

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**EFEITO DA ATMOSFERA MODIFICADA E DA VARIAÇÃO  
DE TEMPERATURA DURANTE ARMAZENAGEM NA  
QUALIDADE DO FIGO 'ROXO DE VALINHOS'**

**FRANCIANE COLARES SOUZA**

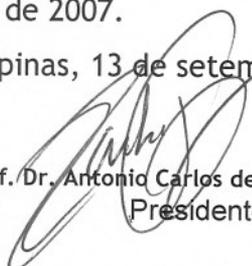
CAMPINAS  
FEVEREIRO DE 2007



## PARECER

Este exemplar corresponde à redação final da Dissertação de Mestrado defendida por **Franciane Colares Souza**, aprovada pela Comissão Julgadora em 27 de fevereiro de 2007.

Campinas, 13 de setembro de 2007.

  
Prof. Dr. Antonio Carlos de Oliveira Ferraz  
Presidente

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**EFEITO DA ATMOSFERA MODIFICADA E DA VARIAÇÃO  
DE TEMPERATURA DURANTE ARMAZENAGEM NA  
QUALIDADE DO FIGO 'ROXO DE VALINHOS'**

Dissertação de mestrado submetida à banca  
examinadora para obtenção do título de Mestre em  
Engenharia Agrícola, na área de concentração  
Tecnologia Pós-Colheita.

**FRANCIANE COLARES SOUZA**

**Orientador: PROF. DR. ANTONIO CARLOS DE OLIVEIRA FERRAZ**

CAMPINAS  
FEVEREIRO DE 2007

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

So89e Souza, Franciane Colares  
Efeito da atmosfera modificada e da variação de temperatura durante armazenagem na qualidade do figo 'Roxo de Valinhos' / Franciane Colares Souza. -- Campinas, SP: [s.n.], 2007.

Orientador: Antonio Carlos de Oliveira Ferraz.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Figo - Transporte. 2. Frutas - Conservação. 3. Controle atmosférico. 4. Temperatura. I. Ferraz, Antonio Carlos de Oliveira. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. III. Título.

Título em Inglês: Effect of modified atmosphere and temperature variation during storage in 'Roxo de Valinhos' fig quality.

Palavras-chave em Inglês: Transport, Temperature variation, Active modified atmosphere, Firmness index, Deformation energy.

Área de concentração: Tecnologia Pós-Colheita

Titulação: Mestre em Engenharia Agrícola.

Banca examinadora: Sylvio Luís Honório e Carlos Alberto Rodrigues Anjos.

Data da defesa: 27/02/2007.

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Agrícola

*“Não palmilhe sempre o mesmo caminho, passando somente onde outros já passaram. Abandone ocasionalmente o caminho trilhado e embrenhe-se na mata. Certamente descobrirá coisas nunca vistas. É claro que serão coisas insignificantes, mas não as ignore. Prossiga, explore tudo sobre elas; cada descoberta levará a outra. Antes do esperado existirá algo que mereça reflexão”.*

ALEXANDER GRAHAM BELL

## DEDICATÓRIA

À *Deus*, pela vida.

Aos meus pais, *Francisco* e *Angelita*, pelo amor e compreensão.

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, por iluminar meu caminho e permitir que esta etapa fosse cumprida.

Aos meus pais, minha irmã Néia, meus sobrinhos Simone e Gustavo, pela compreensão, torcida e amor dedicado em todos os momentos.

Ao Fábio, por toda dedicação, amor e carinho, me ajudando a tornar este caminho mais fácil.

À Faculdade de Engenharia Agrícola e à UNICAMP, pela oportunidade oferecida e disponibilidade dos laboratórios.

Ao CNPq pelo fornecimento da bolsa de mestrado e à FAPESP pelo financiamento do projeto de pesquisa.

Ao Prof. Dr. Antonio Carlos de Oliveira Ferraz, pela orientação, aprendizado e apoio durante mais esta etapa.

Aos professores Sylvio Luís Honório, Benedito Carlos Benedetti e Paulo Ademar Martins Leal, da Faculdade de Engenharia Agrícola, e José de Assis Fonseca Faria, da Faculdade de Engenharia de Alimentos, pelo auxílio na definição da metodologia conhecimentos transmitidos.

À Claire Sarantópoulos (CETEA/ITAL) pelo auxílio na definição das embalagens e metodologia.

À Maria Rosália Favoretto, Francisco de Oliveira e Rosa Helena Aguiar, técnicos do laboratório de Tecnologia Pós-Colheita, Leandro Moraes, técnico do laboratório de Propriedades Físicas dos Materiais Biológicos, e à estagiária Andréia pelo auxílio na realização dos experimentos.

