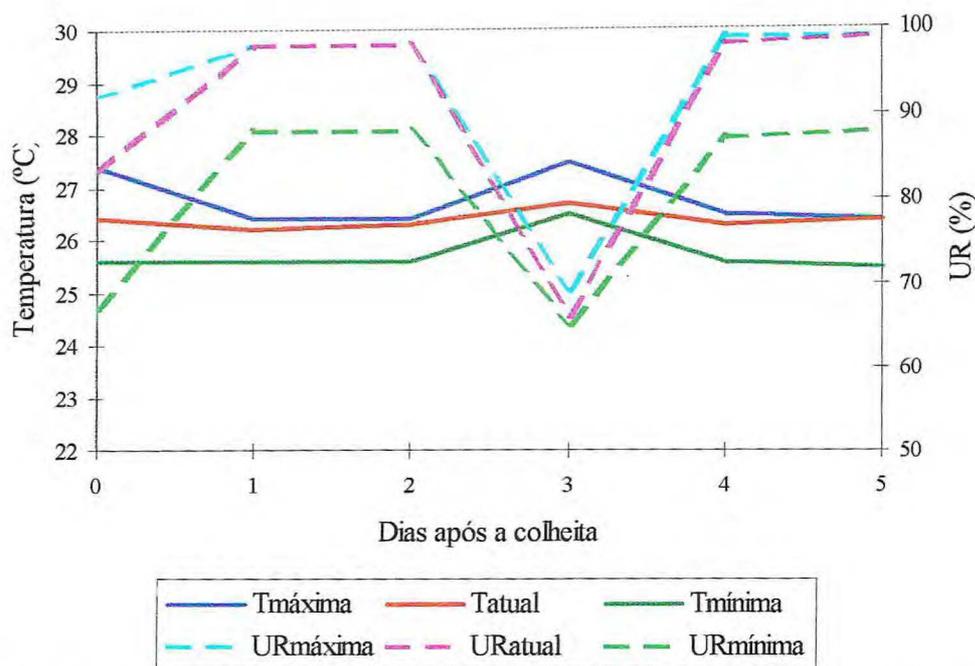


FIGURA 1 - Valores de temperatura e de umidade relativa (UR) máximas, atuais e mínimas na câmara fria, durante o período de avaliação de graviolas 'Crioula'. Considerou-se como atual o valor lido no momento da retirada dos frutos para avaliação.

### 2.3 Avaliações

As avaliações foram realizadas na região do fruto correspondente ao segundo terço. As porções de amostras destinadas às atividades de enzimas foram congeladas com  $\text{N}_2$  líquido ( $-196^\circ\text{C}$ ) e mantidas em *ultra-freezer* a  $-85^\circ\text{C}$  até que se procedesse às análises. As porções destinadas a análises de natureza físico-química e química também foram acondicionadas em *ultra-freezer*, sendo que, por ocasião das extrações, foram diluídas em água, na proporção de 1:1, dada a dificuldade de obtenção de suco da polpa, principalmente nas primeiras datas de avaliação.

Tanto as avaliações quanto as coletas das amostras da polpa foram realizadas entre 8 e 10 horas da manhã de cada dia.

As metodologias utilizadas em cada análise são especificadas a seguir:

- Perda de matéria fresca (%): obtida através do peso individual do fruto no dia da colheita e na data da avaliação, utilizando-se balança semi-analítica;

- Clorofila total ( $\text{mg}\cdot 100\text{ g}^{-1}$  de casca): determinada segundo método descrito por ENGEL & POGGIANI (1991). 1,0 g de amostra foi macerado em gral, adicionando-se gradativamente acetona 80% até a completa descoloração. O macerado foi filtrado e o volume do extrato completado para 50 mL. A quantificação da clorofila foi feita a partir de leitura da absorbância, a 652 nm, segundo a equação:

$$\text{Clorofila total} = [(A_{652}\cdot 1000\cdot v/1000\cdot w)/34,5]\cdot 100, \text{ onde}$$

v = volume final do extrato clorofila-acetona (mL)

w = peso da casca (g);

- pH: obtido através de leitura em potenciômetro com eletrodo de membrana de vidro (IAL, 1985);

- Acidez total titulável (ATT, % de ácido málico): determinada por titulação da amostra com solução de NaOH 0,1 M até o pH 8,1, conforme metodologia do IAL (1985), utilizando titulador automático METTLER DL 12;

- Sólidos solúveis totais (SST, °Brix): determinados por leitura em refratômetro digital ATAGO PR 101, escala de 0 a 45°Brix, com compensação automática de temperatura (AOAC, 1992);

- Relação SST/ATT: obtida pelo quociente entre as duas características;

- Açúcares solúveis totais (AST, % da matéria fresca): extraídos em álcool 80% e determinado usando o reagente antrona, conforme YEMN & WILLIS (1954). Partiu-se de 1,0 g de amostra diluída para 100 mL. Do filtrado obtido desta solução, retirou-se 10 mL para uma segunda diluição para 100 mL de água. Uma alíquota de 0,4 mL reagiu com 1,0 mL de antrona através de aquecimento em banho-maria a 100°C por 8 min. Após este período, as amostras foram resfriadas em banho de gelo e lidas em espectrofotômetro, a 620 nm;

- Açúcares redutores (AR, % da matéria fresca): a extração foi feita em água e a determinação realizada segundo MILLER (1959). A partir de 1,0 g de amostra diluída para 50 mL e filtrada, tomou-se 0,8 mL. A este volume, adicionou-se 0,7 mL de água e 1,0 mL de ácido dinitrossalicílico (DNS), procedendo-se a reação em banho-maria, a 100°C por 5 min. Após resfriadas em banho de gelo, o volume das amostras foi completado para 10 mL. As leituras foram feitas em espectrofotômetro, a 540 nm;

- Açúcares não-redutores (ANR, % da matéria fresca): obtidos pela diferença entre AST e AR;

- Amido (% da matéria fresca): extração feita por hidrólise ácida, conforme AOAC (1992). Diluiu-se 5,0 g de amostra em 80 mL de água em três centrifugações sucessivas (1.000 x g, 10 min), entre as quais descartava-se o sobrenadante. Ao resíduo, foram adicionados 150 mL de água destilada e 5 mL de ácido clorídrico P.A. A solução foi submetida a refluxo, após fervura, durante 2 horas, sendo, em seguida, resfriada e neutralizada com carbonato de sódio a 35%. Completou-se o volume com água para 250 mL, filtrando-se, em seguida. A partir do filtrado, determinou-se o teor de AR através do DNS, segundo MILLER (1959), multiplicando-se os resultados pelo fator 0,9, que corresponde ao rendimento da transformação da sacarose em glicose na hidrólise;

- Compostos fenólicos (% da matéria fresca): doseados, após fracionamento, conforme metodologia descrita por REICHER et al. (1981). Para cada fração, pesou-se 5,0 g de amostra e adicionou-se aproximadamente 50 mL do extrator: metanol absoluto, metanol 50% ou água, para extração respectiva de fenóis dímeros, oligoméricos e poliméricos. Na extração dos fenóis poliméricos, as amostras foram colocadas em banho-maria a 60°C, por 15 min. Para os outros tipos, o material foi submetido a refluxo por 15 min. Após a extração, todas as amostras foram agitadas por 15 min e, em seguida, filtradas a vácuo. O filtrado foi, então, evaporado até o volume aproximado de 5 mL e diluído para 50 mL. Alíquotas de 4 mL foram utilizadas para o doseamento. As leituras foram feitas em espectrofotômetro, a 720 nm;

- Pectinas total e solúvel (% da matéria fresca): extraídas a partir de 5,0 g da polpa homogeneizada em etanol 95%, segundo procedimento descrito por McREADY & McCOMB (1952). Após repouso, a amostra foi lavada por duas vezes com etanol 75%. A extração de pectina solúvel procedeu-se com filtração e diluição para 50 mL. No caso da pectina total, ajustou-se o pH para 11,5 com solução de NaOH 1 M para posterior repouso por 30 min. A seguir, o pH foi ajustado para 5,0-5,5 com ácido acético glacial para permitir as condições ideais de hidrólise por meio da pectinase (E.C. 3.2.1.15) de *Aspergillus niger*, 1,0 U.mg<sup>-1</sup> (Merck). As leituras foram feitas, da mesma forma para as duas variáveis, por colorimetria, a 520 nm, através da reação de condensação com m-hidroxidifenil, segundo BLUMENKRANTZ & ASBOE-HANSEN

(1973);

- Percentagem de solubilização de pectina: obtida através do quociente entre o conteúdo de pectina solúvel e o da total;

- Pectinametilesterase (PME,  $\text{UAE}\cdot\text{g}^{-1}$  da matéria fresca $\cdot\text{min}^{-1}$ ): a extração e a determinação da atividade seguiram recomendação de JEN & ROBINSON (1984). Homogeneizou-se 25,0 g de amostra com 50 mL de água. O homogenato resultante foi centrifugado a 15.000 x g, por 15 min, e o resíduo lavado duas vezes com 50 mL de água, antes de ser ressuspensionado em NaCl 1 M. O pH foi ajustado para 6,0 com NaOH 1 M, antes da incubação por 1 hora. Procedeu-se, então, à centrifugação por 15 min, a 15.000 x g. Até aqui, todo o procedimento foi realizado a 4°C e o sobrenadante obtido no final constituiu o extrato enzimático. A este, adicionou-se pectina cítrica a 1% em NaCl 0,1 M pH 7,0. A taxa de desmetilação do extrato foi medida por titulação com NaOH 0,025 M, mantendo-se o pH em 7,0 por 10 min. Uma unidade de atividade enzimática (UAE) foi definida como a quantidade de enzima capaz de catalisar a desmetilação de pectina correspondente ao consumo de 1 nmol de NaOH por 10 min;

- Poligalacturonase (PG,  $\text{UAE}\cdot\text{g}^{-1}$  da matéria fresca $\cdot\text{min}^{-1}$ ): a técnica de extração foi a mesma usada para a PME (JEN & ROBINSON, 1984). O extrato foi incubado com solução de ácido poligalacturônico 0,25% (lavado previamente com etanol 80%) em tampão acetato de sódio 37,5 mM pH 5,0, a 30°C por 3 h. A reação foi interrompida em banho-maria fervente e os grupos redutores liberados foram determinados pela técnica do DNS (MILLER, 1959). Admitiu-se 1 UAE de PG como a quantidade de enzima capaz de catalisar a formação de 1 nmol de grupos redutores por minuto;

- $\alpha$ - e  $\beta$ -galactosidases ( $\alpha$ - e  $\beta$ -GAL,  $\text{UAE}\cdot\text{g}^{-1}$  da matéria fresca $\cdot\text{min}^{-1}$ ): a extração procedeu-se conforme KITAGAWA et al. (1995) e a atividade foi determinada segundo DEY & PRIDHAM (1969). 20,0 g de amostra foram homogeneizadas em 20 mL de tampão fosfato acetato de sódio 0,1 M pH 5,0, contendo polivinilpirrolidona (PVP) 1%, e centrifugada a 7.000 x g por 15 min, a 4°C. O sobrenadante foi utilizado para determinação da atividade enzimática solúvel no citosol e o resíduo foi lavado quatro vezes com tampão acetato de sódio 0,02 M pH 5,0, contendo 2-mercaptoetanol 0,005 M, através de centrifugação. Foi, então, ressuspensionado em tampão acetato de sódio 0,02 M pH 5,0, contendo NaCl 3 M, antes de sofrer agitação por 12 h, mantido a

4°C. Realizou-se nova centrifugação a 15.000 x g por 20 min, a 4°C. O sobrenadante foi submetido a diálise por 24 h (4°C) e utilizado para determinação das atividades das enzimas na parede celular. Os extratos foram incubados, por 15 min, a 55°C (para determinação da atividade da  $\alpha$ -GAL) e a 37°C (para  $\beta$ -GAL), em solução dos substratos  $\alpha$ - e  $\beta$ -para-nitro-D-galactopiranosídeo 0,003 M, respectivamente, em tampão McIlwaine pH 5,0 e 4,0, nesta ordem. A reação foi interrompida com carbonato de sódio 0,1 M e as leituras realizadas em espectrofotômetro, a 400 nm. Considerou-se 1 UAE como a quantidade de atividade da enzima que produziu uma mudança de 0,001 unidade de absorvância;

- Amilase ( $\mu\text{mol maltose}\cdot\text{g}^{-1}$  da matéria fresca $\cdot\text{min}^{-1}$ ): a extração e o doseamento seguiram o método descrito por BERNFELD (1955), modificado por KHADER (1992). 5,0 g de amostra foram extraídas em tampão fosfato 0,02 M pH 6,9, contendo PVP 2% e 0,5 g de metabissulfito de sódio. Após homogeneização, a amostra foi submetida a duas centrifugações a 15.000 x g, por 15 min. Todo o procedimento de extração foi realizado a 4°C e o último sobrenadante obtido constituiu o extrato enzimático. Ao extrato, adicionou-se 0,5 mL de amido solúvel 1% em tampão fosfato 0,02 M pH 6,9, contendo PVP 2% e NaCl 0,007 M, para incubação a 37°C por 30 min. A partir daí, procedeu-se às leituras pelo método descrito por MILLER (1959);

- Polifenoloxidase (PPO, UAE $\cdot\text{g}^{-1}$  da matéria fresca $\cdot\text{min}^{-1}$ ): a extração foi feita segundo método proposto por WISSEMANN & LEE (1980), com algumas modificações. Homogeneizou-se 20 g da amostra em 20 mL de uma solução 0,05 M de tampão fosfato pH 7,0, contendo 0,1 M de KCl e 1,0 % de PVP. O homogenato foi centrifugado duas vezes a 15.000 x g por 15 min. O sobrenadante obtido constituiu a fonte enzimática. A atividade enzimática foi determinada incubando-se alíquotas de 0,05 a 0,1 mL do extrato, dependendo do estágio de maturação, e 1,85 mL de tampão fosfato 0,1 M pH 6,0, contendo KCl 0,1 M e catecol 0,1 M, durante 30 min, a 30°C. A reação foi interrompida pela adição de 0,8 mL de HClO<sub>4</sub> 2 N. Até o momento da incubação, todo o procedimento foi executado a 4°C. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro a 395 nm. O valor de 1 UAE foi definido da mesma forma que para as galactosidases;

- Peroxidase (POD, UAE $\cdot\text{g}^{-1}$  da matéria fresca $\cdot\text{min}^{-1}$ ): a extração foi realizada segundo o método descrito por WISSEMANN & LEE (1980) com as mesmas

modificações usadas para a PPO. A atividade foi medida conforme recomendação de MATSUNO & URITANI (1972), substituindo-se o substrato o-fenilenodiamina por guaiacol 1,0%, adicionado diretamente à solução tampão. As leituras foram feitas em espectrofotômetro a 470 nm. A UAE foi definida de forma idêntica às galactosidases e PPO;

- Proteína ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$  da matéria fresca): determinada segundo método descrito por BRADFORD (1976), a partir dos mesmos extratos de citosol e de parede celular utilizados para determinação das atividades das GALs.

## 2.4 Delineamento Experimental e Análise Estatística

Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, com cinco tratamentos e quatro repetições. Os dados foram submetidos a análises de variância e, para os casos em que os tratamentos foram significativos, procedeu-se às análises de regressão polinomial. Admitiu-se equações polinomiais de até 3º grau, considerando aquelas de grau superior como desvio de regressão, e coeficientes de determinação maiores que 0,70. Nos casos em que estes critérios não foram atendidos, optou-se por representar os valores médios dos tratamentos sem curva de ajuste.

Os valores de perda de matéria fresca e de açúcares redutores, expressos em percentagem, foram analisados após transformação em  $\arcsin \sqrt{\frac{x}{100}}$  e  $\sqrt{x}$ , respectivamente. Para representação gráfica, utilizou-se as médias não transformadas obtidas a partir da operação inversa à transformação.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir das análises de variância, verificou-se efeito significativo do tempo de armazenamento sobre as variáveis estudadas, com exceção dos teores de clorofila total da casca, de açúcares não-redutores, de compostos fenólicos dímeros, oligoméricos e poliméricos e de pectina solúvel (TABELAS A1 a A6).

#### 3.1 Perda de Matéria Fresca

Nas condições a que os frutos foram submetidos, a perda de matéria fresca aumentou progressivamente (FIGURA 2). Ao completar um dia de armazenamento, a perda era de 0,46% e, aos cinco dias, atingiu 5,10%. O período mais crítico foi do segundo para o terceiro dia, quando se registrou a maior perda no intervalo de um dia. Neste período, a diferença foi de 1,60% e ocorreu, provavelmente, em consequência da queda acentuada na umidade relativa registrada na câmara fria (FIGURA 1).

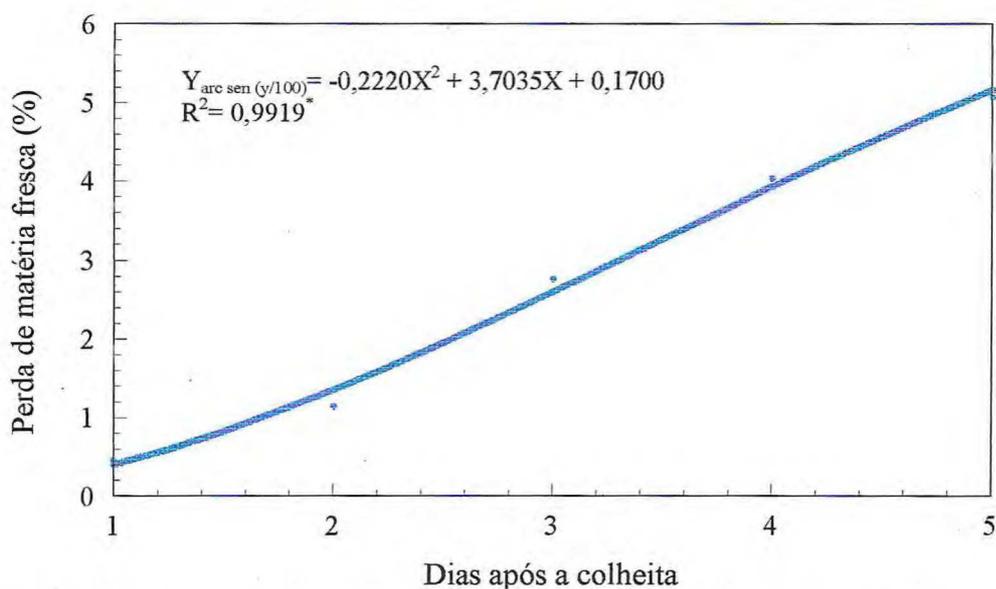


FIGURA 2 - Perda de matéria fresca de graviola 'Crioula' durante a maturação a temperatura ambiente ( $26,3 \pm 0,6^{\circ}\text{C}$  e  $87,6 \pm 12,2\% \text{UR}$ ).

Em estudo realizado por MOSCA et al. (1997), a perda de matéria fresca registrada em graviolas, após cinco dias de armazenamento a 24,5°C e 70% de UR, foi de aproximadamente 11,3%. Aos três dias, os autores já observaram valores de 7,0%. Provavelmente, a baixa UR mantida no referido estudo foi responsável pela perda de matéria fresca cerca de duas vezes maior do que a obtida neste trabalho.

A perda de matéria fresca pode ter conseqüências diretas na aparência do fruto. Segundo AWAD (1993) e WILLS et al. (1998), valores de 5% já são suficientes para promover murchamento, enrugamento e perda de consistência na maioria dos frutos e das hortaliças. Tais efeitos podem comprometer a qualidade do fruto e reduzir sua vida útil.

Ao final de cinco dias após a colheita, mesmo atingindo valores de perda de matéria fresca de cerca de 5%, as graviolas não mostraram quaisquer sinais de enrugamento ou murcha. Alguns frutos só exibem estes sinais com perdas de matéria fresca maiores. TEIXEIRA (2000) observou que bacuris (*Platonia insignis* Mart.) armazenados a temperatura ambiente, após a colheita na maturidade fisiológica, só mostraram murchamento quando a perda de matéria fresca era superior a 10%. Para graviola, MOSCA et al. (1997) concluíram que os frutos mantiveram-se em condição de consumo mesmo com perda de 11%.

### 3.2 Cor da Casca

A cor da casca, avaliada através do teor de clorofila total, não mudou após a colheita da graviola. As diferenças entre os teores de clorofila total ao longo do período estudado não foram estatisticamente significativas (FIGURA 3). O valor médio obtido foi de 58,57 mg.100 g<sup>-1</sup> de casca.

Resultados semelhantes foram obtidos por AZIZ & YUSOF (1994). Os autores concluíram que o amadurecimento da graviola não foi acompanhado por uma variação nítida na cor da casca. No entanto, observaram uma cor verde mais clara nos frutos maduros. PAULL (1982) também se referiu à mudança da cor verde escura para verde-amarelado durante o amadurecimento. O mesmo foi observado em fruta-pão [*Artocarpus altalis* (Park.) Fosb.] por WORRELL et al. (1998).

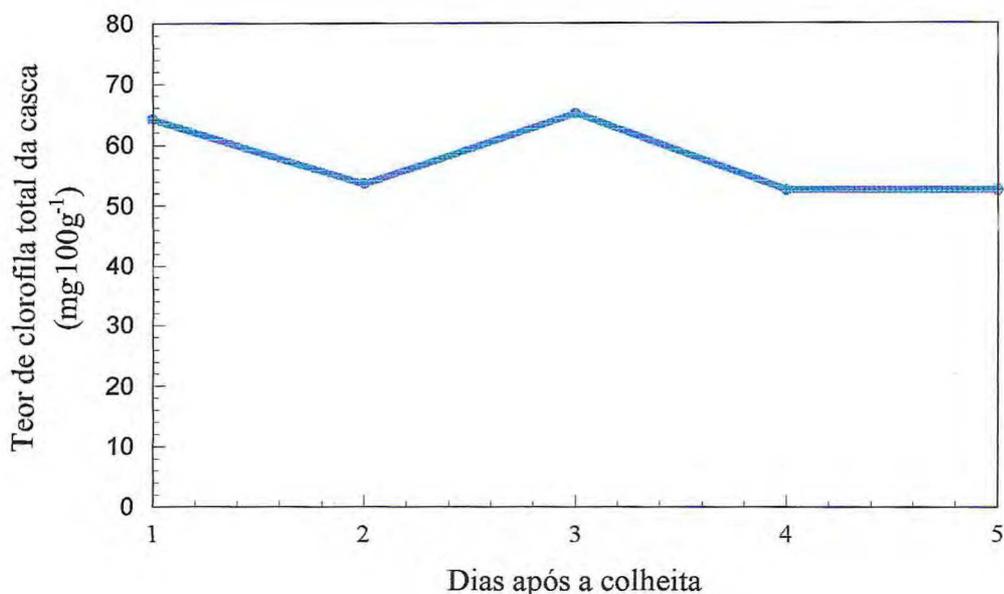


FIGURA 3 - Teor de clorofila total da casca de graviola 'Crioula' durante a maturação a temperatura ambiente ( $26,3 \pm 0,6^{\circ}\text{C}$  e  $87,6 \pm 12,2\%$  UR).

Estudos realizados por MOSCA et al. (1997), por outro lado, relataram queda nos teores de clorofila durante o amadurecimento da graviola. Os valores obtidos pelos autores são de aproximadamente  $20 \text{ mg}\cdot 100 \text{ g}^{-1}$  ao quinto dia após a colheita.

Uma vez que as respostas nem sempre são concordantes, a utilização da cor da casca não constitui um meio seguro para indicação do grau de maturidade ou determinação do ponto de colheita da graviola.

### 3.3 Acidez Total Titulável e pH

A acidez total titulável (ATT) aumentou durante a maturação, especialmente a partir do segundo dia após a colheita (FIGURA 4). Esta resposta, contrária ao que se observa na maioria dos frutos, é característica de algumas anonáceas (PAULL, 1982; PAULL et al., 1983; BRUINSMA & PAULL, 1984; WILLS et al., 1984; AZIZ & YUSOF, 1994; LIVERA & GUERRA, 1995; MUÑOZ et al., 1997).

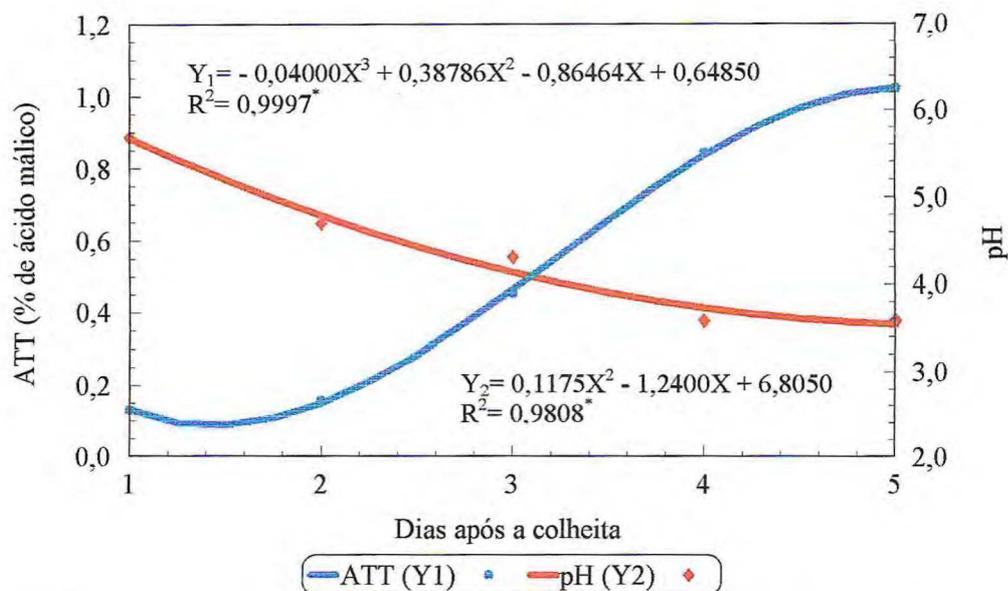


FIGURA 4 - Acidez total titulável (ATT) e pH de graviola 'Crioula' durante a maturação a temperatura ambiente ( $26,3 \pm 0,6^{\circ}\text{C}$  e  $87,6 \pm 12,2\%$  UR).

O período em que se verificou maior acúmulo na concentração de ácidos orgânicos foi do terceiro para o quarto dia. Neste período, houve um incremento de 0,37% na ATT. Ao final dos cinco dias, a ATT do fruto maduro foi de 1,02% de ácido málico. Resultados similares foram obtidos por CASTRO et al. (1984) e CRUZ et al. (2000), que registraram, respectivamente, ATT de 0,96 e 1,05% de ácido málico em graviolas maduras. Os valores observados por MOSCA et al. (1997) nos frutos maduros foram, no entanto, inferiores, aproximando-se de 0,74% de ácido málico.

Comparando-se a ATT nos frutos maduros com aquela observada no primeiro dia após a colheita, verificou-se um aumento de aproximadamente oito vezes. Esta observação concorda com a afirmação de PAULL et al. (1983) de que o conteúdo de ácido málico aumenta na referida proporção durante a maturação após a colheita.

Segundo LIVERA & GUERRA (1995), o aumento nos ácidos orgânicos durante o desenvolvimento e a maturação da graviola pode estar associado a três causas distintas. Pode ocorrer devido ao catabolismo do amido e dos carboidratos da parede celular, que também fornecem substratos para a síntese de açúcares e compostos voláteis; ou à transformação de sais dos respectivos ácidos em formas livres ou à baixa utilização destes ácidos nos processos respiratórios.

É provável que a utilização reduzida de ácidos orgânicos na respiração tenha uma contribuição mais representativa e possa ser a principal causa do acúmulo destes ácidos durante a maturação da graviola. As outras causas citadas anteriormente podem ter menor importância uma vez que, por exemplo, outros frutos que se caracterizam pelos teores altos de amido no momento da colheita apresentam queda na ATT após colhidos.

Com um dia após a colheita, o pH dos frutos era de 5,70, decrescendo a partir daí (FIGURA 4) em função, principalmente, do aumento na ATT. Aos quatro dias, o pH observado foi de 3,58, valor que se manteve até o quinto dia. Estes resultados são coerentes com os disponíveis na literatura. Em geral, o pH da graviola madura varia de 4,2 a 3,7 (PAULL, 1982; CASTRO et al., 1984; AZIZ & YUSOF, 1994; OLIVEIRA et al., 1994; MOSCA et al., 1997).

### 3.4 Sólidos Solúveis Totais

Durante o amadurecimento, observou-se aumento no teor de sólidos solúveis totais (SST) (FIGURA 5). No entanto, o acúmulo foi menos acentuado, em termos relativos, do que o observado na ATT. Ao final dos cinco dias, o teor de SST da graviola duplicou em relação ao valor inicial, alcançando 17,6°Brix. Este resultado concorda com os valores obtidos por outros autores (PAULL, 1982; CASTRO et al., 1984; AZIZ & YUSOF, 1994; MOSCA et al., 1997).

O período de maior acúmulo ocorreu entre o terceiro e o quarto dia, quando houve um incremento de 4,3°Brix. A partir do quarto dia, quando os frutos estavam com 16,9°Brix, o teor de SST tendeu à estabilização, com um pequeno ganho (0,7°Brix) no fruto maduro.

Segundo SIGRIST (1992), o aumento no teor de SST durante a maturação é atribuído principalmente à hidrólise dos carboidratos de reserva acumulados durante o crescimento do fruto na planta. O resultado desta hidrólise é a produção de açúcares solúveis totais (AST).

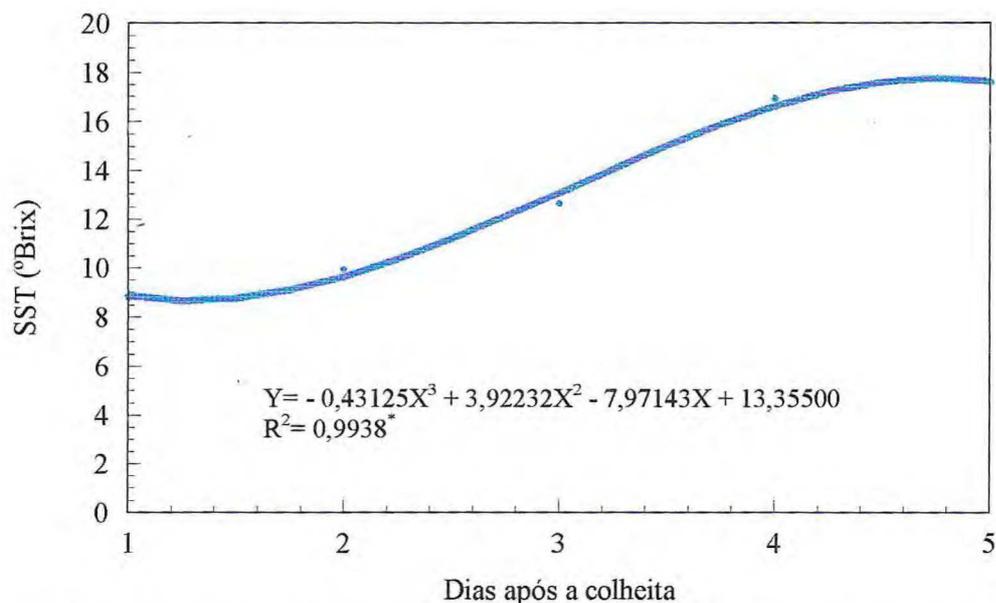


FIGURA 5 – Teor de sólidos solúveis totais (SST) de graviola ‘Crioula’ durante a maturação a temperatura ambiente ( $26,3 \pm 0,6^{\circ}\text{C}$  e  $87,6 \pm 12,2\%$  UR).

### 3.5 Relação SST/ATT

Como consequência principalmente do aumento na ATT, a relação SST/ATT diminuiu ao longo do período avaliado (FIGURA 6). Até o segundo dia após a colheita as mudanças foram pouco representativas uma vez que as duas variáveis envolvidas na relação tiveram apenas pequenos incrementos, conforme FIGURAS 4 e 5. A partir do segundo dia, verificou-se uma queda acentuada, equivalente a 56% do valor obtido naquela data (70,41). A redução observada do terceiro para o quarto dia foi menos acentuada. Nesta ocasião, a relação SST/ATT era de 21,20. Nos frutos maduros, o valor foi de 18,19.

Esta relação é um dos índices de maturação mais utilizados pois, através do balanço entre açúcares e ácidos, indica o sabor dos frutos (CHITARRA & CHITARRA, 1990).

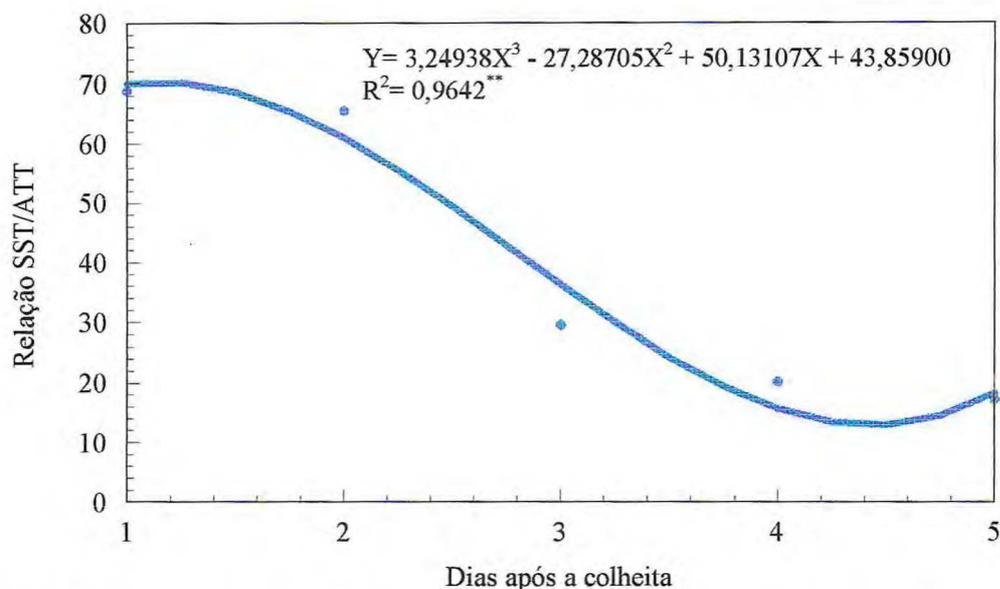


FIGURA 6 – Relação sólidos solúveis totais (SST)/acidez total titulável (ATT) de graviola ‘Crioula’ durante a maturação a temperatura ambiente ( $26,3 \pm 0,6^{\circ}\text{C}$  e  $87,6 \pm 12,2\%$  UR).

### 3.6 Açúcares

O teor de AST (FIGURA 7), como principal constituinte dos SST, acompanhou o aumento observado neste após a colheita. Os frutos, no primeiro dia após a colheita, tinham 5,35% de AST, que representavam 66,73% do teor de SST naquela data (8,8°Brix). Com a maturação, verificou-se ganhos crescentes nos teores de AST, que, inclusive, passaram a representar percentuais cada vez maiores dos SST. O período de maior acúmulo compreendeu de 2 a 4 dias após a colheita, notadamente do terceiro para o quarto dia. Esta fase coincidiu com o maior incremento em SST, conforme FIGURA 5, e caracterizou-se por um aumento de cerca de 1,6 vezes nos teores de AST. A partir daí, os níveis se mantiveram praticamente estáveis. Aos cinco dias após a colheita, os frutos tinham 13,96% de AST, que equivaliam a 79,32% dos SST.

Resultados semelhantes foram obtidos por PAULL (1982) para o intervalo de 1 a 5 dias. Os frutos maduros alcançaram quase 16,0% de AST. Em estudos realizados por CASTRO et al. (1984), o teor de AST nas graviolas maduras foi de 12,8%, enquanto AZIZ & YUSOF (1994) obtiveram 11,2%.

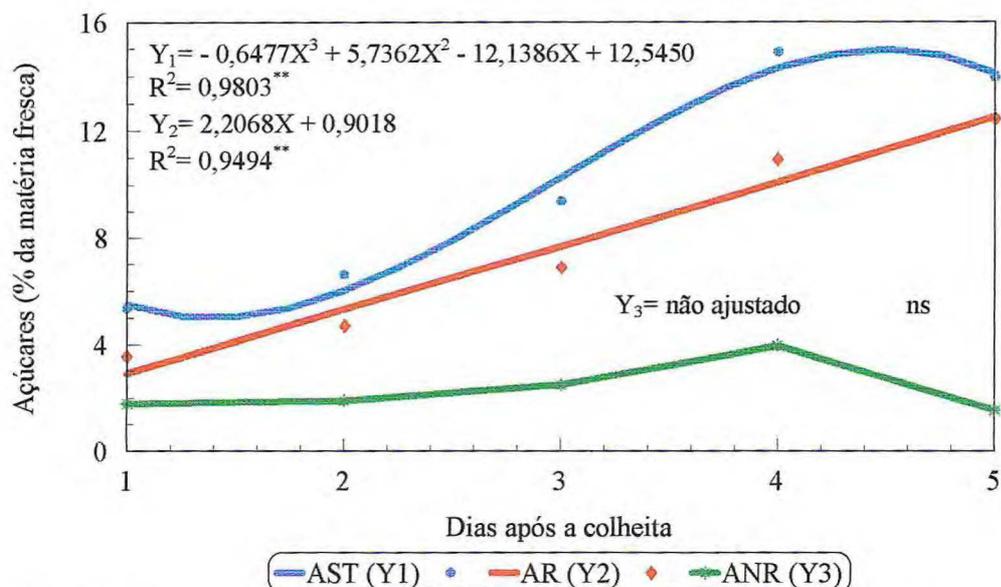


FIGURA 7 – Teor de açúcares solúveis totais (AST), de açúcares redutores (AR) e de açúcares não-redutores (ANR) de graviola ‘Crioula’ durante a maturação a temperatura ambiente ( $26,3 \pm 0,6^{\circ}\text{C}$  e  $87,6 \pm 12,2\%$  UR).

O aumento no conteúdo de açúcares após a colheita é comum a vários frutos e ocorre devido à degradação do amido (KRISHNAMURTHY & SUBRAMANYAM, 1973; FUCHS et al., 1980). OHYAMA et al. (1995) citam o produto da reação catalisada pela sacarose sintase como outra possível fonte de hexoses. No entanto, diferenças dentro de uma mesma espécie ocorrem em função de fatores como cultivar, tipo de solo, condições climáticas antes da colheita (WHITING, 1970) e estádios de maturação (AZIZ & YUSOF, 1994).

O conteúdo de açúcares redutores (AR), cujos principais são glicose e frutose, aumentou linearmente durante a maturação da graviola (FIGURA 7). Os frutos maduros apresentaram valores de AR iguais a 12,42%, que foi aproximadamente quatro vezes maior do que o inicial (3,57%). Esta resposta, segundo WHITING (1970), é comum tanto a frutos climatéricos quanto aos não-climatéricos.

Alguns estudos realizados em graviola têm mostrado valores de AR, respectivamente entre frutos maduros e maduros, de 3,60 e 10,20% (CASTRO et al., 1984), 3,0 e 8,0% (PAULL et al., 1983) e de 3,0 e 9,0 % (AZIZ & YUSOF, 1994).

Glicose e frutose estão presentes em quantidades similares durante o desenvolvimento e a maturação da graviola. No entanto, quando o fruto atinge o estágio

ótimo para consumo tem se verificado níveis levemente maiores de um dos açúcares. AZIZ & YUSOF (1994) observaram teores de glicose levemente superiores enquanto PAULL et al. (1983) verificaram o inverso.

O conteúdo de açúcares não-redutores (ANR) não apresentou variações estatisticamente significativas durante o período (FIGURA 7). Os valores observados deste grupo de açúcares foram menores que os de AR. No primeiro dia após a colheita, os frutos tiveram valores de ANR de 1,78% enquanto nos maduros, os valores foram de 1,53%. Aos quatro dias após a colheita, observou-se tendência de incremento nos níveis de ANR que alcançaram 3,96%.

Resultados semelhantes foram obtidos por PAULL et al. (1983), que registraram aumento de quatro vezes no teor de sacarose, principal ANR, aos três dias após a colheita. Nesta ocasião, os valores obtidos foram de aproximadamente 4,2%. A partir daí, houve rápido declínio.

As proporções observadas entre ANR e AR foram crescentes uma vez que os teores de AR aumentaram linearmente. Os valores inicialmente obtidos foram de 1:2,00, com pequeno aumento até o terceiro dia. Entre 3 e 4 dias após a colheita, a proporção se manteve estável em 1:2,76. Em período equivalente, PAULL et al. (1983) observaram que a proporção era de 1:1,44 enquanto AZIZ & YUSOF (1994) registraram 1:3,66.

Nas graviolas maduras, a proporção entre ANR e AR mostrou um grande incremento, atingindo 1:8,12. Estes resultados foram bastante superiores aos observados por PAULL et al. (1983). Os autores obtiveram relação de 1:3,00 quando os frutos estavam no estágio ideal para consumo.

A importância da proporção ANR:AR está diretamente relacionada ao grau de doçura dos frutos (PANGORB, 1963). Considerando que a frutose possui grau de doçura maior que a sacarose e a glicose, e que os dois AR estão em proporções aproximadamente iguais na graviola (PAULL et al., 1983; AZIZ & YUSOF, 1994), os frutos que apresentarem predomínio de AR em relação aos ANR serão mais doces.

### 3.7 Compostos Fenólicos

Os teores dos compostos fenólicos dímeros, oligoméricos e poliméricos não tiveram variação estatisticamente significativa durante a maturação da graviola. Os valores dos fenólicos dímeros se mantiveram praticamente constantes até que os frutos estivessem maduros (FIGURA 8). Durante o período, o valor médio deste grupo de compostos fenólicos foi de 0,13%.

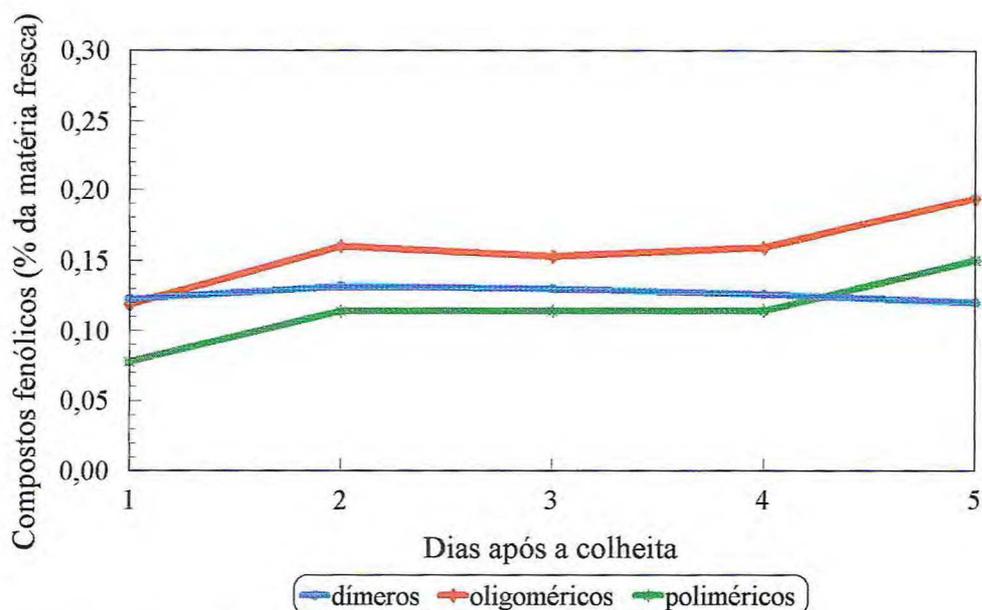


FIGURA 8 – Teor de compostos fenólicos dímeros, oligoméricos e poliméricos de graviola ‘Crioula’ durante a maturação a temperatura ambiente ( $26,3 \pm 0,6^{\circ}\text{C}$  e  $87,6 \pm 12,2\%$  UR).

Os compostos fenólicos oligoméricos e poliméricos apresentaram um paralelismo durante o período, de forma que do segundo até o quarto dia após a colheita, os níveis estiveram constantes (FIGURA 8). Nos períodos anterior e posterior, foi possível se observar uma tendência de aumento. Os valores médios de compostos fenólicos oligoméricos e poliméricos obtidos durante os cinco dias foram 0,16 e 0,11%, respectivamente.

As comparações destes resultados com outros fica limitada pela divergência entre os métodos de extração, que quantificam tipos variados de fenólicos. CASTRO et al. (1984), estudando o conteúdo de taninos na graviola, observaram variações pequenas. Comparando frutos verdes e maduros, os autores quantificaram teores de

taninos de 0,25 e 0,22%, respectivamente. Porém, AZIZ & YUSOF (1994) observaram decréscimo no teor de taninos da graviola durante o amadurecimento, até atingir cerca de 0,08%. O mesmo comportamento foi constatado por PAULL (1982), que registrou aproximadamente 0,07% de fenólicos em graviola madura. Para OLIVEIRA et al. (1994), o conteúdo de fenólicos totais na graviola madura foi de 0,87%.

Outros frutos, como maçã (MURATA et al., 1995) e goiaba (BULK et al., 1997), têm mostrado reduções nos níveis de compostos fenólicos durante a maturação. Segundo AZIZ & YUSOF (1994), a perda de adstringência da graviola é consequência deste decréscimo e do concomitante acúmulo de açúcares que ocorre no amadurecimento.

### 3.8 Polifenoloxidase e Peroxidase

A atividade da enzima polifenoloxidase (PPO) aumentou desde o primeiro até o quarto dia após a colheita, quando se observou leve decréscimo (FIGURA 9). O maior incremento ocorreu do primeiro para o segundo dia. Neste período, a atividade aumentou de 243,14 para 400,26  $\text{UAE.g}^{-1}.\text{min}^{-1}$ .

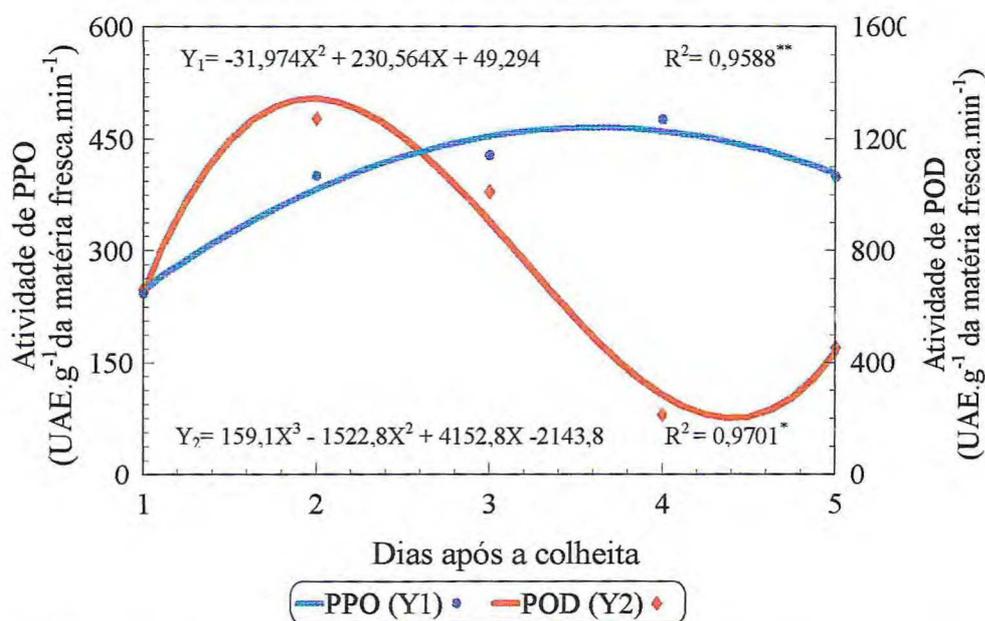


FIGURA 9 – Atividade das enzimas polifenoloxidase (PPO) e peroxidase (POD) de graviola ‘Crioula’ durante a maturação a temperatura ambiente ( $26,3 \pm 0,6^\circ\text{C}$  e  $87,6 \pm 12,2\%$  UR).

Estudos realizados por OLIVEIRA et al. (1994) demonstraram que a atividade da PPO decresceu com a maturação da graviola. Contudo, os autores expressaram a atividade da enzima com base no teor de proteína (atividade específica), de forma que qualquer variação neste afetaria a atividade da PPO. Além disso, associadas às variações ao longo do tempo de vida dos frutos, diferenças genéticas numa mesma espécie respondem por níveis distintos de suscetibilidade ao escurecimento oxidativo, indicando uma complexa interação entre atividade das enzimas envolvidas e quantidade e tipos de compostos fenólicos presentes (ROBARDS et al., 1999; SILVA, 2000).

MURATA et al. (1995) também observaram decréscimo na atividade específica da PPO durante o amadurecimento de maçã 'Fuji'. Em goiaba, por outro lado, MOWLAH & ITOO (1982) registraram incrementos, que, segundo os autores, podem estar associados à queda no teor de polifenóis e, conseqüentemente, à perda de adstringência.

Com o avanço da maturação e o início da senescência, as membranas das organelas se desintegram e liberam a enzima, que tem sua atividade alterada (SILVA, 2000). Desta forma, MAYER & HAREL (1981) admitem que a atividade da enzima no fruto maduro deve ser apenas residual e que sua função seria mais importante durante o desenvolvimento inicial.

Com relação à atividade da peroxidase (POD), verificou-se um aumento inicial de 1,92 vezes, alcançando-se o valor máximo de 1.273, 28 UAE.g<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>, seguido de uma queda acentuada até os quatro dias após a colheita (FIGURA 9). A maior variação na atividade foi observada do terceiro para o quarto dia, quando se registrou os menores níveis de atividade (214,55 UAE.g<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>). No final do período, a atividade da enzima mais que duplicou, embora se mantivesse abaixo da inicial.

Comparando-se as atividades da POD e da PPO, constata-se que a primeira além dos níveis mais altos, apresentou variações mais pronunciadas. Ainda, as atividades mais baixas observadas a partir do segundo dia após a colheita podem estar associadas à menor suscetibilidade ao escurecimento da polpa durante o amadurecimento da graviola, relatada por OLIVEIRA et al. (1994).

Reduções acentuadas na atividade específica da POD foram obtidas por CIVELLO et al. (1995), em morango. Por outro lado, em lichia (*Litch chinensis* Sonn.),

colhida aos 102 dias após a floração, FINGER et al. (1997) registraram aumento de duas vezes na atividade da POD, num intervalo de cinco dias de armazenamento a 24°C.

Alguns estudos têm associado a atividade da POD a alterações próprias do amadurecimento. INGHAM et al. (1998) sugeriram que, em maçã, o pico de atividade é observado quando a firmeza do fruto cai para metade do valor obtido na colheita.

Deve-se ressaltar, contudo, que mesmo nos casos em que a atividade da POD é alta, sua ação isolada raramente é importante. A enzima depende da presença da PPO no meio, gerando o H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> necessário à ocorrência da oxidação (ROBARDS et al., 1999).

### 3.9 Amido e Amilase

O teor de amido decresceu linearmente após a colheita, partindo de 10,52% (FIGURA 10). No entanto, analisando-se as médias dos dados originais, observa-se que entre o terceiro e o quarto dia houve uma queda mais marcante, correspondendo a uma variação de 5,22%. Em apenas um dia, a intensa atividade degradativa reduziu o teor de amido de 7,90 para 2,68%. Os frutos maduros, ainda assim, tiveram um conteúdo de amido alto (1,68%).

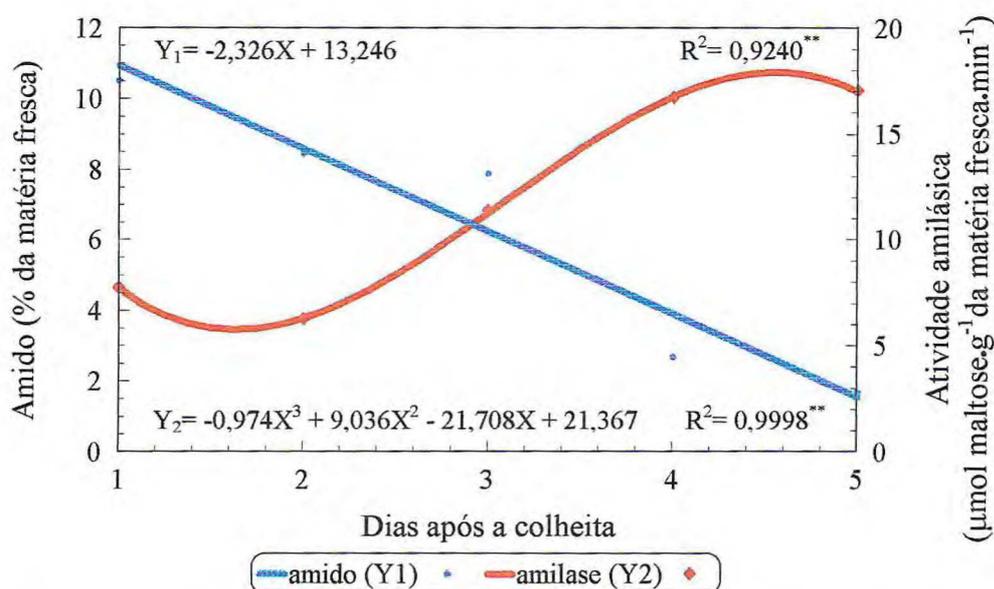


FIGURA 10 – Teor de amido e atividade amilásica de graviola ‘Crioula’ durante a maturação a temperatura ambiente ( $26,3 \pm 0,6^{\circ}\text{C}$  e  $87,6 \pm 12,2\%$  UR).

Em estudos realizados por PAULL et al. (1983), no entanto, o período de maior degradação do amido na graviola ocorreu entre o primeiro e o segundo dia após a colheita, quando os teores caíram de 6,1 para 1,2%, aproximadamente. Possivelmente, a colheita foi realizada em estágio mais avançado do que o usado neste trabalho.

Os resultados obtidos por PAULL (1990) confirmam a alta degradação do amido na graviola. O autor também verificou que a maior taxa degradativa ocorreu entre o terceiro e o quarto dia após a colheita.

A atividade amilásica que, no primeiro dia após a colheita dos frutos, era de 7,74  $\mu\text{mol maltose}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ , aumentou a partir do segundo dia (FIGURA 10). O período de maior atividade coincidiu com o de maior degradação do amido. Entre o terceiro e o quarto dia, observou-se incremento de 5,35  $\mu\text{mol maltose}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  na atividade, que atingiu 16,72  $\mu\text{mol maltose}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ . Após o quarto dia, quando os níveis de amido estavam reduzidos a 25% do teor inicial, a atividade amilásica teve pouca variação. Nos frutos maduros, a atividade da enzima equivaleu a 17,02  $\mu\text{mol maltose}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ .

A atividade amilásica também foi determinada, em graviola, por PAULL et al. (1983). Segundo os autores, durante o amadurecimento ocorreu aumento, principalmente a partir do início da produção de etileno. Por ocasião do climatério, a atividade específica da amilase aumentou 17,5 vezes em relação à que foi determinada no pré-climatério.

De acordo com FUCHS et al. (1980), em manga, imediatamente após a colheita há atividade amilásica suficiente para iniciar a hidrólise do amido e somente depois ocorre atividade adicional. Esta atividade adicional promove maior incremento na taxa de degradação do amido. Em frutos sobremaduros, por outro lado, a atividade amilásica é substancialmente reduzida.

Em banana, AGRAVANTE et al. (1990), avaliando as atividades da  $\alpha$ - e  $\beta$ -amilase, verificaram que a primeira não muda expressivamente durante o amadurecimento. Já a atividade da  $\beta$ -amilase aumentou em associação à degradação do amido para depois diminuir quando a hidrólise estava praticamente completa.

Segundo IRVING et al. (1999), o aumento na atividade amilásica após a colheita pode estar relacionado ao ato de separação da planta, que impossibilita a translocação de carboidratos das folhas para o fruto. Este estresse desencadearia, então, o início da degradação do amido.

### 3.10 Pectinas

Até os três dias após a colheita, observou-se aumento no teor de pectina total de 0,38 para 0,54% (FIGURA 11). A partir daí, houve um rápido decréscimo que reduziu o conteúdo para 0,24%, aos quatro dias após a colheita. Ao final do estudo, os teores de pectina total tiveram um pequeno aumento.

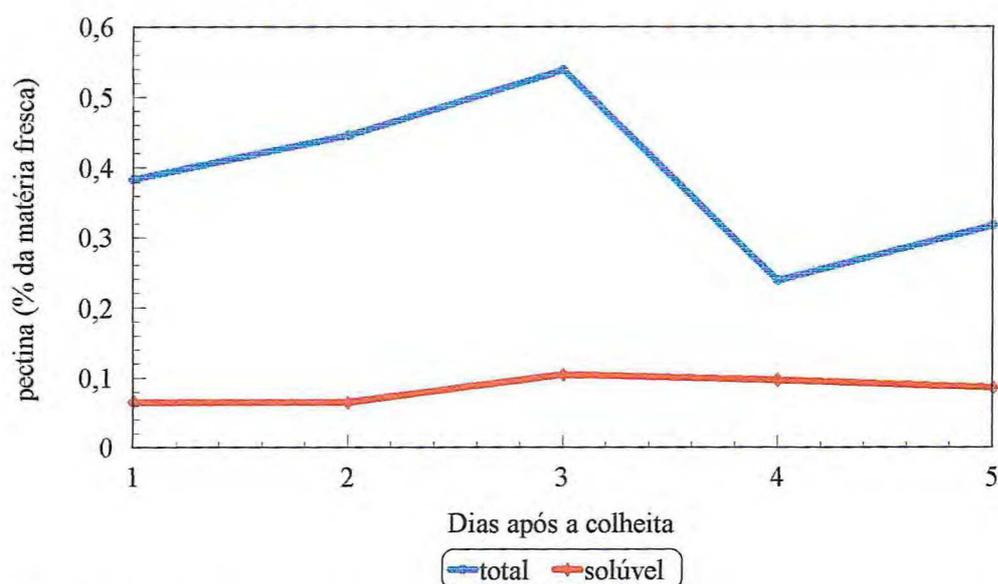


FIGURA 11 – Teores de pectina total e solúvel de graviola ‘Crioula’ durante a maturação a temperatura ambiente ( $26,3 \pm 0,6^{\circ}\text{C}$  e  $87,6 \pm 12,2\%$  UR).

Segundo TANDON & KALRA (1984) e ESTEBAN et al. (1993), em manga e berinjela, respectivamente, a protopectina aumenta antes da maturidade fisiológica e decresce, em seguida, com o amadurecimento e o amaciamento. Esta fração péctica, juntamente com outros materiais cimentantes, é responsável pela manutenção da firmeza.

Os teores de pectina solúvel, por outro lado, não tiveram alterações significativas durante o período experimental (FIGURA 11). Em média, os frutos tiveram 0,08% de pectina solúvel. Entretanto, as variações observadas nos teores de pectina total resultaram em mudanças consideráveis na percentagem de solubilização de pectinas (FIGURA 12). Incrementos na referida solubilização foram observados até quatro dias após a colheita, principalmente entre o terceiro e o quarto dia. Nesta ocasião, a solubilização de pectinas atingiu 44,26%.

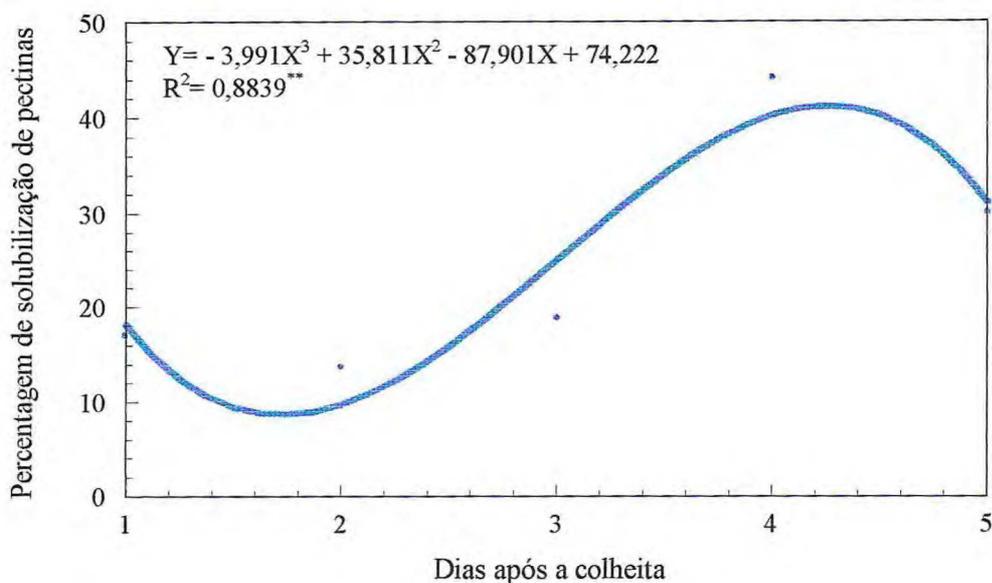


FIGURA 12 – Percentagem de solubilização de pectinas de graviola 'Crioula' durante a maturação a temperatura ambiente ( $26,3 \pm 0,6^\circ\text{C}$  e  $87,6 \pm 12,2\%$  UR).

Em consequência do aumento no teor de pectina total observado aos cinco dias após a colheita, a porcentagem de solubilização foi reduzida. Nos frutos maduros, o valor obtido foi de 30,16%.

AZIZ & YUSOF (1994) verificaram declínio nos teores de pectina total e solúvel, durante o amadurecimento da graviola, ao mesmo tempo em que o fruto amaciava. A mesma resposta é registrada em outros frutos, como banana (KOJIMA et al., 1994), cereja (BATTISSE et al., 1994), durian (KETSA & DAENGGANIT, 1999), kiwi (REDGWELL & HARKER, 1995), maçã (YOSHIOKA et al., 1992), manga (ROE & BRUEMMER, 1981; TANDON & KALRA, 1984), melão (McCOLLUM et al., 1989) e pêra (YOSHIOKA et al., 1992; MARTIN-CABREJAS et al., 1994), além de hortaliças (ESTEBAN et al., 1993). Segundo McCOLLUM et al. (1989), o aumento na solubilidade da pectina, provavelmente, deve-se à clivagem das ligações entre a pectina e a hemicelulose.

Contudo, outros estudos como os desenvolvidos por TEIXEIRA (2000) em bacuri, à semelhança destes resultados com graviola, não revelaram aumento no conteúdo de pectina solúvel após a colheita.

Em geral, as alterações nos teores de pectina durante o amadurecimento estão associadas à degradação enzimática. Porém, a conformação estrutural da molécula, unida, pelo menos parcialmente, por interações não-covalentes, reforça a possibilidade de degradação não enzimática. Os principais fatores envolvidos neste último tipo são o pH e a força iônica da parede celular (SEYMOUR & GROSS, 1996).

### 3.11 Pectinametilesterase e Poligalacturonase

Durante o amadurecimento, a atividade da pectinametilesterase (PME) teve incrementos bastante expressivos (FIGURA 13). No primeiro dia após a colheita, a atividade da enzima era de  $292,38 \text{ UAE}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  e num intervalo de apenas um dia aumentou em sete vezes. Entre o terceiro e o quarto dia após a colheita, observou-se o maior incremento na atividade ( $2.468,92 \text{ UAE}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ). Ao término do período de estudo, a atividade foi quase 23 vezes maior do que a inicial, alcançando valores de  $6.650,24 \text{ UAE}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ .

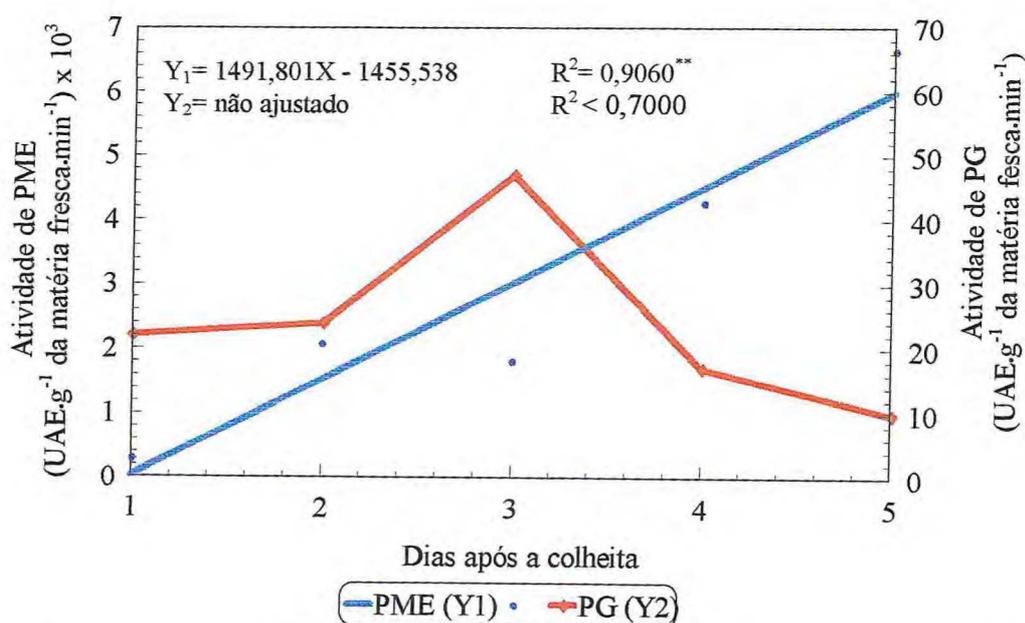


FIGURA 13 – Atividade das enzimas pectinametilesterase (PME) e poligalacturonase (PG) de graviola ‘Crioula’ durante a maturação a temperatura ambiente ( $26,3 \pm 0,6^\circ\text{C}$  e  $87,6 \pm 12,2\%$  UR).

Esta resposta, contudo, nem sempre é observada. Segundo TUCKER (1993), a atividade total da PME pode diminuir, permanecer constante ou aumentar durante a maturação, dependendo do fruto ou do método de extração. Em tomates 'Better Boy' e 'Short Red', PRESSEY & WOODS (1992) relataram aumentos na atividade total da PME de 2,5 e 2,7 vezes, respectivamente. KETSA & DAENGGANIT (1999) observaram apenas um leve aumento na atividade da enzima, em durian. Os autores ressaltaram que a atividade da PME já estava presente no fruto antes que a poligalacturonase (PG) fosse detectada.

Reduções na atividade da PME durante o amadurecimento são referidas, por exemplo, em abacate (SEYMOUR & TUCKER, 1993). Em melão, apesar da enzima não apresentar atividade substancial (MENEZES et al., 1997), os valores podem permanecer constante ou diminuir (SEYMOUR & McGLASSON, 1993).

Em manga, tem-se obtido resultados variáveis dependendo da cultivar. Estudos desenvolvidos com as cultivares Keitt (ROE & BRUEMMER, 1981), Dr Knight e Kitchner (ABU-SARRA & ABU-GOUKH, 1992) mostraram diminuição na atividade da PME durante os primeiros estádios de amadurecimento, com posterior estabilização. Já nas mangas 'Carabao' (LIZADA, 1993) e 'Abu-Samaka' (ABU-SARRA & ABU-GOUKH, 1992), verificou-se aumento inicial e subsequente decréscimo.

Como conseqüência destas variações, a correlação entre o nível de atividade enzimática da PME e o amaciamento da parede celular ainda não está clara (JOHN & DEY, 1986).

As mudanças na atividade da PME são complicadas também pela presença de isoformas ou inibidores enzimáticos (TUCKER, 1993). Um destes inibidores, conforme BORDENAVE & GOLDBERG (1993), é o  $H_3O^+$  que a enzima gera quando desmetila seus substratos.

Segundo BORDENAVE (1996), devido à alta especificidade das PMEs por metil-ésteres de galacturonanas, a desesterificação de pectinas que promove nunca é completa. Além disso, o processo não resulta diretamente no amaciamento, devendo anteceder a efetiva degradação da pectina pela PG (KAYS, 1991). Assim, SEYMOUR et al. (1987) concluíram que a solubilização de poliuronídeos em tomates maduros pode ser resultante da atividade conjunta da PME e da PG.

A atividade da PG praticamente não teve alterações até dois dias após a colheita (FIGURA 13). A partir daí, observou-se mudanças acentuadas em intervalo de tempo bastante curto. Aos três dias após a colheita, a atividade duplicou, atingindo o máximo de  $46,98 \text{ UAE}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ . Este caiu para  $16,94 \text{ UAE}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ , aos quatro dias, quando se verificou a variação mais marcante na atividade da enzima. O período coincidiu com uma queda brusca no teor de pectina total (FIGURA 11) e com a maior solubilização de pectinas (FIGURA 12), sugerindo que a maior parte dos substratos da PG foram imediatamente utilizados, quando se obteve a máxima atividade.

O decréscimo continuou até o quinto dia embora com menor intensidade. Nesta ocasião, a atividade da PG nas graviolas era de apenas  $9,92 \text{ UAE}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ .

Estudos anteriores feitos por AZIZ & YUSOF (1994) relataram um incremento bastante significativo na atividade específica da PG em graviolas no climatério comparados àqueles no pré-climatério. Nos frutos que estavam no pico de produção de etileno, a atividade foi de  $1,25 \text{ mg glicose}\cdot\text{mg proteína}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ .

À semelhança do que ocorre com a PME, a atividade da PG apresenta respostas diferentes entre espécies, durante o amadurecimento. Assim, ROE & BRUEMMER (1981) e ABU-SARRA & ABU-GOUKH (1992) registraram aumento na atividade da PG de manga. ABU-SARRA & ABU-GOUKH (1992) observaram, inclusive, uma correlação muito alta ( $r^2 > 0,96$ ) entre o aumento da atividade da enzima e a perda de firmeza do fruto. Segundo GIOVANNONI et al. (1989), numerosas evidências suportam um papel da PG na degradação de poliuronídeos, no amaciamento dos frutos e talvez na regulação de outros componentes do amadurecimento. No que se refere aos poliuronídeos, a atividade da PG resulta na solubilização dos mesmos, que têm sua massa molar progressivamente reduzido quando o fruto amacia (YOSHIOKA et al., 1992). Em banana, o decréscimo no conteúdo de polímeros de ácidos urônicos da parede celular da polpa e o aumento na proporção de formas solúveis são indicativos da ação da exo-PG (WADE et al., 1993).

Entretanto, em alguns frutos, como kiwi, a PG não está diretamente associada à solubilização de pectinas (REDGWELL et al., 1992). Em durian, apesar da forte correlação entre atividade da PG e o amaciamento do arilo, somente a ação da enzima não deve ser suficiente para promover tal efeito (KETSA & DAENKANIT, 1999).

Finalmente, há casos em que a atividade da PG não foi detectada ou não apresentou níveis expressivos (CUTILLAS-ITURRALDE et al., 1993; MENEZES et al., 1997).

### 3.12 $\alpha$ - e $\beta$ -galactosidases

As variações nas atividades das  $\alpha$ -galactosidases ( $\alpha$ -GAL), extraídas do citosol e da parede celular, ocorreram a partir do segundo dia (FIGURA 14). A atividade da  $\alpha$ -GAL citosólica aumentou em quatro vezes do segundo para o terceiro dia após a colheita, quando alcançou o valor máximo (1.268,74 UAE.g<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>). A partir daí, verificou-se uma redução de 60%, que se manteve até o término do período. Para a  $\alpha$ -GAL de parede celular, os níveis de atividade foram inferiores e decresceram ao longo do tempo. Sua importância para o amaciamento do fruto deve, então, ser secundária.

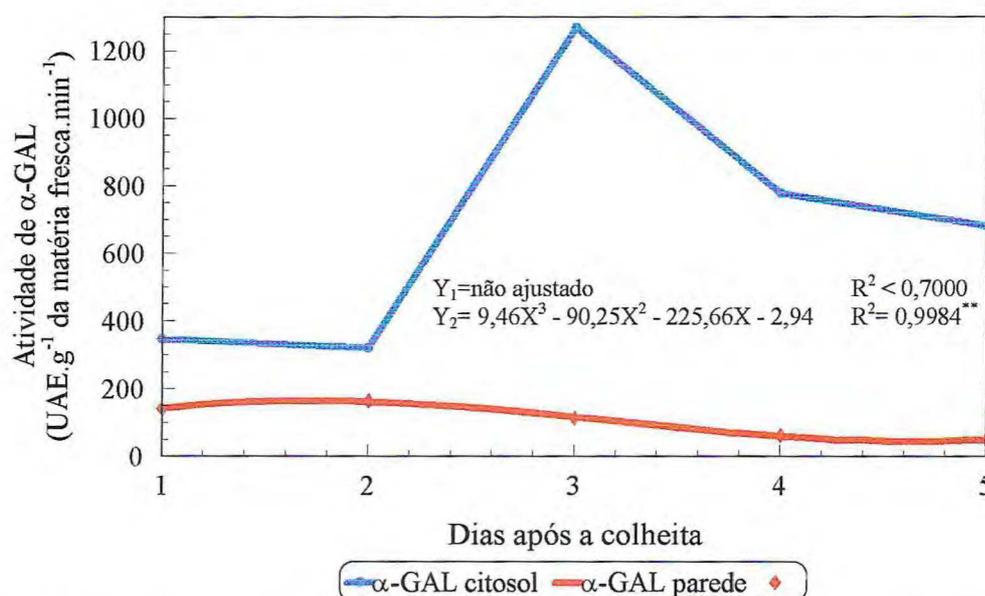


FIGURA 14 – Atividades de  $\alpha$ -galactosidases ( $\alpha$ -GAL) de graviola ‘Crioula’ durante a maturação a temperatura ambiente ( $26,3 \pm 0,6^{\circ}\text{C}$  e  $87,6 \pm 12,2\%$  UR).

Apesar dos poucos estudos sobre a ação de  $\alpha$ -GALs no amadurecimento, em alguns casos, a importância da enzima tem sido destacada. ITOH et al. (1986) observaram atividades altas em melancia. Da mesma forma, em uva, a atividade da  $\alpha$ -GAL aumenta em cerca de 15 vezes durante o amadurecimento (KANG & LEE, 2001).

Na literatura, alguns trabalhos ressaltam a atividade das GALs através das alterações em açúcares neutros, como arabinose e galactose, constituintes dos poliuronídeos (CUTILLAS-ITURRALDE et al., 1993; YOSHIOKA et al., 1994, 1995; REDGWELL & HARKER, 1995; GALLEGO & ZARRA, 1997, 1998). Segundo YOSHIOKA et al. (1994), a liberação de resíduos de açúcares neutros das cadeias laterais de poliuronídeos pode estar envolvida na sua solubilização, durante o amaciamento. A liberação destes açúcares tem sido atribuída às glicosilhidrolases associadas à parede celular (GALLEGO & ZARRA, 1998). Tais enzimas são, em geral, sintetizadas e exportadas a partir do citoplasma para a parede celular (BRADY, 1987).

Neste estudo, a atividade da  $\alpha$ -GAL de parede representou proporções cada vez menores da atividade  $\alpha$ -galactosidásica total, a partir de dois dias após a colheita, quando representava 33,94% (FIGURA 14). Nas graviolas maduras, esta percentagem era de apenas 6,92. Por sua vez, trabalhos realizados em laranja 'Valência' demonstraram que mais de 75% da atividade das GALs está na fração extraída da parede celular (BURNS, 1990).

Segundo GROSS et al. (1995), a suscetibilidade do esqueleto de pectina às hidrolases aumenta com a remoção de açúcares neutros das cadeias laterais. Porém, diferenças na relação entre perda de galactose e solubilização de pectinas, conforme observado em kiwi, sugerem que o último processo ocorre em consequência do amadurecimento e que o primeiro tem várias funções no metabolismo da parede celular (REDGWELL & HARKER, 1995).

As atividades das  $\beta$ -GALs durante o amadurecimento foram distintas daquelas observadas para as  $\alpha$ -GALs (FIGURA 15). A atividade da  $\beta$ -GAL citosólica, apesar dos valores mais altos em relação às demais, decresceu até 784,00 UAE.g<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>. Esta resposta sugere exportação da enzima para a parede celular já que a atividade da  $\beta$ -GAL de parede celular aumentou de 139,87 para 621,74 UAE.g<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup> no intervalo de um a quatro dias após a colheita. No quinto dia, a atividade foi reduzida à metade. A proporção da atividade da  $\beta$ -GAL de parede celular em relação à atividade  $\beta$ -galactosidásica total, consequentemente, aumentou durante todo o período, atingindo 43,98%.

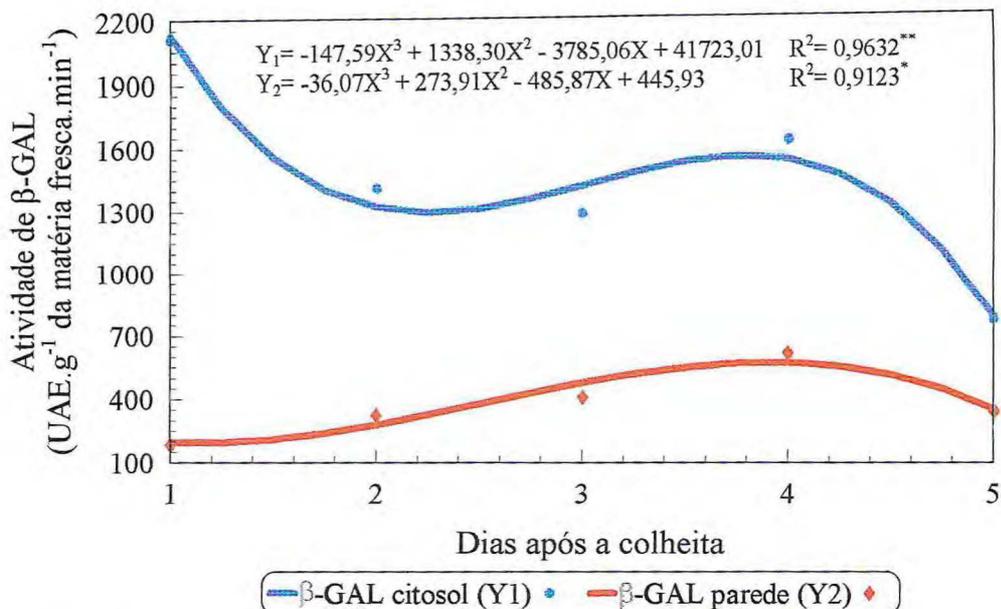


FIGURA 15 – Atividades de  $\beta$ -galactosidases ( $\beta$ -GAL) de graviola ‘Crioula’ durante a maturação a temperatura ambiente ( $26,3 \pm 0,6^\circ\text{C}$  e  $87,6 \pm 12,2\%$  UR).

Incrementos na atividade da  $\beta$ -GAL de parede celular também foram verificados durante o armazenamento de maçã ‘Starking Delicious’ (YOSHIOKA et al., 1995) e em manga (ALI et al., 1995). Em durian, no entanto, a  $\beta$ -GAL aumentou pouco após a colheita (KETSA & DAENGKANIT, 1999). E em melão (*Cucumis melo* cv. Prince), as  $\beta$ -GALs estão envolvidas na modificação dos polissacarídeos estruturais da parede celular (RANWALA et al., 1992).

A solubilização de pectinas e a liberação de resíduos galactosil das galactanas associadas à celulose, segundo GALLEGO & ZARRA (1998), poderia explicar parcialmente o amaciamento. No caso específico da liberação de resíduos galactosil da parede celular, o processo está envolvido também na modulação dos níveis de galactose durante o amadurecimento (GROSS et al., 1995).

Considerando que a graviola sofre amaciamento progressivo enquanto amadurece, as enzimas que devem contribuir mais diretamente para o processo são PME, PG (FIGURA 13) e a  $\beta$ -GAL de parede celular (FIGURA 15). A importância das duas últimas deve ser destacada já que a intensidade com que o amaciamento ocorre diminui com o tempo. Desta forma, espera-se que a atividade das enzimas envolvidas seja reduzida com a evolução do processo. Em um primeiro momento, a PG atuou de

modo mais efetivo. Entretanto, a queda precoce de atividade sugere que a  $\beta$ -GAL de parede caracteriza melhor esta transformação.

Vale salientar, ainda, que a atividade das GALs tem sido avaliada por meio de substratos artificiais que podem não refletir o potencial *in vivo* das enzimas ou as mudanças nas quantidades relativas de várias isoenzimas durante o amadurecimento (GROSS et al., 1995; SEYMOUR & GROSS, 1996).

### 3.13 Proteína

Os teores de proteína decresceram ao longo do período, especialmente aquelas quantificadas a partir de extratos do citosol (FIGURA 16). Aos quatro dias após a colheita, a queda foi de quase cinco vezes do valor inicial. Os frutos maduros continham  $0,13 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ .

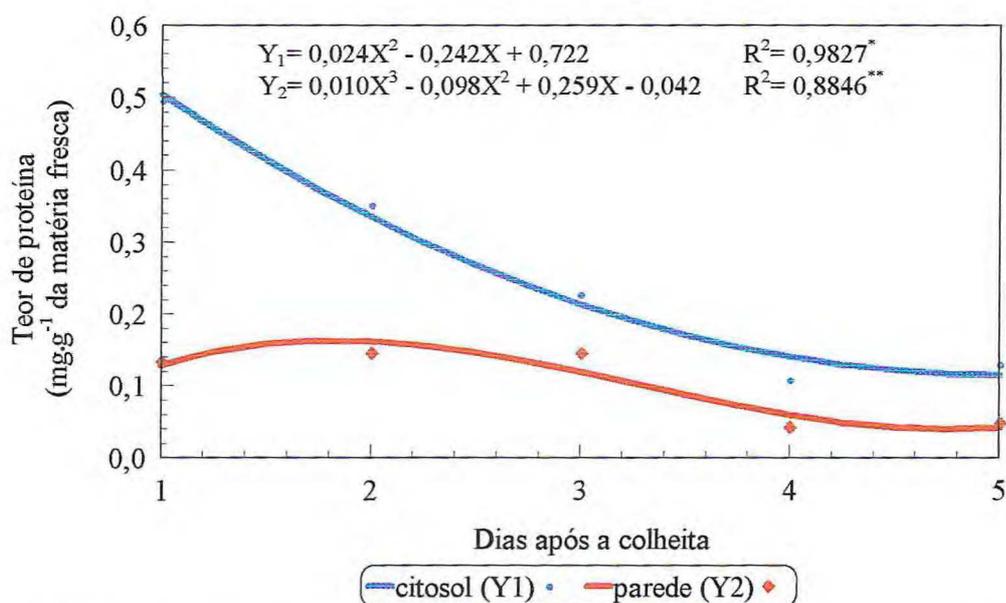


FIGURA 16 – Teores de proteína de citosol e de parede celular de graviola ‘Crioula’ durante a maturação a temperatura ambiente ( $26,3 \pm 0,6^\circ\text{C}$  e  $87,6 \pm 12,2\%$  UR).

Na parede celular, onde os teores de proteína normalmente são mais baixos, não se observou alterações até três dias após a colheita. Neste período, os valores se mantiveram próximos de  $0,14 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ . A partir daí, coincidindo com a fase de

incremento na atividade das  $\beta$ -GALs, o conteúdo de proteína caiu para  $0,04 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ . Novamente, o período de maior alteração ocorreu do terceiro para o quarto dia após a colheita.

Segundo KAYS (1991), durante o amadurecimento, uma proporção considerável das proteínas é constituída por enzimas, especialmente as hidrolíticas, e estão envolvidas na degradação de várias moléculas. Além disso, estudos têm verificado que a quantidade de proteínas extraíveis está relacionada ao estágio de maturação, de forma que nos frutos maduros os teores são mais baixos (MARIN & CANO, 1992). Naquele estágio, espera-se, portanto, um incremento na proporção de hidrolases e outras enzimas degradativas em relação ao total, mesmo com queda característica nos valores absolutos.

## 4 CONCLUSÕES

1. As graviolas 'Crioula' colhidas na maturidade fisiológica e armazenadas a temperatura ambiente atingiram o completo amadurecimento em cinco dias;

2. A perda de matéria fresca de 5,1% sugere a necessidade do emprego de técnicas de conservação que a reduzam, seja através de uma umidade relativa mais alta e estável ou da modificação da atmosfera entre os frutos e o meio;

3. O teor de clorofila total da casca não pode ser usado como indicativo do estágio de maturação ou como índice seguro de colheita uma vez que as variações observadas no período não foram significativas;

4. Durante a maturação, alguns constituintes da graviola (compostos fenólicos, açúcares não-redutores e pectina solúvel) mantiveram seus teores praticamente inalterados;

5. A maturação da graviola caracterizou-se por aumentos na acidez total titulável (ATT); nos teores de sólidos solúveis totais (SST), açúcares solúveis totais (AST) e açúcares redutores (AR); e na atividade das enzimas amilase e pectinamentilesterase (PME). Ao mesmo tempo, ocorreu redução no pH, na relação SST/ATT e nos teores de amido e de proteínas;

6. As quedas nos teores de amido e de pectina total foram estreitamente associadas a períodos de expressiva atividade, respectivamente, das enzimas amilase e da poligalacturonase (PG) e  $\beta$ -galactosidase ( $\beta$ -GAL) de parede celular. Estas enzimas, juntamente com o incremento precoce na atividade da PME, podem explicar o amaciamento da graviola;

7. A atividade da peroxidase (POD), comparada à da polifenoloxidase (PPO), caracterizou-se por níveis mais altos, variações mais pronunciadas e decréscimo a partir do pico, observado no segundo dia após a colheita. Este decréscimo pode estar associado ao envolvimento da enzima no escurecimento oxidativo, que se torna menos intenso com o amadurecimento dos frutos. A referida associação não foi tão clara com respeito a atividade da PPO que continuou a aumentar até quatro dias após a colheita;

8. O período de dois a quatro dias foi determinante na vida útil da graviola, sob temperatura ambiente. Neste período, ocorreram as modificações mais acentuadas na ATT; no pH; na relação SST/ATT; nos teores de SST, AST, AR, amido, pectina total e proteínas; na solubilização de pectinas; e na atividade das enzimas amilase, PME, PG,  $\beta$ -GAL de parede, PPO e POD. Portanto, propostas de tecnologias de conservação eficientes devem se basear num máximo atraso possível deste estágio.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABU-SARRA, A.F.; ABU-GOUKH, A.A. Changes in pectinesterase, polygalacturonase e cellulase activity during mango fruit ripening. **The Journal of Horticultural Science**, Ashford, v.67, n.4, p.561-568, 1992.

AGRAVANTE, J.U.; MATSUI, T.; KITAGAWA, H. Starch breakdown and changes in amylase activity during ripening of ethylene- and ethanol-treated bananas. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n.269, p.133-140, 1990.

ALI, Z.M.; ARMUGAM, S.; LAZAN, H.  $\beta$ -galactosidase and its significance in ripening mango fruit. **Phytochemistry**, Oxford, v.38, n.5, p.1109-1114, 1995.

ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of the Association of the Agricultural Chemists**. 11<sup>a</sup>. ed. Washington: AOAC, 1992, 1115p.

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

AZIZ, P.A.; YUSOF, S. Physico-chemical characteristics of soursop fruit (*Annona muricata*) during growth and development. **ASEAN Food Journal**, New York, v.9, n.4, p.147-150, 1994.

BATISSE, C.; FILS-LYCAON, B.; BURET, M. Pectin changes in ripening cherry fruit. **Journal of Food Science**, Chicago, v.59, n.2, p.389-393, 1994.

BERNFELD, P. Enzymes in carbohydrate metabolism. In: COLWICK, S.P.; KAPLAN, N.O. **Methods in enzymology**. Academic Press, New York, v.1, 1955, p.149-150.

BLUMENKRANTZ, N.; ASBOE-HANSEN, G. New method for quantitative determination of uronic acids. **Analytical Biochemistry**, New York, v.54, p.484-489, 1973.

BORDENAVE, M. Analyses of pectin methyl esterases. In: LINSKENS, H.F.; JACKSON, J.F. **Plant cell wall analysis: modern methods on plant analysis**. Berlin: Springer-Verlag, 1996. v.17, p.165-180.

BORDENAVE, M.; GOLDBERG, R. Purification and characterization of pectin methylesterases from mung bean hypocotyl cell walls. **Phytochemistry**, Oxford, v.33, n.5, p.999-1003, 1993.

BORRERO, F.V. et al. Determinación de índices de madurez de cosecha en guanábana (*Annona muricata* L.) en dos regiones de Colombia (S.A.). In: SIMPOSIO INTERNACIONAL DE MANEJO, CALIDAD Y FISIOLÓGIA POSTCOSECHA DE FRUTAS, 4, Santiago, **Memorias...**Santiago: Universidad de Chile, 1995. P.25-43.

BRADFORD, H.A. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, New York, v.72, p.248, 1976.

BRADY, C.J. Fruit ripening. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v.38, p.155-178, 1987.

BRUINSMA, J.; PAULL, R.E. Respiration during postharvest development of soursop fruit, *Annona muricata* L. **Plant Physiology**, Rockville, v.76, n.1, p.131-138, 1984.

BULK, R.E. El; BABIER, El F.E.; TINAY, A.H. El. Changes in chemical composition of guava fruits during development and ripening. **Food Chemistry**, Reading, v.59, n.3, p.395-399, 1997.

BURNS, J.K.  $\alpha$ - and  $\beta$ -galactosidase activities in juice vesicles of stored Valencia oranges. **Phytochemistry**, Oxford, v.29, n.8, p.2425-2429, 1990.

CASTRO, F.A. de et al. Características físicas e químicas da graviola. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.19, n.3, p.361-365, 1984.

CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A.B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Lavras: ESAL/FAEPE, 1990. 320p.

CIVELLO, P.M. et al. Peroxidase from strawberry fruit (*Fragaria ananassa* Duch.): partial purification and determination of some properties. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Columbus, v.43, n.10, p.2596-2601, 1995.

CRUZ, F.L. da et al. Caracterização físico-química de três tipos de graviola (*Annona muricata* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 16, 2000, Fortaleza. **Resumos...**Fortaleza:SBF, 2000. p.319. CD-ROM.

CUTILLAS-ITURRALDE, A.; ZARRA, I.; LORENCES, E.P. Metabolism of cell wall polysaccharides from persimmon fruit. Pectin solubilization during fruit ripening occurs in apparent absence of polygalacturonase activity. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v.89, n.2, p.369-375, 1993.

DEY, P.M.; PRIDHAM, J.B. Purification and properties of  $\alpha$ -galactosidases from *Vicia faba* seeds. **Biochemistry Journal**, London, v.113, n.1, p.49-55, 1969.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Agroindústria Tropical (Fortaleza, CE), Dados climatológicos: Estação de Pacajus, 1999. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical/FUNCEME, 2000. 15p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Boletim Agrometeorológico, 19).

ENGEL, V.L.; POGGIANI, F. Estudo da concentração de clorofila nas folhas e seu espectro de absorção de luz em função do sombreamento em mudas de quatro espécies florestais. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Brasília, v.3, n.1, p.39-45, 1991.

ESTEBAN, R.M. et al. Pectin changes during the development and ripening of eggplant fruits. **Food Chemistry**, Oxford, v.46, n.2, p.289-292, 1993.

FINGER, F.L.; VIEIRA, G.; LEDSHAM, L.R. Maturity standard and pericarp browning of litchi fruit. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Brasília, v.9, n.1, p.15-19, 1997.

FUCHS, Y.; PESIS, E.; ZAUBERMAN, G. Changes in amylase activity, starch and sugars contents in mango fruit pulp. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.13, n.2, p.155-160, 1980.

GALLEGO, P.P.; ZARRA, I. Cell wall autolysis during kiwifruit development. **Annals of Botany**, London, v.81, n.1, p.91-96, 1998.

\_\_\_\_\_. Changes in cell wall composition and water-soluble polysaccharides during kiwifruit development. **Annals of Botany**, London, v.79, n.3, p.695-701, 1997.

GIOVANNONI, J.J. et al. Expression of a chimeric polygalacturonase gene in transgenic *rin* (ripening inhibitor) tomato fruit results in polyuronide degradation but not fruit softening. **The Plant Cell**, Rockville, v.1, n.1, p.53-63, 1989.

GROSS, K.C.; STARRETT, D.A.; CHEN, H.J. Rhamnogalacturonase,  $\alpha$ -galactosidase, and  $\beta$ -galactosidase: potential roles in fruit softening. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n.398, p.121-130, 1995.

INGHAM, L.M.; PARKER, M.L.; WALDRON, K.W. Peroxidase: changes in soluble and bound forms during maturation and ripening of apples. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v.102, n.1, p.93-100, 1998.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas, métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. São Paulo: IAL, 1985. v.1, 371p.

IRVING, D.E.; SHINGLETON, G.J.; HURST, P.L. Starch degradation in buttercup squash (*Cucurbita maxima*). **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.124, n.6, p.587-590, 1999.

ITOH, T.; UDA, Y.; NAKAGAWA, H. Purification and characterization of  $\alpha$ -galactosidase from watermelon. **The Journal of Biochemistry**, Tokyo, v.99, n.1, p.243-250, 1986.

JEN, J.J.; ROBINSON, M.L.P. Pectolytic enzymes in sweet bell peppers (*Capsicum annuum* L.). **Journal of Food Science**, Chicago, v.49, n. 4, p.1045-1087, 1984.

JOHN, M.A.; DEY, P.M. Postharvest changes in fruit cell wall. **Advances in Food Research**, New York, v.30, p.139-185, 1986.

KANG, H.C; LEE, S.H. Characteristics of an  $\alpha$ -galactosidase associated with grape flesh. **Phytochemistry**, Oxford, v.58, n.2, p.213-219, 2001.

KAYS, S.J. **Postharvest physiology of perishable plant products**. New York: AVI Book, 1991. 532p.

KETSA, S.; DAENKANIT, T. Firmness and activities of polygalacturonase, pectinesterase,  $\beta$ -galactosidase and cellulase in ripening durian harvested at different stages of maturity. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.80, n.3-4, p.181-188, 1999.

KHADER, S.E.S.A. Effect of gibberellic acid and vapor gard on ripening amylase and peroxidase activities and quality of mango fruits during storage. **The Journal of Horticultural Science**, Ashford, v.67, n.6, p.855-860, 1992.

KITAGAWA, Y.; KANAYAMA, Y.; YAMAKI, S. Isolation of  $\beta$ -galactosidase fractions from Japanese pear: activity against native cell wall polysaccharides. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v.93, n.3, p.545-550, 1995.

KOJIMA, K.; SAKARAI, N.; KURAIISHI, S. Fruit softening in banana correlation among stress-relaxation parameters, cell wall components and starch during ripening. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v.90, n.4, p.772-778, 1994.

KRISHNAMURTHY, S.; SUBRAMANYAM, H. Pre- and post-harvest physiology of the mango fruit: a review. **Tropical Science**, London, v.15, n.2, p.167-193, 1973.

LIVERA, A.V.S.; GUERRA, N.B. Determinação da maturidade comercial da graviola (*Annona muricata* L.) através de um disco de coleta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 14, 1995, Salvador. **Resumos...** Salvador: SBF, p.603-604, v.2, 1995.

LIZADA, C. Mango. In: SEYMOUR, G.B.; TAYLOR, J.E.; TUCKER, G.A. **Biochemistry of fruit ripening**. London: Chapman & Hall, 1993. p.255-271.

MARIN, M.A.; CANO, M.P. Patterns of peroxidase in ripening mango (*Mangifera indica*, L.) fruits. **Journal of Food Science**, Chicago, v.57, n.3, p.690-692, 1992.

MARTIN-CABREJAS, M.A. et al. Ripening-related changes in the cell wall of Spanish pear (*Pyrus communis*). **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v.91, n.4, p.671-679, 1994.

MATSUNO, H.; URITANI, I. Physiological behaviour of peroxidase isozymes in sweet potato root tissue injured by cutting or with black root. **Plant and Cell Physiology**, Tokyo, v.13, p.1099-1101, 1972.

MAYER, A.M.; HAREL, E. Polyphenol oxidases in fruits – changes during ripening. In: FRIEND, J.; RHODES, M.J.C. **Recent advances in the biochemistry of fruits and vegetables**. London: Academic Press, 1981. p.161-180.

McCOLLUM, T.G.; HUBER, D.J.; CANTLIFFE, D.J. Modification of polyuronides and hemicelluloses during muskmelon fruit softening. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v.76, n.3, p.303-308, 1989.

McREADY, P.M.; McCOMB, E.A. Extraction and determination of total pectin materials. **Analytical Chemistry**, Washington, v.24, n.12, p.1586-1588, 1952.

MENEZES, J.B. et al. Modificações dos componentes de parede celular do melão tipo Galia durante a maturação. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.17, n.3, p.301-308, 1997.

MILLER, G.L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugars. **Analytical Chemistry**, Washington, v.31, n.3, p.426-428, 1959.