Ao doutorando José Marcos Leme, pela grande ajuda na montagem dos experimentos.

Aos meus amigos da Faculdade de Engenharia Agrícola, que durante todo este período estiveram ao meu lado, e a todos que de alguma forma contribuíram para a realização do meu trabalho.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>vii</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>x</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>xiii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xv</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>3</b>
2.1 Figo.....	3
2.2 Produção, comercialização e transporte de figos.....	3
2.3 Taxa respiratória e produção de etileno.....	5
2.4 Modificação da atmosfera .....	7
2.4.1 Atmosfera controlada .....	8
2.4.2 Atmosfera modificada .....	9
2.5 Filmes utilizados em atmosfera modificada .....	11
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>14</b>
3.1 Estudo preliminar de firmeza .....	14
3.2 Avaliação da qualidade dos figos armazenados sob atmosfera modificada.....	16
3.2.1 Figos .....	16
3.2.2 Embalagem.....	17
3.2.3 Condições de concentração dos gases e processo de acondicionamento das frutas.....	18
3.2.4 Condições de variação de temperatura durante o armazenamento.....	20
3.2.5 Tratamentos .....	21
3.2.6 Fluxograma das principais etapas do experimento.....	24
3.2.7 Medidas de temperatura de polpa e do ar ambiente .....	24
3.2.8 Medidas de concentração de gases nas embalagens.....	26
3.2.9 Avaliação do desempenho dos tratamentos.....	26
3.2.9.1 <i>Perda de massa</i> .....	26
3.2.9.2 <i>Sólidos solúveis</i> .....	27
3.2.9.3 <i>Acidez titulável e pH</i> .....	27

3.2.9.4	<i>Firmeza</i> .....	28
3.2.9.5	<i>Aparência</i> .....	28
3.2.10	Delineamento experimental.....	29
3.2.11	Análise dos resultados .....	30
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>31</b>
4.1	Estudo preliminar de firmeza .....	31
4.2	Avaliação da qualidade dos figos armazenados sob atmosfera modificada.....	33
4.2.1	Medidas de temperatura de polpa e do ar ambiente .....	33
4.2.2	Concentração dos gases nas embalagens.....	38
4.2.3	Avaliação do desempenho dos tratamentos.....	46
4.2.3.1	<i>Perda de massa</i> .....	46
4.2.3.2	<i>Sólidos solúveis</i> .....	48
4.2.3.3	<i>Acidez titulável e pH</i> .....	50
4.2.3.4	<i>Firmeza</i> .....	54
4.2.3.5	<i>Aparência</i> .....	56
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>65</b>
<b>6</b>	<b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>66</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>67</b>
<b>8</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>70</b>
1.	Dados experimentais da variação de temperatura da polpa dos figos e do ar interno da câmara fria durante o armazenamento sob os quatro regimes térmicos estudados. ....	70
2.	Análise de variância da composição gasosa nas embalagens com atmosfera modificada passiva e atmosfera modificada ativa armazenadas sob os quatro regimes térmicos.....	75
3.	Análise de variância dos valores de perda de massa, sólidos solúveis, acidez titulável, pH e firmeza para os tratamentos testemunha, atmosfera modificada passiva e atmosfera modificada ativa armazenados sob os quatro regimes térmicos.....	77
4.	Análise de variância dos parâmetros utilizados para avaliação da aparência dos tratamentos testemunha, atmosfera modificada passiva e atmosfera modificada ativa armazenados sob os quatro regimes térmicos. ....	80

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Aspectos dos ensaios de penetração (A) e compressão entre pratos planos e paralelos (B).....	15
Figura 2. Diagrama força x deformação específica representativo dos ensaios de penetração, mostrando o ponto de limite linear da curva. ....	16
Figura 3. Produto colocado na câmara interna da seladora para iniciar as operações de vácuo parcial, injeção de gases e fechamento das embalagens; (1) barra de selagem. (2) orifícios para injeção de gás. ....	19
Figura 4. Gráficos representativos dos quatro regimes térmicos aos quais as frutas foram submetidas durante o armazenamento.....	21
Figura 5. Fluxograma de preparação dos tratamentos utilizados no experimento (RTi = regimes térmicos). ....	24
Figura 6. Montagem dos experimentos na câmara fria, mostrando a disposição das embalagens e sistema de aquisição de dados de temperatura. (1) Termopar para medição da temperatura do ar da câmara; (2) Sistema de aquisição de dados de temperatura conectado ao computador (3). ....	25
Figura 7. Diagramas força x deformação específica representativos dos ensaios de penetração (1) e compressão entre pratos planos e paralelos (2). O ponto indicado em cada diagrama corresponde ao respectivo valor de deformação específica estabelecido para determinação dos índices de firmeza força e energia de deformação a uma dada deformação específica. ....	31
Figura 8. Variação de temperatura da polpa de figos sem tratamento e do ar interno da câmara fria para o Regime Térmico 1, durante as primeiras 24 horas do período de armazenamento. ....	33
Figura 9. Variação de temperatura da polpa de figos sem tratamento e do ar interno da câmara fria para o Regime Térmico 2, durante as primeiras 24 horas do período de armazenamento. ....	35
Figura 10. Variação de temperatura da polpa de figos sem tratamento e do ar interno da câmara fria para o Regime Térmico 3, durante as primeiras 60 horas do período de armazenamento.....	36