MOSCA, J.L. et al. Determination of harvest index for soursop fruits (*Annona muricata* L.) In: CONGRESO INTERNACIONAL DE ANONACEAS, 1997, Chapingo. **Memorias...** Chapingo: Universidad Autónoma Chapingo, 1997. p.315-322.

MOWLAH, G.; ITOO, S. Quantitative changes in guava polyphenols and the polyphenoloxidase (PPO) at different stages of maturation, ripening and storage. **Journal of the Japanese Society of Food Science and Technology**, Tokyo, v.29, n.7, p.413-417, 1982.

MUÑOZ, M.T.; ESCRIBANO, M.I.; MERODIO, C. Ethanolic metabolism in cherimoya fruit during storage at ambient and under high CO<sub>2</sub> atmosphere. **The Journal of Horticultural Science**, Ashford, v.72, n.3, p.363-370, 1997.

MURATA, M. et al. Relationship between apple ripening and browning: changes in polyphenol content and polyphenol oxidase. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Columbus, v.43, n.5, p.1115-1121, 1995.

OHYAMA, A. et al. Suppression of acid invertase activity by antisense RNA modifies the sugar composition of tomato fruit. **Plant and Cell Physiology**, Tokyo, v.36, n.2, p.369-376, 1995.

OLIVEIRA, S.L. de et al. Polyphenoloxidase activity, polyphenols concentration and browning intensity during soursop (*Annona muricata*, L.) maturation. **Journal of Food Science**, Chicago, v.59, n.4, p.1050-1052, 1994.

PANGBORN, R.M. Relative taste intensities of selected sugars and organic acids. **Journal of Food Science**, Chicago, v.28, n.6, p.726-733, 1963.

PAULL, R.E. Postharvest variation in composition of soursop (*Annona muricata* L.) fruit in relation to respiration and ethylene production. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.107, n.4, p.582-585, 1982.

\_\_\_\_\_. Soursop fruit ripening – starch breakdown. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n.269, p.277-281, 1990.

PAULL, R.E.; DEPUTY, J.; CHEN, N.J. Changes in organic acids, sugars, and headspace volatiles during fruit ripening of soursop. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.108, n.6, p.931-934, 1983.

PRESSEY, R.; WOODS, F.W. Purification and properties of two pectinesterases from tomatoes. **Phytochemistry**, Oxford, v.31, n.4, p.1139-1142, 1992.

RAMOS, V.H.V. A potencialidade da gravioleira no cerrado. In: PINTO, A.C.Q. **A cultura da graviola**. Fortaleza: SINDIFRUTA, INSTITUTO FRUTAL, 1999. p.42-58.

RANWALA, A.P.; SUEMATSU, C.; MASUDA, H. The role of  $\beta$ -galactosidases in the modification of cell wall components during muskmelon fruit ripening. **Plant Physiology**, Rockville, v.100, n.3, p.1318-1325, 1992.

REDGWELL, R.J.; HARKER, R. Softening of kiwifruit discs: effect of inhibition of galactose loss from cell walls. **Phytochemistry**, Oxford, v.39, n.6, p.1319-1323, 1995.

REDGWELL, R.J.; MELTON, L.D.; BRASCH, D.J. Cell wall dissolution in ripening kiwifruit (*Actinidia deliciosa*). **Plant Physiology**, Rockville, v.98, n.1, p.71-81, 1992.

REICHER, F.; SIERAKOWSKI, M.R.; CORREA, J.B.C. Determinação espectrofotométrica de taninos pelo reativo fosfotúngstico-fosfomolibdico. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, Curitiba, v.24, n.4, p.407-411, 1981.

ROBARDS, K. et al. Phenolic compounds and their role in oxidative processes in fruits. **Food Chemistry**, Oxford, v.66, n.4, p.401-436, 1999.

ROE, B.; BRUEMMER, J.H. Changes in pectic substances and enzymes during ripening and storage of 'Keitt' mango. **Journal of Food Science**, Chicago, v.46, n.1, p.186-189, 1981.

SÃO-JOSÉ, A.R. Aspectos generales de las anonáceas en Brasil. In: CONGRESO INTERNACIONAL DE ANONACEAS, 1997, Chapingo. **Memorias...** Chapingo: Universidad Autónoma Chapingo, 1997. p.92-103.

SÃO-JOSÉ, A.R. et al. **Anonáceas: produção e mercado** (pinha, graviola, atemóia e cherimólia). Vitória da Conquista: DFZ/UESB, 1997. 310p.

SEYMOUR, G.B.; GROSS, K.C. Cell wall disassembly and fruit softening. **Postharvest News and Information**, London, v.7, n.3, p.45-52, 1996.

SEYMOUR, G.B.; LASSLETT, Y.; TUCKER, G.A. Differential effects of pectolytic enzymes on tomato polyuronides *in vivo* and *in vitro*. **Phytochemistry**, Oxford, v.26, n.12, p.3137-3139, 1987.

SEYMOUR, G.B.; McGLASSON, W.B. Melons. In: SEYMOUR, G.B.; TAYLOR, J.E.; TUCKER, G.A. **Biochemistry of fruit ripening**. London: Chapman & Hall, 1993. p.273-290.

SEYMOUR, G.B.; TUCKER, G.A. Avocado. In: SEYMOUR, G.B.; TAYLOR, J.E.; TUCKER, G.A. **Biochemistry of fruit ripening**. London: Chapman & Hall, 1993. p.53-81.

SIGRIST, J.M.M. Respiração. In: BLEINROTH, E.W. et al. **Tecnologia pós-colheita de frutos e hortaliças**. Campinas: ITAL, 1992, p.21-27.

SILVA, E.M. Mecanismos bioquímicos de fisiopatias importantes de frutas. In: CONGRESO IBEROAMERICANO DE TECNOLOGIA POSTCOSECHA Y AGROEXPORTACIONES, 2, 2000, Bogotá. **Memorias...**Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2000. p.5-19.

TANDON, D.K.; KALRA, S.K. Pectin changes during the development of mango fruit cv. Dashehari. **The Journal of Horticultural Science**, Ashford, v.59, n.2, p.283-286, 1984.

TEIXEIRA, G.H. de A. **Frutos do bacurizeiro (*Platonia insignis* Mart.): caracterização, qualidade e conservação**. 2000. 106f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual de São Paulo, Jaboticabal, 2000.

TUCKER, G.A. Introduction. In: SEYMOUR, G.B.; TAYLOR, J.E.; TUCKER, G.A. **Biochemistry of fruit ripening**. London: Chapman & Hall, 1993. p.1-51.

WADE, N.L.; SATYAN, S.H.; KAVANAGH, E.E. Increase in low molecular size uronic acid in ripening banana fruit. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v.63, n. 4, p.257-259, 1993.

WHITING, G.C. Sugars. In: HULME, A.C. **The biochemistry of fruits and their products**. New York: Academic Press London, v.1, 1970, p.1-31.

WILLS, R. et al. **Postharvest: an introduction to the physiology & handling of fruit, vegetables & ornamentals**. 4<sup>a</sup> ed. Wallingford: New South Wales University Press, 1998. 262p.

WILLS, R.B.H. et al. Postharvest changes in fruit composition of *Annona atemoya* during ripening and effects of storage temperature on ripening. **HortScience**, Alexandria, v.19, n.1, p.96-97, 1984.

WISSEMANN, K.W.; LEE, C.Y. Polyphenoloxidase activity during grape maturation and wine production. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v.31, n.3, p.206-211, 1980.

WORRELL, D.B.; CARRINGTON, C.M.S.; HUBER, D.J. Growth, maturation and ripening of breadfruit (*Artocarpus altilis* (Park.) Fosf.). **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.76, n.1, p.17-28, 1998.

\_\_\_\_\_. Growth, maturation and ripening of soursop. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.57, n.1, p.7-15, 1994.

YEMN, E.W.; WILLIS, A.J. The estimation of carbohydrate in plant extracts by anthrone. **The Biochemical Journal**, Cambridge, v.57, n.2, p. 504-514, 1954.

YOSHIOKA, H.; AOBA, K.; KASHIMURA, Y. Molecular weight and degree of *methoxylation* in cell wall polyuronide during softening in pear and apple fruit. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.117, n.4, p.600-606, 1992.

YOSHIOKA, H.; KASHIMURA, Y.; KANEKO, K.  $\beta$ -D-galactosidase and  $\alpha$ -L-arabinofuranosidase activities during the softening of apples. **Journal of the Japanese Society of Horticultural Science**, Kyoto, v.63, n.4, p.871-878, 1995.

\_\_\_\_\_. Solubilization and distribution of neutral sugar residues derived from polyuronides during the softening in apple fruit. **Journal of the Japanese Society of Horticultural Science**, Kyoto, v.63, n.1, p.173-182, 1994.

### CAPÍTULO III

## COMPORTAMENTO RESPIRATÓRIO E QUALIDADE PÓS-COLHEITA DE GRAVIOLA (*Annona muricata* L.)

### RESUMO

Objetivou-se avaliar alterações físicas, físico-químicas e químicas durante a maturação da graviola (*Annona muricata* L.) 'Morada' sob temperatura ambiente, relacionando-as às taxas respiratória e de produção de etileno. Os frutos foram colhidos na maturidade fisiológica, em plantio comercial da Fazenda Alto da Boa Vista (São Luiz do Curu, CE). Os tratamentos corresponderam ao tempo de armazenamento ( $23,4 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$  e  $81,8 \pm 10,6\%$  UR): 0, 1, 2, 3, 4 e 6 dias. Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado com quatro repetições. As variáveis avaliadas foram: atividade respiratória (RS); liberação de etileno (ET); perda de matéria fresca (PMF); cor da casca e da polpa, definidas a partir dos parâmetros luminosidade (L), cromaticidade (C) e ângulo Hue (H); firmeza da polpa; pH; acidez total titulável (ATT); sólidos solúveis totais (SST); relação SST/ATT e açúcares solúveis totais (AST). Aos dois dias, iniciou-se um rápido aumento na RS, resultando no primeiro pico ( $197,60 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ ) que foi seguido por queda e uma fase *lag*. Ao término desta, iniciou-se o aumento para o pico climatérico ( $298,82 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ ), observado entre o quarto e o quinto dia. ET só foi detectada por ocasião do primeiro pico respiratório, atingindo o máximo aos quatro dias. A PMF atingiu 4,6% ao final do estudo. H da casca diminuiu, indicando que a cor da casca tornou-se mais clara, enquanto na polpa, observou-se redução gradual de L. A firmeza da polpa foi bruscamente reduzida de cerca de 60 para 0,9 N, tendo esta queda sido iniciada antes mesmo que a produção de etileno fosse detectada. A ATT aumentou de 0,19 para 0,92% de ácido málico enquanto o pH diminuía. O teor de SST aumentou até quatro dias, tendendo à estabilização em seguida. Nos frutos maduros, o teor de SST foi 14,4°Brix para uma relação SST/ATT de 15,9. O teor de AST duplicou, mas manteve-se equivalente a 65-69% dos SST.

**RESPIRATORY BEHAVIOR AND POSTHARVEST QUALITY OF SOURSOP**  
**(*Annona muricata* L.)**

**ABSTRACT**

The purpose of this work was to evaluate physical, physico-chemical and chemical alterations of soursop fruit (*Annona muricata* L.) under ambient temperature and their relationship with the respiratory rate and ethylene production. Fruits of type 'Morada', at the physiological maturity stage, were harvested from plants of a commercial orchard at Alto da Boa Vista Farm, in São Luiz do Curu county, State of Ceara, (Brazil). Treatments were as follows: storage periods of 0, 1, 2, 3, 4, and 6 days under  $23.4 \pm 1.1^\circ\text{C}$  and  $81.8 \pm 10.6\%$  RH. The experimental design was a completely randomized with four replications. The variables assessed were: respiratory rate (RR); ethylene production (EP); weight loss (WL); skin and pulp color, according to luminosity (L), chromaticity (C) and angle Hue (H); pulp firmness; pH; total titratable acidity (TTA); total soluble solids (TSS); TSS/TTA ratio and total soluble sugars (TS). After two days a quick RR increase was noticed, leading to a first peak ( $197.60 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ ) followed by a decrease and a lag phase. After the lag phase a climateric peak ( $298.82 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ ) was detected between the 4<sup>th</sup> and the 5<sup>th</sup> days. The EP was detected only during the first respiratory peak, reaching its maximum in the 4<sup>th</sup> day. The WL reached 4.6% at the experiment end. The skin H decreased, indicating that the skin color became lightened while the pulp showed a gradual L decreasing. Pulp firmness exhibited an abrupt decreasing from 60 to 0,9 N, which began even before the EP had been detected. The TTA increased from 0.19 to 0.92% of malic acid, while pH decreased. The TSS content increased until the 4<sup>th</sup> day with a trend to stabilize. Ripen fruits showed value of 14.4°Brix for TSS and a TSS/TTA ratio of 15.9. The TS content doubled, keeping values from 65 to 69% of the TSS.

## 1 INTRODUÇÃO

A graviola (*Annona muricata* L.) é um fruto climatérico mas apresenta padrão de liberação de CO<sub>2</sub> bastante distinto da maioria das espécies. Segundo BIALE & BARCUS (1970), a graviola possui um climatério difuso com mais de um ponto máximo.

Alguns estudos têm confirmado aquelas observações e destacado que o primeiro pico não corresponde ao climatério (PAULL, 1982, 1990; PAULL et al., 1983; BRUINSMA & PAULL, 1984; WORRELL et al., 1994). As primeiras idéias atribuíram a existência dos dois picos às diferenças de desenvolvimento e amadurecimento entre os frutinhos que compõem o órgão, que é um fruto composto (BIALE & BARCUS, 1970). No entanto, BRUINSMA & PAULL (1984) argumentaram que a própria colheita induz ao aumento respiratório. Nesta ocasião, a respiração mitocondrial é incrementada pelo maior fornecimento de carboxilatos induzido pela separação do fruto da planta. Além disso, a produção de etileno geralmente só começa a ser detectada quando já ocorreu o primeiro pico de CO<sub>2</sub> (PAULL, 1982; BRUINSMA & PAULL, 1984; WORRELL et al., 1994).

Colhendo-se o fruto na maturidade fisiológica, a atividade respiratória aumenta nos dois primeiros dias, a partir do qual se desencadeia a síntese de etileno (BRUINSMA & PAULL, 1984). Mudanças na cor, na firmeza, no sabor e no aroma da maioria dos frutos durante o amadurecimento estão associados ao climatério (BIALE & BARCUS, 1970) e algumas são dependentes de etileno (JEFFERY et al., 1984; AYUB et al., 1996). BRUINSMA & PAULL (1984) e WORRELL et al. (1994) registraram mudanças no desenvolvimento do *flavor*, no escurecimento da casca e no amaciamento da polpa durante a produção autocatalítica de etileno.

A perecibilidade e o reduzido tempo de vida da graviola (AZIZ & YUSOF, 1994) certamente estão associados à velocidade com que ocorrem as mudanças características do amadurecimento. Um entendimento mais amplo deste metabolismo subsidiaria propostas de tecnologias para conservação do fruto por períodos maiores.

A partir destas considerações, o objetivo deste estudo foi avaliar alterações físicas, físico-químicas e químicas durante a maturação, sob temperatura ambiente, da graviola 'Morada', relacionando-as às taxas respiratória e de liberação de etileno.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Origem e Colheita dos Frutos

O experimento foi instalado a partir de frutos obtidos de área de produção comercial da Fazenda Alto da Boa Vista, localizada no município de São Luiz do Curu, CE, a 74 km de Fortaleza. Segundo EMBRAPA (2001), a microrregião localiza-se a 3°26' S de latitude, 39°08' W de longitude e 31 m de altitude. O clima é do tipo muito seco Bw (classificação de KÖEPPEN) com evapotranspiração potencial superior à precipitação. A temperatura média anual do ar é de 27°C, sendo a média das máximas de 31,8°C e das mínimas, de 22,3°C. A precipitação pluvial média anual é de 983,7 mm.

Os dados meteorológicos médios ou totais, referentes ao ano que antecedeu a colheita, obtidos da Estação Meteorológica de Paraipaba (Embrapa Agroindústria Tropical), encontram-se na TABELA 2.

As plantas do tipo 'Morada', com quatro anos de idade, eram distribuídas em espaçamento 4,0 x 4,0 m, sob irrigação por gotejamento. Os frutos foram colhidos na maturidade fisiológica, nas primeiras horas da manhã, em 11 de dezembro de 2000.

### 2.2 Caracterização do Experimento

Após a colheita, os frutos foram imediatamente transportados para o Laboratório de Fisiologia e Tecnologia Pós-Colheita, da Embrapa Agroindústria Tropical, em Fortaleza, CE. Foram, então, submetidos à seleção com base na sanidade e uniformidade de maturação e formato, e divididos em seis épocas de avaliação, aos 0, 1, 2, 3, 4 e 6 dias após a colheita, cada um com quatro repetições, exceto o tratamento correspondente aos dois dias após a colheita, que teve uma parcela perdida. Cada unidade experimental foi constituída por um fruto.

TABELA 2 - Dados meteorológicos da Estação Experimental de Paraipaba/Embrapa Agroindústria Tropical, Paraipaba, CE, durante o ano que antecedeu a colheita dos frutos.

MÊS (2000)	Temperatura do ar (°C)			Umidade relativa do ar (%)	Precipitação pluvial <sup>1</sup> (mm)	Insolação (h)
	Mínima	Média	Máxima			
Janeiro	23,2	27,4	31,5	73,6	53,7	7,5
Fevereiro	23,2	27,4	31,7	76,0	141,4	7,1
Março	23,5	27,3	31,1	77,1	236,0	6,2
Abril	23,3	26,9	30,6	82,8	246,3	5,9
Maiο	23,2	27,2	31,2	75,8	99,0	7,7
Junho	22,1	26,6	31,0	72,5	83,2	8,2
Julho	22,2	26,5	30,7	71,3	106,1	7,8
Agosto	22,2	26,6	31,1	65,7	26,9	9,5
Setembro	23,3	27,2	31,2	65,6	33,1	8,8
Outubro	22,8	27,6	32,3	63,0	0,0	10,9
Novembro	22,8	27,7	32,6	61,9	2,2	10,9
Dezembro	23,0	27,8	32,5	61,7	0,9	10,4

<sup>1</sup>Total mensal

Os frutos foram armazenados, até a data da avaliação, em ambiente com temperatura e umidade relativa (UR) controladas ( $23,4 \pm 1,1^\circ\text{C}$  e  $81,8 \pm 10,6\%$  UR). Os valores de temperatura e UR do período estudado estão registrados na FIGURA 17.

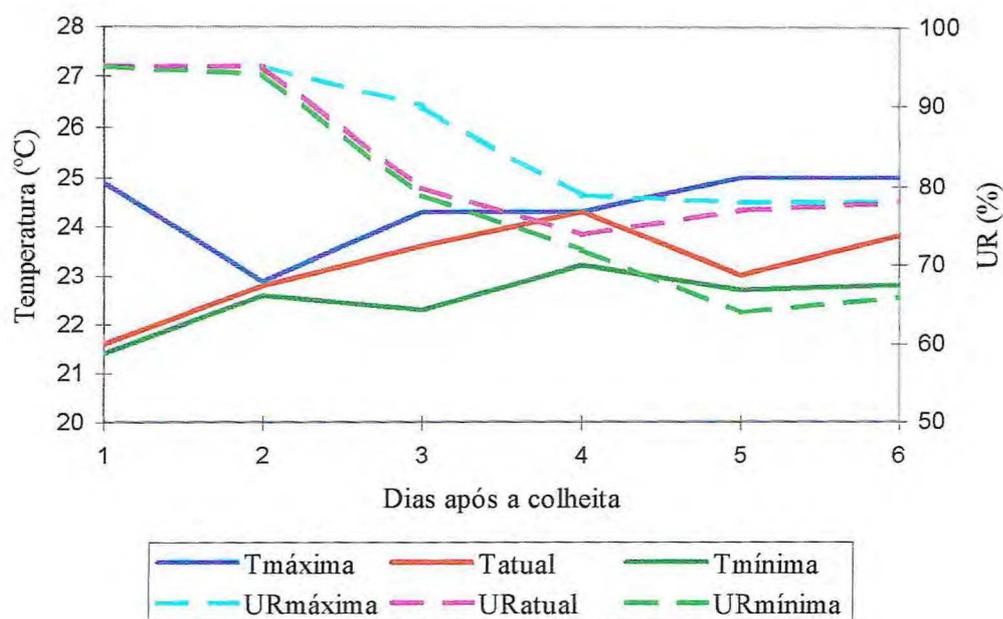


FIGURA 17 - Valores de temperatura e de umidade relativa (UR) máximas, atuais e mínimas durante o período de avaliação de graviolas 'Morada'. Considerou-se como atuais os valores lidos no momento da retirada dos frutos para avaliação.

### 2.3 Avaliações

As avaliações foram realizadas na região do fruto correspondente ao segundo terço. Para aquelas de natureza físico-química e química, amostras da polpa foram acondicionadas em *freezer* ( $-18^\circ\text{C}$ ) até a realização das análises. Por ocasião das extrações, estas amostras foram diluídas em água, na proporção de 1:1, dada a dificuldade de obtenção de suco da polpa, principalmente nas primeiras datas de avaliação.

Tanto as avaliações quanto as coletas das amostras da polpa foram realizadas nas manhãs de cada data estudada.

As variáveis analisadas e metodologias empregadas foram as seguintes:

- Atividade respiratória ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ ): determinada em cromatógrafo a gás CG modelo DANI 86.10 através de detector de condutividade térmica ( $150^{\circ}\text{C}$ ), em coluna PORAPAK – N (4 m x 3,2 mm), a partir de 5 mL da amostra da atmosfera produzida pelo fruto intacto em recipiente fechado. Após a separação, usando  $\text{H}_2$  como gás de arraste ( $30 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ ) a uma temperatura de  $60^{\circ}\text{C}$  na coluna, as áreas dos cromatogramas obtidos foram registradas e integradas por meio do *software* Peak Simple II (PK-2) (Ciola & Gregori – CG). Os valores obtidos foram comparados com uma amostra padrão contendo  $\text{CO}_2$  a 5%;

- Produção de etileno ( $\mu\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ ): determinada em cromatógrafo a gás CG modelo DANI 86.10 através de detector de ionização de chama ( $200^{\circ}\text{C}$ ), com as características descritas anteriormente, a partir de 5 mL da amostra da atmosfera produzida pelo fruto intacto em recipiente fechado e comparada com uma amostra padrão de 10 ppm;

- Perda de matéria fresca (%): obtida através do peso individual do fruto no dia da colheita e na data da avaliação, utilizando-se balança semi-analítica;

- Cor da casca: determinada pela média de três leituras efetuadas em pontos aproximadamente equidistantes, através de reflectômetro da marca MINOLTA modelo CR 300. As leituras foram feitas a partir dos três parâmetros que, segundo a CIE (Commission Internationale de L'Eclairage), definem a cor: luminosidade (L), cromaticidade (Croma) e ângulo Hue, de acordo com metodologia descrita por WOOLF et al. (1997);

- Cor da polpa: determinada pela média de leituras efetuadas em dois pontos da metade longitudinal do fruto, usando o mesmo procedimento para a cor da casca;

- Firmeza da polpa (N): obtida pela média entre duas leituras realizadas em pontos opostos do fruto, após retirada da casca, por meio de texturômetro eletrônico Stable Micro Systems modelo TA.XT2i, equipado com *plunger* de 6 mm de diâmetro. O equipamento foi ajustado para uma distância de penetração de 20 mm, à velocidade de  $2,0 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ ;

- pH: obtido em potenciômetro digital com eletrodo de membrana de vidro (IAL, 1985);

- Acidez total titulável (ATT, % de ácido málico): determinada por titulação com solução de NaOH 0,1 M, conforme metodologia do IAL (1985);

- Sólidos solúveis totais (SST, °Brix): determinados por leitura em refratômetro digital ATAGO PR 101, escala de 0 a 45 °Brix, com compensação automática de temperatura (AOAC, 1992);
- Relação SST/ATT: obtida pelo quociente entre as duas características.
- Açúcares solúveis totais (AST, % da matéria fresca): extraídos em álcool 80% e determinados usando o reagente antrona, conforme YEMN & WILLIS (1954). Partiu-se de 1,0 g de amostra diluída para 100 mL. Do filtrado obtido desta solução, retirou-se 10 mL para uma segunda diluição para 100 mL de água. Uma alíquota de 0,5 mL reagiu com 1,0 mL de antrona através de aquecimento em banho-maria a 100°C por 8 min. Após este período, as amostras foram resfriadas em banho de gelo e lidas em espectrofotômetro, a 620 nm.

## 2.4 Delineamento Experimental e Análise Estatística

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com seis tratamentos e quatro repetições, com exceção do tratamento correspondente aos dois dias após a colheita, que teve três repetições.

As variáveis atividade respiratória e liberação de etileno foram avaliadas a intervalos de tempo mais frequentes que as demais a fim de se obter o padrão respiratório característico do fruto. As mesmas não foram submetidas à análise de variância uma vez que não apresentaram homocedasticidade das variâncias, conforme teste de Bartlett. Optou-se, neste caso, por apresentar suas médias em cada tempo.

Para as demais variáveis, procedeu-se às análises de variância e, para os casos em que os tratamentos foram significativos, às análises de regressão polinomial. Foram admitidas equações polinomiais de até 3º grau, considerando-se aquelas de grau superior como desvio de regressão.

Os valores de perda de matéria fresca, expressos em percentagem, foram analisados após transformação em  $\text{arc sen } \sqrt{\frac{x}{100}}$ . Para representação gráfica, foram utilizadas as médias não transformadas obtidas a partir da operação inversa à transformação.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Entre as variáveis submetidas à análise de variância, verificou-se efeito significativo do tempo de armazenamento sobre perda de matéria fresca, cromaticidade e ângulo Hue da casca, luminosidade da polpa, firmeza da polpa, pH, acidez total titulável (ATT), teor de sólidos solúveis totais (SST), teor de açúcares solúveis totais (AST) e relação SST/ATT (TABELAS A7 a A9).

#### 3.1 Atividade Respiratória e Produção de Etileno

A atividade respiratória da graviola se manteve estável em cerca de  $70 \text{ mg.kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$  até dois dias após a colheita (FIGURA 18). Nesta ocasião, iniciou-se um rápido aumento que resultou no primeiro pico respiratório. Este pico ocorreu 19 horas após o referido aumento, correspondendo a uma liberação de  $197,60 \text{ mg.kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$ . Nas oito horas seguintes, a atividade respiratória caiu para  $166,25 \text{ mg.kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$ .

Aos três dias após a colheita, ocorreram poucas variações na atividade respiratória, caracterizando a fase *lag*, citada por WORRELL et al. (1994). Ao término desta fase, iniciou-se o aumento respiratório que resultou no pico climatérico propriamente dito. Este foi observado entre o quarto e quinto dia, alcançando  $298,82 \text{ mg.kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$ . Num intervalo de nove horas, a atividade respiratória caiu para  $266,34 \text{ mg.kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$ . A partir daí, observou-se variações irregulares que sugerem o início da senescência do fruto.

O padrão respiratório obtido concorda com estudos anteriores (BIALE & BARCUS, 1970; PAULL, 1982, 1990; BRUINSMA & PAULL, 1984; WORRELL et al., 1994). Porém, há divergências entre os autores com relação ao período de ocorrência de cada pico e à intensidade da atividade respiratória em cada fase. Desta forma, a ocorrência do primeiro pico respiratório tem sido registrada desde o segundo até o quarto dia após a colheita enquanto o pico climatérico pode ser observado do quarto ao sexto dia. Quanto aos valores, os autores citam atividade respiratória variando

de 50 a 170  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ , no primeiro pico, e de 130 a 305  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ , no pico climatérico. Estas variações podem ser atribuídas aos diferentes estádios de maturação usados em cada estudo, aos métodos empregados e às condições a que os frutos foram submetidos, principalmente temperatura.

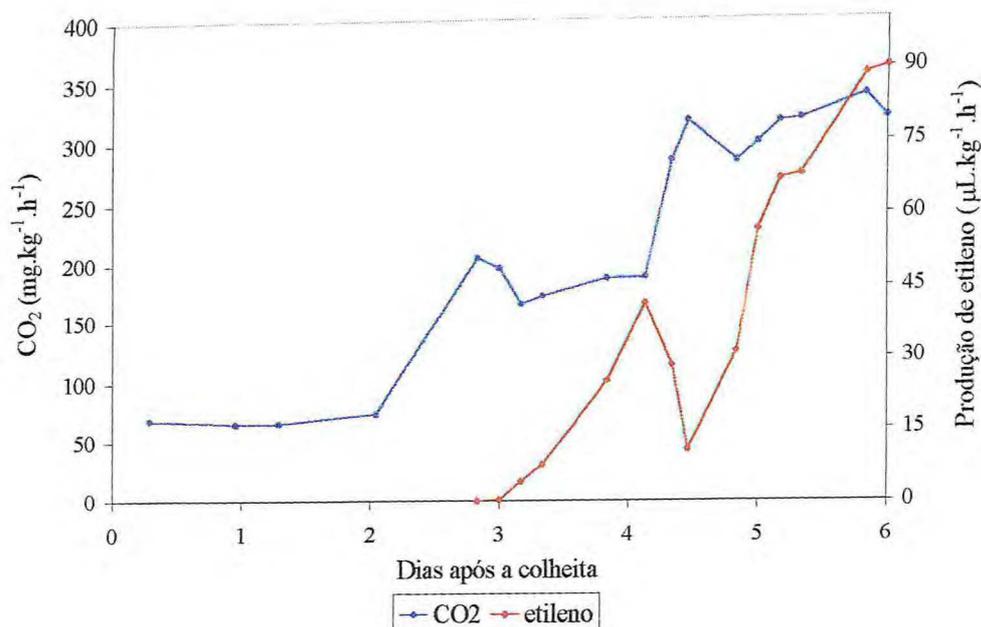


FIGURA 18 – Atividade respiratória e produção de etileno de graviola ‘Morada’ durante a maturação a temperatura ambiente ( $23,4 \pm 1,1^\circ\text{C}$  e  $81,8 \pm 10,6\%$  UR).

A liberação de etileno ( $\text{C}_2\text{H}_4$ ) só começou a ser detectada por ocasião do primeiro pico climatérico, aproximadamente aos três dias após a colheita (FIGURA 18). O pico de liberação de etileno ( $41,75 \mu\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ ) foi registrado no quarto dia, quando se iniciava o incremento respiratório para o pico climatérico, confirmando a idéia de que este aumento é uma resposta ao  $\text{C}_2\text{H}_4$  (BRADY, 1987; DEAN & MATTOO, 1991). No entanto, BIALE & YOUNG (1981) ressaltam que a síntese de etileno não pode ser considerada um fator crítico que induz o climatério em todos os frutos.

Nas oito horas posteriores ao pico, a liberação de etileno caiu para  $10,90 \mu\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$  antes de se obter taxas crescentes, especialmente após cinco dias.

Da mesma forma que para a atividade respiratória, estudos têm registrado pico de liberação de etileno desde quatro até seis dias após a colheita, com taxas que variam

de 80 até 350  $\mu\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$  (PAULL, 1982; BRUINSMA & PAULL, 1984; WORRELL et al., 1994).

Respostas variáveis ao etileno endógeno, segundo PAULL (1982), dependem da sensibilidade do tecido à iniciação do amadurecimento, que está relacionada ao aumento do número de sítios receptores de  $\text{C}_2\text{H}_4$  e às mudanças nos níveis de alguns reguladores de crescimento.

### 3.2 Perda de Matéria Fresca

A perda de matéria fresca aumentou durante o armazenamento até atingir 4,6%, aos seis dias (FIGURA 19). No intervalo entre o segundo e o terceiro dia, observou-se a maior taxa de perda, apesar dos registros de UR mais baixos terem ocorrido a partir do terceiro dia (FIGURA 17).

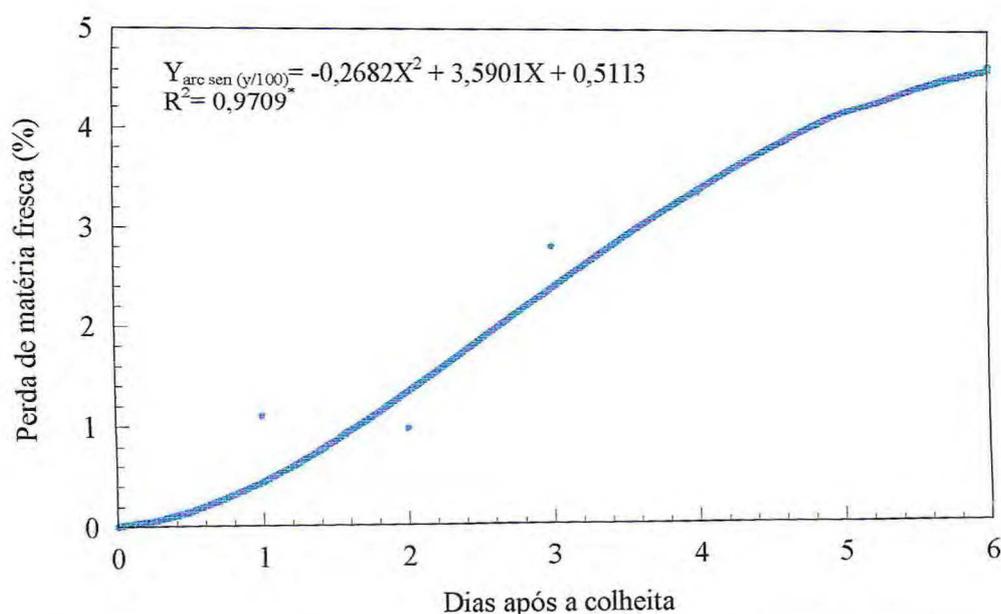


FIGURA 19 – Perda de matéria fresca de graviola ‘Morada’ durante a maturação a temperatura ambiente ( $23,4 \pm 1,1^\circ\text{C}$  e  $81,8 \pm 10,6\%$  UR).

A máxima perda de matéria fresca observada não repercutiu em sinais de enrugamento ou murcha de forma que este fator não comprometeu a aparência dos frutos. MOSCA et al. (1997) obtiveram graviolas em condição de consumo, aos seis

dias após a colheita, com perda de 11,8% da matéria fresca. Para a maioria dos frutos e hortaliças, entretanto, perdas de 5% promovem murchamento, enrugamento e redução da consistência (AWAD, 1993; WILLS et al., 1998).

Vale destacar que os resultados observados foram apenas ligeiramente inferiores aos registrados no capítulo anterior com graviola 'Crioula'. Assim, sugere-se que, sob condições semelhantes de temperatura e UR, os tipos 'Morada' e 'Crioula' têm susceptibilidades à perda de matéria fresca praticamente iguais.

### 3.3 Cor da Casca

A luminosidade representa o brilho da superfície ou a quantidade de preto. Na graviola 'Morada', não houve variação estatisticamente significativa da luminosidade da casca durante o período estudado (FIGURA 20). O valor médio obtido foi de 47,28, numa escala em que o máximo corresponde a 100.

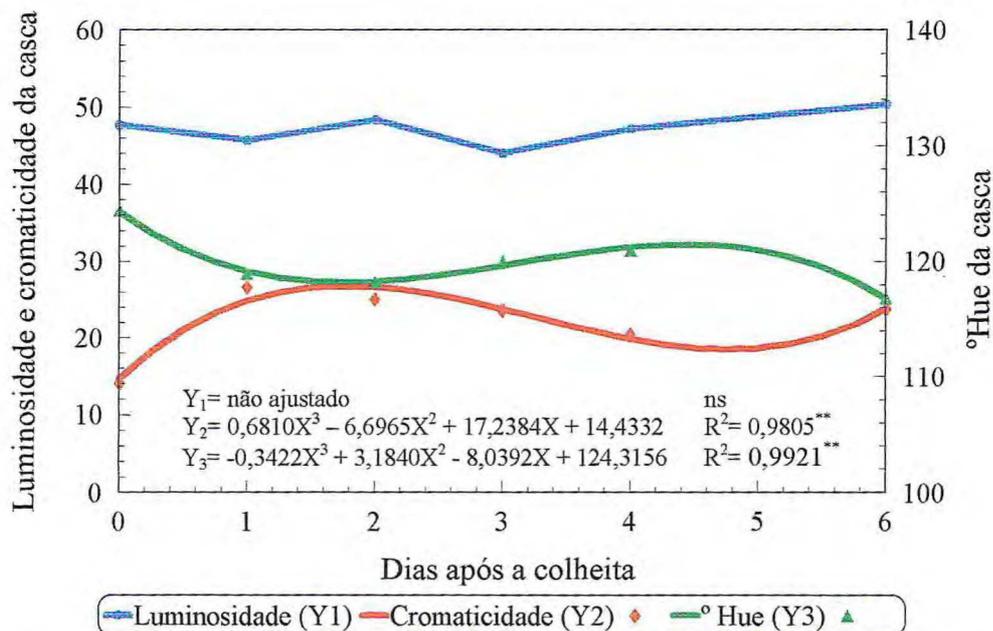


FIGURA 20 – Parâmetros da cor da casca de graviola 'Morada' durante a maturação a temperatura ambiente ( $23,4 \pm 1,1^\circ\text{C}$  e  $81,8 \pm 10,6\%$  UR).

Este resultado exclui esta característica como indicador de maturidade em graviolas do tipo 'Morada'. Contudo, na maioria dos fenótipos de graviola tem-se

verificado, através de avaliação visual, aumento no brilho da casca durante a maturação (ZAYAS, 1966; BORRERO et al., 1995; SÃO-JOSÉ, 1997; SALGADO et al., 1998).

Por outro lado, as mudanças na cromaticidade e no ângulo Hue asseguram diferenças de cor entre frutos maduros e maduros (FIGURA 20).

Para cromaticidade, os valores observados não seguiram um padrão claro de resposta, variando entre 14,09 e 26,62. É possível que a variabilidade natural da espécie dificulte uma caracterização precisa das mudanças na cor da casca. No entanto, os valores observados a partir do primeiro dia após a colheita foram sempre maiores do que os obtidos no dia zero. Esta variação é indicativa de degradação de clorofila já que o aumento na cromaticidade reflete o aumento na intensidade da cor amarela (FIGURA 21).

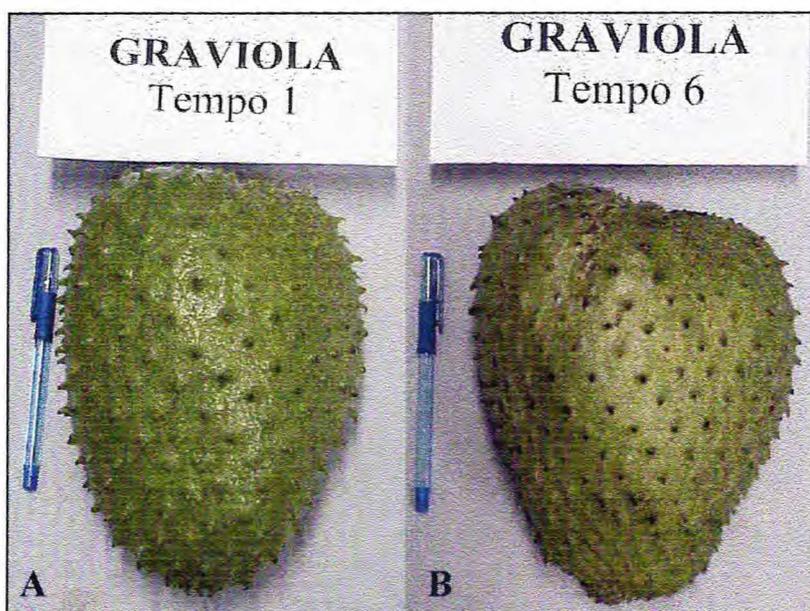


FIGURA 21 – Variação da cor da casca de graviola ‘Morada’ durante a maturação a temperatura ambiente ( $23,4 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$  e  $81,8 \pm 10,6\%$  UR): A. 1 dia; B. 6 dias.

PAULL (1982) descreveu que a cor da casca da graviola madura era verde-mate claro, podendo apresentar escurecimento a partir do pico climatérico verdadeiro (WORRELL et al., 1994).

O ângulo Hue, que representa a variação de cor do verde (verde intenso=  $180^{\circ}$ ) para o amarelo (amarelo intenso=  $90^{\circ}$ ), por sua vez, apresentou resposta mais característica. A queda observada no primeiro dia em relação à data da colheita

representou a fase de maior mudança na cor (de 124,4 para 118,9°). O período seguinte, até quatro dias após a colheita, pode ser descrito como estável. Somente após quatro dias é que ocorre nova redução no ângulo, definindo uma cor verde mais clara aos seis dias do que no dia da colheita (FIGURA 21). MATTIUZ & DURIGAN (2001) também registraram aumento no valor da cromaticidade e redução no ângulo Hue (passagem do verde para o amarelo) em goiabas ‘Paluma’ e ‘Pedro Sato’ colhidas a partir da maturidade fisiológica.

### 3.4 Cor da Polpa

Ao contrário da cor da casca, as variações na cor da polpa foram apenas com relação à luminosidade. Conforme FIGURA 22, ocorreu uma queda gradativa a partir dos dois dias após a colheita. Os valores de cromaticidade e ângulo Hue se mantiveram com variações pequenas, especialmente o último. Assim, o amadurecimento da graviola não envolveu alterações expressivas na cor da polpa (FIGURA 23).

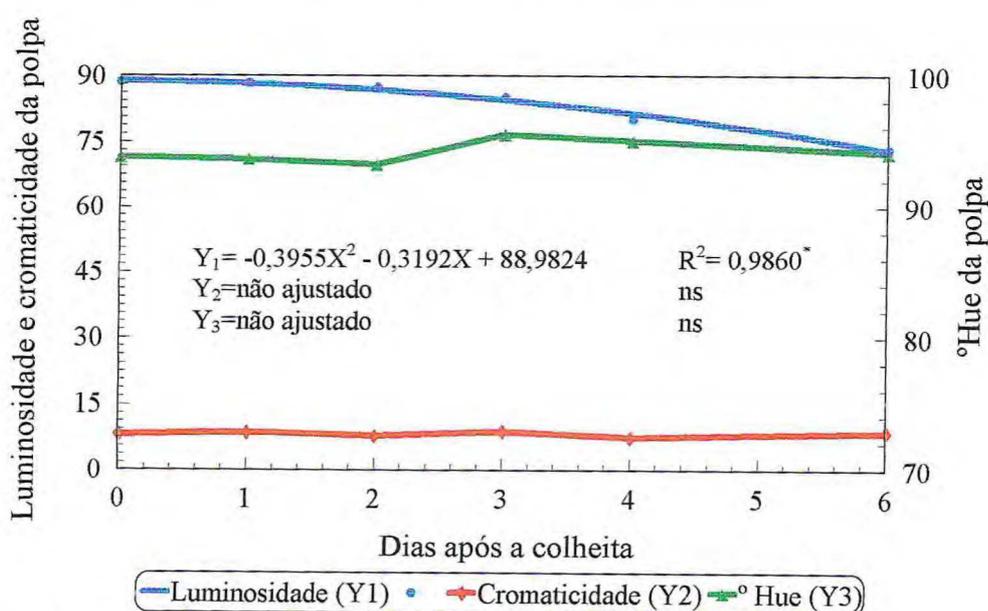


FIGURA 22 – Parâmetros da cor da polpa de graviola ‘Morada’ durante a maturação a temperatura ambiente ( $23,4 \pm 1,1^\circ\text{C}$  e  $81,8 \pm 10,6\%$  UR).

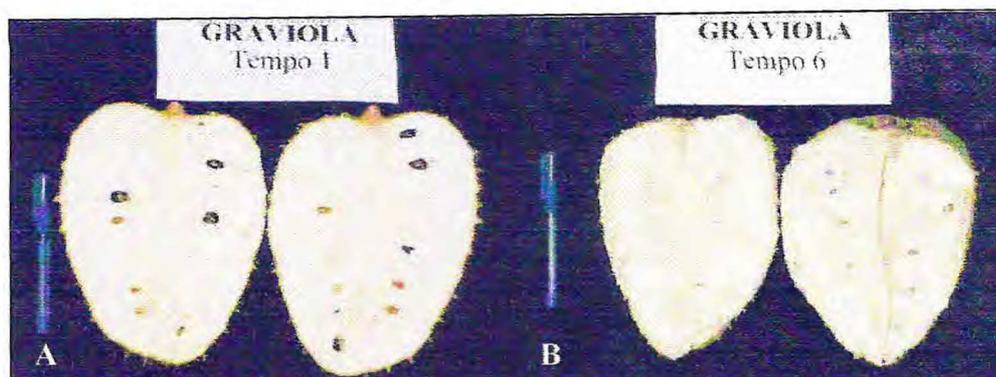


FIGURA 23 – Variação da cor da polpa de graviola ‘Morada’ durante a maturação a temperatura ambiente ( $23,4 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$  e  $81,8 \pm 10,6\% \text{UR}$ ): A. 1 dia; B. 6 dias.

### 3.5 Firmeza da Polpa

Durante a maturação da graviola, a firmeza da polpa foi bruscamente reduzida (FIGURA 24). Enquanto os frutos na maturidade fisiológica estavam com firmeza próxima de 60 N, nos maduros este valor era de apenas 0,9 N. Relacionando-se a queda da firmeza à sensação do tato na superfície do fruto, as mudanças mais importantes ocorreram entre o segundo e o terceiro dia e a partir de quatro dias. Estas fases coincidiram com o primeiro aumento respiratório e com o pico de liberação de etileno, conforme FIGURA 18. Aos quatro dias após a colheita, quando a firmeza era de 19,1 N, os frutos já podiam ser considerados macios.

WORRELL et al. (1994) consideraram que o amaciamento da graviola começa com a liberação de etileno e que, no pico, todas as regiões do fruto já estão completamente macias. A mesma resposta foi obtida em fruta-pão (WORRELL et al., 1998). Contudo, variações acentuadas na firmeza da polpa já eram observadas, neste estudo, antes que a liberação de etileno tivesse sido desencadeada (FIGURAS 18 e 24).

O amaciamento pode ser resultante da hidrólise de poliuronídeos da parede celular (PRESSEY & AVANTS, 1973; BIALE & YOUNG, 1981; HUBER, 1983; BRADY, 1987; MITCHAM & McDONALD, 1992), da perda de açúcares neutros (KRISHNAMURTHY & SUBRAMANYAM, 1973; MITCHAM & McDONALD, 1992; YOSHIOKA et al., 1994), da degradação de amido (KRISHNAMURTHY & SUBRAMANYAM, 1973; TUCKER, 1993) ou da perda de turgescência (TUCKER, 1993; SAMS, 1999).

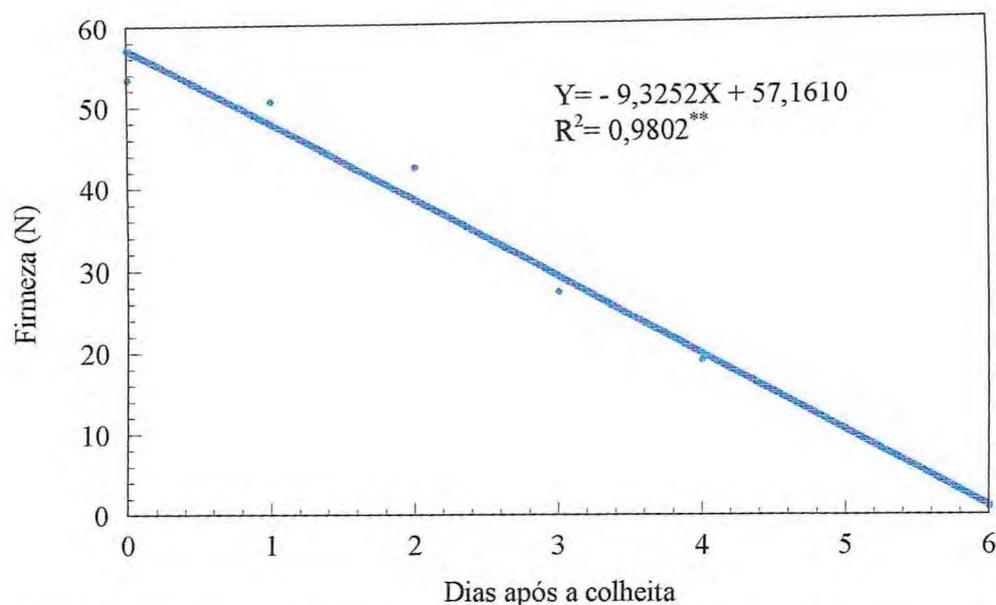


FIGURA 24 – Firmeza da polpa de graviola ‘Morada’ durante a maturação a temperatura ambiente ( $23,4 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$  e  $81,8 \pm 10,6\%$  UR).