Figura 11. Variação de temperatura da polpa de figos sem tratamento e do ar interno da câmara fria para o Regime Térmico 4, durante as primeiras 60 horas do período de armazenamento.....	37
Figura 12. Concentração de gás carbônico (A) e oxigênio (B) no interior das embalagens contendo figos para os tratamentos atmosfera modificada passiva (AMP) e atmosfera modificada ativa (AMA), armazenados sob os quatro regimes térmicos.....	39
Figura 13. Concentração de etileno no interior das embalagens contendo figos para os tratamentos atmosfera modificada passiva (AMP) e atmosfera modificada ativa (AMA), armazenados sob os quatro regimes térmicos.....	44
Figura 14. Perda de massa acumulada para figos dos tratamentos testemunha (TT), atmosfera modificada passiva (AMP) e atmosfera modificada ativa (AMA), submetidos aos quatro regimes de variação de temperatura. ....	46
Figura 15. Variação nos valores médios da concentração de sólidos solúveis para figos dos tratamentos testemunha (TT), atmosfera modificada passiva (AMP) e atmosfera modificada ativa (AMA), submetidos aos quatro regimes de variação de temperatura.....	49
Figura 16. Valores médios de acidez titulável (A) e pH (B) para figos dos tratamentos testemunha (TT), atmosfera modificada passiva (AMP) e atmosfera modificada ativa (AMA), submetidos aos quatro regimes de variação de temperatura.....	51
Figura 17. Valores médios de energia de deformação para figos dos tratamentos testemunha (TT), atmosfera modificada passiva (AMP) e atmosfera modificada ativa (AMA), submetidos aos quatro regimes de variação de temperatura.....	54
Figura 18. Notas médias da avaliação visual do avanço do amadurecimento para figos dos tratamentos testemunha (TT), atmosfera modificada passiva (AMP) e atmosfera modificada ativa (AMA), submetidos aos quatro regimes de variação de temperatura.....	57
Figura 19. Valores médios da avaliação visual do murchamento para figos dos tratamentos testemunha (TT), atmosfera modificada passiva (AMP) e atmosfera modificada ativa (AMA), submetidos aos quatro regimes de variação de temperatura.....	59

Figura 20. Notas médias para avaliação visual de danos físicos em figos dos tratamentos testemunha (TT), atmosfera modificada passiva (AMP) e atmosfera modificada ativa (AMA), submetidos aos quatro regimes de variação de temperatura.....	61
Figura 21. Valores médios do número de figos com podridão por embalagem para os tratamentos testemunha (TT), atmosfera modificada passiva (AMP) e atmosfera modificada ativa (AMA), submetidos aos quatro regimes de variação de temperatura.....	63
Figura 22. Variação de temperatura da polpa de figos sem tratamento e do ar interno da câmara fria para o Regime Térmico 1, durante o período de armazenamento. ....	71
Figura 23. Variação de temperatura da polpa de figos sem tratamento e do ar interno da câmara fria para o Regime Térmico 2, durante o período de armazenamento. ....	72
Figura 24. Variação de temperatura da polpa de figos sem tratamento e do ar interno da câmara fria para o Regime Térmico 3, durante o período de armazenamento. ....	73
Figura 25. Variação de temperatura da polpa de figos sem tratamento e do ar interno da câmara fria para o Regime Térmico 4, durante o período de armazenamento. ....	74