Em trabalhos realizados por PAULL (1982), o amaciamento esteve associado ao aumento da respiração. ABU-SARRA & ABU-GOUKH (1992), a partir de resultados obtidos com manga, sugerem, inclusive, que a atividade respiratória medida numa firmeza específica pode ser usada como índice para monitorar a conservação pós-colheita dos frutos.

### 3.6 Acidez Total Titulável e pH

A acidez total titulável (ATT) aumentou durante o período, partindo de 0,19 a 0,92% de ácido málico (FIGURA 25). Outros estudos já destacaram este acúmulo na ATT, atípico em relação à maioria dos frutos (KAYS, 1991; WILLS et al., 1998) mas característico de algumas anonáceas (PAULL, 1982; PAULL et al., 1983; BRUINSMA & PAULL, 1984; WILLS et al., 1984; AZIZ & YUSOF, 1994; LIVERA & GUERRA, 1995; MUÑOZ et al., 1997).

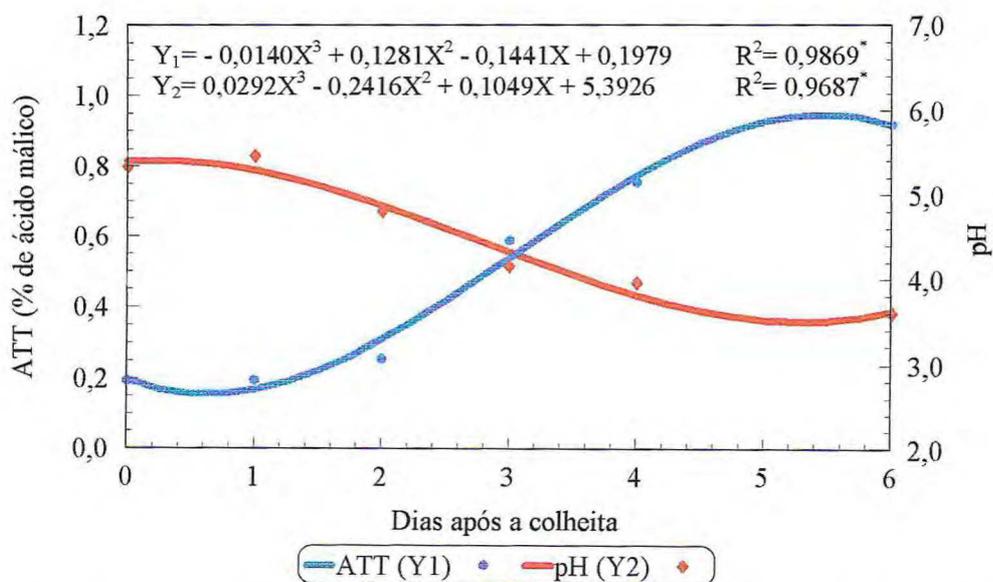


FIGURA 25 - Acidez total titulável (ATT) e pH de graviola 'Morada' durante a maturação a temperatura ambiente ( $23,4 \pm 1,1^\circ\text{C}$  e  $81,8 \pm 10,6\%$  UR).

Considerando as médias dos valores originais não-ajustados, pode-se destacar o período de dois a três dias como o de maior incremento na ATT (0,35%). Este período coincidiu com o aumento respiratório e o primeiro pico de  $\text{CO}_2$ , indicando que pode ser consequência da ativação da glicólise induzida pela colheita, com intensa oxidação de glicose e hidrólise de amido, conforme sugerido por BRUINSMA & PAULL (1984).

A coincidência entre o primeiro pico respiratório e o de liberação de etileno com as mudanças mais marcantes na ATT sugere que a atividade metabólica nesta fase promove degradação de constituintes celulares, principalmente carboidratos, mais intensa do que a verificada no climatério. É possível que no primeiro pico de  $\text{CO}_2$  haja utilização reduzida de ácidos orgânicos nas vias oxidativas normais, favorecendo o acúmulo. Portanto, sugere-se que no climatério a intensidade desta atividade seria menor em função da menor disponibilidade de substratos.

A ATT determinada no fruto maduro (0,92% de ácido málico), aos seis dias após a colheita, concorda com os resultados obtidos por CASTRO et al. (1984). No entanto, estão ligeiramente abaixo daqueles obtidos por PAULL (1982) e CRUZ et al. (2000). Os autores encontraram ATT de 1,05% de ácido málico ou próximo deste valor. O mesmo foi observado no estudo realizado com a graviola 'Crioula' no capítulo II. É possível que as diferenças sejam de origem genética, apesar de RAMOS (1999)

classificar a graviola ‘Morada’ como tendo sabor sub-ácido a ácido e a ‘Crioula’ como variando de sub-ácido a doce.

O pH, como consequência do aumento na ATT, diminuiu até os seis dias após a colheita (FIGURA 25). A variação observada foi desde 5,46 para 3,60, nos frutos maduros, e concorda com os resultados relatados no capítulo anterior. Estudos anteriores citam valores de pH, em graviola madura, variando de 4,2 a 3,7 (PAULL, 1982; CASTRO et al., 1984; AZIZ & YUSOF, 1994; OLIVEIRA et al., 1994; MOSCA et al., 1997).

### 3.4 Sólidos e Açúcares Solúveis Totais

O aumento no teor de sólidos solúveis totais (SST) foi observado até quatro dias após a colheita (FIGURA 26). Entre o quarto e o sexto dia, o incremento foi de apenas 0,9°Brix, de forma que, no final do período de armazenamento, o teor de SST foi de 14,4°Brix. Em relatos anteriores, alguns autores encontraram, em graviolas maduras, teores de SST variáveis de 10 a 18°Brix (PAULL, 1982; PAULL et al., 1983; CASTRO et al., 1984; AZIZ & YUSOF, 1994; MOSCA et al., 1997).

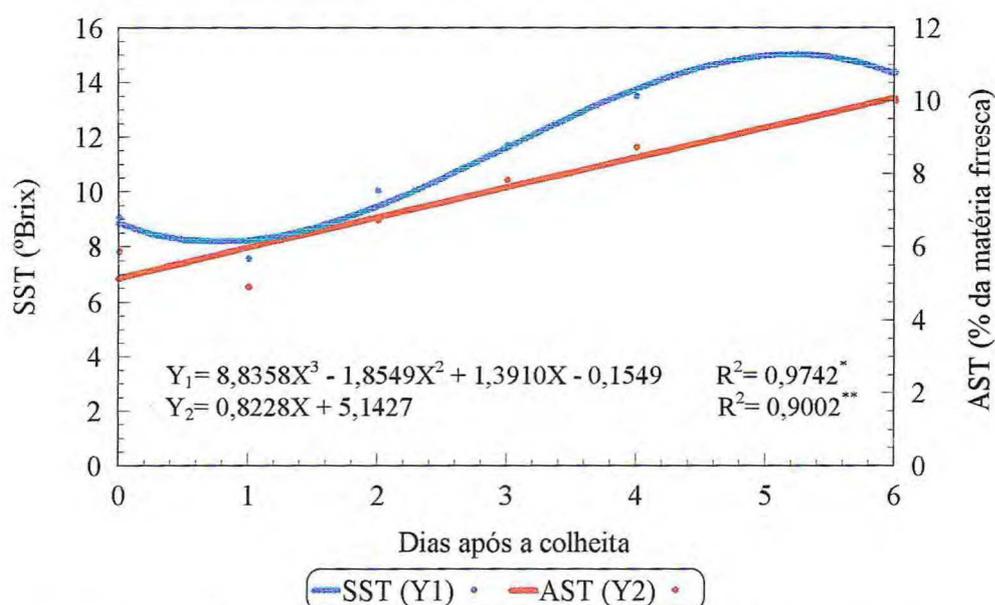


FIGURA 26 - Teores de sólidos solúveis totais (SST) e de açúcares solúveis totais (AST) de graviola ‘Morada’ durante a maturação a temperatura ambiente ( $23,4 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$  e  $81,8 \pm 10,6\%$  UR).

O padrão de acúmulo de SST da graviola 'Morada' assemelhou-se ao da 'Crioula', discutido no capítulo anterior. Porém, os teores relativamente menores registrados neste estudo confirmaram diferenças de sabor entre os dois tipos.

O maior acúmulo de SST ocorreu antes dos quatro dias, data em que se observou o aumento climatérico que resultaria no pico verdadeiro (FIGURA 18). Portanto, a ocorrência do primeiro pico respiratório e do pico de etileno pode ter um envolvimento mais direto no ganho de SST, possivelmente por estimular reações que produzem precursores para compostos daquela natureza.

Os sólidos solúveis representam vários tipos de constituintes celulares, dos quais os açúcares compõem a maioria (KAYS, 1991). É de se esperar, portanto, que uma parcela representativa do aumento no conteúdo de SST seja atribuída aos açúcares solúveis totais (AST).

Durante o amadurecimento da graviola, conforme FIGURA 26, o teor de AST aumentou linearmente, desde valores próximos de 5 até 9,98%. Resultados semelhantes foram obtidos por CASTRO et al. (1984) e AZIZ & YUSOF (1994).

A proporção representada pelo teor de AST em relação aos SST, no entanto, variou pouco. O conteúdo de AST correspondeu a 65-69% dos valores dos SST. Esta proporção foi inferior à observada no estudo da maturação da graviola 'Crioula' (capítulo II). Nesta, o teor de AST nos frutos maduros representava quase 80% dos SST, caracterizando o sabor mais doce em relação ao da 'Morada'.

O acúmulo de açúcares nos frutos climatéricos durante o amadurecimento, ou mesmo em hortaliças que contenham reservas de amido, pode ser resultado da degradação deste carboidrato (KRISHNAMURTHY & SUBRAMANYAM, 1973; PAULL, 1982; ROE & BRUEMMER, 1981; IRVING et al., 1997) e possivelmente da quebra parcial de pectinas, celulose e outros polissacarídeos (ROE & BRUEMMER, 1981).

A avaliação de SST e açúcares, além de ser indicativo da maturidade e doçura do produto, pode ser utilizada como referencial para medir ou prever o período de conservação uma vez que decréscimos naquelas características estão associados à perda de qualidade (ALVES, 1993; BROOKFIELD et al., 1997).

### 3.5 Relação SST/ATT

A relação SST/ATT decresceu linearmente durante os seis dias de armazenamento dos frutos (FIGURA 27). Esta resposta reflete principalmente o aumento na ATT que em termos relativos foi superior ao incremento no teor de SST. Ainda, coincidindo com as alterações na ATT, a queda mais evidente na relação SST/ATT ocorreu entre dois e três dias, quando os valores reduziram-se de 42,6 para 21,9. Aos seis dias, a relação SST/ATT foi de 15,9.

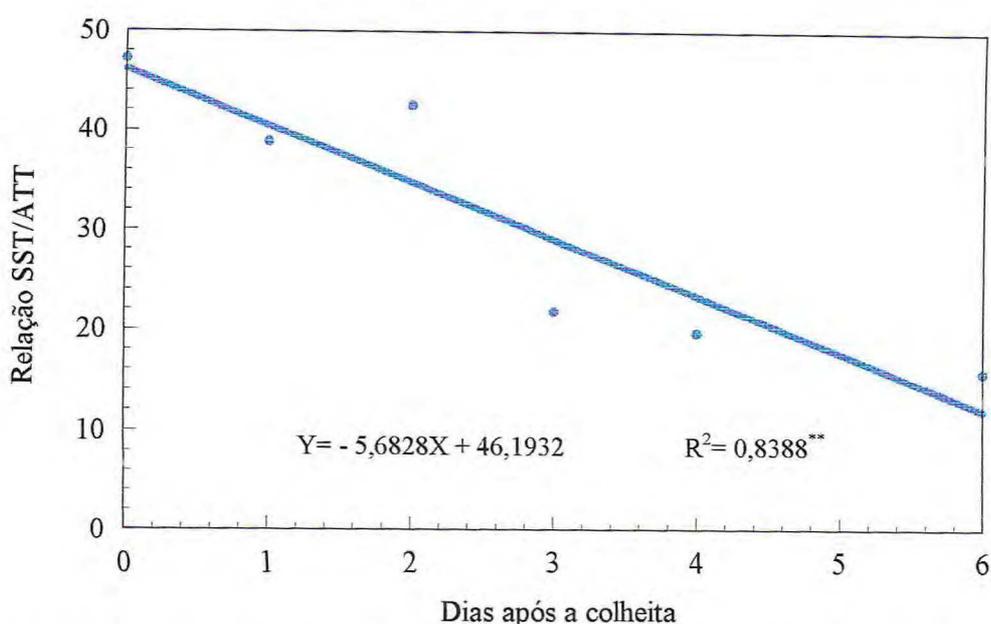


FIGURA 27 - Relação sólidos solúveis totais (SST)/acidez total titulável (ATT) de graviola 'Morada' durante a maturação a temperatura ambiente ( $23,4 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$  e  $81,8 \pm 10,6\%$  UR).

Novamente, os valores foram inferiores àqueles obtidos com a graviola 'Crioula' (capítulo II), destacando as diferenças entre os dois tipos. Este fato reforça a perspectiva de explorar mercados diferenciados a partir da oferta de produtos com características específicas.

A importância dessa variável se deve ao fato de ser um indicador da maturidade mais seguro do que a ATT ou o teor de SST, isoladamente. É inclusive recomendada para determinar o ponto de colheita de alguns frutos. GAYET (1993), por exemplo, recomenda que a uva 'Itália', destinada ao mercado europeu, deve ser colhida quando a relação for igual a 20.

## 4 CONCLUSÕES

1. A maturação da graviola se caracterizou por dois picos respiratórios e um de produção de etileno. O primeiro pico respiratório ocorreu 19 horas após o início do aumento, entre dois e três dias após a colheita, enquanto o climatérico propriamente dito ocorreu aos quatro dias. A produção de etileno só começou a ser detectada aos três dias e atingiu o pico aos quatro, quando se iniciava o aumento respiratório que resultaria no climatérico;

2. Durante a maturação da graviola, a perda de matéria fresca, a acidez total titulável (ATT), o teor de sólidos solúveis totais (SST) e o de açúcares solúveis totais aumentaram enquanto a firmeza, o pH, a relação SST/ATT, o ângulo Hue da casca e a luminosidade da polpa diminuíram;

3. A perda de matéria fresca de 4,6% não comprometeu a aparência externa;

4. A luminosidade da casca e a cromaticidade e ângulo Hue da polpa não foram parâmetros indicativos da maturação da graviola. Por outro lado, a redução na cromaticidade da casca e na luminosidade da polpa indicaram que os frutos maduros tiveram casca mais clara e polpa menos brilhante do que aqueles na maturidade fisiológica;

5. O amaciamento da polpa pôde ser avaliado pela brusca queda na firmeza durante o período, iniciada antes mesmo que a produção de etileno tivesse sido detectada;

6. As variações mais acentuadas na ATT e no acúmulo de SST coincidiram com o primeiro aumento respiratório e com o pico de produção de etileno.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABU-SARRA, A.F.; ABU-GOUKH, A.A. Changes in pectinesterase, polygalacturonase e cellulase activity during mango fruit ripening. **The Journal of Horticultural Science**, Ashford, v.67, n.4, p.561-568, 1992.

ALVES, R.E. *Acerola (Malpighia emarginata D.C.): fisiologia da maturação e armazenamento refrigerado sob atmosfera ambiente e modificada*. 1993. 99f. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal do Lavras, Lavras, 1993.

ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of the Association of the Agricultural Chemists**. 11<sup>a</sup> ed. Washington: AOAC, 1992, 1115p.

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

AYUB, R. et al. Expression of ACC oxidase antisense gene inhibits ripening of cantaloupe melon fruits. **Nature Biotechnology**, New York, v.14, p.862-866, 1996.

AZIZ, P.A.; YUSOF, S. Physico-chemical characteristics of soursop fruit (*Annona muricata*) during growth and development. **ASEAN Food Journal**, New York, v.9, n.4, p.147-150, 1994.

BIALE, J.B.; BARCUS, D.E. Respiratory patterns in tropical fruits of the Amazon basin. **Tropical Science**, London, v.12, n.2, p.93-104, 1970.

BIALE, J. B.; YOUNG, R.E. Respiration and ripening in fruit – retrospect and prospect. In: FRIEND, J.; RHODES, M.J.C. **Recent advances in the biochemistry of fruits and vegetables**. London: Academic Press, 1981. p.1-39.

BORRERO, F.V. et al. Determinación de índices de madurez de cosecha en guanábana (*Annona muricata* L.) en dos regiones de Colombia (S.A.). In: SIMPOSIO INTERNACIONAL DE MANEJO, CALIDAD Y FISIOLÓGIA POSTCOSECHA DE FRUTAS, 4, 1995, Santiago. **Memorias...**Santiago: Universidad de Chile, 1995. p.25-43.

BRADY, C.J. Fruit ripening. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v.38, p.155-178, 1987.

BROOKFIELD, P. et al. Starch degradation and starch pattern indices, interpretation and relationship to maturity. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.11, n.1, p.23-30, 1997.

BRUINSMA, J.; PAULL, R.E. Respiration during postharvest development of soursop fruit, *Annona muricata* L. **Plant Physiology**, Rockville, v.76, n.1, p.131-138, 1984.

CASTRO, F.A. de et al. Características físicas e químicas da graviola. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.19, n.3, p.361-365, 1984.

CRUZ, F.L. da et al. Caracterização físico-química de três tipos de graviola (*Annona muricata* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 16, 2000, Fortaleza. **Resumos...**Fortaleza: SBF, 2000. p.319. CD-ROM.

DEAN, J.F.D.; MATTOO, A.K. The role of ethylene in fruit ripening and senescence. In: FOX, P.F. **Food Enzimology**. London: Elsevier Applied Science, 1991, v.1, p.271-301.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Agroindústria Tropical (Fortaleza, CE), Dados climatológicos: Estação de Paraipaba, 2000. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical/FUNCEME, 2001. 14p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Boletim Agrometeorológico, 23).

GAYET, J.P. Características das frutas de exportação. In: GORGATTI NETO, A. et al. **Uva para exportação: procedimentos de colheita e pós-colheita**. Brasília: EMBRAPA-SPI/FRUPEX, 1993. p.9-11. (FRUPEX. Publicações Técnicas, 2).

HUBER, D.J. The role of cell wall hidrolases in fruit softening. **Horticultural Reviews**, Westport, v.5, p.169-219, 1983.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas, métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. São Paulo: IAL, 1985. v.1, 371p.

IRVING, D.E.; HURST, P.L.; RAGG, J.S. Changes in carbohydrates and carbohydrate metabolizing enzymes during the development, maturation, and ripening of buttercup squash (*Cucurbita maxima* D. 'Delica'). **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.122, n.3, p.310-314, 1997.

JEFFERY, D. et al. Ethylene-independent and ethylene-dependent biochemical changes in ripening tomatoes. **Plant Physiology**, Rockville, v.74, n.1, p.32-38, 1984.

KAYS, S.J. **Postharvest physiology of perishable plant products**. New York: AVI Book, 1991. 532p.

KRISHNAMURTHY, S.; SUBRAMANYAM, H. Pre- and post-harvest physiology of the mango fruit: a review. **Tropical Science**, London, v.15, n.2, p.167-193, 1973.

LIVERA, A.V.S.; GUERRA, N.B. Determinação da maturidade comercial da graviola (*Annona muricata* L.) através de um disco de coleta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 14, 1995, Salvador. **Resumos...** Salvador: SBF, p.603-604, v.2, 1995.

MATTIUZ, B.H.; DURIGAN, J.F. Efeito de injúrias mecânicas na firmeza e coloração de goiabas das cultivares Paluma e Pedro Sato. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.23, n.2, p.277-281, 2001.

MITCHAM, E.J.; McDONALD, R.E. Cell wall modification during ripening of 'Keitt' and 'Tommy Atkins' mango fruit. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.117, n.6, p.919-924, 1992.

MOSCA, J.L. et al. Determination of harvest index for soursop fruits (*Annona muricata* L.) In: CONGRESO INTERNACIONAL DE ANONACEAS, 1997, Chapingo. **Memorias...** Chapingo: Universidad Autónoma Chapingo, 1997. p.315-322.

MUÑOZ, M.T.; ESCRIBANO, M.I.; MERODIO, C. Ethanolic metabolism in cherimoya fruit during storage at ambient and under high CO<sub>2</sub> atmosphere. **The Journal of Horticultural Science**, Ashford, v.72, n.3, p.363-370, 1997.

OLIVEIRA, S.L. de et al. Polyphenoloxidase activity, polyphenols concentration and browning intensity during soursop (*Annona muricata*, L.) maturation. **Journal of Food Science**, Chicago, v.59, n.4, p.1050-1052, 1994.

PAULL, R.E. Postharvest variation in composition of soursop (*Annona muricata* L.) fruit in relation to respiration and ethylene production. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.107, n.4, p.582-585. 1982.

\_\_\_\_\_. Soursop fruit ripening – starch breakdown. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n.269, p.277-281, 1990.

PAULL, R.E.; DEPUTY, J.; CHEN, N.J. Changes in organic acids, sugars, and headspace volatiles during fruit ripening of soursop. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v.108, n.6, p.931-934, 1983.

PRESSEY, R.; AVANTS, J.K. Separation and characterization of the exopolygalacturonase and endopolygalacturonase from peaches. **Plant Physiology**, Baltimore, v.52, n.3, p.252-256, 1973.

RAMOS, V.H.V. A potencialidade da gravioleira no cerrado. In: PINTO, A.C.Q. **A cultura da graviola**. Fortaleza: SINDIFRUTA, INSTITUTO FRUTAL, p.42-58, 1999.

ROE, B.; BRUEMMER, J.H. Changes in pectic substances and enzymes during ripening and storage of 'Keitt' mango. **Journal of Food Science**, Chicago, v.46, n.1, p.186-189, 1981.

SALGADO, F.R.; LÓPEZ, M.; GUTIÉRREZ, A. **Manejo post-cosecha de la guanábana (*Annona muricata* L.)**. Edición Magnitud Ltda. Santa Fé de Bogotá: NRI, SENA, DFID. 1998. 332p. (Serie de paquetes de capacitación sobre manejo post-cosecha de frutas y hortalizas, 8).

SAMS, C.E. Preharvest factors affecting postharvest texture. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.15, n.3, p.249-254, 1999.

SÃO-JOSÉ, A.R. Aspectos generales de las anonáceas en Brasil. In: CONGRESO INTERNACIONAL DE ANONACEAS, 1997, Chapingo. **Memorias...Chapingo**: Universidad Autónoma Chapingo. p.92-103. 1997.

TUCKER, G.A. Introduction. In: SEYMOUR, G.B.; TAYLOR, J.E.; TUCKER, G.A. **Biochemistry of fruit ripening**. London: Champman & Hall, 1993. p.1-51.

WILLS, R. et al. **Postharvest: an introduction to the physiology & handling of fruit, vegetables & ornamentals**. 4<sup>a</sup> ed. Wallingford: New South Wales University Press, 1998. 262p.

WILLS, R.B.H. et al. Postharvest changes in fruit composition of *Annona atemoya* during ripening and effects of storage temperature on ripening. **HortScience**, Alexandria, v.19, n.1, p.96-97, 1984.

WOOLF, A.B. et al. Changes to physical properties of the cell wall and polyuronides in response to heat treatment of 'Fuyu' persimmon that alleviate chilling injury. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.122, n.5, p.698-702, 1997.

WORREL, D.B.; CARRINGTON, C.M.S.; HUBER, D.J. Growth, maturation and ripening of soursop. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.57, n.1, p.7-15, 1994.

\_\_\_\_\_. Growth, maturation and ripening of breadfruit (*Artocarpus altilis* (Park.) Fosf.). **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.76, n.1, p.17-28, 1998.

YEMN, E.W.; WILLIS, A.J. The estimation of carbohydrate in plant extracts by anthrone. **The Biochemical Journal**, Cambridge, v.57, n.2, p. 504-514, 1954.

YOSHIOKA, H.; KASHIMURA, Y.; KANEKO, K. Solubilization and distribution of neutral sugar residues derived from polyuronides during the softening in apple fruit. **Journal of the Japanese Society of Horticultural Science**, Kyoto, v.63, n.1, p.173-183, 1994.

ZAYAS, J.C. Las frutas anonaceas. Ediciones Fruticolas: Havana, 1966. 63p.

## CAPÍTULO IV

### MATURAÇÃO DE GRAVIOLA (*Annona muricata* L.) SUBMETIDA A APLICAÇÃO PÓS-COLHEITA DE 1-METILCICLOPROPENO

#### RESUMO

O objetivo deste estudo foi determinar o efeito da aplicação de diferentes doses de 1-MCP sobre a maturação da graviola a temperatura ambiente. Os frutos do tipo 'Crioula' foram colhidos na maturidade fisiológica e submetidos a aplicação de 0, 200, 400 e 600 ppb de 1-MCP, durante 12 horas, e a armazenamento ( $24,0 \pm 1,0^{\circ}\text{C}$  e  $90,8 \pm 7,3\%\text{UR}$ ) por 0, 2, 4, 6 e 8 dias. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial  $4 \times 5$ , com três repetições. Avaliou-se as seguintes variáveis: atividade respiratória (RS); produção de etileno (ET); perda de matéria fresca (PMF); cor da casca e da polpa, definidas pelos parâmetros Luminosidade (L), Cromaticidade (C) e ângulo Hue (H); firmeza da polpa; pH; sólidos solúveis totais (SST); acidez total titulável (ATT) e açúcares solúveis totais (AST). A aplicação de 1-MCP promoveu atraso no tempo de ocorrência dos dois picos respiratórios característicos da maturação da graviola. A RS dos frutos tratados foi menor que a do controle e a ET, mais lenta. No controle, o pico de ET ocorreu aos quatro dias, com valores até duas vezes maiores que os dos frutos tratados. A PMF alcançou 6,71% aos oito dias, sendo que, nos frutos que receberam 1-MCP, ela foi de 13 a 24% menor que a do controle. Durante o período, as alterações na cor se caracterizaram por redução em C e H da casca assim como L e H da polpa. O 1-MCP atrasou estas modificações, afetando os valores de C e H da casca e H da polpa. A firmeza dos frutos tratados também foi maior até os seis dias após a colheita, não se verificando mais eficiência aos oito dias. Por sua vez, o efeito do 1-MCP no teor de SST e na ATT só foi observado até quatro dias após a colheita. O 1-MCP atrasou o aumento característico na ATT e o acúmulo de SST, sem, contudo, afetar o teor de AST da graviola durante a maturação. A queda no pH também foi mais lenta, até os seis dias, nos frutos tratados com 1-MCP. Entre as doses aplicadas, a mais eficiente foi a de 200 ppb.

**MATURATION OF SOURSOP (*Annona muricata* L.) UNDER POSTHARVEST  
APPLICATION OF 1-METHYLCYCLOPROPENE**

**ABSTRACT**

The objective of the present work was to determine the effect of different dosages of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on the soursop fruit maturation in ambient temperature. Fruits of 'Crioula' type were harvested at the physiological maturity stage, treated with 0, 200, 400 and 600 ppb of 1-MCP during 12 hours, and stored at  $24.0 \pm 1.0^{\circ}\text{C}$  and  $90.8 \pm 7.3\%$  RH for 0, 2, 4, 6 and 8 days. The experimental design was a completely randomized with a 4 x 5 factorial and three replicates. The following variables were assessed: respiratory rate (RR); ethylene production (EP); weight loss (WL); skin and pulp color according to luminosity (L), chromaticity (C) and Hue angle (H); pulp firmness; pH; total soluble sugars (TSS); total titratable acidity (TTA) and total soluble solids (TS). Application of 1-MCP delayed the occurrence of the two characteristic peaks of soursop fruit ripening. The RR of treated fruits was lower compared with control, while the EP was slower. For control fruits the EP occurred in the 4<sup>th</sup> day showing values two times higher compared with treated fruits. The WL reached 6.71% in the 8<sup>th</sup> day, being 13 to 24% lower in control fruits compared with treated ones. During the experiment the color variations showed decreasing values for C and H of skin as well as for L and H of pulp. The 1-MCP delayed such alterations, influencing the values of C and H of skin and the H value of pulp. The firmness of treated fruits was higher until the 6<sup>th</sup> day after harvest, did not showing efficiency after the 8<sup>th</sup> day. On the other hand, the 1-MCP effect on the TSS and TTA contents was observed only until the 4<sup>th</sup> day after harvest. The 1-MCP delayed the characteristic increase of TTA and the accumulation of TSS but without affecting the TS content of fruits during ripening. The pH decreasing was also slow until the 6<sup>th</sup> day for treated fruits. The dosage of 200 ppb was the most efficient treatment.

## 1 INTRODUÇÃO

A alta perecibilidade da graviola (*Annona muricata* L.) e o curto período de conservação após a colheita têm sido destacados em alguns estudos (PAULL, 1982; AZIZ & YUSOF, 1994) como fatores limitantes à comercialização para mercados mais distantes (MOSCA et al., 1997). Quando colhido na maturidade fisiológica, este fruto completa o amadurecimento em até seis dias (PAULL, 1982; MOSCA et al., 1997).

O uso de tecnologias que retardassem o amadurecimento da graviola representaria uma perspectiva de atender mercados mais distantes e de tornar mais elástico o tempo de escoamento da produção. Neste sentido, o 1-metilciclopropeno (1-MCP) tem sido testado em alguns frutos (ABDI et al., 1998; GOLDING et al., 1998; JIANG et al., 1999a,b; KU et al., 1999; PORAT et al., 1999; FAN et al., 2000; HARRIS et al., 2000; WATKINS et al., 2000; ARGENTA et al., 2001; DONG et al., 2002; JEONG et al., 2002) com resultados bastante promissores.

O 1-MCP é um gás, inodoro nas concentrações necessárias para proteger as plantas, que compete com o etileno ( $C_2H_4$ ) pelos sítios de ligação nos receptores das membranas (SISLER & SEREK, 1997). JIANG et al. (1999b) salientam que a inibição promovida pelo 1-MCP é não-competitiva e que a afinidade do composto pelos sítios de ligação é maior do que a do próprio etileno. Uma vez ligado a estes sítios, o 1-MCP atrasa ou inibe eventos do amadurecimento dependentes de etileno.

Resultados experimentais ressaltam a eficiência do 1-MCP em estender a vida útil de ameixa (ABDI et al., 1998; DONG et al., 2002), banana (GOLDING et al., 1998; JIANG et al., 1999a,b; HARRIS et al., 2000), brócolis (KU & WILLS, 1999), damasco (FAN et al., 2000), maçã (WATKINS et al., 2000; ARGENTA et al., 2001), tomate (WILLS & KU, 2002), entre outros. As respostas dependem, em geral, da concentração e do tempo de exposição ao gás (SISLER & SEREK, 1997; JIANG et al., 1999b; JEONG et al., 2002; WILLS & KU, 2002) mas variam com a espécie, a cultivar, o estágio de maturação e as condições de armazenamento (SISLER & SEREK, 1997; JIANG et al., 1999b; KU & WILLS, 1999; HARRIS et al., 2000).

Com base no exposto, este trabalho objetivou determinar o efeito da aplicação de diferentes doses de 1-MCP sobre a maturação da graviola a temperatura ambiente.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Origem e Colheita dos Frutos

Utilizou-se frutos de gravioleira do tipo 'Crioula' provenientes de cultivo comercial da empresa Fazenda Frota. A empresa está situada no município de Quixeré, CE, cujas coordenadas geográficas são 5°04'26" S e 37°59'20" W (EMBRAPA, 2001), a uma distância aproximada de 220 km de Fortaleza. Os dados de precipitação pluvial mensal do ano que antecedeu a colheita estão representados na TABELA 3.

TABELA 3 – Precipitação pluvial do município de Quixeré, CE, durante o ano que antecedeu a colheita dos frutos<sup>1</sup>.

MÊS/ANO	Precipitação pluvial (mm)
Fevereiro/2000	176,2
Março/2000	89,0
Abril/2000	202,6
Maió/2000	83,4
Junho/2000	32,0
Julho/2000	0,0
Agosto/2000	0,0
Setembro/2000	0,0
Outubro/2000	0,0
Novembro/2000	0,0
Dezembro/2000	0,0
Janeiro/2001	63,0

<sup>1</sup>Valores obtidos do posto da FUNCEME (Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos) localizado no município de Quixeré, CE.

Os frutos foram colhidos no dia 31 de janeiro de 2001, quando atingiram a maturidade fisiológica, e obtidos de plantas com dois anos e meio de idade, cultivadas em espaçamento 5,0 x 4,0 m, sob irrigação por microaspersão.

## 2.2 Caracterização do Experimento

Imediatamente após a colheita, os frutos foram transportados para o Laboratório de Fisiologia e Tecnologia Pós-Colheita, da Embrapa Agroindústria Tropical, em Fortaleza, CE. Procedeu-se à seleção, segundo uniformidade de maturação, ausência de danos e limpeza, considerando-se cada fruto como uma unidade experimental.

No mesmo dia, considerado como tempo zero, três frutos foram separados, ao acaso, para avaliação. Estes frutos correspondiam às repetições já que até então não havia efetivação dos tratamentos. Os demais frutos foram submetidos a aplicação de 1-MCP, a partir do produto comercial *SmartFresh*<sup>TM</sup> (0,14% i.a.), na forma de pó molhável, nas doses 0, 200, 400 e 600 ppb.

Os frutos foram acondicionados em câmaras fechadas com capacidade para 0,186 m<sup>3</sup> (FIGURA 28). Neste ambiente, o produto comercial, mantido em recipiente fechado, foi dissolvido em água a 50°C. Esta solução libera o gás 1-MCP nos primeiros segundos após sua dissolução. Portanto, o intervalo de tempo entre a abertura do recipiente contendo a solução e o fechamento completo da câmara foi o menor possível.



FIGURA 28 – Câmara utilizada para tratamento dos frutos com 1-MCP.

A exposição dos frutos ao 1-MCP foi mantida durante 12 horas, sob temperatura ambiente (aproximadamente 25°C). Após este período, os frutos foram armazenados a  $24,0 \pm 1,0^\circ\text{C}$  e  $90,3 \pm 7,3\%$  UR por 2, 4, 6 e 8 dias. Os valores de temperatura e UR do período estão registradas na FIGURA 29.

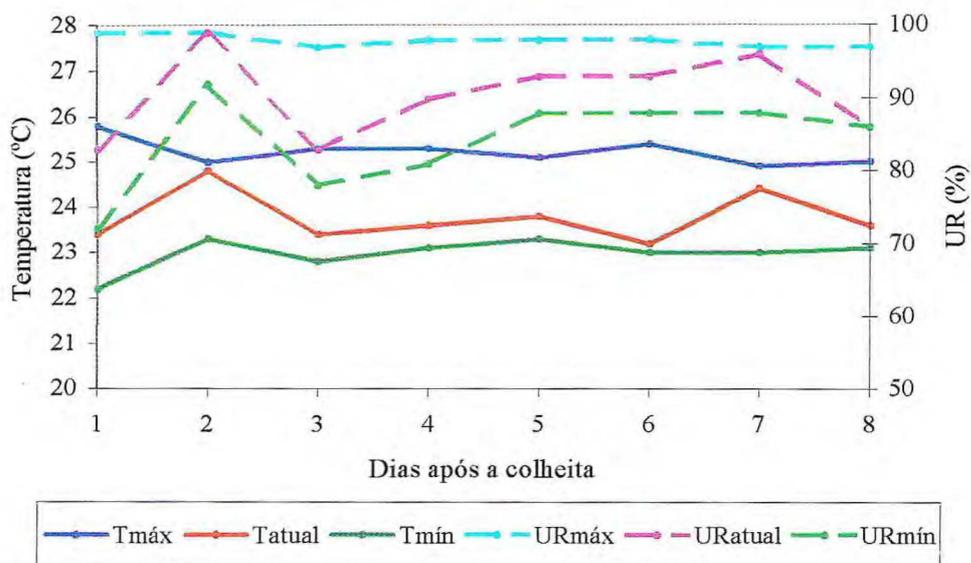


FIGURA 29 - Valores de temperatura e de umidade relativa (UR) máximas, atuais e mínimas durante o período de armazenamento dos frutos expostos a diferentes doses de 1-MCP. Considerou-se como atuais os valores lidos no momento da coleta diária dos dados.

### 2.3 Avaliações

As avaliações foram realizadas na região do fruto correspondente ao segundo terço. Para aquelas de natureza físico-química e química, amostras da polpa foram acondicionadas em *freezer* (-18°C) até a realização das análises. Por ocasião das extrações, estas amostras foram diluídas em água, na proporção de 1:1, dada a dificuldade de obtenção de suco da polpa, principalmente nas primeiras datas de avaliação.

Tanto as avaliações quanto as coletas das amostras da polpa foram realizadas nas manhãs de cada data.

Estudou-se as variáveis seguintes, conforme metodologias especificadas:

- Atividade respiratória ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ ): determinada em cromatógrafo a gás CG modelo DANI 86.10 através de detector de condutividade térmica (150°C), em coluna PORAPAK – N (4 m x 3,2 mm), a partir de 5 mL da amostra da atmosfera produzida pelo fruto intacto em recipiente fechado. Após a separação, usando  $\text{H}_2$  como gás de arraste ( $30 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ ) a uma temperatura de 60°C na coluna, as áreas dos

cromatogramas obtidos foram registradas e integradas por meio do *software* Peak Simple II (PK-2) (Ciola & Gregori – CG). Os valores obtidos foram comparados com uma amostra padrão contendo CO<sub>2</sub> a 5%.

- Produção de etileno ( $\mu\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ ): determinada em cromatógrafo a gás CG modelo DANI 86.10 através de detector de ionização de chama (200°C), com as características descritas anteriormente, a partir de 5 mL da amostra da atmosfera produzida pelo fruto intacto em recipiente fechado e comparada com uma amostra padrão de 10 ppm;

- Perda de matéria fresca (%): obtida através do peso individual do fruto no dia da colheita e na data da avaliação, utilizando-se balança semi-analítica;

- Cor da casca: determinada pela média de três leituras efetuadas em pontos aproximadamente equidistantes, através de reflectômetro da marca MINOLTA modelo CR 300. As leituras foram feitas a partir dos três parâmetros que, segundo a CIE (Commission Internationale de L'Eclairage), definem a cor: luminosidade (L), cromaticidade (Croma) e ângulo Hue, de acordo com metodologia descrita por WOOLF et al. (1997);

- Cor da polpa: determinada pela média de leituras efetuadas em dois pontos da metade longitudinal do fruto, usando o mesmo procedimento da cor da casca;

- Firmeza da polpa (N): obtida pela média entre duas leituras realizadas em pontos opostos do fruto, após retirada da casca, por meio de texturômetro eletrônico Stable Micro Systems modelo TA.XT2i, equipado com *plunger* de 6 mm de diâmetro. O equipamento foi ajustado para uma distância de penetração de 20 mm, à velocidade de  $2,0\text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ ;

- pH: obtido em potenciômetro digital com eletrodo de membrana de vidro (IAL, 1985);

- Acidez total titulável (ATT, % de ácido málico): determinada por titulação com solução de NaOH 0,1 M, conforme metodologia do IAL (1985);

- Sólidos solúveis totais (SST, °Brix): determinados por leitura em refratômetro digital ATAGO PR 101, escala de 0 a 45°Brix, com compensação automática de temperatura (AOAC, 1992);

- Açúcares solúveis totais (AST, % da matéria fresca): extraídos em álcool 80% e determinado usando o reagente antrona, conforme YEMN & WILLIS (1954). Partiu-

se de 1,0 g de amostra diluída para 100 mL. Do filtrado obtido desta solução, retirou-se 10 mL para uma segunda diluição para 100 mL de água. Uma alíquota de 0,5 mL reagiu com 1,0 mL de antrona através de aquecimento em banho-maria a 100°C por 8 min. Após este período, as amostras foram resfriadas em banho de gelo e lidas em espectrofotômetro, a 620 nm.

## 2.4 Delineamento Experimental e Análise Estatística

O experimento foi conduzido em delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4 x 5 (doses de 1-MCP x tempo de armazenamento), com três repetições.

As variáveis atividade respiratória e liberação de etileno foram avaliadas a intervalos de tempo mais frequentes que as demais a fim de se obter o padrão respiratório característico do fruto. As referidas variáveis não apresentaram homocedasticidade das variâncias, conforme teste de Bartlett, não sendo, portanto, submetidas à análise de variância. Optou-se, em ambos os casos, por apresentar as médias de cada dose de 1-MCP em cada tempo.

Para as demais variáveis, procedeu-se às análises de variância e, para os casos em que o tempo de armazenamento ou as doses de 1-MCP foram significativos, às análises de regressão polinomial. Quando houve efeito significativo da interação entre os fatores, realizou-se o desdobramento das doses de 1-MCP em cada tempo de armazenamento através de análise de regressão polinomial. Admitiu-se equações de até 3º grau, considerando-se aquelas de grau superior como desvio de regressão, e coeficientes de determinação maiores que 0,70. Nos casos em que estes critérios não foram atendidos, optou-se por representar os valores médios dos tratamentos sem curva de ajuste.

Os valores de perda de matéria fresca, expressos em porcentagem, foram analisados após transformação em  $\text{arc sen } \sqrt{\frac{x}{100}}$ . Para representação gráfica, utilizou-se as médias não transformadas obtidas a partir da operação inversa à transformação.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises de variância revelaram que houve efeito significativo das doses de 1-MCP sobre as variáveis perda de matéria fresca, cromaticidade e ângulo Hue da casca, ângulo Hue da polpa, firmeza da polpa, acidez total titulável (ATT), pH e teor de sólidos solúveis totais (SST). O tempo de armazenamento afetou significativamente quase todas as variáveis, com exceção da cromaticidade da polpa. Houve interação significativa dos fatores estudados sobre a firmeza da polpa, ATT, pH e teor de SST (TABELAS A10 a A12).

#### 3.1 Atividade Respiratória e Produção de Etileno

A aplicação de 1-MCP atrasou o tempo de ocorrência dos dois picos respiratórios característicos da maturação da graviola (FIGURA 30). O primeiro pico, que, segundo WORRELL et al. (1994), não representa o climatério, ocorreu aos quatro dias após a colheita nos frutos que não receberam 1-MCP, correspondendo a uma atividade respiratória de  $198,05 \text{ mg.kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$ . Nos frutos tratados com 200, 400 e 600 ppb, o primeiro pico ocorreu, respectivamente, aos 5, 4 e 5 dias. Além disso, a atividade respiratória observada nesta ocasião foi menor: 148,21, 174,44 e 159,99  $\text{mg.kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$ , nos frutos tratados, respectivamente, com 200, 400 e 600 ppb. O pico climatérico propriamente dito só ficou delimitado nos frutos que receberam 200 e 400 ppb de 1-MCP, ocorrendo aos 7 e 8 dias, respectivamente. Os valores observados, então, foram 208,84  $\text{mg.kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$ , para os frutos que receberam 200 ppb de 1-MCP, e 279,60  $\text{mg.kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$ , no tratamento com 400 ppb. Após o segundo pico, há tendência de um aumento irregular na atividade respiratória da graviola, o que é indicativo de senescência (PAULL, 1982).

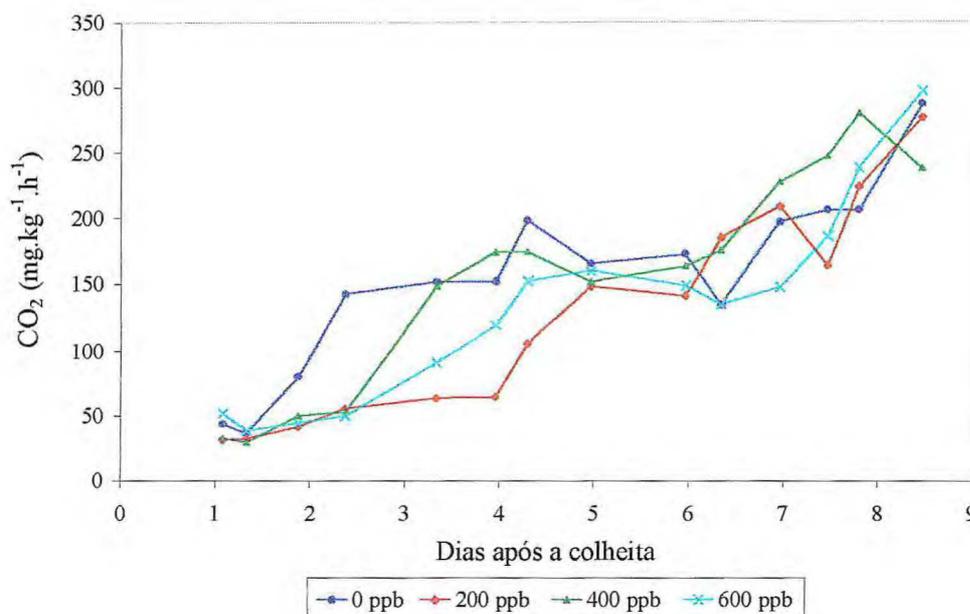


FIGURA 30 - Atividade respiratória de graviola 'Crioula' durante a maturação a temperatura ambiente ( $24,0 \pm 1,0^{\circ}\text{C}$  e  $90,8 \pm 7,3\%$  UR), sob influência de doses de 1-MCP.

Em função da alta atividade metabólica da graviola durante a maturação, as variações na respiração dos frutos do controle e nos tratados com 600 ppb, provavelmente, poderiam ter sido melhor caracterizadas se as leituras tivessem sido realizadas a intervalos ainda mais curtos.

Estudos realizados com outros frutos têm demonstrado que tratamentos com 1-MCP reduzem consideravelmente a atividade respiratória e atrasam o climatério (ABDI et al., 1998; GOLDING et al., 1998; FAN et al., 1999; FAN et al., 2000; FENG et al., 2000; ARGENTA et al., 2001; DONG et al., 2002; JEONG et al., 2002; WILLS & KU, 2002). Segundo GOLDING et al. (1998), a redução na atividade respiratória promovida pelo 1-MCP poderia resultar de um efeito no metabolismo dos carboidratos.

Como registrado em outros estudos (PAULL, 1982; WORRELL et al., 1994), a produção de etileno só começou a ser detectada alguns dias após a colheita (FIGURA 31). Observou-se, no entanto, que nos frutos tratados com 1-MCP, a produção foi mais lenta de forma que os picos só ocorreram aproximadamente aos seis dias após a colheita. No controle, o pico de etileno ( $111,23 \mu\text{L.kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$ ) ocorreu aos quatro dias e foi até duas vezes maior que os valores obtidos nos frutos tratados.

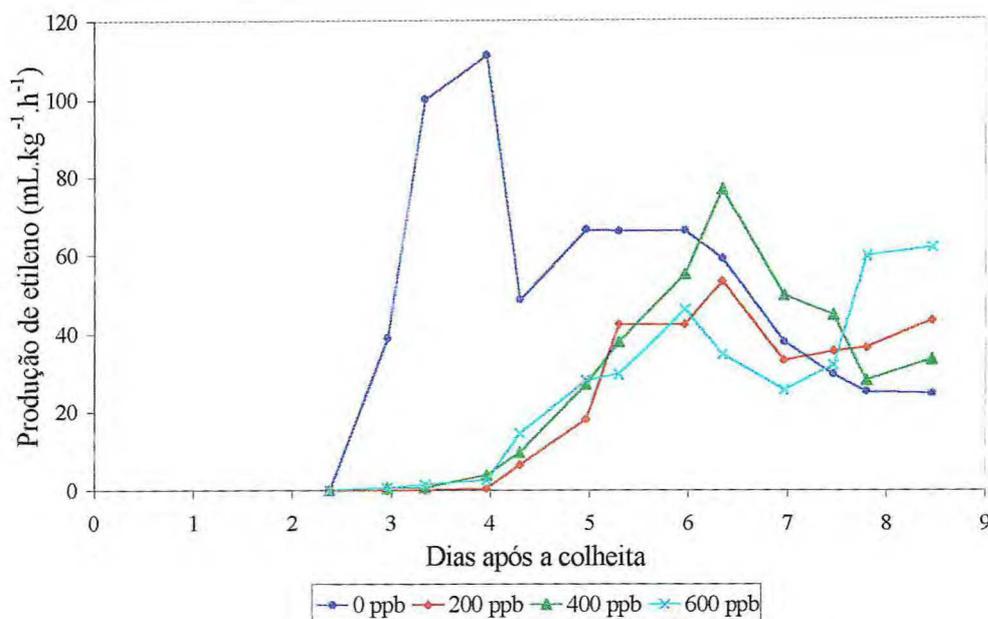


FIGURA 31 – Produção de etileno de graviola ‘Crioula’ durante a maturação a temperatura ambiente ( $24,0 \pm 1,0^{\circ}\text{C}$  e  $90,8 \pm 7,3\%$  UR), sob influência de doses de 1-MCP.

Em todos os tratamentos com 1-MCP, o pico de produção de etileno ocorreu antes do pico climatérico (FIGURAS 30 e 31).

Estudos sobre a aplicação de 1-MCP relataram redução na produção de etileno e atraso na ocorrência do respectivo pico em ameixa (ABDI et al., 1998; DONG et al., 2002), banana (GOLDING et al., 1998; JIANG et al., 1999b; HARRIS et al., 2000), damasco (FAN et al., 2000), maçãs (FAN et al., 1999; ARGENTA et al., 2001) e tomate (WILLS & KU, 2002). Segundo FAN et al. (2000), esta resposta possibilita estender o período de conservação dos frutos uma vez que está relacionada a atrasos no amaciamento da polpa, nas variações na acidez total titulável e nas mudanças de cor características da maturação.

HARRIS et al. (2000) consideram que o 1-MCP bloqueia ou atrasa a acumulação dos RNAs-m requeridos para a transição do sistema I para o sistema II de produção de etileno, próprio dos frutos climatéricos. No entanto, a exposição contínua a etileno exógeno pode estimular a produção desses RNAs-m ou evitar o acúmulo daqueles envolvidos na regulação negativa de retroalimentação, o que reduziria a eficiência dos tratamentos com o gás. Sendo a referida regulação exercida sobre a rota

biossintética do etileno, é possível que nos frutos tratados com 1-MCP a malonilação do ACC, precursor do  $C_2H_4$ , não seja restabelecida (GOLDING et al., 1998).

### 3.2 Perda de Matéria Fresca

Com o decorrer do tempo, a perda de matéria fresca foi crescente, independentemente das doses de 1-MCP aplicadas, alcançando 6,71% aos oito dias (FIGURA 32). Contudo, o fruto não exibiu sinais de enrugamento ou murcha. Testes realizados por MOSCA et al. (1997) destacaram que mesmo com 11% de perda de matéria fresca, não se observou murcha ou enrugamento na graviola. Estas alterações comprometeriam a qualidade do fruto, reduzindo o período de conservação (AWAD, 1993; WILLS et al., 1998).

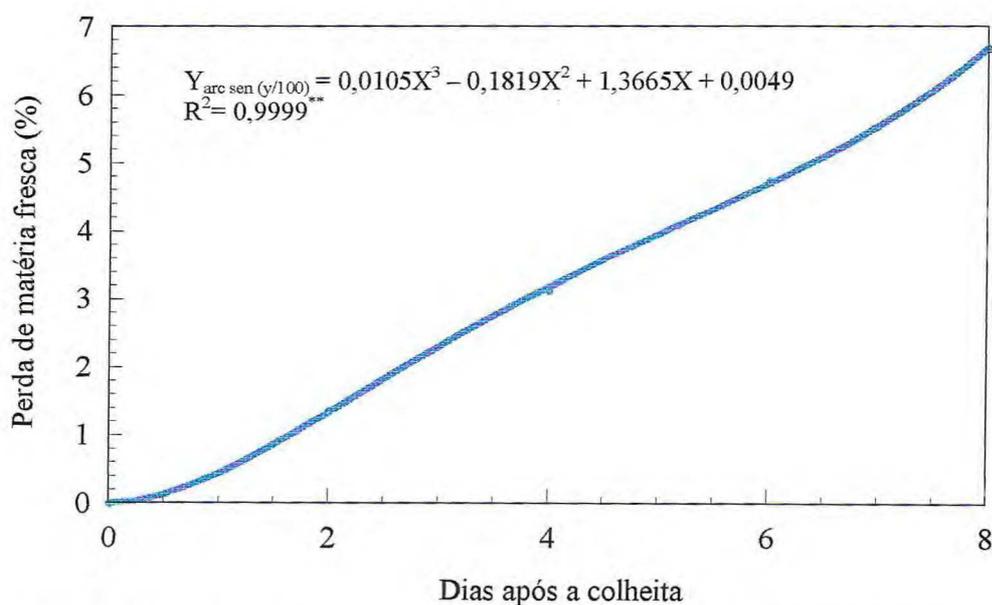


FIGURA 32 – Perda de matéria fresca de graviola ‘Crioula’ durante a maturação a temperatura ambiente ( $24,0 \pm 1,0^\circ\text{C}$  e  $90,8 \pm 7,3\%$  UR). Valores médios das diferentes doses de 1-MCP aplicadas.

A aplicação de 1-MCP resultou numa perda de matéria fresca levemente menor nos frutos tratados (FIGURA 33). As doses 200, 400 e 600 ppb reduziram a perda de matéria fresca média dos frutos em 17,45, 13,09 e 23,64%, respectivamente, em relação

ao controle. Contudo, este efeito não foi suficiente para se detectar visualmente diferenças entre frutos que receberam o inibidor de etileno.

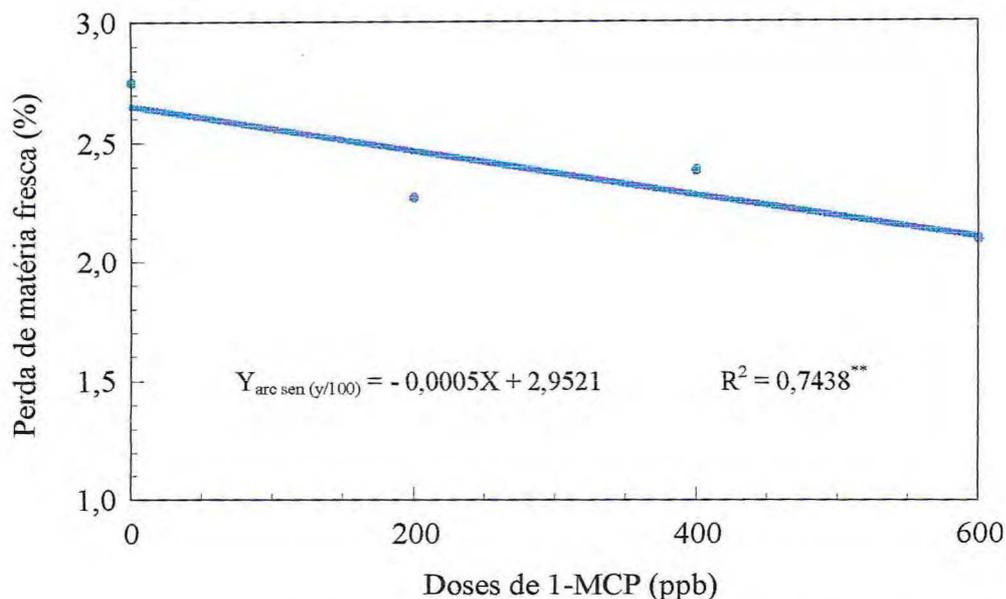


FIGURA 33 – Perda de matéria fresca de graviola ‘Crioula’ sob influência de doses de 1-MCP. Valores médios das avaliações realizadas a cada dois dias, partindo de zero até o oitavo dia após a colheita.

A maioria dos estudos sobre tratamentos com 1-MCP em frutos não tem avaliado seu efeito sobre a perda de matéria fresca. As poucas observações registradas não são concordantes. Em laranja ‘Shamouti’, PORAT et al. (1999) registraram que o 1-MCP não afetou a perda de matéria fresca. Por outro lado, JEONG et al. (2002) obtiveram redução em níveis semelhantes aos observados neste estudo.

### 3.3 Cor da Casca

Enquanto o parâmetro luminosidade da casca se manteve praticamente estável, a cromaticidade e o ângulo Hue diminuiram durante o período estudado (FIGURA 34). Mas, confirmando a tendência observada em graviola, as variações foram pouco expressivas.

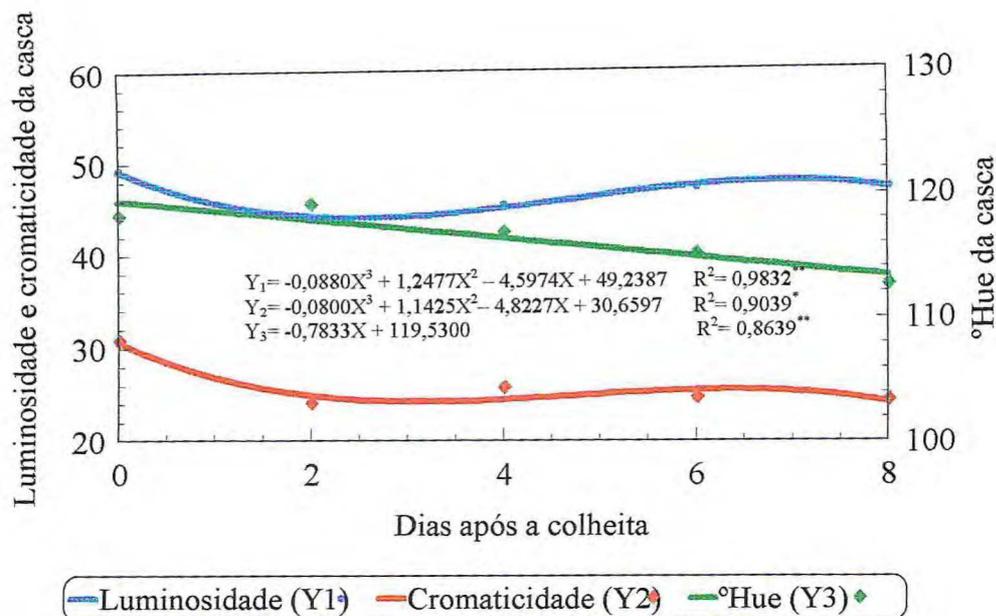


FIGURA 34 - Parâmetros da cor da casca de graviola 'Crioula' durante a maturação a temperatura ambiente ( $24,0 \pm 1,0^\circ\text{C}$  e  $90,8 \pm 7,3\%$  UR). Valores médios das diferentes doses de 1-MCP aplicadas.

É certo que este tipo de resposta depende da espécie em estudo. VENDRAMINI & TRUGO (2000), por exemplo, constataram que acerolas maduras tinham valores de luminosidade inferiores aos do frutos colhidos na maturidade fisiológica.

No presente estudo, as variações observadas no período de dois a seis dias após a colheita podem ser decorrentes da alta variabilidade natural da espécie. A mesma variabilidade poderia explicar a diminuição na cromaticidade da casca entre a primeira e segunda avaliação (FIGURA 34). A partir daí, os valores obtidos foram praticamente estáveis, próximos a 25. No entanto, a queda no ângulo Hue indica modificação na cor, que passou de um verde escuro para uma tonalidade mais clara (FIGURA 35), representada por uma variação de  $5,6^\circ$  durante os oito dias. Este resultado concorda com a observação de PAULL (1982). Segundo o autor, é de se esperar uma variação na cor da casca da graviola de verde escuro para verde-mate-claro à medida que o fruto amadurece.

No entanto, BRUINSMA & PAULL (1984) destacaram que a modificação mais característica na cor da graviola durante a maturação é o escurecimento da casca. Este escurecimento, entendido como o desenvolvimento de regiões pretas que progressivamente coalescem, está relacionado à produção autocatalítica de etileno.

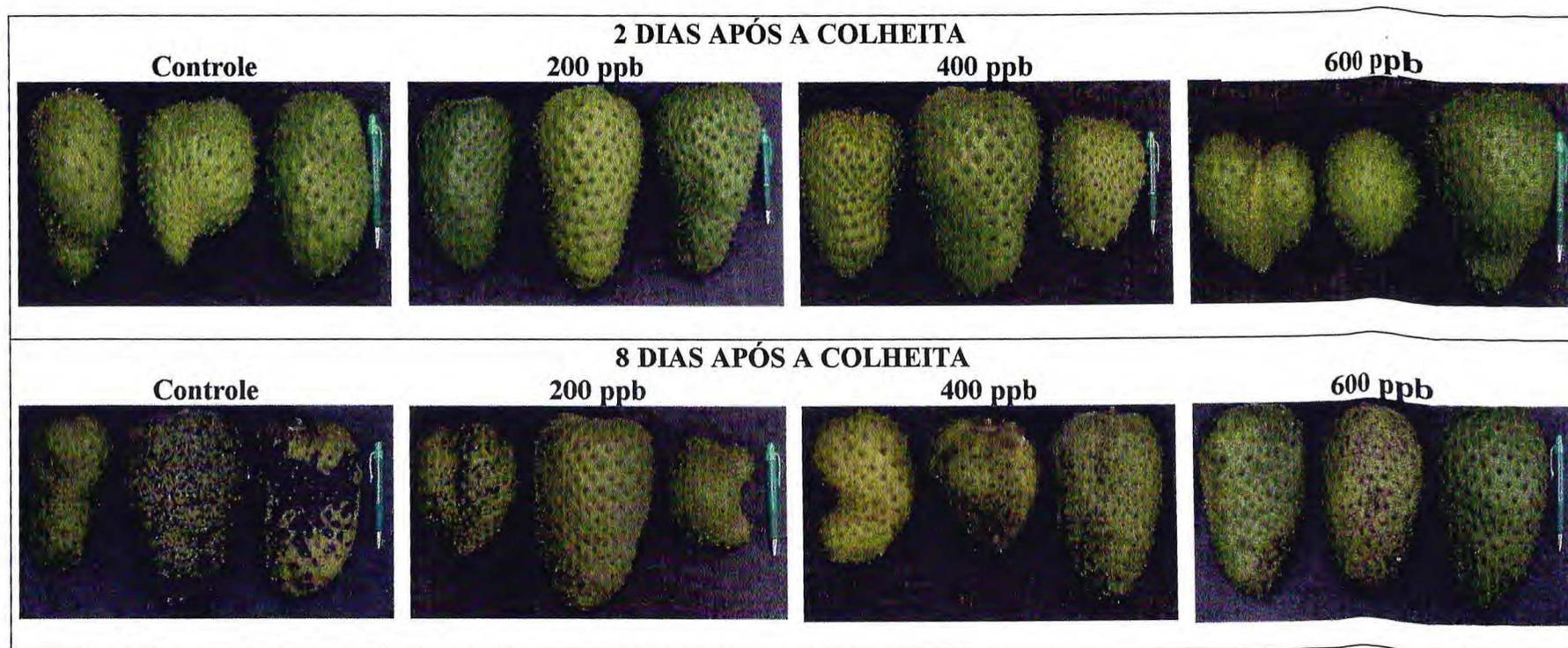


FIGURA 35 – Variação da cor da casca de graviola ‘Crioula’ durante a maturação a temperatura ambiente ( $24,0 \pm 1,0^{\circ}\text{C}$  e  $90,8 \pm 7,3\%$  UR), sob influência de doses de 1-MCP.

Comparando-se as alterações na cor da casca da graviola 'Crioula' com as da 'Morada', discutidas no capítulo III, verificam-se diferenças de resposta em relação à cromaticidade. Na graviola 'Crioula', além da redução nos valores da cromaticidade, a amplitude de variação foi menor, indicando mudanças menos perceptíveis.

Os tratamentos com 1-MCP também afetaram a cor da casca. Os frutos que receberam o gás caracterizaram-se por valores de cromaticidade e ângulo Hue, respectivamente, menores e maiores que os do controle (FIGURA 36). Esta resposta implica em atraso nas mudanças da cor promovidas pelo 1-MCP. Sendo tais mudanças eventos relacionados ao amadurecimento dos frutos, pode-se dizer que o 1-MCP alterou até certo nível o processo normal de amadurecimento da graviola.

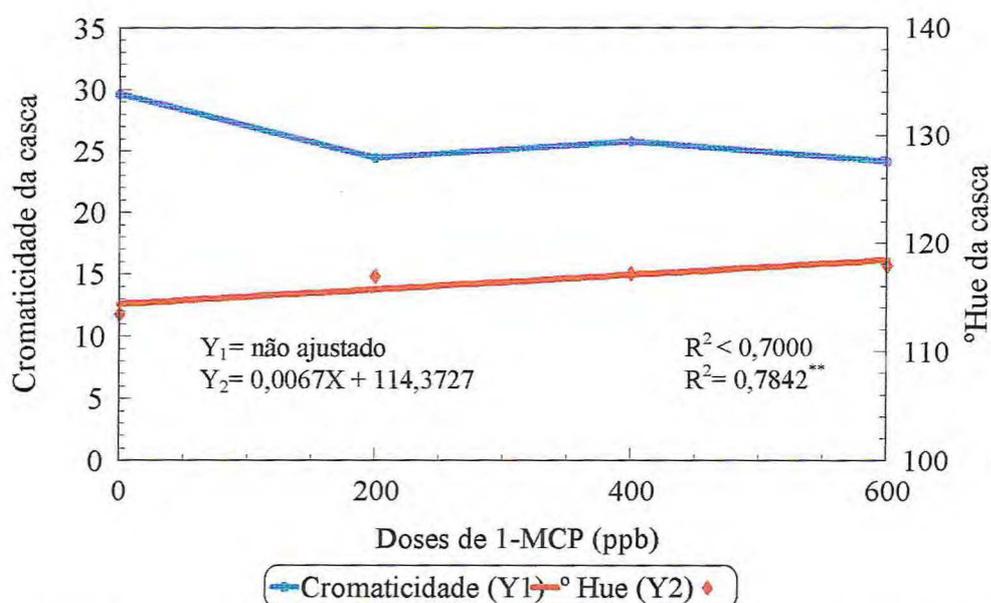


FIGURA 36 – Cromaticidade e ângulo Hue da casca de graviola 'Crioula' sob influência de doses de 1-MCP. Valores médios das avaliações realizadas a cada dois dias, partindo de zero até o oitavo dia após a colheita.

Os frutos tratados com 200, 400 e 600 ppb tiveram valores de cromaticidade da casca 17,63, 13,12 e 18,68% inferiores aos do controle (FIGURA 36). No que se refere ao ângulo Hue, as mesmas doses resultaram em frutos com valores 3,1, 3,3 e 4,2% superiores, nesta ordem. Apesar das diferenças serem pequenas e visualmente difíceis de detectar (FIGURA 35), elas indicam menor velocidade na mudança de tonalidade do verde.

Atrasos na evolução da cor da casca foram registrados em abacate (JEONG et al., 2002), ameixa (DONG et al., 2002), banana (SISLER et al., 1996; GOLDING et al., 1998; JIANG et al., 1999a), brocólis (KU & WILLS, 1999), laranja (PORAT et al., 1999), maçã (ARGENTA et al., 2001) e tomate (SISLER et al., 1996) submetidos a tratamentos pós-colheita com 1-MCP. Entretanto, ABDI et al. (1998) ressaltam que a associação entre mudanças na cor e na produção de etileno varia com o pigmento, o tecido no qual é produzido e a espécie.

### 3.4 Cor da Polpa

Na polpa, observou-se que os parâmetros luminosidade e ângulo Hue decresceram com o tempo, enquanto a cromaticidade não teve diferenças estatisticamente significativas durante o período avaliado, com valor médio de 9,74 (FIGURA 37).

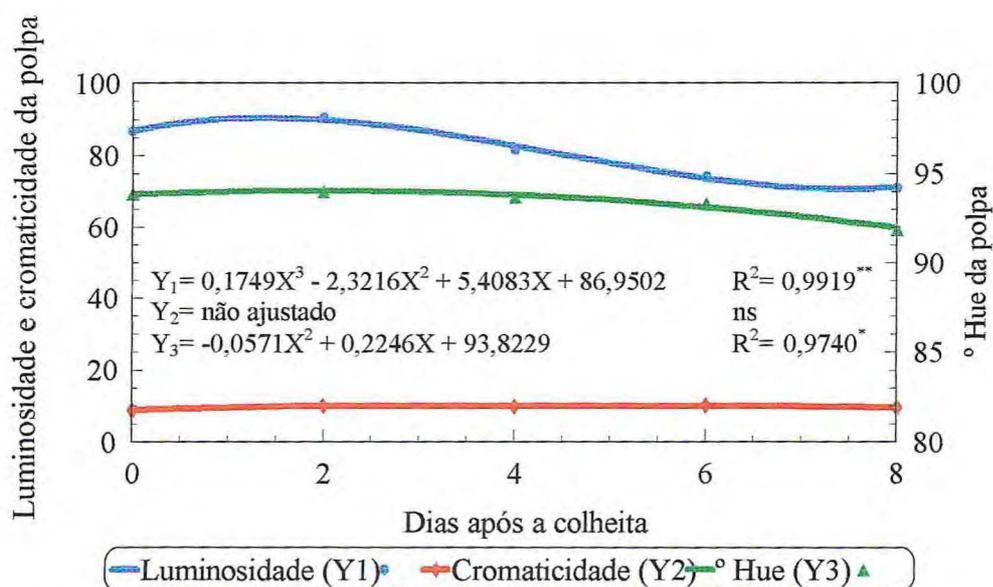


FIGURA 37 – Parâmetros da cor da polpa de graviola ‘Crioula’ durante a maturação a temperatura ambiente ( $24,0 \pm 1,0^\circ\text{C}$  e  $90,8 \pm 7,3\%$  UR). Valores médios das diferentes doses de 1-MCP aplicadas.

A luminosidade da polpa diminuiu a partir de dois dias após a colheita, em especial até os quatro dias, quando se observou maior variação (FIGURA 37). No final do período, a polpa estava, portanto, comparativamente mais escura (FIGURA 38).

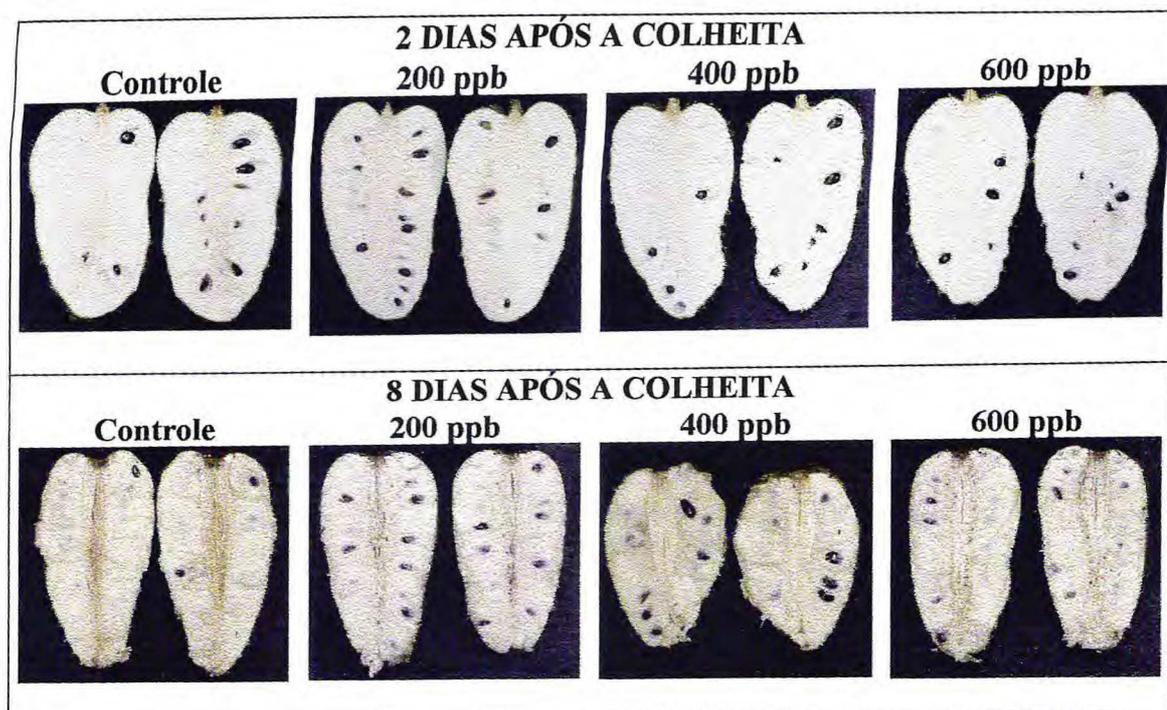


FIGURA 38 - Variação da cor da polpa de graviola 'Crioula' durante a maturação a temperatura ambiente ( $24,0 \pm 1,0^{\circ}\text{C}$  e  $90,8 \pm 7,3\%$  UR), sob influência de doses de 1-MCP.

Ainda que a maioria dos trabalhos avalie a cor externa do fruto, reduções na luminosidade também são esperadas na polpa dos frutos durante o amadurecimento. MARIN & CANO (1992), por exemplo, registraram esta variação em mangas das cultivares Lippens e Smith.

Da mesma forma que a luminosidade, o ângulo Hue da polpa também decresceu a partir de dois dias após a colheita, desde  $94,0$  até  $91,9^{\circ}$ . Neste caso, os valores representam uma cor mais amarelada nos frutos maduros em comparação à polpa branca dos maduros (FIGURA 38). A tonalidade da cor, entretanto, foi dependente da dose de 1-MCP aplicada (FIGURA 39). Em geral, os frutos tratados tinham polpa menos amarelada, principalmente aqueles que receberam 200 e 400 ppb, que apresentaram valores de ângulo Hue mais altos.

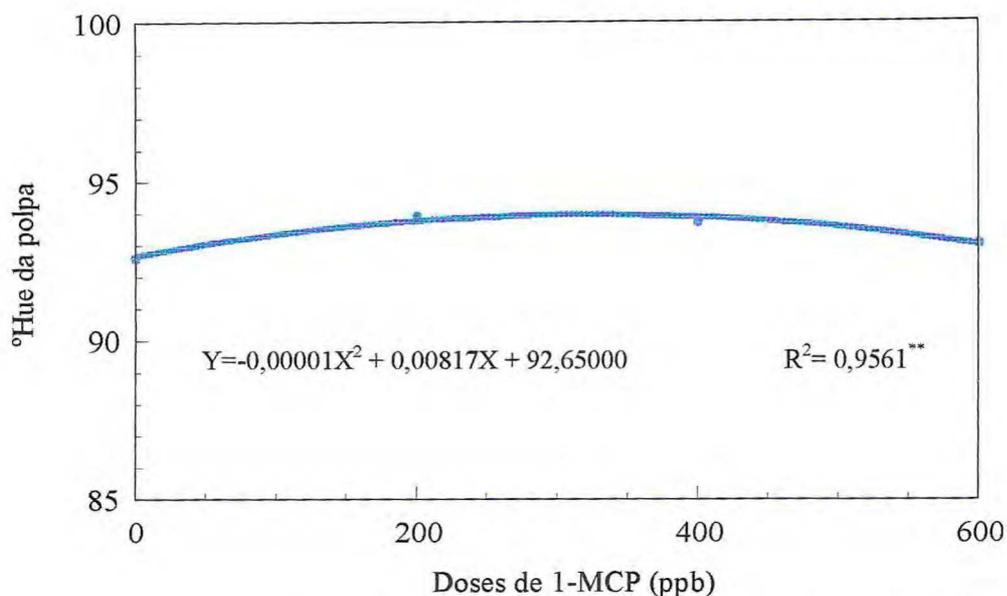


FIGURA 39 – Ângulo Hue da polpa de graviola ‘Crioula’ sob influência de doses de 1-MCP. Valores médios das avaliações realizadas a cada dois dias, partindo de zero até o oitavo dia após a colheita.

### 3.5 Firmeza da Polpa

Os frutos tratados com 1-MCP apresentaram-se mais firmes que os do controle, especialmente aqueles que receberam 200 e 600 ppb (FIGURA 40). As diferenças foram mais evidentes no período de dois até os seis dias. Este período coincidiu com o intervalo compreendido entre o início da liberação de etileno e o último pico registrado (FIGURA 31), indicando a estreita associação entre o amaciamento da polpa e a produção do fitormônio. Ainda, os menores picos foram observados exatamente nos tratamentos correspondentes à aplicação de 200 e 600 ppb. BRADY (1987) ressalta que a produção de etileno contribui indubitavelmente para o amaciamento mas outros efeitos, como mudanças nas propriedades da parede celular, as quais alteram as relações hídricas dos tecidos, atuam na redistribuição de solutos que também está envolvida no processo.

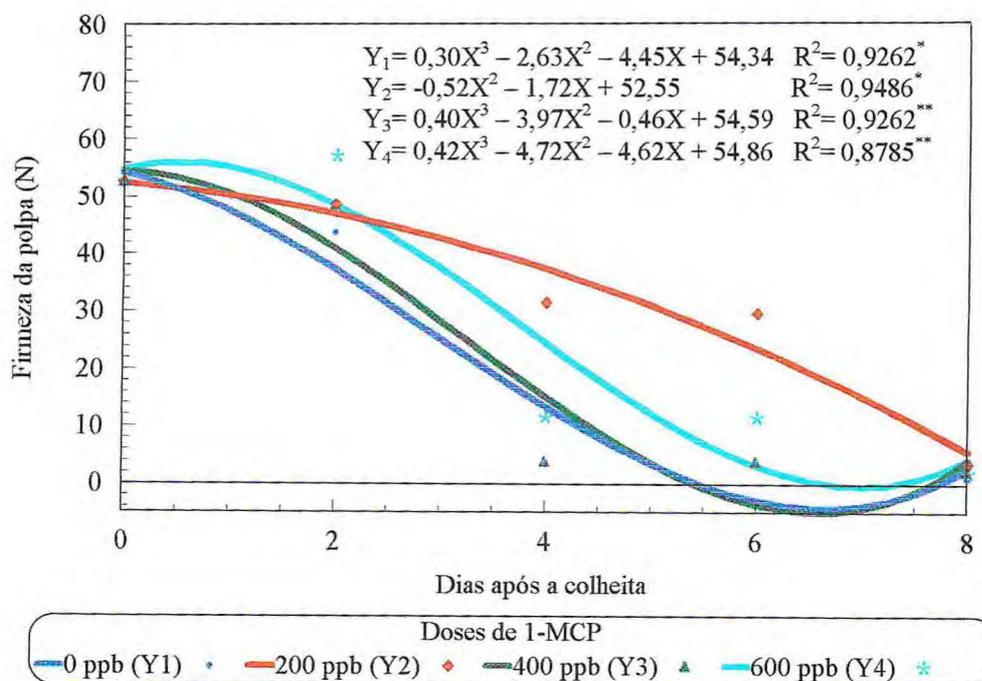


FIGURA 40 – Firmeza da polpa de graviola ‘Crioula’ durante a maturação a temperatura ambiente ( $24,0 \pm 1,0^\circ\text{C}$  e  $90,8 \pm 7,3\%$  UR), sob influência de doses de 1-MCP.

Aos seis dias após a colheita, a firmeza da polpa dos frutos tratados com 0, 200, 400 e 600 ppb de 1-MCP era, respectivamente, 3,67, 29,71, 3,84 e 11,69 N. A resposta sugere atraso na maturação, como menor degradação dos compostos responsáveis pela firmeza, e indica a dose de 200 ppb como a mais eficiente.

A retenção da firmeza é o efeito mais amplamente observado nos estudos sobre utilização de 1-MCP em frutos (JIANG et al., 1999a, 1999b; FAN et al., 2000; FENG et al., 2000; ARGENTA et al., 2001; CRISOSTO & GARNER, 2001; DONG et al., 2002; JEONG et al., 2002). O fato destaca a viabilidade da tecnologia já que a manutenção da firmeza representa um dos fatores críticos que definem o período de conservação dos frutos (YOSHIOKA et al., 1994).

No final do período de avaliação, não se verificou mais o efeito do 1-MCP sobre a firmeza (FIGURA 40). Nesta ocasião, os frutos apresentavam valores praticamente iguais: 0,97, 3,62, 2,16 e 2,06 N, para as respectivas doses de 0, 200, 400 e 600 ppb. JIANG et al. (1999b) consideraram que a perda da capacidade de resposta ao 1-MCP pode ser devido à irreversibilidade do processo de amaciamento uma vez iniciado ou à existência de sítios alternativos de ligação ao etileno, que podem reagir diferentemente

ao 1-MCP. Por outro lado, CAMERON & REID (2001) sugeriram que, nestes casos, novos sítios de ligação de etileno são sintetizados ou que o 1-MCP não se ligou permanentemente a eles. Uma segunda aplicação do inibidor poderia, então, manter a taxa de amaciamento mais lenta. Seguindo esta idéia, CRISOSTO & GARNER (2001) recomendaram nova aplicação de 1-MCP após 3-4 semanas, em kiwi armazenado a 11°C.

Considerando a possibilidade de uma segunda aplicação de 1-MCP em graviola, poder-se-ia recomendar sua realização aos seis dias após a colheita, quando a dose mais eficiente ainda se mantinha ativa.

### 3.6 Acidez Total Titulável e pH

O aumento característico na acidez total titulável (ATT) da graviola durante a maturação foi mais lento nos frutos tratados com 200 e 600 ppb de 1-MCP, até quatro dias após a colheita (FIGURA 41). Nesta ocasião, a ATT observada nos tratamentos com 0, 200, 400 e 600 ppb foi 1,03, 0,69, 1,09 e 0,96% de ácido málico. Destaca-se, portanto, a ATT dos frutos que receberam 200 ppb como indicativo de atraso na maturação.

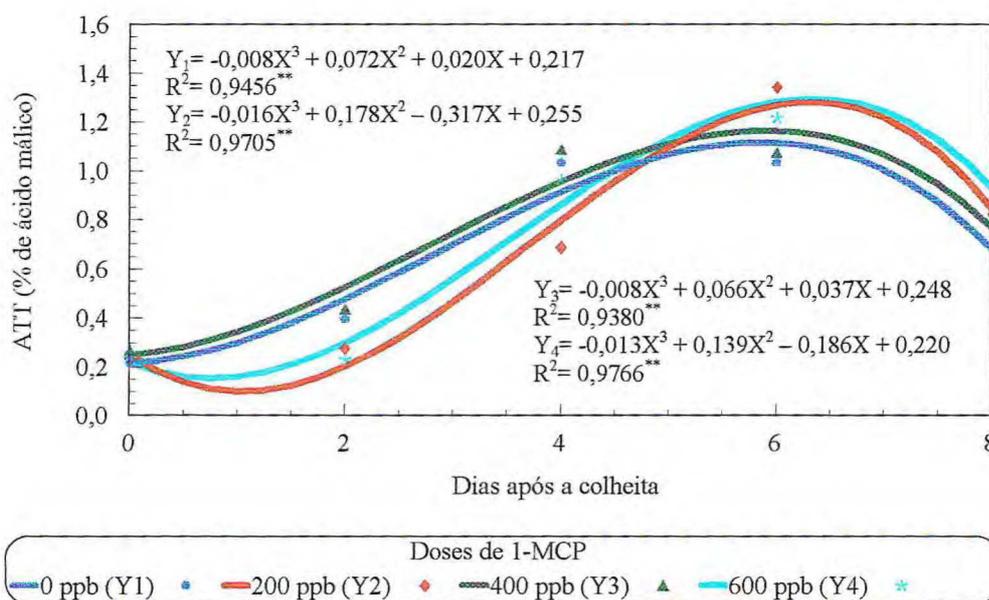


FIGURA 41 – Acidez total titulável (ATT) de graviola ‘Crioula’ durante a maturação a temperatura ambiente ( $24,0 \pm 1,0^\circ\text{C}$  e  $90,8 \pm 7,3\%$  UR), sob influência de doses de 1-MCP.

A partir dos quatro dias após a colheita, entretanto, verificou-se que o aumento na ATT foi maior nos frutos tratados com 200 e 600 ppb, alcançando o máximo aos seis dias (FIGURA 41). Nesta ocasião, os valores de ATT observados em todos os tratamentos, variando de 1,03 a 1,34% de ácido málico, foram característicos de fruto maduro (PAULL, 1982; PAULL et al., 1983). A queda seguinte indica senescência, concordando com o aumento na atividade respiratória no mesmo período (FIGURA 30).

Outros estudos têm constatado atraso na evolução da ATT em ameixa (DONG et al., 2002), damasco (FAN et al., 2000), maçã (WATKINS et al., 2000; ARGENTA et al., 2001) e tomate (WILLS & KU, 2002). Entretanto, o efeito depende de fatores como cultivar (WATKINS et al., 2000) e estágio de maturação (FAN et al., 2000).

Concordando com as respostas observadas na ATT, a aplicação de 1-MCP retardou a queda no pH da polpa (FIGURA 42). Novamente, o efeito foi mais pronunciado nos frutos tratados com as doses 200 e 600 ppb, sendo a primeira mais eficiente. Aos seis dias, o pH dos frutos maduros foi 3,78, 4,38, 3,79 e 4,00, para as doses respectivas de 0, 200, 400 e 600 ppb.

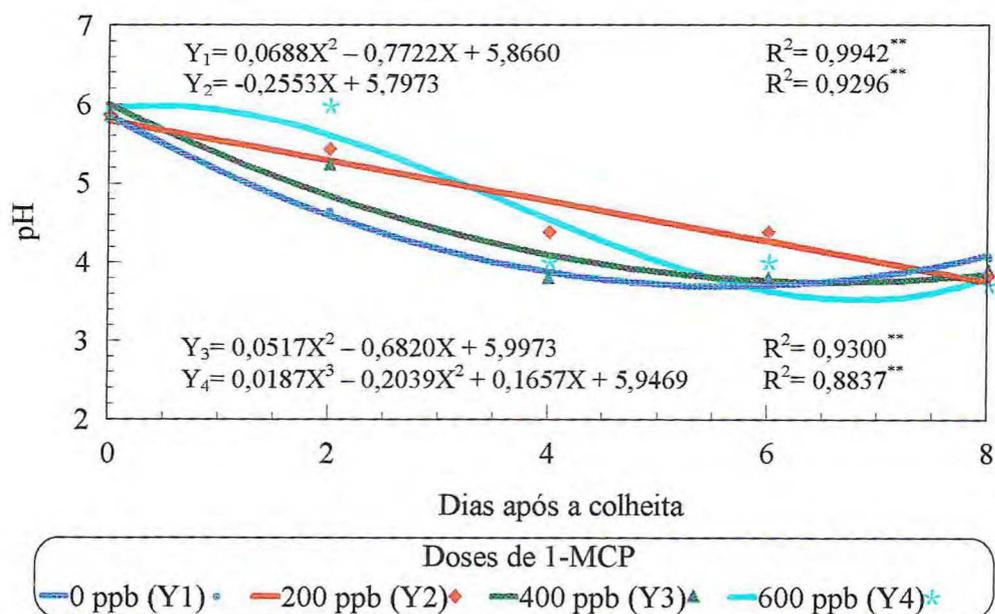


FIGURA 42 – pH de graviola ‘Crioula’ durante a maturação a temperatura ambiente ( $24,0 \pm 1,0^{\circ}\text{C}$  e  $90,8 \pm 7,3\%$  UR), sob influência de doses de 1-MCP.

### 3.7 Sólidos Solúveis Totais

De um modo geral, o 1-MCP retardou o acúmulo de sólidos solúveis totais (SST) apenas até os quatro dias após a colheita (FIGURA 43). À semelhança do que se observou na ATT, após quatro dias os tratamentos perderam eficiência. Os teores máximos foram observados aos seis dias, quando se obteve 19,4, 20,1, 21,5 e 18,5°Brix nos frutos tratados com 0, 200, 400 e 600 ppb, respectivamente. A partir daí, a redução no conteúdo de SST sugere senescência dos frutos.

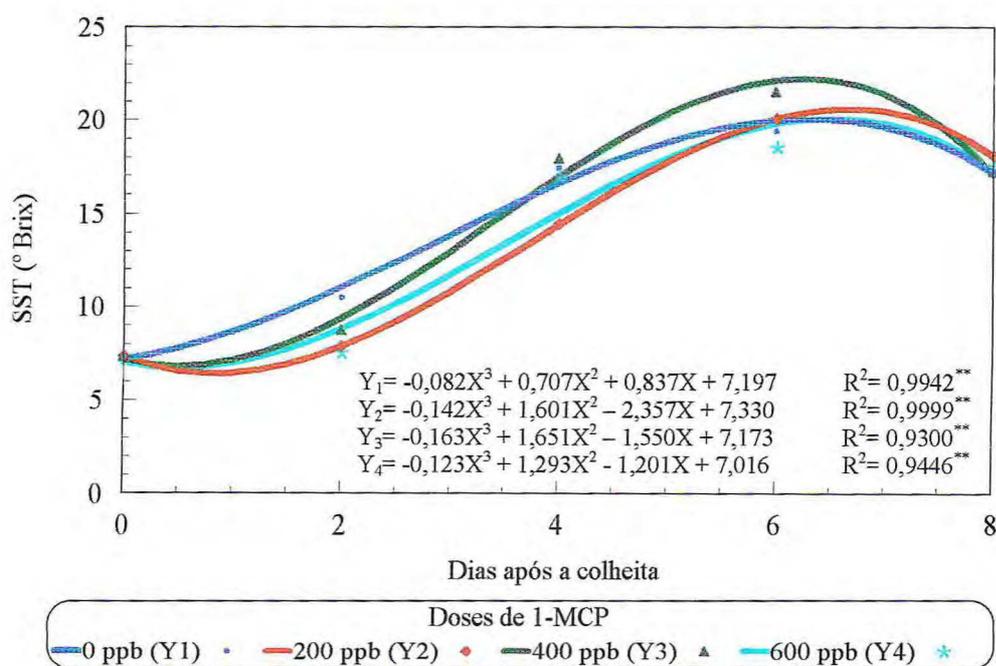


FIGURA 43 – Teor de sólidos solúveis totais (SST) de graviola ‘Crioula’ durante a maturação a temperatura ambiente ( $24,0 \pm 1,0^{\circ}\text{C}$  e  $90,8 \pm 7,3\%$  UR), sob influência de doses de 1-MCP.

Aos oito dias, o teor de SST nos frutos tratados com 200 ppb foi ligeiramente superior aos demais ( $18,1^{\circ}\text{Brix}$ ), que variaram de  $17,2$  a  $17,5^{\circ}\text{Brix}$ .

Vale ressaltar que os efeitos de 1-MCP no teor de SST nem sempre são consistentes (FAN et al., 1999) e variam, inclusive, entre cultivares (WATKINS et al., 2000).

### 3.8 Açúcares Solúveis Totais

Apesar do efeito do 1-MCP sobre o teor de SST, o conteúdo de açúcares solúveis totais (AST), principal componente do primeiro, variou apenas em função do tempo (FIGURA 44). O período de maior incremento na variável, entre dois e quatro dias após a colheita, coincidiu com o maior acúmulo de SST (FIGURA 43). Após o sexto dia, observou-se tendência de estabilização no conteúdo de AST, que atingiu 13,92% ao final do período.

Uma vez que o teor de AST se manteve o mesmo para todos os tratamentos com 1-MCP, a proposição sugerida por GOLDING et al. (1998) de que o inibidor reduz a atividade respiratória através de um efeito no metabolismo dos carboidratos, parece não se aplicar à graviola. Em outros estudos, os resultados também apresentam esta tendência (FAN et al., 1999; WATKINS et al., 2000).

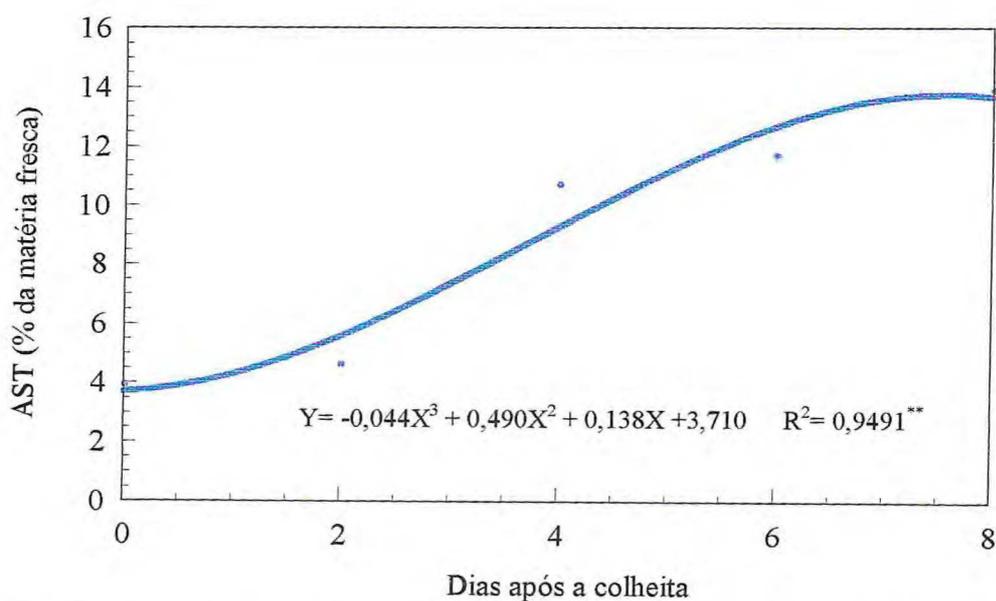


FIGURA 44 – Teor de açúcares solúveis totais (AST) de graviola ‘Crioula’ durante a maturação a temperatura ambiente ( $24,0 \pm 1,0^{\circ}\text{C}$  e  $90,8 \pm 7,3\%$  UR). Valores médios das diferentes doses de 1-MCP aplicadas.

## 4 CONCLUSÕES

1. Durante a maturação da graviola, ocorreu aumento na perda de matéria fresca, na acidez total titulável (ATT) e nos teores de sólidos solúveis totais (SST) e de açúcares solúveis totais (AST). Houve, ainda, redução no pH e nos parâmetros cromaticidade e ângulo Hue da casca e luminosidade e ângulo Hue da polpa. Estas mudanças indicaram que a casca do fruto adquiriu cor verde mais clara e que a polpa tornou-se amarelada. A modificação mais acentuada, contudo, ocorreu na firmeza;

2. A aplicação pós-colheita de 1-MCP, especialmente nas doses 200 e 600 ppb, retardou a maturação da graviola, caracterizando-se por atraso no tempo de ocorrência e na intensidade dos picos respiratórios e de produção de etileno; nas modificações da cor da casca e da polpa, que foram, respectivamente, mais clara e amarelada no controle; menor perda de matéria fresca e retenção da firmeza da polpa. Ainda, o 1-MCP promoveu um atraso inicial no acúmulo de SST e na ATT. Contudo, estes efeitos foram transitórios e só puderam ser verificados nos quatro primeiros dias após a colheita. No pH, a queda também foi mais lenta nos frutos tratados com 1-MCP;

3. O efeito do 1-MCP no amaciamento da graviola destacou-se como o mais significativo embora a partir dos seis dias o inibidor de etileno tenha perdido eficiência. A alta atividade metabólica do fruto restringe sua resposta ao 1-MCP a poucos dias. Uma vez que a perda do efeito do 1-MCP coincidiu com o pico de produção de etileno nos frutos tratados, uma segunda aplicação do gás, nesta ocasião, poderia continuar retendo o processo de amaciamento e, por conseguinte, manter o fruto em condições de consumo por mais alguns dias;

4. A dose de 1-MCP mais eficiente foi a de 200 ppb, que resultou em frutos mais firmes e com menor produção de etileno.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDI, N. et al. Responses of climateric and suppressed-climateric plums to treatment with propylene and 1-methylcyclopropene. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.14, n.1, p.29-39, 1998.
- ARGENTA, L.C; MATTHEIS, J.; FAN, X. Retardamento da maturação de maçãs 'Fuji' pelo tratamento com 1-MCP e manejo da temperatura. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.23, n.2, p.270-273. 2001.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of the Association of the Agricultural Chemists**. 11 ed. Washington: AOAC, 1992, 1115p.
- AWAD, M. **Fisiologia pós-colheita de frutos**. São Paulo: Nobel, 1993. 114p.
- AZIZ, P.A.; YUSOF, S. Physico-chemical characteristics of soursop fruit (*Annona muricata*) during growth and development. **ASEAN Food Journal**, New York, v.9, n.4, p.147-150, 1994.
- BRADY, C.J. Fruit ripening. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v.38, p.155-178, 1987.
- BRUINSMA, J.; PAULL, R.E. Respiration during postharvest development of soursop fruit, *Annona muricata* L. **Plant Physiology**, Rockville, v.76, n.1, p.131-138, 1984.
- CAMERON, A.C.; REID, M.S. 1-MCP blocks ethylene-induced petal abscission of *Pelargonium peltatum* but the effect is transient. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.22, n.2, p.169-177, 2001.
- CRISOSTO, C.H.; GARNER, D. 1-MCP inhibits kiwifruit softening during storage. **Perishables Handling Quarterly**, Davis, v.108, p.19-20, 2001.
- DONG, L.; LURIE, S.; ZHOU, H.W. Effect of 1-methylcyclopropene on ripening of 'Canino' apricots and 'Royal Zee' plums. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.24, n.2, p.135-145, 2002.