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Resumo dos tratamentos utilizados nos experimentos para figos no estágio de maturação rami. ....	22
Tabela 2. Valores médios dos índices de firmeza obtidos a partir dos ensaios mecânicos de penetração e compressão entre pratos planos e paralelos para figos.....	32
Tabela 3. Valores médios e comparação de médias da concentração de gás carbônico, em porcentagem (%), nas embalagens com atmosfera modificada passiva e atmosfera modificada ativa, armazenadas sob os quatro regimes térmicos. ....	40
Tabela 4. Valores médios e comparação de médias da concentração de oxigênio, em porcentagem (%), nas embalagens com atmosfera modificada passiva e atmosfera modificada ativa, armazenadas sob os quatro regimes térmicos. ....	42
Tabela 5. Valores médios e comparação de médias da concentração de etileno ( $10^{-6}$ mg.L <sup>-1</sup> ), nas embalagens com atmosfera modificada passiva e atmosfera modificada ativa, armazenadas sob os quatro regimes térmicos. ....	45
Tabela 6. Valores médios e comparação de médias da porcentagem de perda de massa para figos dos tratamentos testemunha, atmosfera modificada passiva e atmosfera modificada ativa, armazenados sob os quatro regimes térmicos.....	48
Tabela 7 .Valores médios e comparação de médias de sólidos solúveis (°Brix), para figos dos tratamentos testemunha, atmosfera modificada passiva e atmosfera modificada ativa, armazenados sob os quatro regimes térmicos.....	50
Tabela 8. Valores médios e comparação de médias de acidez titulável (% de ácido cítrico) para figos dos tratamentos testemunha, atmosfera modificada passiva e atmosfera modificada ativa, armazenados sob os quatro regimes térmicos.....	52
Tabela 9. Valores médios e comparação de médias de pH para figos dos tratamentos testemunha, atmosfera modificada passiva e atmosfera modificada ativa, armazenados sob os quatro regimes térmicos. ....	53

Tabela 10. Valores médios e comparação de médias de energia de deformação (N.mm) à deformação específica de 10% para figos dos tratamentos testemunha, atmosfera modificada passiva e atmosfera modificada ativa, armazenados sob os quatro regimes térmicos. ....	55
Tabela 11. Valores médios e comparação de médias das notas atribuídas à evolução do amadurecimento de figos dos tratamentos testemunha, atmosfera modificada passiva e atmosfera modificada ativa, armazenados sob os quatro regimes térmicos. ....	58
Tabela 12. Valores médios e comparação de médias das notas atribuídas à evolução do murchamento de figos dos tratamentos testemunha, atmosfera modificada passiva e atmosfera modificada ativa, armazenados sob os quatro regimes térmicos. ....	60
Tabela 13. Valores médios e comparação de médias das notas atribuídas à evolução de danos físicos para figos dos tratamentos testemunha, atmosfera modificada passiva e atmosfera modificada ativa, armazenados sob os quatro regimes térmicos. ....	62
Tabela 14. Número médio de frutas com ocorrência de podridão por embalagem ao longo do período de armazenamento. ....	64
Tabela 15. Análise de variância para a concentração de gás carbônico nas embalagens dos tratamentos AMP e AMA, ao nível de 5% de probabilidade. ....	75
Tabela 16. Análise de variância para a concentração de oxigênio nas embalagens dos tratamentos com AMP e AMA, ao nível de 5% de probabilidade. ....	75
Tabela 17. Análise de variância para a concentração de etileno nas embalagens dos tratamentos com AMP e AMA, ao nível de 5% de probabilidade. ....	76
Tabela 18. Análise de variância para os valores de perda de massa dos tratamentos testemunha, AMP e AMA, armazenados sob os quatro regimes térmicos. ....	77
Tabela 19. Análise de variância para os valores de sólidos solúveis obtidos para os tratamentos testemunha, AMP e AMA, armazenados sob os quatro regimes térmicos. ....	77
Tabela 20. Análise de variância para os valores de acidez titulável obtidos para os tratamentos testemunha, AMP e AMA, armazenados sob os quatro regimes térmicos. ....	78
Tabela 21. Análise de variância para os valores de pH dos tratamentos testemunha, AMP e AMA, armazenados sob os quatro regimes térmicos. ....	78

Tabela 22. Análise de variância para os valores de energia de deformação obtidos para os tratamentos testemunha, AMP e AMA, armazenados sob os quatro regimes térmicos. ....	79
Tabela 23. Análise de variância para o atributo amadurecimento utilizado para avaliação da qualidade do figo. ....	80
Tabela 24. Análise de variância para o atributo murchamento utilizado para avaliação da qualidade do figo. ....	80
Tabela 25. Análise de variância para o atributo dano físico utilizado para avaliação da qualidade do figo. ....	81
Tabela 26. Análise de variância para o atributo podridão utilizado para avaliação da qualidade do figo. ....	81