- EMBRAPA. Estimativa do potencial de cultivo do cajueiro nos municípios da Região Nordeste e Norte de Minas Gerais. Disponível na internet. URL: <http://www.cnpat.embrapa.br/aptcaju>. Arquivo capturado em 11/10/2001.
- FAN, X.; ARGENTA, L.; MATTHEIS, J.P. Inhibition of ethylene action by 1-methylcyclopropene prolongs storage life of apricots. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.20, n.2, p.135-142, 2000.
- FAN, X.; BLANKENSHIP, S.M.; MATTHEIS, J.P. 1-Methylcyclopropene inhibits apple ripening. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.124, n.6, p.690-695, 1999.
- FENG, X. et al. Control of ethylene responses in avocado fruit with 1-methylcyclopropene. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.20, n.2, p.143-150, 2000.
- GOLDING, J.B. et al. Application of 1-MCP and propylene to identify ethylene-dependent ripening processes in mature banana fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.14, n.1, p.87-98, 1998.
- HARRIS, D.R. et al. Effect of fruit maturity on efficiency of 1-methylcyclopropene to delay the ripening of bananas. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.20, n.3, p.303-308, 2000.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas, métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. São Paulo: IAL, 1985. v.1, 371p.
- JEONG, J.; HUBER, D.J.; SARGENT, S.A. Influence of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on ripening and cell-wall matrix polysaccharides of avocado (*Persea americana*) fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, 2002. No prelo.
- JIANG, Y.; JOYCE, D.C.; MACNISH, A. Extension of the shelf life of banana fruit by 1-methylcyclopropene in combination with polyethylene bags. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.16, n.2, p.187-193, 1999a.
- \_\_\_\_\_. Responses of banana fruit treatment with 1-methylcyclopropene. **Journal of Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v.28, p.77-82, 1999b.
- KU, V.V.V.; WILLS, R.B.H. Effect of 1-methylcyclopropene on the storage life of broccoli. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.17, n.2, p.127-132, 1999.

- KU, V.V.V.; WILLS, R.B.H.; BEN-YEHOSHUA, S. 1-Methylcyclopropene can differentially affect the postharvest life of strawberries exposed to ethylene. **HortScience**, Alexandria, v.34, n.1, p.119-120, 1999.
- MARIN, M.A.; CANO, M.P. Patterns of peroxidase in ripening mango (*Mangifera indica*, L.) fruits. **Journal of Food Science**, Chicago, v.57, n.3, p.690-692, 1992.
- MOSCA, J.L. et al. Determination of harvest index for soursop fruits (*Annona muricata* L.) In: CONGRESO INTERNACIONAL DE ANONACEAS, 1997, Chapingo. **Memorias...** Chapingo: Universidad Autónoma Chapingo. 1997. p.315-322.
- PAULL, R.E. Postharvest variation in composition of soursop (*Annona muricata* L.) fruit in relation to respiration and ethylene production. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.107, n.4, p.582-585. 1982.
- PAULL, R.E.; DEPUTY, J.; CHEN, N.J. Changes in organic acids, sugars, and headspace volatiles during fruit ripening of soursop. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v.108, n.6, p.931-934, 1983.
- PORAT, R. et al. Effects of ethylene and 1-methylcyclopropene on the postharvest qualities of 'Shamouti' oranges. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.15, n.2, p.155-163, 1999.
- SISLER, E.C.; MARGARETHE, S.; DUPILLE, E. Comparison of cyclopropene, 1-methylcyclopropene, and 3,3-dimethylcyclopropene as ethylene antagonists in plants. **Journal of Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v.18, p.169-174, 1996.
- SISLER, E.C.; SEREK, M. Inhibitors of ethylene responses in plants at the receptor level: recent developments. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v.100, n.3, p.577-582, 1997.
- VENDRAMINI, A.L.; TRUGO, L.C. Chemical composition of acerola fruit (*Malpighia puniceifolia* L.) at three stages of maturity. **Food Chemistry**, Reading, v.71, n.2, p. 195-198, 2000.
- WATKINS, C.B.; NOCK, J.F.; WHITAKER, B.D. Responses of early, mid and late season apple cultivars to postharvest application of 1-methylcyclopropene (1-MCP) under air controlled atmosphere storage conditions. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.19, n.1, p.17-32, 2000.
- WILLS, R. et al. **Postharvest: an introduction to the physiology & handling of fruit, vegetables & ornamentals**. 4<sup>th</sup> ed. Wallingford: New South Wales University Press, 1998. 262p.

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

WOOLF, A.B. et al. Changes to physical properties of the cell wall and polyuronides in response to heat treatment of 'Fuyu' persimmon that alleviate chilling injury. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.122, n.5, p.698-702, 1997.

WORREL, D.B.; CARRINGTON, C.M.S.; HUBER, D.J. Growth, maturation and ripening of soursop. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.57, n.1, p.7-15, 1994.

YEMN, E.W.; WILLIS, A.J. The estimation of carbohydrate in plant extracts by anthrone. **The Biochemical Journal**, Cambridge, v.57, n.2, p.504-514, 1954.

YOSHIOKA, H.; KASHIMURA, Y.; KANEKO, K. Solubilization and distribution of neutral sugar residues derived from polyuronides during the softening in apple fruit. **Journal of the Japanese Society of Horticultural Science**, Kyoto, v.63, n.1, p.173-182, 1994.

## CAPÍTULO V

### ARMAZENAMENTO REFRIGERADO DE GRAVIOLA (*Annona muricata* L.) ASSOCIADO A APLICAÇÃO PÓS-COLHEITA DE 1-METILCICLOPROPENO E CERA

#### RESUMO

Graviolas 'Morada', provenientes da empresa Agrofruit (Limoeiro do Norte, CE), foram colhidas na maturidade fisiológica com o objetivo de avaliar o efeito da aplicação pós-colheita de 1-MCP e cera na conservação, durante o armazenamento refrigerado. Testou-se tratamentos pós-colheita e o tempo de armazenamento ( $15,4 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$  e  $86,0 \pm 7,3\%$  UR) de 0, 4, 8, 11, 13 e 15 dias. Os tratamentos pós-colheita aplicados foram: controle, 200 ppb de 1-MCP (*SmartFresh*<sup>TM</sup>), pulverização com a cera *Fruit wax*<sup>®</sup> e pulverização com a cera *Fruit wax*<sup>®</sup> seguida de aplicação de 200 ppb de 1-MCP. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, em fatorial 4 x 6, com 4 repetições. Avaliou-se as variáveis: atividade respiratória (RS), produção de etileno (ET), perda de matéria fresca (PMF); cor da casca e da polpa, definidas a partir da luminosidade (L), da cromaticidade (C) e do ângulo Hue (H); firmeza da polpa (FP); pH; acidez total titulável (ATT); sólidos solúveis totais (SST); açúcares solúveis totais (AST); açúcares redutores (AR); amido; e atividade da amilase e da  $\beta$ -galactosidase ( $\beta$ -GAL), além da aparência do fruto. Os tratamentos pós-colheita não promoveram efeito sobre a ATT; o pH; o teor de AST e AR; C e H tanto da casca quanto da polpa; o teor de amido e a atividade da  $\beta$ -GAL. A partir do quarto dia de armazenamento e até o oitavo, registrou-se intensa atividade metabólica, inclusive, com aumento da atividade da  $\beta$ -GAL até treze dias. Os tratamentos pós-colheita resultaram em atraso no tempo ou na intensidade da RS e da ET. As aplicações de cera e de cera seguida de 1-MCP mantiveram estáveis os valores de L da casca e da polpa, respectivamente, até o oitavo e o quarto dia de armazenamento. A queda da FP foi mais lenta nos frutos tratados, principalmente entre o quarto e o oitavo dia. O tratamento com cera foi o mais eficiente pois reduziu a PMF e proporcionou frutos de aparência comercializável por até 13 dias.

**REFRIGERATED STORAGE OF SOURSOP FRUIT (*Annona muricata* L.)  
ASSOCIATED TO POSTHARVEST APPLICATION OF  
1-METHYLCYCLOPROPENE AND WAX COATING**

**ABSTRACT**

Fruits of soursop 'Morada' type were harvested at the physiological maturity stage, from plants of Agrofruit Farm, in Limoeiro do Norte county, State of Ceara (Brazil). Fruits underwent postharvest application of 1-methylcyclopropene (1-MCP) and wax coating to evaluate their conservation. Fruits were stored for 0, 4, 8, 11, 13 and 15 days under  $15.4 \pm 1.1^\circ\text{C}$  and  $86.0 \pm 7.3\%$  RH. Postharvest treatments were as follow: control, 200 ppb of 1-MCP (*SmartFresh*<sup>TM</sup>), *Fruit wax*<sup>®</sup> sprayed on fruits, and *Fruit wax*<sup>®</sup> sprayed on fruits followed by application of 200 ppb of 1-MCP. The experimental design was completely randomized, with a 4 x 6 factorial and four replicates. The following variables were evaluated: respiratory rate (RR); ethylene production (EP); weight loss (WL); skin and pulp color according to luminosity (L), chromaticity (C) and Hue angle (H); pulp firmness (PF); pH; total soluble sugars (TSS); total titratable acidity (TTA); total soluble solids (TS); reducing sugars (RS); starch; amylase and  $\beta$ -galactosidase activities ( $\beta$ -GAL), besides fruit appearance. Postharvest treatments had no effect on the TTA, pH, TSS and RS contents. Likewise, C and H either from skin or pulp, starch content and  $\beta$ -GAL activity showed no variation. From the 4<sup>th</sup> to the 8<sup>th</sup> day of storage an intensive metabolic activity took place, including the increase of  $\beta$ -GAL activity until the 13<sup>th</sup> day. Postharvest treatments delayed the period and the intensity of RR and EP. Wax coating and wax coating followed by 1-MCP kept stabilized the L values for skin and pulp, until the 8<sup>th</sup> and the 4<sup>th</sup> day of storage, respectively. The PF decline was slower in treated fruits, mainly between the 4<sup>th</sup> and 8<sup>th</sup> days. The coating treatment was the most efficient in reducing WL, besides allowing fruits with good marketable appearance during 13 days period.

## 1 INTRODUÇÃO

A graviola (*Annona muricata* L.) é um fruto altamente perecível que, em temperatura ambiente e quando colhida na maturidade fisiológica, completa o seu amadurecimento em até seis dias (PAULL, 1982; AZIZ & YUSOF, 1994; MOSCA et al., 1997). Portanto, a oferta da fruta em mercados mais distantes e uma possível maior flexibilidade na comercialização dependem do emprego de tecnologias para retardar sua maturação.

Dentre os métodos de conservação disponíveis, a refrigeração é o mais utilizado e eficiente para o armazenamento de frutos e hortaliças (CHITARRA & CHITARRA, 1990). Com a redução da temperatura, a atividade das enzimas envolvidas nas reações de síntese e de degradação após a colheita também diminui (WILLS et al., 1998). Entretanto, este efeito não é uniforme para todas as mudanças fisiológicas e a temperatura ideal de armazenamento varia consideravelmente.

Os poucos estudos realizados com graviola relatam que o armazenamento refrigerado permite atrasar em alguns dias o tempo necessário para o amadurecimento do fruto, quando colhido na maturidade fisiológica. MOSCA (1996) verificou que, a 15°C, a graviola desenvolvia suas características para consumo em nove dias. Sob temperaturas de 12°C e 14°C, SILVA et al. (2001) observaram que a aparência da graviola tornava-a imprópria para comercialização já aos seis dias após o armazenamento.

Outras técnicas, como atmosfera modificada (AM), são comumente associadas à refrigeração, visando estender o tempo de vida de frutos e hortaliças. A razão primária dos benefícios da AM é a redução na taxa respiratória decorrente dos níveis baixos de O<sub>2</sub> e elevados de CO<sub>2</sub> que são mantidos no meio (KADER, 1995).

A AM pode se formar e ser mantida por meio do uso de filmes poliméricos e ceras comestíveis (EXAMA et al., 1993; KADER, 1995), promovendo efeitos como redução da perda de matéria fresca (HENZ & SILVA, 1995; YANTARASRI et al., 1995; ZHANG & QUANTICK, 1997; CHITARRA & SILVA, 1999; GONZAGA

NETO et al., 1999; KLUGE et al., 1999; SAFTNER, 1999; RODOV et al., 2000; NANDA et al., 2001; XU et al., 2001); manutenção da firmeza (CHITARRA & SILVA, 1999; NANDA et al., 2001) e da cor (DEL CURA et al., 1996; GONZAGA NETO et al., 1999); e redução na atividade de enzimas (KANELLIS et al., 1989b; KADER, 1995; DEL CURA et al., 1996; ZHANG & QUANTICK, 1997).

As tentativas iniciais de uso de AM em graviola não obtiveram êxito uma vez que não houve evolução normal do amadurecimento (MACIEL et al., 1994; GUERRA et al., 1995). Nestes ensaios, foram utilizados películas de ésteres de açúcares e de ácidos graxos (GUERRA et al., 1995) e filme de polietileno (MACIEL et al., 1994). Por sua vez, SILVA et al. (2001) verificaram que a vida útil da graviola aumenta para vinte e dois dias quando os frutos são armazenados com filme de polietileno flexível, a 12°C.

Ainda, o amadurecimento pode ser atrasado por meio do uso de inibidores da produção e da ação de etileno (KENDE, 1993; ABDI et al., 1998), entre os quais o 1-MCP tem tido sua eficiência demonstrada em alguns casos (FAN et al., 1999, 2000; JIANG et al., 1999a, 1999b; KU et al., 1999; KU & WILLS, 1999; HARRIS et al., 2000). O 1-MCP é um gás que compete com o etileno pelos sítios de ligação nos receptores das membranas (SISLER & SEREK, 1997), podendo atrasar ou inibir eventos do amadurecimento dependentes daquele fitormônio (JIANG et al., 1999b).

De modo geral, as respostas dependem da concentração e do tempo de exposição ao gás (SISLER & SEREK, 1997; JIANG et al., 1999b; JEONG et al., 2002) mas variam com a espécie (SISLER & SEREK, 1997; HARRIS et al., 2000), o estágio de maturação (HARRIS et al., 2000), a cultivar (WATKINS et al., 2000; BARITELLE et al., 2001) e as condições de armazenamento (WATKINS et al., 2000), principalmente a temperatura (SISLER et al., 1996; SISLER & SEREK, 1997; KU & WILLS, 1999) e a sua duração (DONG et al., 2002).

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da aplicação pós-colheita de 1-MCP e cera na conservação da graviola, durante o armazenamento refrigerado.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Origem e Colheita dos Frutos

Graviolas do tipo ‘Morada’ foram obtidas a partir da área de cultivo comercial da empresa Agrofruit, situada no município de Limoeiro do Norte, CE, cujas coordenadas geográficas correspondem a 5°08’45” S e 38°05’52” W (EMBRAPA, 2002). Os dados de precipitação pluvial mensal do ano que antecedeu a colheita estão representados na TABELA 4.

TABELA 4 – Precipitação pluvial do município de Limoeiro do Norte, CE, durante o ano que antecedeu a colheita dos frutos<sup>1</sup>.

MÊS/ANO	Precipitação pluvial (mm)
Abril/2001	144,6
Maió/2001	10,0
Junho/2001	14,0
Julho/2001	12,4
Agosto/2001	0,0
Setembro/2001	0,0
Outubro/2001	0,0
Novembro/2001	0,0
Dezembro/2001	0,0
Janeiro/2002	216,6
Fevereiro/2002	76,5
Março/2002	181,4

<sup>1</sup>Valores obtidos do posto da FUNCEME (Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos) localizado em Limoeiro do Norte, CE.

Os frutos foram colhidos em 04 de abril de 2002, quando atingiram a maturidade fisiológica, de plantas com três anos de idade, cultivadas em espaçamento 7,0 x 8,0 m, sob irrigação por microaspersão.

## 2.2 Caracterização do Experimento

Após colhidos, os frutos foram transportados para o Laboratório de Fisiologia e Tecnologia Pós-Colheita, da Embrapa Agroindústria Tropical, em Fortaleza, CE, onde foram selecionados, segundo uniformidade de maturação, e submetidos a tratamento fungicida com Prochloraz, na dose de 300 ppm, através de imersão, durante 3 minutos.

No mesmo dia da colheita, quatro frutos foram separados, ao acaso, para avaliação. Estes frutos correspondiam ao número de repetições utilizado no estudo já que até então não havia efetivação dos tratamentos.

Os tratamentos aplicados foram:

1. Controle;
2. Aplicação de 200 ppb de 1-MCP, a partir do produto comercial *SmartFresh*<sup>TM</sup> (0,14% i.a.), na forma de pó molhável;
3. Pulverização de cada fruto individualmente com a cera *Fruit wax*<sup>®</sup> (FIGURA 45), constituída de uma emulsão de polietileno, resina fumárica, preservante e água;
4. Pulverização com a cera *Fruit wax*<sup>®</sup> seguida de aplicação de 200 ppb de 1-MCP (*SmartFresh*<sup>TM</sup>).



FIGURA 45 – Procedimento de aplicação da cera.

Para a aplicação do 1-MCP, os frutos foram acondicionados em câmaras fechadas com capacidade para 0,186 m<sup>3</sup> (FIGURA 46). Neste ambiente, o produto comercial, mantido em recipiente fechado, foi dissolvido em água a 50°C. Esta solução libera o gás 1-MCP nos primeiros segundos após sua dissolução. Portanto, o intervalo de tempo entre a abertura do recipiente contendo a solução e o fechamento completo da câmara foi o menor possível.



FIGURA 46 – Procedimento de aplicação de 1-MCP.

A exposição ao 1-MCP foi mantida durante 12 horas e a aplicação realizada nas condições de armazenamento em que os frutos foram avaliados ( $15,4 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$  e  $86,0 \pm 7,3\%$  UR). Nestas condições, as avaliações foram realizadas aos 4, 8, 11, 13 e 15 dias.

Os valores de temperatura e UR do período estão registradas na FIGURA 47.

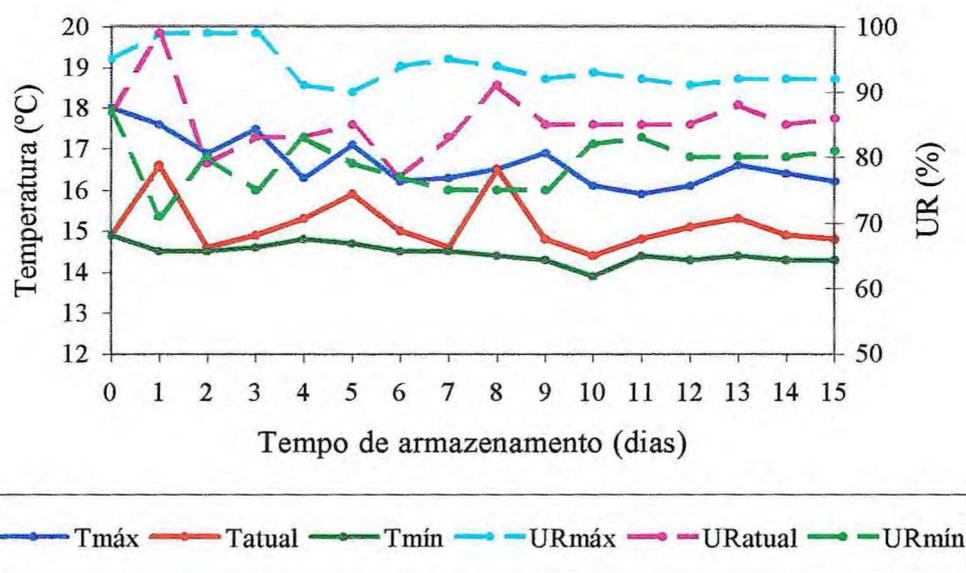


FIGURA 47 - Valores de temperatura e de umidade relativa (UR) máximas, atuais e mínimas durante o armazenamento refrigerado de graviola 'Morada' submetida a tratamentos pós-colheita com 1-MCP e cera. Considerou-se como atuais os valores lidos no momento da coleta diária dos dados.

### 2.3 Avaliações

Padronizou-se a realização das avaliações na região do fruto correspondente ao segundo terço. Até a realização das análises, as amostras foram mantidas em *ultra-freezer* (-85°C). Por ocasião das extrações, estas amostras foram diluídas em água, na proporção de 1:1, dada a dificuldade de obtenção de suco da polpa, principalmente nas primeiras datas de avaliação.

Tanto as avaliações quanto as coletas das amostras da polpa foram realizadas nas manhãs de cada data estudada.

As variáveis analisadas foram as seguintes, conforme metodologias especificadas:

- Atividade respiratória ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ ): determinada em cromatógrafo a gás CG modelo DANI 86.10 através de detector de condutividade térmica (150°C), em coluna PORAPAK – N (4 m x 3,2 mm), a partir de 5 mL da amostra da atmosfera produzida pelo fruto intacto em recipiente fechado. Após a separação, usando  $\text{H}_2$  como gás de arraste ( $30 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ ) a uma temperatura de 60°C na coluna, as áreas dos cromatogramas obtidos foram registradas e integradas por meio do *software* Peak Simple II (PK-2) (Ciola & Gregori – CG). Os valores obtidos foram comparados com uma amostra padrão contendo  $\text{CO}_2$  a 5%;

- Produção de etileno ( $\mu\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ ): determinada em cromatógrafo a gás CG modelo DANI 86.10 através de detector de ionização de chama (200°C), com as características descritas anteriormente, a partir de 5 mL da amostra da atmosfera produzida pelo fruto intacto em recipiente fechado e comparada com uma amostra padrão de 10 ppm;

- Perda de matéria fresca (%): obtida através do peso individual do fruto no dia da colheita e na data da avaliação, utilizando-se balança semi-analítica;

- Cor da casca: determinada pela média de duas leituras efetuadas em pontos aproximadamente equidistantes, através de reflectômetro da marca MINOLTA modelo CR 300. As leituras foram feitas a partir dos três parâmetros que, segundo a CIE (Commission Internationale de L'Eclairage), definem a cor: luminosidade (L), cromaticidade (Croma) e ângulo Hue, de acordo com metodologia descrita por WOOLF et al. (1997);

- Cor da polpa: determinada pela média de leituras efetuadas em dois pontos da

metade longitudinal do fruto, usando o mesmo procedimento da cor da casca;

- Firmeza da polpa (N): obtida pela média entre duas leituras realizadas em pontos opostos do fruto, após retirada da casca, por meio de texturômetro eletrônico Stable Micro Systems modelo TA.XT2i, equipado com *plunger* de 6 mm de diâmetro. O equipamento foi ajustado para uma distância de penetração de 20 mm, à velocidade de  $2,0 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ ;

- pH: obtido em potenciômetro digital com eletrodo de membrana de vidro (IAL, 1985);

- Acidez total titulável (ATT, % de ácido málico): determinada por titulação com solução de NaOH 0,1 M até o pH 8,1, conforme metodologia do IAL (1985), utilizando titulador automático METTLER DL 12;

- Sólidos solúveis totais (SST, °Brix): determinados por leitura em refratômetro digital ATAGO PR 101, escala de 0 a 45°Brix, com compensação automática de temperatura (AOAC, 1992);

- Açúcares solúveis totais (AST, % da matéria fresca): extraídos em álcool 80% e determinado usando o reagente antrona, conforme YEMN & WILLIS (1954). Partiu-se de 1,0 g de amostra diluída para 100 mL. Do filtrado obtido desta solução, retirou-se 10 mL para uma segunda diluição para 100 mL de água. Uma alíquota de 0,4 mL reagiu com 1,0 mL de antrona através de aquecimento em banho-maria a 100°C por 8 min. Após este período, as amostras foram resfriadas em banho de gelo e lidas em espectrofotômetro, a 620 nm.

- Açúcares redutores (AR, % da matéria fresca): a extração foi feita em água e a determinação realizada segundo MILLER (1959). A partir de 1,0 g de amostra diluída para 50 mL e filtrada, tomou-se 0,7 mL. A este volume, adicionou-se 0,8 mL de água e 1,0 mL de ácido dinitrossalicílico (DNS), procedendo-se a reação em banho-maria, a 100°C por 5 min. Após resfriadas em banho de gelo, o volume das amostras foi completado para 10 mL. As leituras foram feitas em espectrofotômetro, a 540 nm;

- Amido (% da matéria fresca): extração feita por hidrólise ácida, conforme AOAC (1992). Diluiu-se 5,0 g de amostra em 80 mL de água em três centrifugações sucessivas (1.000 x g, 10 min), entre as quais descartava-se o sobrenadante. Ao resíduo, foram adicionados 150 mL de água destilada e 5 mL de ácido clorídrico P.A. A solução foi submetida a refluxo, após fervura, durante 2 horas, sendo, em seguida, resfriada e

neutralizada com carbonato de sódio a 35%. Completou-se o volume com água para 250 mL, filtrando-se, em seguida. A partir do filtrado, determinou-se o teor de AR através do DNS, segundo MILLER (1959). Os resultados foram multiplicados pelo fator 0,9, que corresponde ao rendimento da transformação da sacarose em glicose na hidrólise;

- Atividade amilásica ( $\mu\text{mol maltose}\cdot\text{g}^{-1}$  da matéria fresca $\cdot\text{min}^{-1}$ ): a extração e o doseamento seguiram o método descrito por BERNFELD (1955), modificado por KHADER (1992). 5,0 g de amostra foi extraída em tampão fosfato 0,02 M pH 6,9, contendo polivinilpirrolidona (PVP) 2% e 0,5 g de metabissulfito de sódio. Após homogeneização, a amostra foi submetida a duas centrifugações a 15.000 x g, por 15 min. Todo o procedimento de extração foi realizado a 4°C e o último sobrenadante obtido constituiu o extrato enzimático. Ao extrato, adicionou-se 0,5 mL de amido solúvel 1% em tampão fosfato 0,02 M pH 6,9, contendo PVP 2% e NaCl 0,007 M, para incubação a 37°C por 30 min. A partir daí, procedeu-se às leituras pelo método descrito por MILLER (1959);

- Atividade de  $\beta$ -galactosidase ( $\beta$ -GAL, UAE $\cdot\text{g}^{-1}$  da matéria fresca $\cdot\text{min}^{-1}$ ): procedeu-se a extração conforme KITAGAWA et al. (1995) e a atividade foi determinada segundo DEY & PRIDHAM (1969). 20,0 g de amostra foi homogeneizada em 20 mL de tampão fosfato acetato de sódio 0,1 M pH 5,0, contendo PVP 1%, e centrifugada a 7.000 x g por 15 min, a 4°C. O resíduo foi lavado quatro vezes com tampão acetato de sódio 0,02 M pH 5,0, contendo 2-mercaptoetanol 0,005 M, através de centrifugação e ressuspendido em tampão acetato de sódio 0,02 M pH 5,0, contendo NaCl 3 M, sob agitação por 12 horas, a 4°C. Realizou-se nova centrifugação a 15.000 x g por 20 min, a 4°C. O sobrenadante foi submetido a diálise por 24 horas (4°C) e utilizado para determinação da atividade da enzima na parede celular. Os extratos foram incubados, por 15 min, a 37°C, em solução do substrato  $\beta$ -para-nitro-D-galactopiranosídeo 0,003 M em tampão McIlwaine pH 4,0. A reação foi interrompida com carbonato de sódio 0,1 M e as leituras realizadas em espectrofotômetro, a 400 nm. Considerou-se 1 UAE como a quantidade de atividade da enzima que produziu uma mudança de 0,001 unidade de absorvância;

- Aparência: avaliada através de escala subjetiva de notas, adaptada de SILVA et al. (2001), como segue:

4- fruto firme, pseudo-acúleos firmes e carnosos, ausência de injúrias na casca, manchas e/ou podridão,

3- ligeira perda de firmeza do fruto e dos pseudo-acúleos, ausência de injúrias na casca, manchas e/ou podridão,

2- perda intermediária da firmeza do fruto, pseudo-acúleos flácidos, ausência de injúrias na casca, manchas e/ou podridão,

1- perda acentuada da firmeza do fruto, pseudo-acúleos flácidos e escuros, presença de manchas escuras e/ou injúrias leves na casca e

0- perda completa da firmeza do fruto, pseudo-acúleos ressecados e escuros, presença de manchas escuras e injúrias na casca em intensidade moderada a severa e/ou podridão.

## **2.4 Delineamento Experimental e Análise Estatística**

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em fatorial 4 x 6 (tratamentos pós-colheita x tempo de armazenamento), com quatro repetições, exceto os tratamentos 1-MCP e 1-MCP + cera, avaliados aos quatro dias, que tiveram uma parcela perdida. Cada parcela foi constituída por um fruto.

As variáveis atividade respiratória e liberação de etileno foram avaliadas a intervalos de tempo mais freqüentes que as demais a fim de se obter o padrão respiratório característico do fruto. As mesmas não foram submetidas à análise de variância uma vez que não apresentaram homocedasticidade das variâncias, conforme teste de Bartlett. Optou-se, em ambos os casos, por apresentar as médias de cada tratamento pós-colheita em cada tempo.

Para as demais variáveis, procedeu-se às análises de variância e, para os casos em que o tempo de armazenamento foi significativo, às análises de regressão polinomial. Quando houve efeito significativo da interação entre os fatores, realizou-se o desdobramento de tratamentos pós-colheita em cada tempo de armazenamento através de análise de regressão polinomial. Admitiu-se equações de até 3º grau, considerando-se aquelas de grau superior como desvio de regressão, e coeficientes de determinação maiores que 0,70. Nos casos em que estes critérios não foram atendidos, optou-se por

representar os valores médios dos tratamentos sem curva de ajuste.

Os valores de perda de matéria fresca, expressos em percentagem, foram analisados após transformação em  $\text{arc sen} \sqrt{\frac{x}{100}}$ . Para representação gráfica, utilizou-se as médias não transformadas obtidas a partir da operação inversa à transformação.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme análises de variância representadas nas TABELAS A13 a A15, verificou-se efeito significativo do tempo de armazenamento sobre todas as variáveis estudadas, com exceção da luminosidade da casca. Os tratamentos pós-colheita afetaram a perda de matéria fresca, a luminosidade da casca, a aparência do fruto e a firmeza da polpa. Houve efeito significativo da interação entre os dois fatores sobre a perda de matéria fresca, a luminosidade da casca e a da polpa, a aparência do fruto, a firmeza da polpa, o teor de sólidos solúveis totais e a atividade amilásica.

#### 3.1 Atividade Respiratória e Produção de Etileno

A aplicação de tratamentos pós-colheita com 1-MCP 200 ppb, cera ou a combinação dos dois resultou no atraso no tempo de ocorrência dos picos de liberação de CO<sub>2</sub> ou na redução da intensidade destes picos, comparados aos do controle (FIGURA 48). A existência de dois picos respiratórios após a colheita na maturidade fisiológica é característico na graviola (PAULL, 1982; BRUINSMA & PAULL, 1984; WORREL et al., 1994) e pôde ser verificado mesmo sob condições de refrigeração. Nestas condições, os valores de CO<sub>2</sub> liberados foram bastante inferiores aos obtidos quando os frutos foram mantidos a temperatura ambiente, conforme relatado no capítulo III.

Comparado aos demais tratamentos, o 1-MCP promoveu atraso nos dois picos respiratórios, que ocorreram aos 6 e 11 dias, respectivamente. Contudo, a atividade respiratória observada no primeiro pico foi equivalente àquela dos frutos do controle e dos que receberam aplicação da cera (aproximadamente 110 mg.kg<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>). O tratamento 1-MCP + cera mostrou-se o mais eficiente em reduzir a atividade respiratória, no intervalo entre o quarto e o oitavo dia de armazenamento.

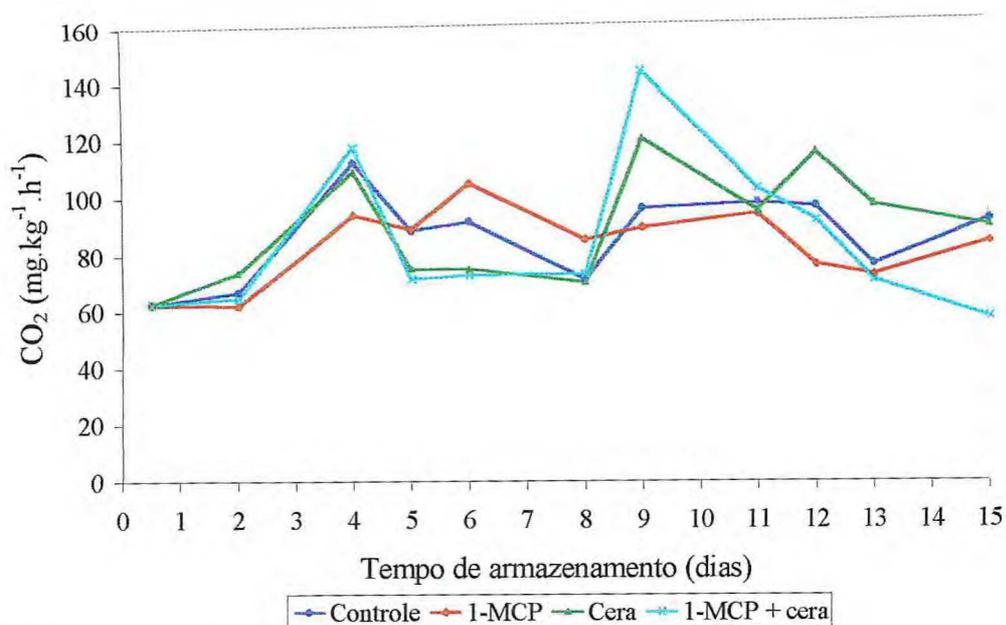


FIGURA 48 – Atividade respiratória de graviola 'Morada' submetida a tratamentos pós-colheita com 1-MCP e cera, durante o armazenamento refrigerado ( $15,4 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$  e  $86,0 \pm 7,3\%$  UR).

Em geral, os estudos envolvendo 1-MCP têm registrado sua eficiência em reduzir a atividade respiratória e atrasar o pico climatérico (GOLDING et al., 1998, 1999; FAN et al., 1999; JIANG et al., 1999a; FAN et al., 2000; BARITELLE et al., 2001; DONG et al., 2002; JEONG et al., 2002). Este efeito é indicativo de atividade metabólica reduzida e, conseqüentemente, da possibilidade de menor produção de substratos (GOLDING et al., 1999). Desta forma, através do controle da respiração, poder-se-ia regular o metabolismo e estender a vida útil de frutos e hortaliças (MATHOOKO, 1996).

O uso exclusivo da cera, por sua vez, ocasionou uma diminuição da atividade respiratória no período entre o quarto e o oitavo dia, considerando-se o controle como referência. A partir daí, o aumento respiratório resultou no segundo pico (o pico climatérico propriamente dito), cujo valor de  $119,99 \text{ mg.kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$  foi inferior apenas ao observado nos frutos tratados com 1-MCP + cera. Entretanto, nestes a atividade respiratória decresceu continuamente após o pico.

No entanto, XU et al. (2001) reforçaram que o uso de atmosfera modificada pode controlar a troca de gases entre o microambiente ao redor do fruto e do ambiente

externo, modificar a composição gasosa deste microambiente e inibir a respiração do fruto, controlando, segundo FONSECA et al. (2002), o tempo em que o aumento climatérico ocorre e a sua magnitude.

A produção de etileno começou a ser detectada aos quatro dias de armazenamento nos frutos do controle e nos que receberam 1-MCP (FIGURA 49). Nos demais tratamentos, o início da produção foi registrada no quinto dia. O aumento foi contínuo para todos os frutos até o pico, alcançado no décimo primeiro dia, nos tratamentos controle, 1-MCP e cera, e no décimo segundo dia para 1-MCP + cera.

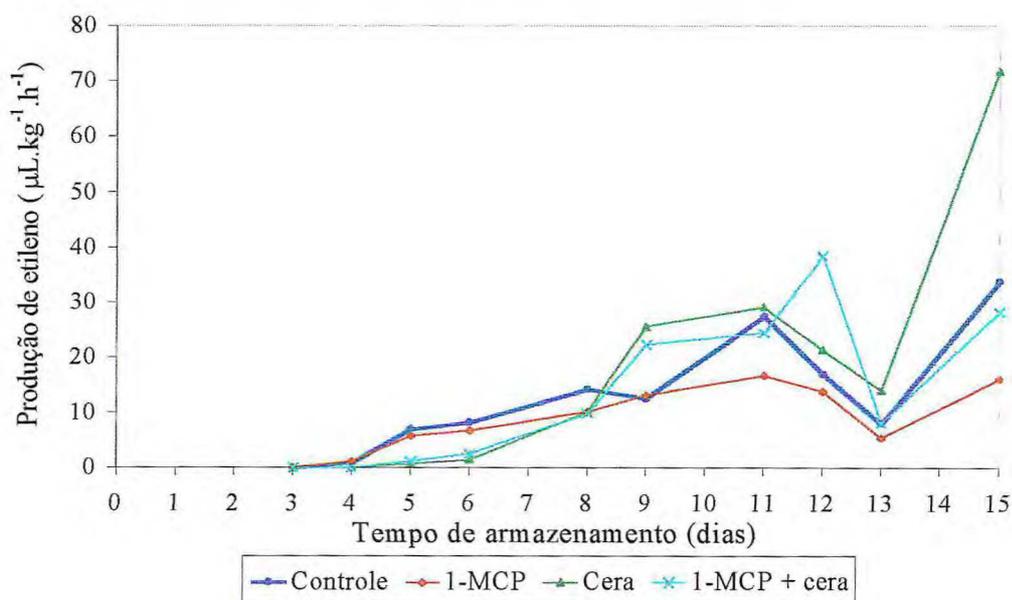


FIGURA 49 – Produção de etileno de graviola 'Morada' submetida a tratamentos pós-colheita com 1-MCP e cera, durante o armazenamento refrigerado ( $15,4 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$  e  $86,0 \pm 7,3\%$  UR).

Apesar de exibir valores de etileno superiores aos demais tratamentos até o oitavo dia de armazenamento, os frutos do controle tiveram pico ( $27,50 \mu\text{L.kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$ ) inferior ao daqueles que receberam cera e 1-MCP + cera. Outros trabalhos, contudo, relataram redução no volume de etileno produzido e atraso no período desta produção em kiwis revestidos com filmes comestíveis (XU et al., 2001). O menor pico de produção de etileno,  $16,64 \mu\text{L.kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$ , foi observado nos frutos tratados com 1-MCP. Os valores registrados no período foram, inclusive, menores que os observados em

estudos anteriores realizados com graviola (PAULL, 1982; BRUINSMA & PAULL, 1984; WORRELL *et al.*, 1994), podendo ser decorrentes do emprego da refrigeração.

A reduzida produção de etileno a partir de tratamentos com 1-MCP tem sido amplamente verificada em vários frutos (ABDI *et al.*, 1998; GOLDING *et al.*, 1998; FAN *et al.*, 1999; JIANG *et al.*, 1999a; FAN *et al.*, 2000; WATKINS *et al.*, 2000; DONG *et al.*, 2001; SELVARAJAH *et al.*, 2001; DONG *et al.*, 2002; JEONG *et al.*, 2002). Entretanto, o tratamento pode perder eficiência se novos sítios de ligação de etileno forem produzidos nas membranas (SISLER & SEREK, 1997; JIANG *et al.*, 1999a; CAMERON & REID, 2001).

À semelhança do que se observou com a atividade respiratória, a produção de etileno nos frutos dos tratamentos com cera e com 1-MCP + cera se manteve em níveis reduzidos até o oitavo dia de armazenamento, quando se iniciava o aumento para os picos climatérico e de etileno. Até então, aquelas mudanças características do amadurecimento que estivessem relacionadas ao etileno (JEFFERY *et al.*, 1984; AYUB *et al.*, 1996) ocorreriam em taxas relativas menores, o que poderia contribuir para incrementar a vida útil do fruto.

Vale destacar que, neste estudo, a produção de etileno foi inferior à registrada nos frutos mantidos sob temperatura ambiente (capítulo III) e os picos foram mais tardios. O fato corrobora com a idéia de que a refrigeração por si só é eficiente em atrasar a maturação. O efeito pode ser ampliado associando-se outras técnicas pós-colheita adequadas ao produto específico.

### **3.2 Perda de Matéria Fresca**

A aplicação pós-colheita da cera reduziu a perda de matéria fresca da graviola durante o armazenamento, especialmente a partir do oitavo dia (FIGURA 50). No final do período, observou-se que os frutos dos tratamentos controle, 1-MCP, cera e 1-MCP + cera tiveram perda de matéria fresca, respectivamente, iguais a 10,22, 8,50, 7,90 e 8,61%, sendo que para os dois últimos os valores foram sempre inferiores aos demais.

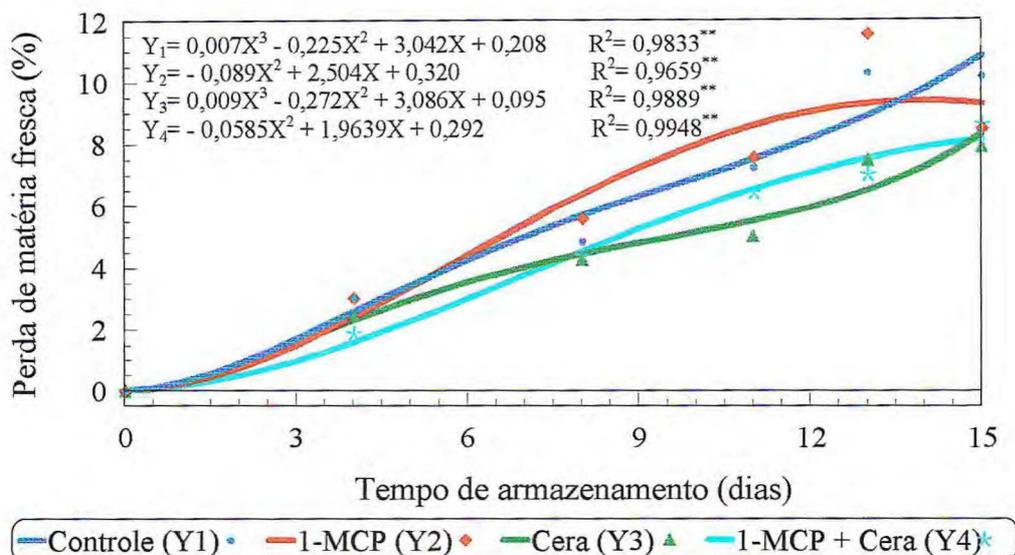


FIGURA 50 – Perda de matéria fresca de graviola 'Morada' submetida a tratamentos pós-colheita com 1-MCP e cera, durante o armazenamento refrigerado ( $15,4 \pm 1,1^\circ\text{C}$  e  $86,0 \pm 7,3\%$  UR).

Estudos realizados por SILVA et al. (2001) relataram que o uso de atmosfera modificada através de filmes flexíveis pode reduzir a perda de matéria fresca de graviolas armazenadas a 12 e  $14^\circ\text{C}$  em até 80 e 70%, respectivamente. MACIEL et al. (1994) já haviam mencionado que graviolas armazenadas a  $12^\circ\text{C}$  e acondicionadas em embalagens de polietileno apresentavam menor perda de matéria fresca. No entanto, destacaram a ocorrência de danos por frio em alguns dos frutos mantidos naquela temperatura.

As ceras e os revestimentos, além de atuarem como barreiras à transmissão de vapor de água e gases (ZHANG & QUANTICK, 1997; HAGENMAIER, 2000), formam uma camada mais espessa na casca dos frutos (AMARANTE et al., 2001). Esta camada possibilita reduzir a perda de matéria fresca (ZHANG & QUANTICK, 1997; SAFTNER, 1999; HAGENMAIER, 2000; RODOV et al., 2000; NANDA et al., 2001; XU et al., 2001) durante o armazenamento, prevenindo ou mesmo evitando danos oriundos da fricção de células que causam descoloração em alguns frutos, como pêra (AMARANTE et al., 2001).

A aplicação de 1-MCP não foi eficiente em reduzir a perda de matéria fresca das graviolas tratadas. Esta resposta tem sido observada na maioria dos casos em que o gás

tem sido testado, com poucas exceções registradas, como no estudo realizado por JEONG et al. (2002), em abacate.

### 3.3 Cor da Casca

Entre os parâmetros que definem a cor, somente a luminosidade da casca foi influenciada pelos tratamentos pós-colheita durante o tempo de armazenamento (FIGURA 51). Enquanto nos frutos do controle, a luminosidade decresceu de 40,09 até 35,64, nos demais tratamentos esta resposta foi modificada. Os frutos tratados com cera e 1-MCP + cera tiveram uma queda relativamente mais acentuada entre o dia da colheita e o quarto dia de armazenamento, mantendo-se estável, em torno de 37, até o décimo primeiro dia, aproximadamente. Para os frutos tratados com 1-MCP, a redução da luminosidade da casca só se caracterizou após oito dias de armazenamento. Nos três últimos casos, parece ter havido um atraso nas mudanças do brilho da superfície dos frutos, representadas pela luminosidade.

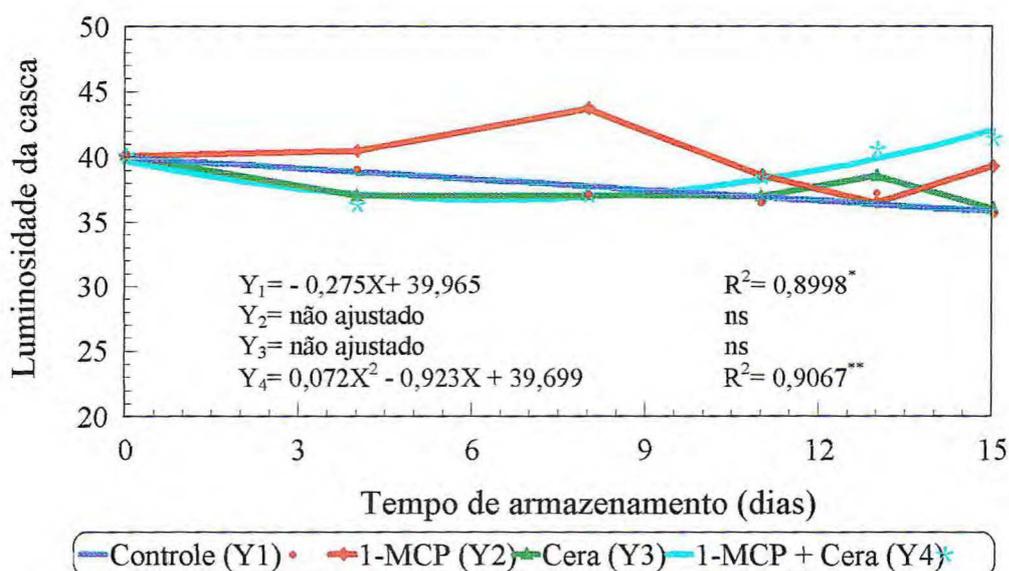


FIGURA 51 – Luminosidade da casca de graviola 'Morada' submetida a tratamentos pós-colheita com 1-MCP e cera, durante o armazenamento refrigerado ( $15,4 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$  e  $86,0 \pm 7,3\%$  UR).

As variações na cromaticidade e no ângulo Hue da casca, por sua vez, não foram afetadas pelos tratamentos pós-colheita. Desta forma, o amarelecimento, verificado pela

queda de 14° no ângulo Hue ao longo do período, ocorreu independentemente da aplicação da cera ou do 1-MCP (FIGURAS 52 e 53).