## RESUMO

A cultura do figo (*Ficus carica* L.) no estado de São Paulo iniciou-se no começo do século XX na região de Campinas e Valinhos, e desde 1990 vem ganhando destaque na região, responsável por 90% da produção nacional de figos de mesa, e tem conseguido espaço no mercado europeu no período de entressafra. O figo 'Roxo de Valinhos' é altamente perecível, com curta vida útil em condições ambientais, de 1 a 3 dias, razão pela qual deve ser comercializado rapidamente. Como não são aplicadas técnicas para conservação do figo, para que chegue em condição aceitável na Europa, a solução encontrada pelos produtores foi antecipar sua colheita, colhendo-o no estágio verde, bem mais cedo que o utilizado para o figo destinado ao mercado interno, prejudicando seu sabor e aparência. O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho da atmosfera modificada ativa na qualidade e vida útil do figo 'Roxo de Valinhos'. Utilizou-se o figo no estágio meio maduro (rami), armazenado com atmosfera modificada passiva (AMP) e atmosfera modificada ativa (AMA) com 20% de CO<sub>2</sub> e 6,5% de O<sub>2</sub>, acondicionado em filme de polietileno de baixa densidade (PEBD) de 30µm, e armazenado durante uma semana sob quatro regimes térmicos (RT), com umidade relativa de 90±5%. Os RT avaliados foram temperatura constante de 20°C±1°C (RT1), temperatura constante de 10°C±1°C (RT2), temperatura de 20°C±1°C nas primeiras 48 horas de armazenamento seguida de um degrau negativo de 10°C a partir o terceiro dia (RT3) e temperatura de 10°C±1°C no primeiro dia de armazenamento, seguidas por um degrau positivo de 10°C no segundo dia, com diminuição para 10°C do terceiro dia até o final do armazenamento (RT4). Para avaliação do desempenho das condições de atmosfera e regimes térmicos na qualidade do figo foram realizadas medidas de temperatura da polpa do figo, concentração gasosa nas embalagens (CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> e etileno), perda de massa, sólidos solúveis, acidez titulável, firmeza de polpa e aparência. As embalagens com AMA não mantiveram a concentração inicial de CO<sub>2</sub> em 20%, devido à alta taxa de permeabilidade do filme a esse gás. A partir do quarto dia, a concentração de CO<sub>2</sub> apresentou tendência de equilíbrio para os tratamentos com AMP e AMA, sem alterações significativas até o final do armazenamento. Os tratamentos com AMP e AMA mantiveram baixos índices de perda de massa, próximos a 1,5%, boa aparência e melhores índices de firmeza até o final do armazenamento, enquanto as frutas do tratamento testemunha não apresentaram condições de comercialização a partir do quarto dia. Foi evidenciado que o RT1 apresentou a pior condição para armazenamento do

figo, favorecendo a perda de massa e ocorrência de podridão das frutas, e não foi observada diferença entre as frutas armazenadas com AMP e AMA.

**PALAVRAS-CHAVE:** transporte, variação de temperatura, atmosfera modificada ativa, índice de firmeza, energia de deformação.

## ABSTRACT

### EFFECT OF MODIFIED ATMOSPHERE AND TEMPERATURE VARIATION DURING STORAGE IN 'ROXO DE VALINHOS' FIG QUALITY

The production fig (*Ficus carica* L.) began in the state of São Paulo at the beginning of XX century in the area of Campinas and Valinhos, and since 1990 this production is getting prominence as responsible for 90% of the national production of fresh figs, including exports to Europe. The 'Roxo of Valinhos' fig is highly perishable, lasting 1 to 3 days in room conditions, and therefore it shall be marketed quickly. Since conservation techniques are not usually applied in figs, the solution found by the producers for the product arrive in acceptable condition in Europe was to anticipate harvest, picking it in the green stadium, much earlier than used for the fig destined to the internal market, harming its flavor and appearance. The objective of this work was to evaluate the effect of an active modified atmosphere in quality and shelf life of the 'Roxo of Valinhos' fig. Figs were harvested at the middle stadium of ripening, stored with passive modified atmosphere and active modified atmosphere (20%CO<sub>2</sub> and 6,5%O<sub>2</sub>), wrapped with low density 30µm polyethylene film (LDPE), and stored during one week under four thermal regimes (RT), with relative humidity of 90±5%. Thermal regimes (TR) used were constant temperature of 20°C±1°C (TR1), constant temperature of 10°C±1°C (TR2), temperature of 20°C±1°C in the first 48 hours of storage followed by a negative step of 10°C in the third day (TR3) and temperature of 10°C±1°C in the first day of storage, followed for a positive step of 10°C in the second day, with decrease for 10°C of the third day to the end of the storage (TR4). For evaluation of the performance of the combination of atmosphere conditions and thermal regimes in the quality of the fig, there were performed measurements of pulp temperature, gaseous concentration in the packages (CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> and C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>), weight loss, soluble solids, titratable acidity, pulp firmness and appearance. The packages with active modified atmosphere didn't maintain the initial concentration of CO<sub>2</sub>, due to the high diffusion rate of the film to that gas. CO<sub>2</sub> concentration achieved equilibrium at the fourth day for both of the treatments with passive and active modified atmosphere, without significant changes until the end of storage period. The treatments with modified atmosphere showed low indexes of weight loss, good appearance and little changes in