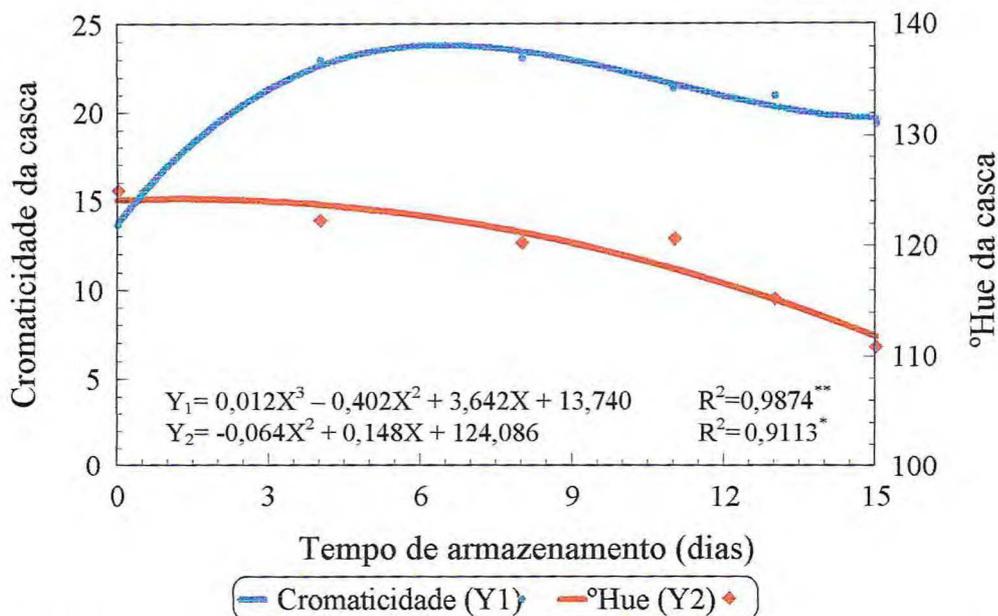


FIGURA 52 - Cromaticidade e ângulo Hue da casca de graviola 'Morada' durante o armazenamento refrigerado ( $15,4 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$  e  $86,0 \pm 7,3\%$  UR). Valores médios dos tratamentos pós-colheita testados.

A intensidade da cor, indicada pelos valores de cromaticidade, aumentou até o oitavo dia de armazenamento, seguido por leve decréscimo. Tais variações podem estar associadas à degradação da clorofila e são indicativas de que a cor amarela começa a predominar e tornar-se mais intensa. Esta resposta é comum a vários frutos e hortaliças, conforme relatado por JEONG et al. (2002), em abacate, MATTIUZ & DURIGAN (2001), em goiaba, GOLDING et al., (1998), em banana, ABDI et al. (1998) e DONG et al. (2002), em ameixas, e KU & WILLS (1999), em brócolis.

PAULL (1982) relatou que a cor da casca da graviola muda de um verde escuro para uma cor mais amarelada durante o amadurecimento, tendendo a tornar-se completamente escura com a evolução da senescência. O mesmo ocorre em cherimólia (DEL CURA et al., 1996). No entanto, segundo WILLS et al. (1984), as mudanças podem ser tão pequenas, como registrado em atemóia, que não se tornam visíveis.

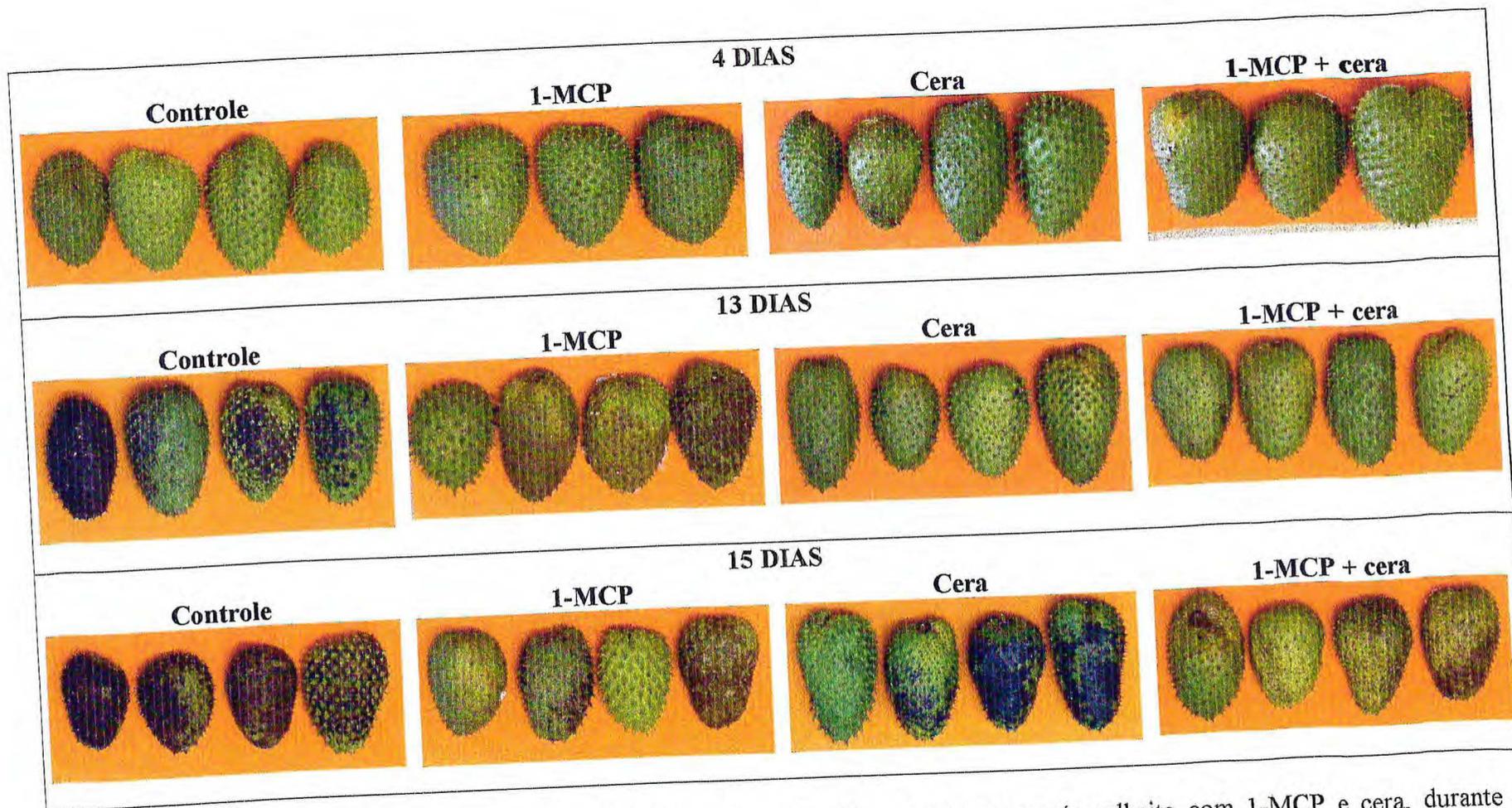


FIGURA 53 – Variação da cor da casca de graviola 'Morada' submetida a tratamentos pós-colheita com 1-MCP e cera, durante o armazenamento refrigerado ( $15,4 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$  e  $86,0 \pm 7,3\%$  UR).

No que se refere ao efeito de tratamentos pós-colheita sobre a cor, os resultados têm sido divergentes. O 1-MCP tem se mostrado efetivo em atrasar as mudanças na cor de alguns frutos, seja interferindo na luminosidade, no ângulo Hue ou na cromaticidade ou mesmo nos três elementos. Exemplos desta reposta foram registrados em abacate (JEONG et al., 2002), abacaxi (SELVARAJAH et al., 2001), ameixa (ABDI et al., 1998; DONG et al., 2002), atemóia (HOFMAN et al., 2001), banana (GOLDING et al., 1998; JIANG et al., 1999a), laranja (PORAT et al., 1999) e manga (HOFMAN et al., 2001). Já em damasco (FAN et al., 2000; DONG et al., 2002) e mamão (HOFMAN et al., 2001), os autores não observaram efeito do 1-MCP na cor. Ainda que numa mesma espécie, alguns trabalhos têm obtido respostas distintas. HOFMAN et al. (2001), ao contrário do que observaram JEONG et al. (2002), não detectaram diferenças na cor dos abacates estudados.

ABDI et al. (1998) ressaltaram que em alguns casos as mudanças na cor podem ser dependentes de etileno. Tal dependência está associada ao tipo de pigmento, ao tecido onde é sintetizado e à espécie vegetal. Assim, tratamentos que afetam o metabolismo do etileno podem ter respostas diferentes quanto às modificações na cor durante o amadurecimento.

### 3.4 Cor da Polpa

Os efeitos dos fatores estudados sobre a cor da polpa foram semelhantes aos obtidos para a cor da casca. Os frutos que não receberam tratamento pós-colheita tiveram uma redução gradual na luminosidade da polpa, desde 87,24 até 73,85 (FIGURA 54). Naqueles tratados com 1-MCP, a redução também foi linear contudo o valor alcançado aos quinze dias (77,92) foi superior aos demais tratamentos. Por fim, a aplicação de cera, isolada ou em combinação com 1-MCP, só resultou em mudanças na luminosidade da polpa basicamente após quatro dias de armazenamento, sendo mais lenta no final do período.

As alterações na cromaticidade e no ângulo Hue da polpa foram pouco representativas e sofreram influência apenas do tempo de armazenamento (FIGURA 55). A amplitude de variação da cromaticidade e do ângulo Hue foram de apenas 1

unidade e 2,5°, respectivamente. Tais diferenças não são detectadas visualmente com facilidade, de forma que a luminosidade foi o indicador característico da variação da cor da polpa (FIGURA 56).

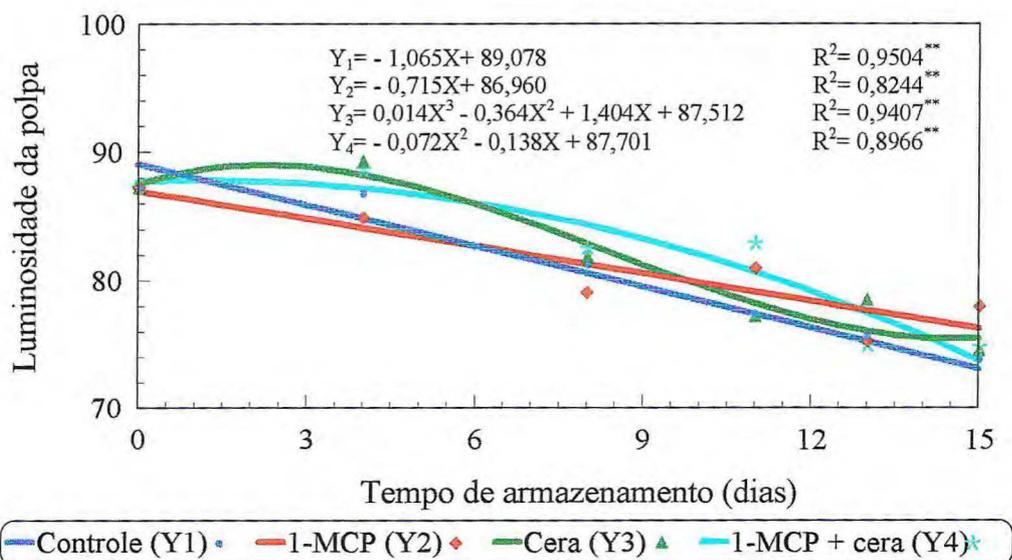


FIGURA 54- Luminosidade da polpa de graviola 'Morada' submetida a tratamentos pós-colheita com 1-MCP e cera, durante o armazenamento refrigerado ( $15,4 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$  e  $86,0 \pm 7,3\%$  UR).

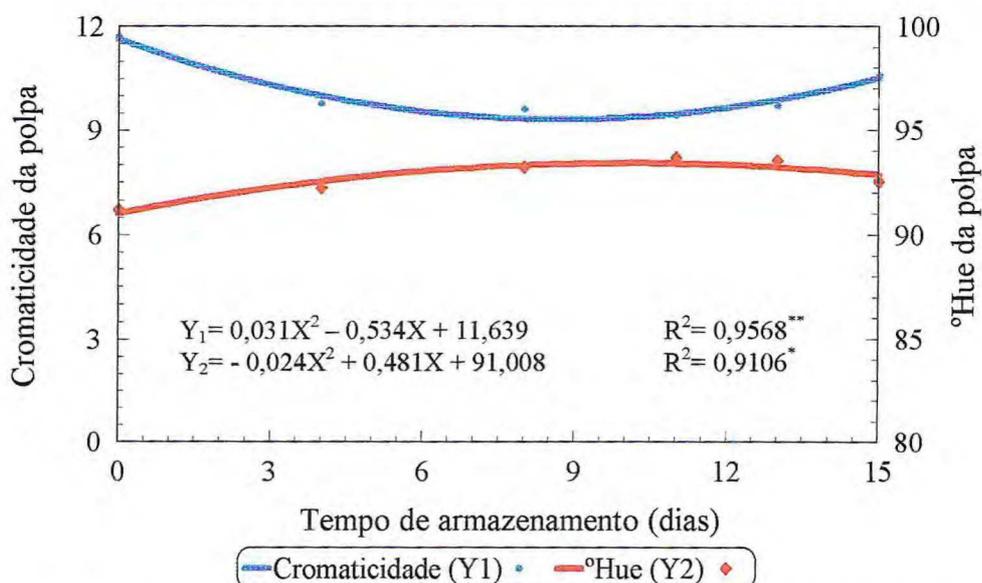


FIGURA 55- Cromaticidade e ângulo Hue da polpa de graviola 'Morada' durante o armazenamento refrigerado ( $15,4 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$  e  $86,0 \pm 7,3\%$  UR). Valores médios dos tratamentos pós-colheita testados.

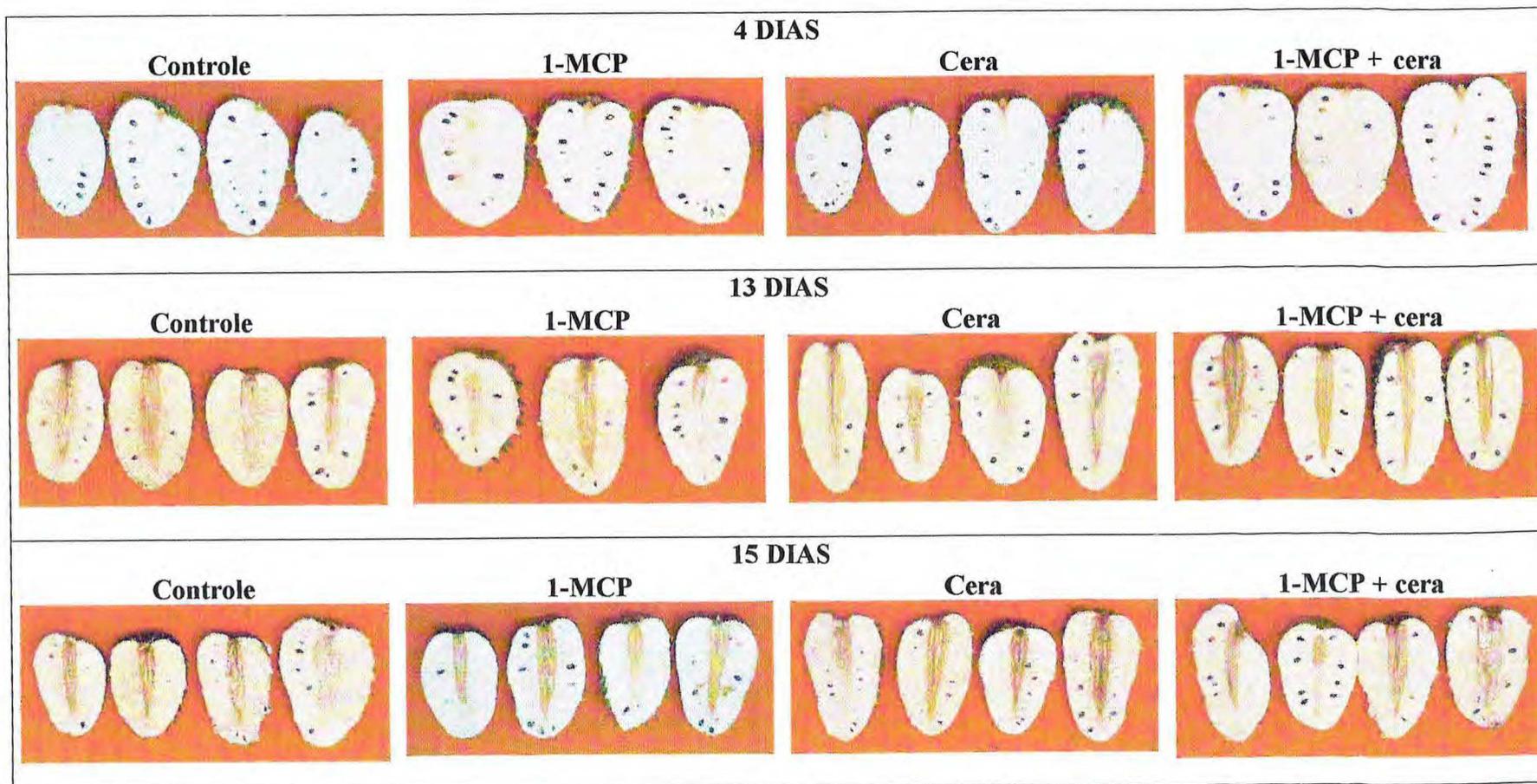


FIGURA 56 - Variação da cor da polpa de graviola 'Morada' submetida a tratamentos pós-colheita com 1-MCP e cera, durante o armazenamento refrigerado ( $15,4 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$  e  $86,0 \pm 7,3\%$  UR).

Em muitos frutos, a luminosidade é a característica da cor da polpa que varia mais significativamente durante o amadurecimento. É o que ocorre, por exemplo, nas mangas 'Lippens' e 'Smith', conforme observado por MARIN & CANO (1992), embora cultivares como Tommy Atkins desenvolvam uma cor laranja intensa do mesocarpo (MITCHAM & McDONALD, 1992).

### 3.5 Aparência

A aparência dos frutos durante o armazenamento foi influenciada pelo tipo de tratamento pós-colheita empregado (FIGURA 57). O controle teve sua aparência comprometida já aos oito dias, quando obteve a nota média de 1,8. Nesta ocasião, os frutos tratados com 1-MCP apresentavam-se comercializáveis embora, quando atingiram onze dias de armazenamento, a aparência já os depreciasse. O mesmo foi observado nos frutos que receberam 1-MCP + cera. Aqueles tratados apenas com cera, por sua vez, mantiveram aparência comercializável até o décimo terceiro dia, quando obtiveram nota média equivalente a 2,0. Mas, aos quinze dias sob refrigeração, nenhum dos tratamentos apresentaram-se em condições de exposição para venda.

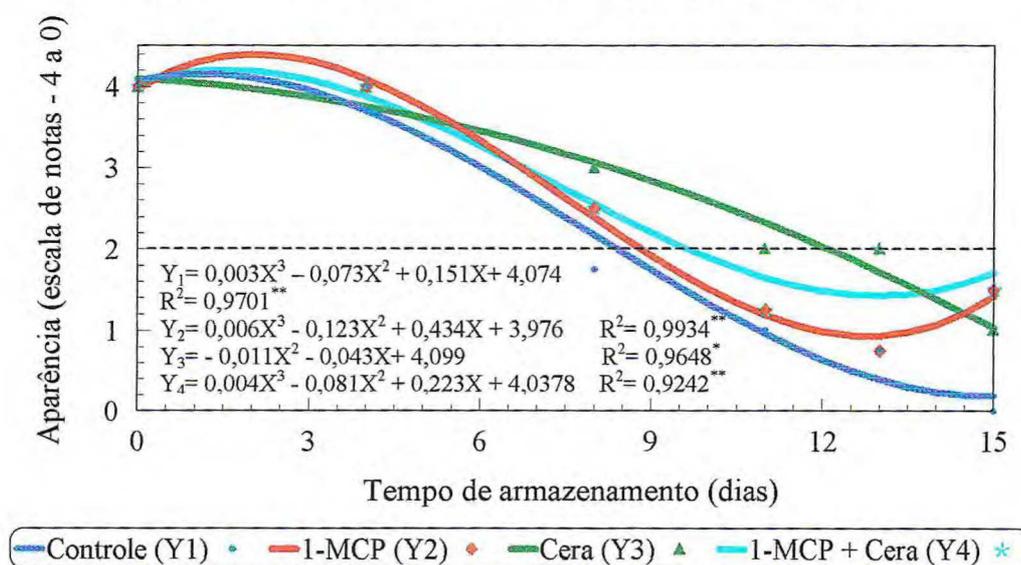


FIGURA 57 – Aparência de graviola 'Morada' submetida a tratamentos pós-colheita com 1-MCP e cera, durante o armazenamento refrigerado ( $15,4 \pm 1,1^\circ\text{C}$  e  $86,0 \pm 7,3\%$  UR). A linha paralela ao eixo das abscissas indica o limite de aceitação do fruto para consumo.

Resultados semelhantes foram obtidos por SILVA et al. (2001), que observaram graviolas de boa aparência aos doze dias de armazenamento a 14°C sob atmosfera modificada.

O uso de ceras tem prolongado a qualidade de alguns frutos, no que se refere à aparência, uma vez que pode preservar o brilho da superfície como consequência da reduzida perda de matéria fresca (BALDWIN et al., 1999; HAGENMAIER, 2000). De maneira semelhante, filmes poliméricos podem manter a aparência comercializável do produto seja por limitar a murcha ou por manter a cor ideal para o consumo, decorrente de uma favorável concentração interna de gases (PARIASCA et al., 2000).

### **3.6 Firmeza da Polpa**

A queda na firmeza da polpa da graviola é um dos fenômenos mais críticos durante a maturação. O atraso obtido com os tratamentos pós-colheita, conforme FIGURA 58, pode representar um ganho posterior na vida útil do fruto. Tanto o uso da cera quanto do 1-MCP ou de ambos retiveram a firmeza principalmente no período entre o quarto e o oitavo dia de armazenamento, quando as mudanças foram mais acentuadas. Esta fase coincidiu com o aumento respiratório que resultou no pico climatérico (FIGURA 48) e com o aumento inicial da produção de etileno (FIGURA 49), concordando com observações feitas por PAULL (1982). A partir daí, as diferenças foram pequenas mas se observou que os frutos do controle foram sempre menos firmes que os demais.

Comparando-se a eficiência dos tratamentos, verificou-se que os efeitos da aplicação da cera ou do 1-MCP sobre a firmeza da polpa são praticamente equivalentes, não diferindo entre si. A opção entre os dois, portanto, seria subsidiada pelos efeitos que promovem em outras variáveis, como a aparência, citada anteriormente.

O rápido amaciamento dos frutos durante a maturação se deve provavelmente às mudanças nos polissacarídeos da parede celular (PRESSEY & AVANTS, 1973; MURAMATSU et al., 1996; WAKABAYASHI, 2000) e é considerado um dos fatores críticos que limitam a conservação pós-colheita (YOSHIOKA et al., 1994). Além da composição química da parede celular, SAMS (1999) cita que constituintes bioquímicos

e das organelas celulares, assim como o conteúdo de água (turgescência), são elementos determinantes da firmeza dos frutos e hortaliças.

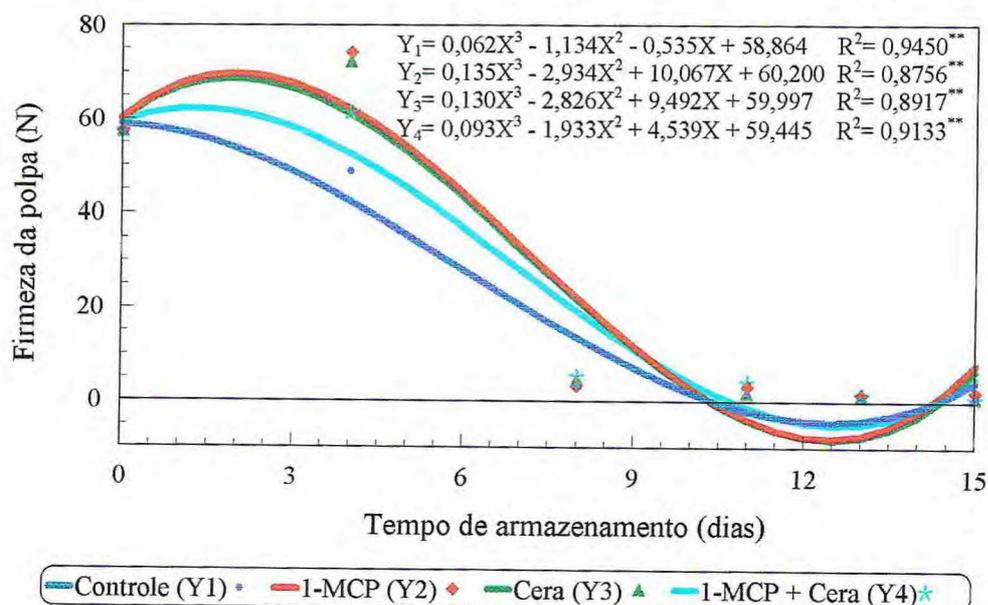


FIGURA 58 – Firmeza da polpa de graviola ‘Morada’ submetida a tratamentos pós-colheita com 1-MCP e cera, durante o armazenamento refrigerado ( $15,4 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$  e  $86,0 \pm 7,3\%$  UR).

Uma das alternativas para reduzir a velocidade do amaciamento é o uso da refrigeração. Segundo JOHNSTON et al. (2001), sob baixa temperatura, a duração da fase inicial de amaciamento lento pode ser prolongada assim como a velocidade da fase rápida, reduzida. Isto pode ser constatado comparando-se a firmeza média da polpa da graviola ‘Morada’ durante o armazenamento refrigerado, num tempo específico, àquela observada nos frutos avaliados sob temperatura ambiente. Aos quatro dias, por exemplo, os valores de firmeza dos frutos mantidos a  $23^{\circ}\text{C}$  (FIGURA 24) eram inferiores à metade daqueles observados em todos os tratamentos, no armazenamento refrigerado.

O uso da técnica de AM tem se mostrado efetiva em reduzir a perda de firmeza dos frutos armazenados (RODOV et al., 2000; NANDA et al., 2001; HERTOOG et al., 2001), inclusive graviola (SILVA et al., 2001). De maneira semelhante, os estudos realizados com 1-MCP têm confirmado que seus benefícios à vida útil dos produtos testados se devem principalmente à retenção da firmeza (BALDWIN et al., 1999; JIANG et al., 1999a, 1999b; FAN et al., 2000; WATKINS et al., 2000; BARITELLE et

al., 2001; DONG et al., 2001; BENASSI et al., 2002; DONG et al., 2002; JEONG et al., 2002).

O atraso no amaciamento resultante da ação do 1-MCP é coerente com a hipótese de que é o etileno que desencadeia a atividade metabólica relacionada ao processo (GOLDING et al., 1999; DONG et al., 2001; JEONG et al., 2002).

### 3.7 Acidez Total Titulável e pH

A acidez total titulável (ATT) aumentou nas graviolas, durante o período de armazenamento, independentemente do tratamento pós-colheita empregado (FIGURA 59). Esta resposta indica que a qualidade sensorial do fruto pode ser mantida mesmo com o uso da cera e/ou de 1-MCP 200 ppb. Nos frutos maduros, a ATT foi comparável à obtida sem o uso da refrigeração e de tratamentos pós-colheita, conforme relatado no capítulo III.

O período de maior incremento na ATT ocorreu do quarto para o oitavo dia, coincidindo com as mais expressivas variações na firmeza da polpa (FIGURA 58), com o aumento da produção de etileno (FIGURA 49) e antecedendo imediatamente o pico climatérico (FIGURA 48).

A partir do oitavo dia de armazenamento, a ATT se manteve praticamente estável em cerca de 0,8% de ácido málico, com pequena queda no final do período. É possível que esta queda represente uma maior utilização dos ácidos orgânicos como substrato para a respiração. PAULL (1982) observou que, em graviolas acondicionadas em temperatura ambiente, a diminuição na ATT coincidiu com o aparecimento de odor levemente desagradável. Portanto, a referida diminuição pode ser usada como indicativo de senescência.

Poucos frutos aumentam a ATT com o amadurecimento (WILLS et al., 1998). Além da graviola, a cherimólia (MUÑOZ et al., 1997), a atemóia (WILLS et al., 1984) e o kiwi (XU et al., 2001) são outros exemplos.

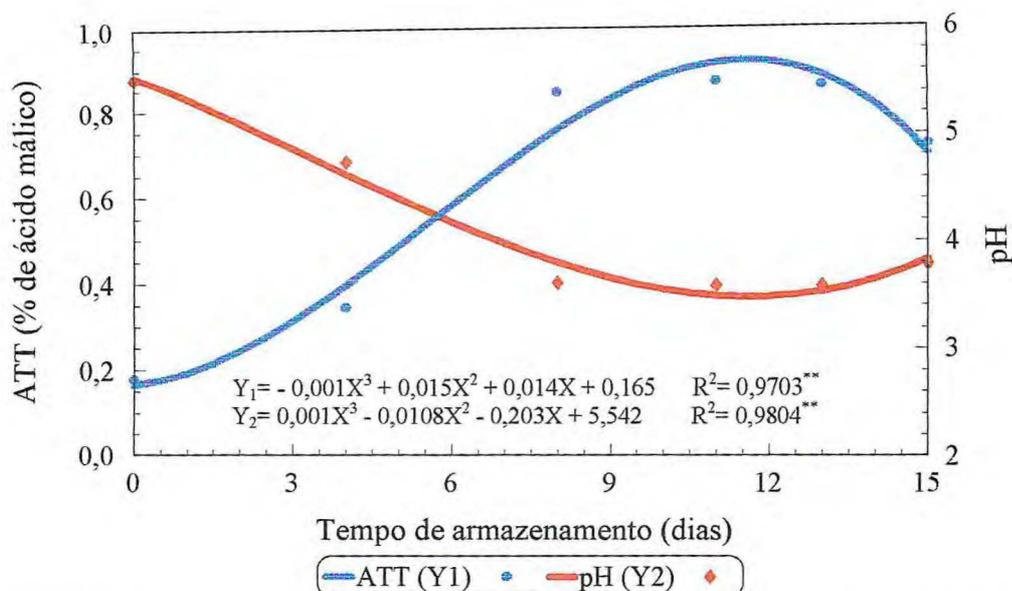


FIGURA 59 – Acidez total titulável (ATT) e pH de graviola ‘Morada’ durante o armazenamento refrigerado ( $15,4 \pm 1,1^\circ\text{C}$  e  $86,0 \pm 7,3\%$  UR). Valores médios dos tratamentos pós-colheita testados.

Em alguns casos, o uso de AM (XU et al., 2001) ou do 1-MCP (FAN et al., 2000; WATKINS et al., 2000; DONG et al., 2002) pode resultar em atraso da evolução normal da ATT. Em outros, como no acondicionamento de ameixas em embalagens de polietileno (KLUGE et al., 1999) ou na aplicação de concentrações de até 100 ppb de 1-MCP em laranjas (PORAT et al., 1999), diferenças na ATT entre frutos tratados e controle podem não ser detectadas.

O pH, em concordância com a ATT, decresceu desde 5,5 até 3,6, no oitavo dia após a colheita, estabilizando a partir daí (FIGURA 59). O leve aumento ocorrido ao final do armazenamento também é coerente com o comportamento da ATT.

### 3.8 Sólidos Solúveis Totais

O ganho no teor de sólidos solúveis totais (SST) decorrente da maturação foi temporariamente atrasado pelos tratamentos com 1-MCP, cera e 1-MCP + cera (FIGURA 60). Aos oito dias de armazenamento, todavia, as diferenças entre eles equívalem a apenas  $1,0^\circ\text{Brix}$ . Quando os frutos estavam completamente maduros (aos treze dias), os tratamentos controle, 1-MCP, cera e 1-MCP + cera tiveram valores

médios de SST de 15,0, 14,2, 14,4 e 13,6°Brix, respectivamente. Mesmo neste caso, em que as diferenças entre os tratamentos alcançaram 1,4°Brix, não é possível distinguí-las no sabor dos frutos. Assim, pode-se dizer que não houve comprometimento da qualidade do fruto com o emprego dos tratamentos pós-colheita. Além disso, os teores de SST foram semelhantes aos observados no estudo realizado no capítulo III.

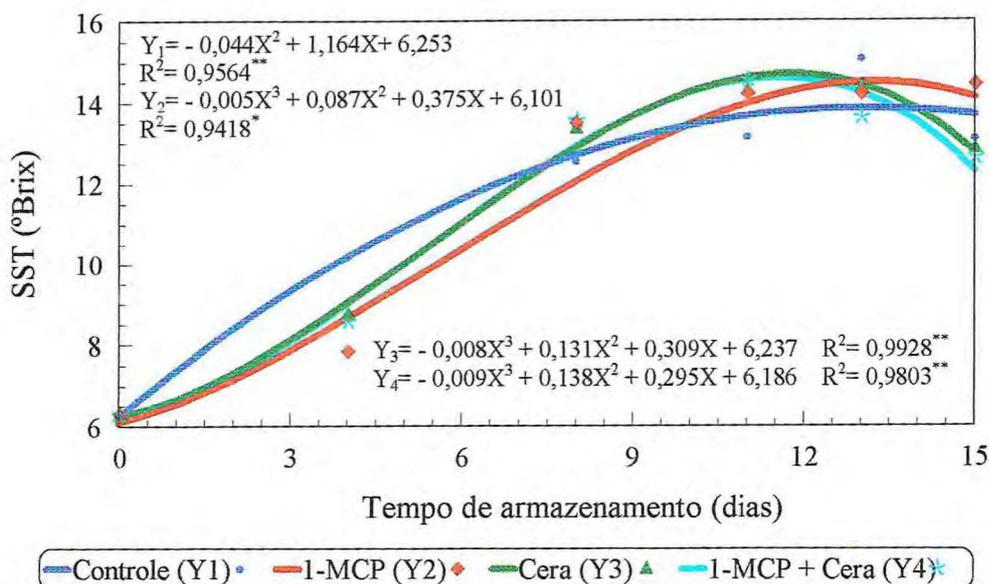


FIGURA 60 – Teor de sólidos solúveis totais (SST) de graviola ‘Morada’ submetida a tratamentos pós-colheita com 1-MCP e cera, durante o armazenamento refrigerado (15,4 ± 1,1°C e 86,0 ± 7,3% UR).

No entanto, SILVA et al. (2001) obtiveram um atraso mais extenso na evolução do teor de SST em graviolas armazenadas a 12 e a 14°C em função do uso de AM. Por outro lado, estudos com outros frutos, como goiaba, indicaram não haver influência da AM sobre o teor de SST (GONZAGA NETO et al., 1999).

Com relação ao uso de 1-MCP, sua aplicação em atemóia, mamão, manga (HOFMAN et al., 2001), laranja (PORAT et al., 1999), maçã (WATKINS et al., 2000) e pinha (BENASSI et al., 2002) não exerceu efeito sobre o teor de SST. HOFMAN et al. (2001) sugeriram que é provável que o efeito do 1-MCP nas características aliadas ao sabor, como teor de SST e ATT, seja pouco significativo. Segundo FAN et al. (1999), isto indicaria que, naqueles frutos, a percepção do etileno não está necessariamente envolvida no acúmulo de SST. O mesmo não pode ser considerado, todavia, para casos

como o do abacaxi (SELVARAJAH et al., 2001) em que os frutos tratados com 1-MCP acumularam menos SST.

### 3.9 Açúcares

Os teores de açúcares solúveis totais (AST) e redutores (AR) aumentaram a uma taxa semelhante durante o armazenamento, sem que fossem influenciados pelos tratamentos pós-colheita (FIGURA 61). Os máximos teores de AST e AR foram observados aos treze dias de armazenamento, quando os frutos estavam maduros, e corresponderam a 11,67 e 9,99%, respectivamente. Nesta mesma oportunidade, registrou-se o máximo teor de SST (FIGURA 60), conforme já havia sido relatado por PAULL (1982). Ainda, a redução nos teores de ambos os tipos de açúcares no final do período também foi coerente com as reduções já discutidas no teor de SST e na ATT.

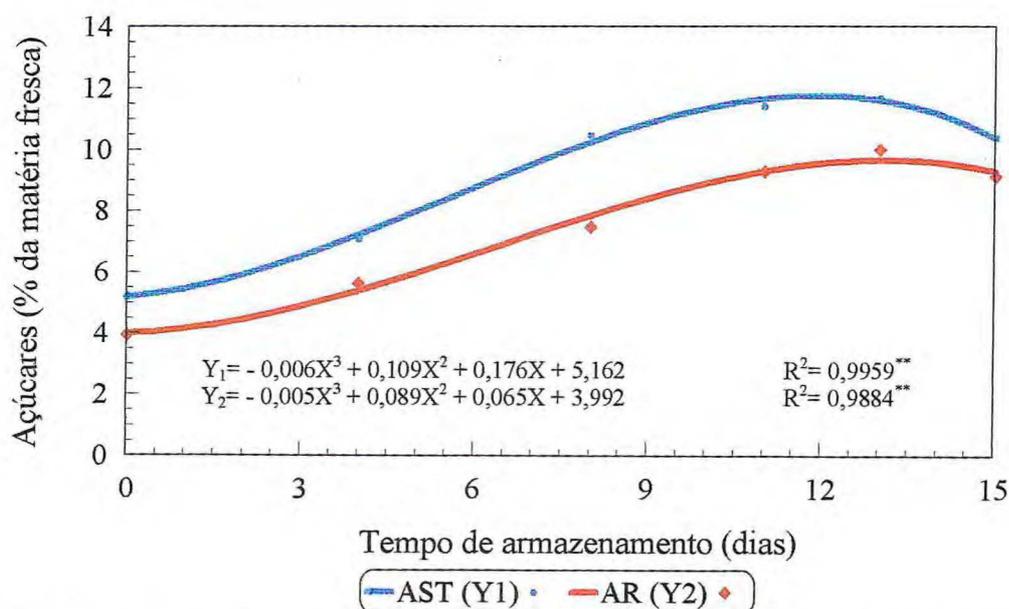


FIGURA 61 – Teores de açúcares solúveis totais (AST) e de açúcares redutores (AR) de graviola ‘Morada’ durante o armazenamento refrigerado (15,4 ± 1,1°C e 86,0 ± 7,3% UR). Valores médios dos tratamentos pós-colheita testados.

Os valores obtidos neste estudo foram semelhantes aos observados por CASTRO et al. (1984) e AZIZ & YUSOF (1994).

A inexistência de resposta do emprego da AM sobre os teores de AST e AR concorda com relatos de MILLER et al. (1983). Os autores constataram que, em manga, a técnica não promoveu qualquer alteração no metabolismo dos carboidratos. Apenas quando os níveis de oxigênio no meio são reduzidos a valores que limitam a respiração, o acúmulo de açúcares durante o armazenamento de frutos climatéricos é restringido (KANELLIS et al., 1989a; PARIASCA et al., 2000).

### 3.10 Amido e Amilase

Os frutos, colhidos na maturidade fisiológica, tiveram teor de amido equivalente a 8,37%. A atividade de degradação foi de tal forma intensa durante a maturação que, após oito dias de armazenamento, o teor de amido correspondia a apenas 31% do valor inicial (FIGURA 62). Novamente, o período entre quatro e oito dias correspondeu à maior degradação, sendo seguido por uma fase de redução mais lenta dos teores de amido, até o valor de 0,88%.

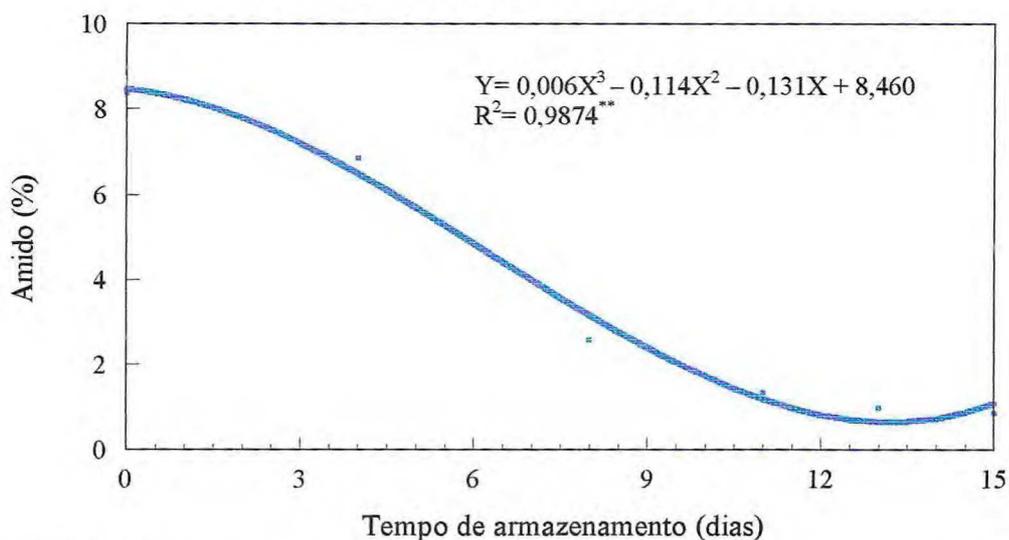


FIGURA 62 – Teor de amido de graviola 'Morada' durante o armazenamento refrigerado ( $15,4 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$  e  $86,0 \pm 7,3\%$  UR). Valores médios dos tratamentos pós-colheita testados.

Os valores obtidos concordam com aqueles registrados por PAULL et al. (1983) e CASTRO et al. (1984) e foram ligeiramente menores que os obtidos no capítulo II com graviola 'Crioula'. Segundo PAULL (1990), o padrão de degradação do amido

sugeriu uma clivagem aleatória da molécula, permanecendo apenas uma pequena porção de alta massa molar quando o fruto completa o amadurecimento. Esta degradação resulta na conversão do amido em açúcares solúveis (PAULL, 1982; PAULL et al., 1983; TANDON & KALRA, 1983; WILLS et al., 1984; AGRAVANTE et al., 1990; IRVING et al., 1997; BENASSI et al., 2002) e ácidos orgânicos (PAULL, 1982), conforme verificado nas FIGURAS 59 e 61. Sendo o amido um dos elementos que contribuem para a firmeza (ALI et al., 1995), observou-se coincidência entre a maior degradação do primeiro e as mudanças mais críticas na última (FIGURA 58).

Considerando que a degradação teve início imediatamente após a colheita, provavelmente ela não é estimulada pela produção de etileno, que só começou a ser detectada a partir do quarto dia de armazenamento, à semelhança do que JEFFERY et al. (1984) observaram em tomate. Talvez, esta seja a razão pela qual a aplicação de 1-MCP não alterou a taxa degradativa normal do amido.

Mesmo sem uma possível influência do etileno, a degradação inicial do amido logo após a colheita pode ser suficiente para fornecer os carboxilatos necessários para promover o primeiro aumento respiratório da graviola (BRUINSMA & PAULL, 1984).

Em relação à atividade amilásica, constatou-se um aumento até o quarto dia de armazenamento no controle e nos tratamentos que receberam 1-MCP e cera isoladamente (FIGURA 63). Os incrementos variaram de 23 a 30% do valor do dia da colheita, mantendo-se próximos a partir de então. Os frutos que receberam 1-MCP + cera tiveram leve queda na atividade amilásica até o oitavo dia de armazenamento, após o qual verificou-se aumento transitório, atingindo  $9,36 \mu\text{moles de maltose}\cdot\text{g}^{-1}$  da matéria fresca $\cdot\text{min}^{-1}$ . Ao final dos quinze dias de armazenamento, a atividade observada foi praticamente a mesma em todos os tratamentos.

É provável que o aumento inicial na atividade amilásica tenha sido suficiente para desencadear a degradação do amido e que a atividade residual posterior ao valor máximo mantenha o processo, que dispõe de teores do substrato cada vez menores, conforme FIGURA 62.

Segundo IRVING et al. (1999), o aumento na atividade amilásica pode estar relacionado à interrupção da translocação de carboidratos a partir das folhas para o fruto, por ocasião da colheita. A ausência da translocação representaria, então, o sinal que desencadearia a degradação do amido.

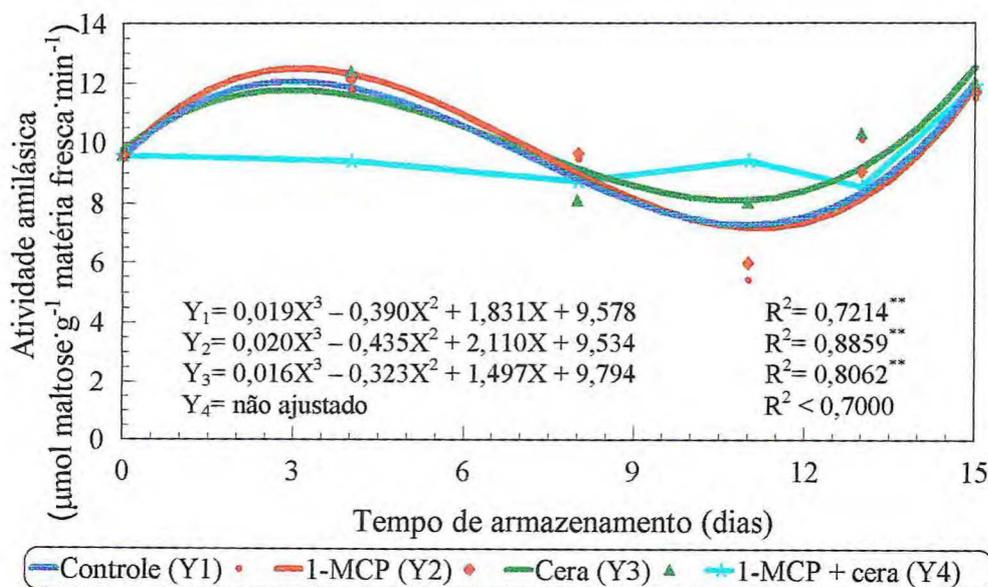


FIGURA 63 – Atividade amilásica de graviola ‘Morada’ submetida a tratamentos pós-colheita com 1-MCP e cera, durante o armazenamento refrigerado ( $15,4 \pm 1,1^\circ\text{C}$  e  $86,0 \pm 7,3\%$  UR).

As diferenças na evolução da atividade amilásica observadas neste experimento em relação ao estudo da maturação pós-colheita (capítulo II) podem estar associadas a alguma influência da temperatura ou a formas distintas da enzima nos materiais genéticos usados.

Estudos realizados em manga (FUCHS et al., 1980; TANDON & KALRA, 1983) e banana (AGRAVANTE et al., 1990; PURGATTO et al., 2001) revelaram que a atividade amilásica aumentou durante o amadurecimento até que o teor de amido fosse substancialmente reduzido. Aumentos na atividade amilásica durante o amadurecimento da graviola, em temperatura ambiente, foram observados por PAULL et al. (1983) e PAULL (1990). Contudo, a partir do trabalho de KHADER (1992), em manga, pode-se considerar que o uso da refrigeração tendeu a reduzir os níveis da atividade da enzima, promovendo atraso na degradação do amido e, por consequência, nas alterações nos teores de açúcares, de ácidos orgânicos e na firmeza da polpa, que estão associadas ao processo.

### 3.11 $\beta$ -galactosidase

A tendência geral da atividade da  $\beta$ -galactosidase ( $\beta$ -GAL) foi de aumento até os treze dias de armazenamento (FIGURA 64). Os períodos de maior incremento, 160,14 e 251,95 UAE.g<sup>-1</sup> da matéria fresca.min<sup>-1</sup>, ocorreram, respectivamente, entre o quarto e o oitavo dia e entre o décimo primeiro e o décimo terceiro dia. Ao final do armazenamento, a atividade da  $\beta$ -GAL estabilizou em concordância com o completo amaciamento da polpa.

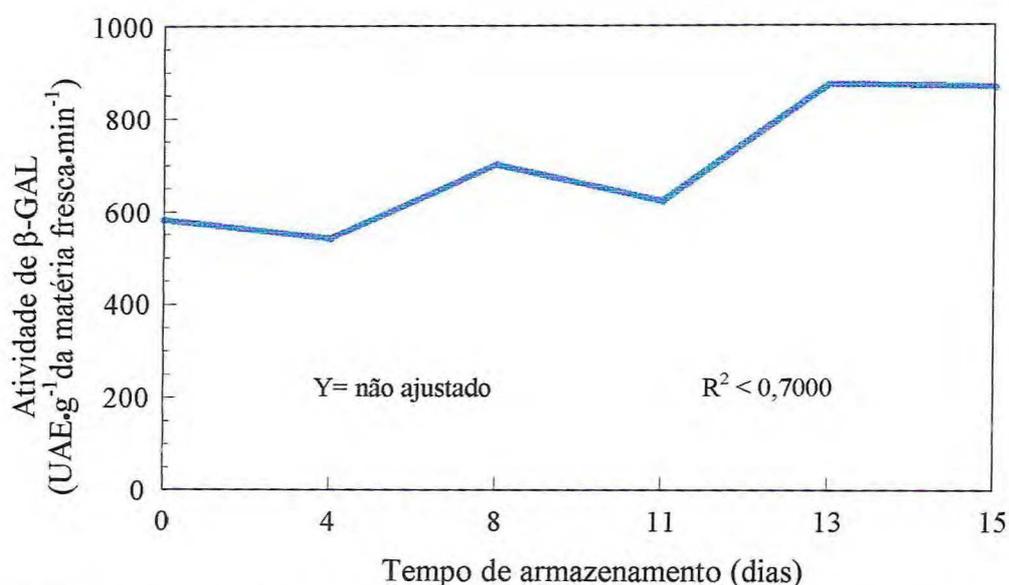


FIGURA 64 – Atividade de  $\beta$ -galactosidase ( $\beta$ -GAL) de graviola ‘Morada’ durante o armazenamento refrigerado ( $15,4 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$  e  $86,0 \pm 7,3\%$  UR). Valores médios dos tratamentos pós-colheita testados.

A fase de primeiro aumento coincidiu com a queda brusca da firmeza dos frutos (FIGURA 58) verificada, em maior ou menor intensidade, em todos os tratamentos, sugerindo que a enzima é importante no processo, provavelmente atuando em conjunto com outras hidrolases que contribuiriam em graus diferenciados para o amaciamento. Trabalho realizado por KETSA et al. (1998) é coerente com esta idéia. Os autores encontraram, em manga, uma correlação entre atividade da  $\beta$ -GAL e perda de firmeza bastante superior à da poligalacturonase, uma enzima que atua sobre as galacturonanas.

O mesmo foi obtido por PESIS et al. (1998), em abacate. Respostas diferentes podem ser observadas, dependendo da espécie envolvida (KETSA & DAENGKANIT, 1999).

A interferência da  $\beta$ -GAL no amadurecimento está relacionada à remoção de cadeias laterais contendo galactose, provavelmente arabinogalactanas, o que facilita a degradação de poliuronídeos (ALI et al., 1995; WAKABAYASHI, 2000). Estes poliuronídeos menos ramificados pela ação degradativa podem se tornar ainda mais suscetíveis à ação da  $\beta$ -GAL (YOSHIOKA et al., 1994), intensificando o amaciamento.

#### 4 CONCLUSÕES

1. Os tratamentos com 1-MCP e/ou cera não promoveram efeito sobre acidez total titulável; pH; teor de açúcares solúveis totais e redutores; cromaticidade e ângulo Hue da casca e da polpa; teor de amido e atividade da  $\beta$ -galactosidase ( $\beta$ -GAL);

2. A partir do quarto dia de armazenamento e até o oitavo, registrou-se intensa atividade metabólica, havendo, em geral, mudanças acentuadas nas características avaliadas. A degradação de amido, por exemplo, foi de tal forma rápida que aos oito dias o teor representava 31% do valor inicial;

3. Os tratamentos pós-colheita resultaram em atraso no tempo ou na intensidade da atividade respiratória. A aplicação de 1-MCP atrasou os dois picos de  $\text{CO}_2$  enquanto a da cera reduziu os valores produzidos no período entre o quarto e o oitavo dia. No referido período, o tratamento 1-MCP + cera foi o mais eficiente neste sentido;

4. A aplicação de 1-MCP + cera atrasou em um dia o pico de produção de etileno entretanto os menores valores foram obtidos com a utilização do 1-MCP isoladamente;

5. As reduções da luminosidade da casca e da polpa foram modificadas pelos tratamentos pós-colheita. As aplicações de cera e de cera seguida de 1-MCP mantiveram estáveis os valores de luminosidade da casca e da polpa, respectivamente, até o oitavo e o quarto dia de armazenamento;

6. A queda de firmeza da polpa foi mais lenta nos frutos tratados com 1-MCP, cera e ambos, principalmente no período entre o quarto e o oitavo dia, sendo os valores observados nos dois primeiros aproximadamente iguais;

7. A atividade da  $\beta$ -GAL teve tendência de aumento até os treze dias, obtendo-se maior incremento nos períodos entre o quarto e o oitavo dia, que coincidiu com a maior redução da firmeza, e entre o décimo primeiro e o décimo terceiro dia;

8. O tratamento com cera foi o mais eficiente, podendo ser recomendado para aplicação comercial, pois reduziu a perda de matéria fresca e proporcionou frutos de aparência aceitável para consumo por até 13 dias, sob refrigeração, representando um ganho de cinco dias em relação ao controle e de dois dias comparados aos demais.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDI, N. et al. Responses of climateric and suppressed-climateric plums to treatment with propylene and 1-methylcyclopropene. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.14, n.1, p.29-39, 1998.
- AGRAVANTE, J.U.; MATSUI, T.; KITAGAWA, H. Starch breakdown and changes in amylase activity during ripening of ethylene- and ethanol-treated bananas. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n.269, p.133-140, 1990.
- ALI, Z.M.; ARMUGAM, S.; LAZAN, H.  $\beta$ -galactosidase and its significance in ripening mango fruit. **Phytochemistry**, Oxford, v.38, n.5, p.1109-1114, 1995.
- AMARANTE, C.; BANKS, N.; GANESH, S. Effects of coating concentration, ripening stage, water status and fruit temperature on pear susceptibility at friction discolouration. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.21, n.3, p.283-290, 2001.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of the Association of the Agricultural Chemists**. 11<sup>a</sup> ed. Washington: AOAC, 1992, 1115p.
- AYUB, R. et al. Expression of ACC oxidase antisense gene inhibits ripening of cantaloupe melon fruits. **Nature Biotechnology**, New York, v.14, p.862-866, 1996.
- AZIZ, P.A.; YUSOF, S. Physico-chemical characteristics of soursop fruit (*Annona muricata*) during growth and development. **ASEAN Food Journal**, New York, v.9, n.4, p.147-150, 1994.
- BALDWIN, E.A. et al. Effect of two edible coatings with different permeability characteristics on mango (*Mangifera indica* L.) ripening during storage. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.17, n.3, p.215-226, 1999.
- BARITELLE, A.L. et al. Using 1-MCP to inhibit the influence of ripening on impact properties of pear and apple tissue. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.9, n.2, p.153-160, 2001.
- BENASSI, G. et al. Shelf life of custard apple treated with 1-methylcyclopropene – an antagonist to the ethylene action. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, 2002. No prelo.

- BERNFELD, P. Enzymes in carbohydrate metabolism. In: COLWICK, S.P.; KAPLAN, N.O. **Methods in enzymology**. Academic Press, New York, v.1, 1955, p.149-150.
- BRUINSMA, J.; PAULL, R.E. Respiration during postharvest development of soursop fruit, *Annona muricata* L. **Plant Physiology**, Rockville, v.76, n.1, p.131-138, 1984.
- CAMERON, A.C.; REID, M.S. 1-MCP blocks ethylene-induced petal abscission of *Pelargonium peltatum* but the effect is transient. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.22, n.2, p.169-177, 2001.
- CASTRO, F.A. de et al. Características físicas e químicas da graviola. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.19, n.3, p.361-365, 1984.
- CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A.B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Lavras: ESAL/FAEPE, 1990. 320p.
- CHITARRA, A.B.; SILVA, J.M.da. Effect of modified atmosphere on internal browning of 'Smooth Cayenne' pineapples. **Acta Horticulturae**, Brugge, n.485, p.89-90, 1999.
- DEL CURA, B. et al. High carbon dioxide delays postharvest changes in RuBPCase and polygalacturonase-related protein in cherimoya peel. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.121, n.4, p.735-739, 1996.
- DEY, P.M.; PRIDHAM, J.B. Purification and properties of  $\alpha$ -galactosidases from *Vicia faba* seeds. **Biochemistry Journal**, London, v.113, n.1, p.49-55, 1969.
- DONG, L. et al. Ripening of 'Red Rosa' plums: effect of ethylene and 1-methylcyclopropene. **Australian Journal of Plant Physiology**, Victoria, v.28, p.1039-1045, 2001.
- DONG, L.; LURIE, S.; ZHOU, H.W. Effect of 1-methylcyclopropene on ripening of 'Canino' apricots and 'Royal Zee' plums. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.24, n.2, p.135-145, 2002.
- EMBRAPA. Estimativa do potencial de cultivo do cajueiro nos municípios da Região Nordeste e Norte de Minas Gerais. Disponível na internet. URL: <http://www.cnpat.embrapa.br/aptecaju>. Arquivo capturado em 05/04/2002.
- EXAMA, A. et al. Suitability of various plastic films for modified atmosphere packaging of fruits and vegetables: gas transfer properties and effect of temperature fluctuation. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n.343, p.175-180, 1993.

FAN, X.; ARGENTA, L.; MATTHEIS, J.P. Inhibition of ethylene action by 1-methylcyclopropene prolongs storage life of apricots. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.20, n.2, p.135-142, 2000.

FAN, X.; BLANKENSHIP, S.M.; MATTHEIS, J.P. 1-Methylcyclopropene inhibits apple ripening. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.124, n.6, p.690-695, 1999.

FONSECA, S.C.; OLIVEIRA, F.A.R.; BRECHT, J.K. Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages: a review. **Journal of Food Engineering**, Amsterdam, v.52, n.1, p.99-119, 2002.

FUCHS, Y.; PESIS, E.; ZAUBERMAN, G. Changes in amylase activity, starch and sugars contents in mango fruit pulp. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.13, n.2, p.155-160, 1980.

GOLDING, J.B. et al. Application of 1-MCP and propylene to identify ethylene-dependent ripening processes in mature banana fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.14, n.1, p.87-98, 1998.

GOLDING, J.B. et al. Relationship between respiration, ethylene, and aroma production in ripening banana. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Columbus, v.47, p.1646-1651, 1999.

GONZAGA NETO, L; CRISTO, A.S.; CHOUDHURY, M.M. Conservação pós-colheita de frutos de goiabeira, variedade Paluma. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.1, p.1-6, 1999.

GUERRA, N.B.; BACHMANN, C.; MELO FILHO, A.B. de. Influência do tempo de estocagem sobre a qualidade de gaviolas (*Ammona muricata* L.) revestidas com "SemperFresh". In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 13, 1995. Salvador. **Resumos...** Salvador: SBF, p.601-602, v.2, 1995.

HAGENMAIER, R.D. Evaluation of a polyethylene-candelilla coating for 'Valencia' oranges. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.19, n.2, p.147-154, 2000.

HARRIS, D.R. et al. Effect of fruit maturity on efficiency of 1-methylcyclopropene to delay the ripening of bananas. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.20, n.3, p.303-308, 2000.

- HENZ, G.P.; SILVA, C. Conservação de frutos de berinjela cv. Ciça através de refrigeração e embalagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.30, n.2, p.157-162, 1995.
- HERTOG, M.L.AT.M.; NICHOLSON, S.E.; BANKS, N.H. The effect of modified atmosphere on the rate of firmness change in 'Braeburn' apple. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.23, n.2, p.175-184, 2001.
- HOFMAN, P.J. et al. Ripening and quality responses of avocado, custard apple, mango and papaya fruit to 1-methylcyclopropene. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Victoria, v.41, p.567-572, 2001.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas, métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. São Paulo: IAL, 1985. v.1, 371p.
- IRVING, D.E.; HURST, P.L.; RAGG, J.S. Changes in carbohydrates and carbohydrate metabolizing enzymes during the development, maturation, and ripening of buttercup squash (*Cucurbita maxima* D. 'Delica'). **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.122, n.3, p.310-314, 1997.
- IRVING, D.E.; SHINGLETON, G.J.; HURST, P.L. Starch degradation in buttercup squash (*Cucurbita maxima*). **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.124, n.6, p.587-590, 1999.
- JEFFERY, D. et al. Ethylene-independent and ethylene-dependent biochemical changes in ripening tomatoes. **Plant Physiology**, Rockville, v.74, n.1, p.32-38, 1984.
- JEONG, J.; HUBER, D.J.; SARGENT, S.A. Influence of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on ripening and cell-wall matrix polysaccharides of avocado (*Persea americana*) fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.25, n.3, p.241-256, 2002.
- JIANG, Y.; JOYCE, D.C.; MACNISH, A. Extension of the shelf life of banana fruit by 1-methylcyclopropene in combination with polyethylene bags. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.16, n.2, p.187-193, 1999a.
- \_\_\_\_\_. Responses of banana fruit treatment with 1-methylcyclopropene. **Journal of Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v.28, p.77-82, 1999b.
- JOHNSTON et al. Temperature induces differential softening responses in apple cultivars. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.23, n.2, p.185-196, 2001.

KADER, A.A. Regulation on fruit physiology by controlled/modified atmospheres. **Acta Horticulturae**, Kyoto, n.398, p.81-91, 1995.

KANELIS, A.K.; SOLOMOS, T.; MATTOO, A.K. Changes in sugars, enzyme activities and acid phosphatase isoenzyme profiles of bananas ripened in air or stored in 2,5% O<sub>2</sub> with and without ethylene. **Plant Physiology**, Rockville, v.90, n.1, p.251-258, 1989a.

\_\_\_\_\_. Hydrolitic enzyme activities and protein pattern of avocado fruit ripened in air in low oxygen, with and without ethylene. **Plant Physiology**, Rockville, v.90, n.1, p.259-266, 1989b.

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

KETSA, S.; DAENGGANIT, T. Firmness and activities of polygalacturonase, pectinesterase,  $\beta$ -galactosidase and cellulase in ripening durian harvested at different stages of maturity. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.80, n.3-4, p.181-188, 1999.

KETSA, S. et al. Effect of heat treatment on changes in softening, pectic substances and activities of polygalacturonase, pectinesterase and  $\beta$ -galactosidase of ripening mango. **Journal of Plant Physiology**, Tokyo, v.153, p.457-461, 1998.

KHADER, S.E.S.A. Effect of gibberellic acid and vapor gard on ripening amylase and peroxidase activities and quality of mango fruits during storage. **The Journal of Horticultural Science**, Ashford, v.67, n.6, p.855-860, 1992.

KITAGAWA, Y.; KANAYAMA, Y.; YAMAKI, S. Isolation of  $\beta$ -galactosidase fractions from Japanese pear: activity against native cell wall polysaccharides. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v.93, n.3, p.545-550, 1995.

KLUGE, R.A.; BILHALVA, A.B.; CANTILLANO, R.F.F. Influência do estágio de maturação e da embalagem de polietileno na frigoconservação de ameixa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.3, p.323-329, 1999.

KU, V.V.V.; WILLS, R.B.H. Effect of 1-methylcyclopropene on the storage life of broccoli. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.17, n.2, p.127-132, 1999.

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

- MACIEL, M.I.S.; GUERRA, N.B.; TAVARES, M.O.C. Ensaio preliminar sobre a conservação da graviola (*Annona muricata* L.). **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.28, n.1, p.64-68, 1994.
- MARIN, M.A.; CANO, M.P. Patterns of peroxidase in ripening mango (*Mangifera indica*, L.) fruits. **Journal of Food Science**, Chicago, v.57, n.3, p.690-692, 1992.
- MATHOOKO, F.M. Regulation of respiratory metabolism in fruits and vegetables by carbon dioxide. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.9, n.3, p.247-264, 1996.
- MATTIUZ, B.H.; DURIGAN, J.F. Efeito de injúrias mecânicas na firmeza e coloração de goiabas das cultivares Paluma e Pedro Sato. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.23, n.2, p.277-281, 2001.
- MILLER, G.L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugars. **Analytical Chemistry**, Washington, v.31, n. 3, p.426-428, 1959.
- MILLER, W.R. et al. Quality and decay of mango fruit wrapped in heat-shrinkable film. **HortScience**, Alexandria, v18, n.6, p.957-958, 1983.
- MITCHAM, E.J.; McDONALD, R.E. Cell wall modification during of 'Keitt' and 'Tommy Atkins' mango fruit. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.117, n.6, p.919-924, 1992.
- MOSCA, J.L. **Estudos de maturação e práticas pós-colheita para conservação de frutos de anonáceas in natura**. Fortaleza: EMBRAPA-CNPAT, 1996. 6p. (Relatório Técnico Parcial ao FUNDECI/BNB).
- MOSCA, J.L. et al. Determination of harvest index for soursop fruits (*Annona muricata* L.) In: CONGRESO INTERNACIONAL DE ANONACEAS, 1997, Chapingo. **Memorias...** Chapingo: Universidad Autónoma Chapingo. 1997. p.315-322.
- MUÑOZ, M.T.; ESCRIBANO, M.I.; MERODIO, C. Ethanolic metabolism in cherimoya fruit during storage at ambient and under high CO<sub>2</sub> atmosphere. **The Journal of Horticultural Science**, Ashford, v.72, n.3, p.363-370, 1997.
- MURAMATSU, N. et al. Relationship between texture and cell wall polysaccharides of fruit flesh in various species of *Citrus*. **HortScience**, Alexandria, v.31, n.1, p.114-116, 1996.

NANDA, S.; RAO, D.V.S.; KRISHNAMURTHY, S. Effects of shrink film wrapping and storage temperature on the shelf life and quality of pomegranate fruits cv. Ganesh. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.22, n.1, p.61-69, 2001.

PARIASCA, J.A.T. et al. Effect of modified atmosphere packaging (MAP) and controlled atmosphere (CA) storage on the quality of snow pea pods (*Pisum sativum* L. var. *saccharatum*). **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.21, n.2, p.213-223, 2000.

PAULL, R.E. Postharvest variation in composition of soursop (*Annona muricata* L.) fruit in relation to respiration and ethylene production. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.107, n.4, p.582-585, 1982.

PAULL, R.E. Soursop fruit ripening – starch breakdown. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n.269, p.277-281, 1990.

PAULL, R.E.; DEPUTY, J.; CHEN, N.J. Changes in organic acids, sugars, and headspace volatiles during fruit ripening of soursop. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v.108, n.6, p.931-934, 1983.

PESIS, E.; FAIMAN, D.; DORI, S. Postharvest effects of acetaldehyde vapour on ripening-related enzyme activity in avocado fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.13, n.3, p.245-253, 1998.

PORAT, R. et al. Effects of ethylene and 1-methylcyclopropene on the postharvest qualities of 'Shamouti' oranges. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.15, n.2, p.155-163, 1999.

PRESSEY, R.; AVANTS, J.K. Separation and characterization of the exopolygalacturonase and endopolygalacturonase from peaches. **Plant Physiology**, Baltimore, v.52, n.3, p.252-256, 1973.

PURGATTO, E. et al. Inhibition of  $\beta$ -amylase activity, starch degradation and sucrose formation by indole-3-acetic acid during banana ripening. **Planta**, New York, v.212, p.823-828, 2001.

RODOV, V. et al. Effect of combined application of heat treatments and plastic packaging on keeping quality of 'Oroblanco' fruit (*Citrus grandis* L. x *C. paradisi* Macf.). **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.20, n.3, p.287-294, 2000.

SAFTNER, R.A. The potential of fruit coating and film treatments for improving the storage and shelf-life qualities of 'Gala' and 'Golden Delicious' apples. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.124, n.6, p.682-689, 1999.

SAMS, C.E. Preharvest factors affecting postharvest texture. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.15, n.3, p.249-254, 1999.

SELVARAJAH, S.; BAUCHOT, A.D.; JOHN, P. Internal browning in cold-stored pineapples is suppressed by a postharvest application of 1-methylcyclopropene. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.23, n.2, p.167-170, 2001.

SILVA, S.M. et al. Conservação pós-colheita de frutos de graviola (*Annona muricata* L.) sob atmosfera modificada. **Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha**, Hermosillo, v.4, n.1, p.6-12, 2001.

SISLER, E.C.; MARGARETHE, S.; DUPILLE, E. Comparison of cyclopropene, 1-methylcyclopropene, and 3,3-dimethylcyclopropene as ethylene antagonists in plants. **Journal of Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v.18, p.169-174, 1996.

SISLER, E.C.; SEREK, M. Inhibitors of ethylene responses in plants at the receptor level: recent developments. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v.100, n.3, p.577-582, 1997.

TANDON, D.K.; KALRA, S.K. Changes in sugars, starch and amylase activity during development of mango fruit cv. Dashehari. **The Journal of Horticultural Science**, Ashford, v.58, n.3, p.449-453, 1983.

WAKABAYASHI, K. Changes in cell wall polysaccharides during fruit ripening. **Journal of Plant Research**, Tokyo, v.113, n.2, p.231-237, 2000.

WATKINS, C.B.; NOCK, J.F.; WHITAKER, B.D. Responses of early, mid and late season apple cultivars to postharvest application of 1-methylcyclopropene (1-MCP) under air controlled atmosphere storage conditions. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.19, n.1, p.17-32, 2000.

WILLS, R. et al. **Postharvest: an introduction to the physiology & handling of fruit, vegetables & ornamentals**. 4<sup>th</sup> ed. Wallingford: New South Wales University Press, 1998. 262p.

WILLS, R.B.H. et al. Postharvest changes in fruit composition of *Annona atemoya* during ripening and effects of storage temperature on ripening. **HortScience**, Alexandria, v.19, n.1, p.96-97, 1984.

WOOLF, A.B. et al. Changes to physical properties of the cell wall and polyuronides in response to heat treatment of 'Fuyu' persimmon that alleviate chilling injury. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.122, n.5, p.698-702, 1997.

WORREL, D.B.; CARRINGTON, C.M.S.; HUBER, D.J. Growth, maturation and ripening of soursop. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.57, n.1, p.7-15, 1994.

XU, S.; CHEN, X.; SUN, D.W. Preservation of kiwifruit coated with an edible film at ambient temperature. **Journal of Food Engineering**, Amsterdam, v.50, n.4, p.211-216, 2001.

YANTARASRI, T. et al. Development of perforated modified atmosphere package for mango. **Acta Horticulturae**, Kyoto, n.398, p.81-91, 1995.

YEMN, E.W.; WILLIS, A.J. The estimation of carbohydrate in plant extracts by anthrone. **The Biochemical Journal**, Cambridge, v.57, n.2, p.504-514, 1954.

YOSHIOKA, H.; KASHIMURA, Y.; KANEKO, K. Solubilization and distribution of neutral sugar residues derived from polyuronides during the softening in apple fruit. **Journal of the Japanese Society of Horticultural Science**, Kyoto, v.63, n.1, p.173-182, 1994.

ZHANG, D.; QUANTICK, P.C. Effects of chitosan coating on enzymatic browning and decay during postharvest storage of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.12, n.2, p.195-202, 1997.

## ANEXOS

TABELA A1 - Resumo das análises de variância de perda de matéria fresca (PMF)<sup>1</sup>, teor de clorofila na casca (TCC), pH e acidez total titulável (ATT) de graviola 'Crioula' durante o armazenamento a temperatura ambiente (26,3 ± 0,6°C e 87,8 ± 12,6% UR). Pacajus, CE, 1999.

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Quadrados Médios			
		PMF	TCC	pH	ATT
Tempo	(04)	57,4043 **	164,6231 <sup>ns</sup>	3,1153 **	0,6417 **
Regressão linear	01	225,0079 **		11,4490 **	2,4305 **
Regressão quadrática	01	2,7590 *		0,7732 *	0,0435 <sup>ns</sup>
Regressão cúbica	01	1,1868 <sup>ns</sup>		0,0076 <sup>ns</sup>	0,0922 *
Desvio de regressão	01	0,6635 <sup>ns</sup>		0,2314 <sup>ns</sup>	0,0008 <sup>ns</sup>
Resíduo	15	0,5138	160,1239	0,1620	0,0113
CV (%)		8,11	21,96	9,19	20,44

\*/\*\* F significativo aos níveis de 5 e 1%, respectivamente.

ns=não significativo

<sup>1</sup>Dados transformados em  $\arcsin \sqrt{x/100}$

TABELA A2 - Resumo das análises de variância de sólidos solúveis totais (SST), relação sólidos solúveis totais/acidez total titulável (RSA), açúcares solúveis totais (AST), açúcares redutores (AR) e açúcares não-redutores (ANR)<sup>1</sup> de graviola 'Crioula' durante o armazenamento a temperatura ambiente (26,3 ± 0,6°C e 87,8 ± 12,6% UR). Pacajus, CE, 1999.

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Quadrados Médios				
		SST	RSA	AST	AR	ANR
Tempo	(04)	60,8825 **	2488,0831 **	74,6084 **	51,2946 **	0,3374 <sup>ns</sup>
Regressão linear	01	299,9202 **	8773,7402 **	267,9098 **	194,7898 **	
Regressão quadrática	01	0,0002 <sup>ns</sup>	214,5420 <sup>ns</sup>	0,4866 <sup>ns</sup>	0,1331 <sup>ns</sup>	
Regressão cúbica	01	11,8810 *	608,1660 **	24,1647 **	8,1360 <sup>ns</sup>	
Desvio de regressão	01	1,7286 <sup>ns</sup>	355,8841 *	5,8725 <sup>ns</sup>	2,1193 <sup>ns</sup>	
Resíduo	15	1,7432	62,3747	2,1085	2,8170	0,2435
CV (%)		10,06	19,59	14,40	22,31	33,76

\*/\*\* F significativo aos níveis de 5 e 1%, respectivamente.

ns=não significativo

<sup>1</sup>Dados transformados em  $\sqrt{x}$

TABELA A3 - Resumo das análises de variância de fenóis dímeros (FD), oligoméricos (FO) e poliméricos (FP) de graviola 'Crioula' durante o armazenamento a temperatura ambiente ( $26,3 \pm 0,6^{\circ}\text{C}$  e  $87,8 \pm 12,6\% \text{UR}$ ). Pacajus, CE, 1999.

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Quadrados Médios		
		FD	FO	FP
Tempo	04	0,00011 <sup>ns</sup>	0,00283 <sup>ns</sup>	0,00263 <sup>ns</sup>
Resíduo	15	0,00158	0,00372	0,00129
CV (%)		31,54	38,80	31,47

\*/\*\* F significativo aos níveis de 5 e 1%, respectivamente.

ns=não significativo

TABELA A4 - Resumo das análises de variância de pectina total (PT), pectina solúvel (PS), percentagem de solubilização de pectina (PSP), amido (AM) e amilase (AML) de graviola 'Crioula' durante o armazenamento a temperatura ambiente ( $26,3 \pm 0,6^{\circ}\text{C}$  e  $87,8 \pm 12,6\% \text{UR}$ ). Pacajus, CE, 1999.

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Quadrados Médios				
		PT	PS	PSP	AM	AML
Tempo	(04)	0,0530 <sup>**</sup>	0,0015 <sup>ns</sup>	620,9307 <sup>**</sup>	58,5503 <sup>**</sup>	99,0553 <sup>**</sup>
Regressão linear	01	0,0457 <sup>**</sup>		1277,4651 <sup>**</sup>	216,4110 <sup>**</sup>	337,3867 <sup>**</sup>
Regressão quadrática	01	0,0367 <sup>*</sup>		0,6111 <sup>ns</sup>	1,5778 <sup>ns</sup>	4,1420 <sup>ns</sup>
Regressão cúbica	01	0,0482 <sup>**</sup>		917,2851 <sup>**</sup>	3,1528 <sup>ns</sup>	54,6157 <sup>**</sup>
Desvio de regressão	01	0,0813 <sup>**</sup>		288,3615 <sup>ns</sup>	13,0594 <sup>*</sup>	0,0769 <sup>ns</sup>
Resíduo	15	0,0051	0,0011	84,5216	2,7189	2,4865
CV (%)		18,62	38,20	36,97	26,30	13,34

\*/\*\* F significativo aos níveis de 5 e 1%, respectivamente.

ns=não significativo

TABELA A5 - Resumo das análises de variância de polifenoloxidase (PPO), peroxidase (POD), pectinametilsterase (PME) e poligalacturonase (PG) de graviola 'Crioula' durante o armazenamento a temperatura ambiente ( $26,3 \pm 0,6^{\circ}\text{C}$  e  $87,8 \pm 12,6\%$  UR). Pacajus, CE, 1999.

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Quadrados Médios			
		PPO	POD	PME	PG
Tempo	(04)	30567,5699 **	719387,1720 **	24562940,7155 **	779,9986 **
Regressão linear	01	59978,8292 **	870542,0745 *	89018808,9441 **	388,6276 *
Regressão quadrática	01	57249,3191 **	463035,5647 ns	4393872,6864 ns	1435,2188 **
Regressão cúbica	01	6,3680 ns	1458010,2192 **	1526140,6362 ns	1,2461 ns
Desvio de regressão	01	5035,7634 ns	85960,8294 ns	3312940,5955 ns	1294,9021 **
Resíduo	15	6059,9573	120244,6352	2984508,6843	74,4491
CV (%)		20,00	47,96	57,21	36,02

\*/\*\* F significativo aos níveis de 5 e 1%, respectivamente.

ns=não significativo

TABELA A6 - Resumo das análises de variância de proteína total de citosol (PT<sub>c</sub>), proteína total de parede (PT<sub>p</sub>),  $\alpha$ -galactosidase de citosol ( $\alpha$ -GAL<sub>c</sub>),  $\alpha$ -galactosidase de parede ( $\alpha$ -GAL<sub>p</sub>),  $\beta$ -galactosidase de citosol ( $\beta$ -GAL<sub>c</sub>) e  $\beta$ -galactosidase de parede ( $\beta$ -GAL<sub>p</sub>) de graviola 'Crioula' durante o armazenamento a temperatura ambiente ( $26,3 \pm 0,6^{\circ}\text{C}$  e  $87,8 \pm 12,6\%$  UR). Pacajus, CE, 1999.

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Quadrados Médios					
		PT <sub>c</sub>	PT <sub>p</sub>	$\alpha$ -GAL <sub>c</sub>	$\alpha$ -GAL <sub>p</sub>	$\beta$ -GAL <sub>c</sub>	$\beta$ -GAL <sub>p</sub>
Tempo	(04)	0,1045 **	0,0111 **	(595597,02) **	(9740,09) **	(935450,30) **	(100971,41) **
Regressão linear	01	0,3783 **	0,0297 **	503618,68 **	32261,83 **	2343837,93 **	149678,10 **
Regressão quadrática	01	0,0325 *	0,0039 *	713900,57 **	1487,63 ns	5562,86 ns	143866,33 **
Regressão cúbica	01	0,0058 ns	0,0058 *	134534,48 ns	5149,04 **	1254742,88 **	74923,74 *
Desvio de regressão	01	0,0015 ns	0,0051 *	1030334,36 **	61,86 ns	137657,52 ns	35417,48 ns
Resíduo	15	0,0039	0,0005 ns	45620,16	564,58	135513,49	13122,21
CV (%)		23,91	22,28	31,46	22,25	25,43	30,28

\*/\*\* F significativo aos níveis de 5 e 1%, respectivamente.

ns=não significativo

TABELA A7 - Resumo das análises de variância de perda de matéria fresca (PMF)<sup>1</sup>, firmeza (FIR), pH e acidez total titulável (ATT) de graviola 'Morada' durante o armazenamento a temperatura ambiente (23,4 ± 1,1°C e 81,8 ± 10,6 %UR). São Luiz do Curu, CE, 2000.

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Quadrados Médios			
		PMF	FIR	pH	ATT
Tempo	(05)	79,9545 **	1634,45260 **	2,3039 **	0,3851 **
Regressão linear	01	366,2077 **	8116,2749 **	10,5123 **	1,8225 **
Regressão quadrática	01	24,1715 *	22,6123 ns	0,1462 ns	0,0013 ns
Regressão cúbica	01	0,7537 ns	102,5557 ns	0,5632 *	0,1301 *
Desvio de regressão	02	5,4698 ns	19,5996 ns	0,1812 ns	0,0129 ns
Resíduo	17	5,3033	154,8762	0,1175	0,0238
CV (%)		31,99	39,07	7,55	31,20

\*/\*\* F significativo aos níveis de 5 e 1%, respectivamente.

ns=não significativo

<sup>1</sup>Dados transformados em  $\text{arc sen } \sqrt{x/100}$

TABELA A8 - Resumo das análises de variância de Luminosidade da casca (LC), Cromaticidade da casca (CC), ângulo Hue da casca (HC), Luminosidade da polpa (LP), Cromaticidade da polpa (CP) e ângulo Hue da polpa (HP) de graviola 'Morada' durante o armazenamento a temperatura ambiente (23,4 ± 1,1°C e 81,8 ± 10,6% UR). São Luiz do Curu, CE, 2000.

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Quadrados Médios					
		LC	CC	HC	LP	CP	HP
Tempo	(05)	20,9291 ns	88,0124 **	27,1148 *	145,2294 **	1,1768 ns	2,8681 ns
Regressão linear	01		36,3737 ns	57,6364 *	676,5116 **		
Regressão quadrática	01		107,9954 *	3,4405 ns	52,5588 *		
Regressão cúbica	01		307,2492 **	75,8570 *	6,0824 ns		
Desvio de regressão	02		4,4905 ns	0,5712 ns	2,1199 ns		
Resíduo	17	11,0827	19,4837	9,1929	8,2169	1,5799	2,2560
CV (%)		7,04	19,69	2,53	3,43	15,16	1,59

\*/\*\* F significativo aos níveis de 5 e 1%, respectivamente.

ns=não significativo

TABELA A9 - Resumo das análises de variância de sólidos solúveis totais (SST), relação sólidos solúveis totais/acidez total titulável (RSA) e açúcares solúveis totais (AST) de graviola 'Morada' durante o armazenamento a temperatura ambiente ( $23,4 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$  e  $81,8 \pm 10,6\%$  UR). São Luiz do Curu, CE, 2000.

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Quadrados Médios		
		SST	RSA	AST
Tempo	(05)	27,0806 **	6908,7116 **	13,9596 **
Regressão linear	01	116,3815 **	3014,1043 **	63,1863 **
Regressão quadrática	01	0,1674 ns	79,0356 ns	0,1302 ns
Regressão cúbica	01	12,4740 ns	136,7405 ns	4,2398 ns
Desvio de regressão	02	3,3520 ns	181,6429 ns	1,3172 ns
Resíduo	17	3,1538	57,4440	1,8823
CV (%)		15,93	24,82	18,63

\*/\*\* F significativo aos níveis de 5 e 1%, respectivamente.

ns=não significativo

TABELA A10 - Resumo das análises de variância de perda de matéria fresca (PMF)<sup>1</sup>, firmeza(FIR) e de luminosidade (LC), cromaticidade (CC) e ângulo Hue (HC) da casca de graviola 'Crioula' durante o armazenamento a temperatura ambiente (24,0 ± 1,0 °C e 90,8 ± 7,3 % UR). Quixeré, CE, 2001.

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Quadrados Médios				
		PMF	FIR	LC	CC	HC
Tempo	(04)	(400,8170) **	6600,2464 **	(46,9535) **	(93,6171) **	(85,2373) **
Regressão linear	01	1508,8193 **		0,7616 ns	177,8524 **	294,5333 **
Regressão quadrática	01	82,5930 **		98,1649 **	89,9218 *	34,7438 ns
Regressão cúbica	01	12,2816 **		85,7337 **	70,7174 *	7,5000 ns
Desvio de regressão	01	0,2001 ns		3,1538 ns	35,9766 ns	4,1722 ns
Dose de 1-MCP	(03)	(3,8436) **	466,7035 **	23,0514 ns	(97,1924) **	(58,0447) **
Regressão linear	01	8,5760 **			174,8033 **	136,5525 **
Regressão quadrática	01	0,3851 ns			48,1331 ns	27,2027 ns
Desvio de regressão	01	2,5696 ns			68,6408 *	10,3788 ns
Tempo x Dose de 1-MCP	(12)	1,5348 ns	(149,3496) **	5,7793 ns	15,9728 ns	6,1341 ns
Tempo dentro de dose 1						
Regressão linear	01		6188,0113 **			
Regressão quadrática	01		591,5253 *			
Regressão cúbica	01		244,9306 **			
Desvio de regressão	01		559,5802 **			
Tempo dentro de dose 2						
Regressão linear	01		4114,4256 **			
Regressão quadrática	01		179,2627 *			
Regressão cúbica	01		37,8339 ns			
Desvio de regressão	01		194,7890 ns			
Tempo dentro de dose 3						
Regressão linear	01		6377,2920 **			
Regressão quadrática	01		528,3115 **			
Regressão cúbica	01		453,1853 **			
Desvio de regressão	01		742,7505 **			
Tempo dentro de dose 4						
Regressão linear	01		6460,6688 **			
Regressão quadrática	01		64,1583 ns			
Regressão cúbica	01		486,4213 **			
Desvio de regressão	01		970,0371 **			
Resíduo	40	0,8877	39,6448	8,4887	16,0886	9,5707
CV (%)		10,67	24,33	6,24	15,43	2,66

\*/\*\* F significativo aos níveis de 5 e 1%, respectivamente.

ns=não significativo

<sup>1</sup>Dados transformados em  $\text{arc sen } \sqrt{x/100}$

TABELA A11 - Resumo das análises de variância de luminosidade (LP), cromaticidade (CP) e ângulo Hue (HP) da polpa de graviola 'Crioula' durante o armazenamento a temperatura ambiente ( $24,0 \pm 1,0^{\circ}\text{C}$  e  $90,8 \pm 7,3\%$  UR). Quixeré, CE, 2001.

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Quadrados Médios		
		LP	CP	HP
Tempo	(04)	(808,8761) **	3,3752 ns	(8,9129) **
Regressão linear	01	2737,8898 **		25,9470 **
Regressão quadrática	01	132,8771 **		8,7771 *
Regressão cúbica	01	338,4528 **		0,5201 ns
Desvio de regressão	01	26,2845 ns		0,4074 ns
Dose de 1-MCP	(03)	12,9734 ns	0,1868 ns	(5,6944) *
Regressão linear	01			1,3333 ns
Regressão quadrática	01			15,0000 **
Desvio de regressão	01			0,7500 ns
Tempo x Dose de 1-MCP	12	12,0280 ns	1,3875 ns	2,0901 ns
Resíduo	40	10,1814	1,750	1,8868
CV (%)		3,95	13,58	1,47

\*/\*\* F significativo aos níveis de 5 e 1%, respectivamente.

ns=não significativo

TABELA A12 - Resumo das análises de variância de sólidos solúveis totais (SST), acidez total titulável (ATT), pH, relação SST/ATT (RSA) e açúcares solúveis totais (AST) de graviola 'Crioula' durante o armazenamento a temperatura ambiente ( $24,0 \pm 1,0^\circ\text{C}$  e  $90,8 \pm 7,3\%$  UR). Quixeré, CE, 2001.

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Quadrados Médios			
		SST	ATT	pH	AST
Tempo	(04)	381,9994 **	1,8883 **	10,1019 **	(237,6650) **
Regressão linear	01				877,1776 **
Regressão quadrática	01				3,7322 ns
Regressão cúbica	01				21,3616 **
Desvio de regressão	01				48,3888 **
Dose de 1-MCP	(03)	4,2209 *	0,0123 ns	0,4049 **	4,5491 ns
Regressão linear	01				
Regressão quadrática	01				
Desvio de regressão	01				
Tempo x Dose de 1-MCP	(12)	(3,3513) **	(0,0507) *	(0,2593) **	2,8027 ns
Tempo dentro de dose 1					
Regressão linear	01	251,1413 **	0,7332 **	5,9227 **	
Regressão quadrática	01	51,2610 **	0,5647 **	3,1762 **	
Regressão cúbica	01	18,5653 **	0,1968 **	0,0012 ns	
Desvio de regressão	01	3,8950 *	0,0860 *	0,0515 ns	
Tempo dentro de dose 2					
Regressão linear	01	340,0333 **	1,5053 **	7,8234 **	
Regressão quadrática	01	7,7143 *	0,1634 **	0,1326 **	
Regressão cúbica	01	56,0333 **	0,7176 **	0,0012 ns	
Desvio de regressão	01	0,0030 ns	0,0724 *	0,4583 *	
Tempo dentro de dose 3					
Regressão linear	01	318,1763 **	0,8434 **	8,6618 **	
Regressão quadrática	01	61,6860 **	0,5237 **	1,7939 **	
Regressão cúbica	01	73,3203 **	0,1702 *	0,2412 ns	
Desvio de regressão	01	5,4080 *	0,1016 *	0,5462 **	
Tempo dentro de dose 4					
Regressão linear	01	295,7880 **	1,7328 **	1,7438 **	
Regressão quadrática	01	22,2943 **	0,2186 **	0,2867 ns	
Regressão cúbica	01	41,7720 **	0,4738 **	0,9684 **	
Desvio de regressão	01	21,1217 **	0,0580 ns	1,7100 **	
Resíduo	40	1,1980	0,0209	0,2593	1,6032
CV (%)		7,81	20,65	6,48	14,08

\*/\*\* F significativo aos níveis de 5 e 1%, respectivamente.

ns=não significativo

TABELA A13 - Resumo das análises de variância de perda de matéria fresca (PMF)<sup>1</sup>, firmeza da polpa (FP), aparência (AP), luminosidade da casca (LC) e luminosidade da polpa (LP) de graviola 'Morada' submetida a tratamentos pós-colheita com 1-MCP e cera, durante o armazenamento refrigerado (15,4 ± 1,1°C e 86,0 ± 7,3% UR). Limoeiro do Norte, CE, 2002.

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Quadrados Médios					
		PMF	FP	AP	LC	LP	
Tempo	(05)	691,24305 **	13763,0818 **	28,2678 **	11,7557 ns	450,5069 **	
Regressão linear	01						
Regressão quadrática	01						
Regressão cúbica	01						
Desvio de regressão	02						
Tratamento pós-colheita	03	19,92887 **	76,6381 *	2,4787 **	26,7625 *	11,5863 ns	
Tempo x Tratamento pós-colheita	(15)	(3,19866) **	(86,6455) **	(0,6834) **	(15,0037) *	15,3571) *	
Tempo dentro de tratamento 1							
Regressão linear	01	919,45226 **	11946,5181 **	54,7121 **	49,1484 *	732,6348) **	
Regressão quadrática	01	46,67348 **	807,5422 **	0,1995 ns	0,5516 ns	25,9439) *	
Regressão cúbica	01	9,26857 **	697,5494 **	1,6769 **	0,0247 ns	5,4456) ns	
Desvio de regressão	01	8,27252 **	391,5578 **	0,8724 *	2,4495 ns	3,4376) ns	
Tempo dentro de tratamento 2							
Regressão linear	01	872,98519 **	15537,2256 **	33,9071 **	20,1848 ns	330,4516 **	
Regressão quadrática	01	91,75418 **	205,2253 **	0,0492 ns	17,7549 ns	6,8764 ns	
Regressão cúbica	01	0,25409 ns	3352,4774 **	5,6131 **	11,1480 ns	4,5725 ns	
Desvio de regressão	01	16,90173 **	1356,2906 **	0,1320 ns	31,6742 **	29,4560 **	
Tempo dentro de tratamento 3							
Regressão linear	01	660,79374 **	15720,7409 **	26,9721 **	16,2715 ns	586,9260 **	
Regressão quadrática	01	41,31663 **	187,4593 **	1,3295 *	5,4169 ns	15,0922 ns	
Regressão cúbica	01	16,04566 **	3106,7068 **	0,2166 ns	13,3078 ns	38,2289 *	
Desvio de regressão	01	4,02566 *	1154,4599 **	0,4075 ns	3,5675 ns	20,1667 *	
Tempo dentro de tratamento 4							
Regressão linear	01	763,38706 **	13691,0806 **	24,3812 **	15,5620 ns	565,2263 **	
Regressão quadrática	01	39,22776 **	309,5315 **	0,1102 ns	59,2425 **	58,7806 **	
Regressão cúbica	01	3,45860 ns	1566,9208 **	2,5034 **	6,4654 ns	7,6855 ns	
Desvio de regressão	01	0,37212 ns	738,4859 **	1,1068 **	0,6160 ns	32,1176 **	
Resíduo	70	1,21447	24,2277	0,2250	7,3661	7,1042	
CV (%)		9,22	23,63	20,36	7,05	3,29	

\*/\*\* F significativo aos níveis de 5 e 1%, respectivamente.

ns=não significativo

<sup>1</sup>Dados transformados em  $\arcsen \sqrt{x/100}$

TABELA A14 - Resumo das análises de variância de cromaticidade (CC) e ângulo Hue da casca (HC), cromaticidade (CP) e ângulo Hue da polpa (HP), acidez total titulável (ATT) e pH de graviola 'Morada' submetida a tratamentos pós-colheita com 1-MCP e cera, durante o armazenamento refrigerado ( $15,4 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$  e  $86,0 \pm 7,3\%$  UR). Limoeiro do Norte, CE, 2002.

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Quadrados Médios					
		CC	HC	CP	HP	ATT	pH
Tempo	(05)	(195,051) **	(413,558) **	(11,973) *	(14,1881) *	(1,422) **	(10,353) **
Regressão linear	01	185,754 **	1714,467 **	14,447 ns	38,7366 **	5,270 **	41,025 **
Regressão quadrática	01	680,542 **	189,267 *	43,100 **	26,3058 *	1,244 **	9,555 **
Regressão cúbica	01	111,497 **	126,819 ns	0,073 ns	5,8893 ns	0,557 **	0,908 **
Desvio de regressão	02	6,245 ns	29,214 ns	1,262 ns	0,2497 ns	0,108 **	0,515 **
Tratamento pós-colheita	03	29,030 ns	49,201 ns	5,210 ns	5,6327 ns	0,028 ns	0,058 ns
Tempo x Tratamento pós-colheita	15	20,674 ns	43,049 ns	2,672 ns	2,7164 ns	0,015 ns	0,104 ns
Resíduo	70	15,253	34,011	4,365	4,3753	0,014	0,059
CV (%)		19,32	4,90	20,59	2,26	18,35	5,89

\*/\*\* F significativo aos níveis de 5 e 1%, respectivamente.

ns=não significativo

TABELA A15 - Resumo das análises de variância de teor de sólidos solúveis totais (SST), açúcares solúveis totais (AST), açúcares redutores (AR), amido (AM), atividade de amilase (AMIL) e atividade de  $\beta$ -galactosidase ( $\beta$ -GAL) de graviola 'Morada' submetida a tratamentos pós-colheita com 1-MCP e cera, durante o armazenamento refrigerado ( $15,4 \pm 1,1^\circ\text{C}$  e  $86,0 \pm 7,3\%$  UR). Limoeiro do Norte, CE, 2002.

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Quadrados Médios					
		SST	AST	AR	AM	AMIL	$\beta$ -GAL
Tempo	(05)	165,8063 **	(108,0408) **	(88,6858) **	(166,8032) **	44,8195 **	(321362,4) **
Regressão linear	01		449,3285 **	417,4945 **	797,0827 **		1139646,4 **
Regressão quadrática	01		68,1828 **	12,5299 **	22,5268 **		171959,8 ns
Regressão cúbica	01		31,1876 **	15,8908 **	26,6105 **		2800,0 ns
Desvio de regressão	02		1,1173 ns	2,6141 ns	5,3932 *		171524,5 *
Tratamento pós-colheita	03	0,0321 ns	1,7590 ns	0,2723 ns	0,4798 ns	1,2129 ns	42660,8 ns
Tempo x Tratamento pós-colheita	(15)	(2,1108) *	2,0382 ns	1,2254 ns	1,3068 ns	(4,6328) ns	54961,8 ns
Tempo dentro de tratamento 1							
Regressão linear	01	158,6130 **				0,8194 **	
Regressão quadrática	01	22,7685 **				11,0075 **	
Regressão cúbica	01	0,6722 ns				63,2200 **	
Desvio de regressão	01	3,8009 *				14,4917 **	
Tempo dentro de tratamento 2							
Regressão linear	01	223,4706 **				2,2214 ns	
Regressão quadrática	01	9,2228 **				7,2862 ns	
Regressão cúbica	01	4,7440 *				75,4274 **	
Desvio de regressão	01	7,3309 **				5,4683 *	
Tempo dentro de tratamento 3							
Regressão linear	01	175,7512 **				0,1944 ns	
Regressão quadrática	01	33,4738 **				11,9517 *	
Regressão cúbica	01	12,1723 **				44,8408 **	
Desvio de regressão	01	0,8032 ns				6,8482 *	
Tempo dentro de tratamento 4							
Regressão linear	01	162,0004 **				3,0085 ns	
Regressão quadrática	01	39,6285 **				12,2895 *	
Regressão cúbica	01	13,7447 **				6,9101 ns	
Desvio de regressão	01	2,1590 ns				3,5916 ns	
Resíduo		1,1444	1,3211	0,9860	1,5165	1,8583	58852,4
CV (%)		9,15	12,20	13,05	35,83	14,06	34,61

\*/\*\* F significativo aos níveis de 5 e 1%, respectivamente.

ns=não significativo