firmness index till the end of storage, while the fruits of the control treatment didn't present marketable conditions at the fourth day. TR1 resulted in worst condition for storage of the fig, favoring weight loss and decay occurrence. No difference was observed among fruits stored with active and passive modified atmosphere.

**KEYWORDS:** transport, temperature variation, active modified atmosphere, firmness index, deformation energy.

## 1 INTRODUÇÃO

A cultura da figueira (*Ficus carica* L.) no estado de São Paulo se iniciou no começo do século XX, na região de Campinas e Valinhos. Desde 1990, esta cultura vem ganhando destaque na região, que conta hoje com cerca de mil pequenas propriedades, responsáveis por 90% da produção nacional de figos de mesa e que vêm ganhando espaço no mercado europeu, principalmente na entressafra do figo turco.

No ano de 2003, foram produzidas no Brasil 26 mil toneladas de figos, das quais 910 toneladas foram destinadas à exportação, totalizando 2,109 milhões de dólares (BRASIL, 2005). Este valor corresponde a 5,5% do total, em dólares, de exportação de figos no mundo, percentual este que poderia ser maior se fossem utilizadas tecnologias apropriadas para manutenção da qualidade da fruta. Os maiores importadores do figo brasileiro são Alemanha, França, Países Baixos, Reino Unido e Suíça.

O figo 'Roxo de Valinhos' é altamente perecível, com curta vida útil em condições ambientais, de 1 a 3 dias, razão pela qual deve ser comercializado rapidamente. Mesmo quando se utiliza refrigeração em figos maduros, estes podem ser armazenados por um período máximo de sete dias, a temperatura de 0°C e umidade relativa entre 85-90%. Como a cadeia do frio não é utilizada adequadamente e não são aplicadas técnicas para conservação do figo, para que chegue em condição aceitável na Europa, a solução encontrada pelos produtores foi antecipar sua colheita, colhendo-o no estágio verde, bem mais cedo que o utilizado para o figo destinado ao mercado interno, prejudicando seu sabor e aparência. Devido ao seu discreto climatério, as frutas amadurecidas na planta são mais doces. Entretanto, neste estágio, estão mais sujeitas à deterioração. Algumas vezes, as frutas são mantidas por algum tempo em câmaras frigoríficas até o momento do transporte, sendo transportadas em caminhões fechados até os aeroportos, de onde são levadas até o país de destino. No entanto, durante o transporte, tanto terrestre quanto aéreo, a cadeia do frio não é utilizada, ficando as frutas expostas às condições ambientais, sem controle de temperatura e umidade relativa, durante vários dias até a chegada ao consumidor final. Estas variações de condições ambientais prejudicam a qualidade do produto, acelerando sua deterioração. Quando o figo chega ao mercado internacional, além de não apresentar características de cor, sabor e tamanho adequados,

devido seu ponto de colheita precoce, os mesmos apresentam baixa qualidade, devido às variações ambientais que causam perda de massa e deterioração das frutas.

A partir da década de 80, a atmosfera modificada vem sendo amplamente utilizada, juntamente com a refrigeração, no armazenamento de frutas e hortaliças, promovendo o prolongamento da vida pós-colheita de produtos agrícolas através da modificação e controle da concentração de gases no meio de armazenamento. Para promover a modificação atmosférica, algumas vezes são utilizados filmes plásticos com diferentes espessuras, dependendo do produto e das condições de armazenagem. Essa tecnologia, além de ser eficiente para prolongar a vida útil dos produtos, também possibilita a manutenção de valores elevados de umidade relativa em seu interior.

Como o transporte refrigerado representa um alto custo para os produtores, a atmosfera modificada poderá representar uma alternativa para conservação do figo. No Brasil, não existem estudos sobre a aplicação de atmosfera modificada ativa em figos, mas somente o efeito do acondicionamento das frutas em embalagens de atmosfera modificada na qualidade das frutas. Dessa forma, o estudo da aplicação da atmosfera modificada ativa em conjunto com filme plástico poderá permitir que figos sejam colhidos em estágio de maturação mais avançado que o atual para exportação, para chegar ao consumidor final com melhor aparência e sabor. Espera-se que isto também promova melhor aceitação do produto pelo mercado internacional.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho de duas condições de atmosfera modificada na manutenção da qualidade do figo 'Roxo de Valinhos' no estágio meio maduro (rami), acondicionado em filme de polietileno de baixa densidade e submetido a quatro condições de variação de temperatura. Foi realizado um estudo de firmeza para identificar o índice de menor variabilidade e melhor resolução para avaliação mecânica das frutas. Para avaliação dos tratamentos, foram analisadas as concentrações gasosas nas embalagens ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$  e etileno), perda de massa, sólidos solúveis, acidez titulável, firmeza de polpa e aparência.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Figo**

O figo (*Ficus carica* L.) é uma fruta pertencente à família *Moracea*, de tipo sicônica, com pedúnculo desenvolvido e receptáculo carnoso. Apresenta casca fina e macia, muito susceptível a injúrias mecânicas, e paredes internas cobertas por frutos minúsculos (CAMPOS, 1994). Na parte inferior da fruta, existe uma abertura conhecida como ostíolo. Quando maduro, o figo apresenta coloração externa roxa e polpa vermelho-rosada, e seu ostíolo se abre, possibilitando a contaminação da fruta por fungos e insetos.

O figo é uma fruta de clima temperado, desenvolvendo-se bem nas regiões de inverno ameno. Esta cultura vem despertando grande interesse dos fruticultores, pois o figo de mesa, quando maduro, tem excelentes possibilidades de aceitação e colocação nos mercados interno e externo. No Estado de São Paulo, a variedade cultivada economicamente em larga escala é a ‘Roxo de Valinhos’, pois além de ser resistente às pragas, é muito produtiva e suas frutas graúdas são doces e de ótima qualidade.

Para que atinja sabor e doçura adequados, o figo deve ser colhido no estágio “de vez” a maduro, pois as frutas amadurecidas na planta são mais doces. Çelikel e Karaçali (1998), investigando os efeitos do estágio de maturação de colheita na qualidade e longevidade de figos (*Ficus carica* L.) da variedade ‘Bursa Siyahi’, concluíram que a colheita de figos dois dias antes do ponto de maturação adequado causou 20% a mais de perda de peso nas frutas durante a armazenagem, além da redução dos teores de sólidos solúveis e aumento da acidez, o que ocasionou um gosto inferior aos figos maduros. Em adição, as cores da casca e polpa da fruta não evoluíram após a colheita.

### **2.2 Produção, comercialização e transporte de figos**

Em São Paulo, a cultura da figueira desenvolveu-se inicialmente no município de Valinhos, expandindo-se por toda a região. Atualmente, a área destinada ao cultivo no Estado encontra-se situada nos municípios de Campinas, Valinhos e Jundiaí, sendo Valinhos o maior produtor. O figo é um produto de grande importância para o estado de São Paulo, responsável por 34% da produção brasileira (IBGE, 2006). Investimentos no controle de pragas e cuidados

durante a colheita das frutas fizeram com que o Estado obtivesse, em 2003, um rendimento da produção, em quilograma por hectare, duas vezes maior que o rendimento do país (IBGE, 2006). Além disso, apesar da área plantada com a cultura representar somente 13% de toda a área plantada no país, em 1996 o valor total da produção do Estado de São Paulo foi igual a 52,8% do valor da produção do Brasil (IBGE, 2006).

No mercado interno, figos maduros de Valinhos e região são acondicionados na posição horizontal em bandejas de papelão, com capacidade para oito frutas, e comercializados em caixas de papelão, ficando expostos a danos mecânicos por impacto e vibração. Além disso, o transporte das frutas até os centros de distribuição é realizado em caminhões abertos, às vezes cobertos por lonas, à temperatura ambiente. Esse tipo de transporte está sujeito a vibrações, provocando danos mecânicos nas frutas, que associados às altas temperaturas resultam em significativas perdas pós-colheita.

O transporte aéreo vem sendo bastante utilizado para produtos perecíveis, em razão da redução do tempo de transporte. No entanto, de acordo com Thompson, Bishop e Brecht (2004) o custo para movimentação aérea é muito elevado, sendo recomendado principalmente para os produtos de maior valor agregado ou altamente perecíveis. Na maioria das vezes, os produtos são transportados em containeres não refrigerados, sendo necessário uma logística adequada durante o transporte, para evitar a deterioração. Devido ao alto custo do transporte aéreo em relação aos transportes rodoviário ou marinho, apenas uma pequena parcela de produtos perecíveis é transportada pelo ar. Segundo Thompson, Bishop e Brecht (2004), o custo do transporte aéreo, por unidade de peso de produto, pode chegar a dez vezes o valor do transporte marítimo, dependendo do destino, estação do ano e preço de mercado do produto.

A principal desvantagem do transporte aéreo é a falta de controle da temperatura nos aeroportos e aviões. Segundo Thompson, Bishop e Brecht (2004), freqüentemente, o produto deve ser entregue no aeroporto 6 a 8 horas antes do vôo para que seja pesado e carregado em containeres ou paletes. Como a armazenagem refrigerada não está disponível nos aeroportos, depois da paletização, os produtos são freqüentemente mantidos nas áreas de carregamento à temperatura ambiente antes de serem levados aos aviões, expostos a condições ambientais adversas. No aeroporto de destino, produtos transportados de outros países podem permanecer

em condições ambientais inadequadas durante horas antes de serem liberados pelas autoridades.

Segundo Durigan (1999), os maiores obstáculos em relação à exportação do figo 'Roxo de Valinhos' são o uso de embalagens inadequadas e a rápida deterioração. Para exportação, os figos são colocados em bandejas plásticas, sendo então embalados em caixas de papelão, cada uma contendo 24 frutas. Depois de embalados, figos da região de Valinhos são levados em caminhões não refrigerados até o aeroporto de Guarulhos, em São Paulo. Quando a produção é insuficiente para exportação, as frutas são mantidas em câmara frigorífica, a temperatura de 8 a 10 °C por no máximo 24 horas, sendo encaminhadas para exportação no dia seguinte. No aeroporto, as frutas ficam aguardando por um período de 2 a 4 horas, à temperatura ambiente, para serem carregadas nos aviões. Como a quantidade exportada é pequena, as frutas são transportadas em vôos domésticos até a Europa. Alguns aviões possuem sistema de refrigeração na área de transporte de cargas, onde o produto pode ser mantido à temperatura de 8°C. Após as dez horas de vôo, as frutas são retiradas do avião através de um túnel refrigerado. Após a liberação, o produto é transportado em caminhões refrigerados até o centro distribuidor. Desta forma, o tempo total de transporte, considerando que os produtos nem sempre são exportados no mesmo dia da colheita, pode variar de 24 a 48 horas, e durante este período, as frutas são submetidas a variações de temperatura e umidade relativa desde a saída do galpão de beneficiamento até a chegada ao aeroporto de destino, durante o período de carga e descarga dos aviões, causando perdas na qualidade do produto.

### **2.3 Taxa respiratória e produção de etileno**

Após a colheita, os produtos agrícolas não dependem mais da planta para absorver água e nutrientes. A energia necessária para a continuidade das atividades metabólicas é produzida a partir das reservas do próprio produto, através da respiração. Assim, quanto maior o metabolismo das frutas e hortaliças, menor é o seu potencial de armazenamento e, conseqüentemente, menor sua vida útil. A intensidade da atividade respiratória é um bom índice de vida útil de frutas, visto que baixas taxas respiratórias estão relacionadas com baixo metabolismo celular. Um aumento na taxa respiratória corresponde a um aumento de consumo de reservas, reduzindo a vida do produto. A maioria das mudanças físico-químicas que

ocorrem após a colheita de frutas estão associadas aos processos metabólicos, incluindo a respiração, responsáveis por mudanças de qualidade e desordens fisiológicas nos frutos (PANTASTICO, 1975), como alteração da estrutura da parede celular e amolecimento do fruto (RYALL e PENTZER, 1982).

O processo respiratório é afetado por diversos fatores; por esta razão, é de grande importância o estudo dos fatores que afetam a respiração de determinado produto, possibilitando o desenvolvimento de técnicas de manuseio e armazenagem que favoreçam a qualidade. Os fatores que afetam a respiração de frutas após a colheita podem ser internos ou externos (PANTASTICO, 1975). No caso de fatores internos, os que exercem maior influência são o estágio de desenvolvimento da planta e a composição química dos tecidos; já os fatores externos são a temperatura, composição atmosférica e danos causados durante manuseio e armazenagem. Como os fatores internos são propriedades exclusivas de cada fruta, há a necessidade de se controlar os fatores externos, possibilitando conservar a qualidade durante a comercialização.

Os fatores que mais afetam a qualidade pós-colheita de figos são as solicitações mecânicas e temperaturas elevadas, que podem alterar a taxa respiratória. Os danos mecânicos ocorrem durante o manuseio, carregamento e empilhamento, e principalmente devido aos choques e vibrações durante o transporte. Tais danos estimulam a respiração e produção de etileno, que por sua vez provocam degradação prematura das células (SHEWFELT e PRUSSIA, 1993).

De acordo com o comportamento respiratório das frutas, estas podem ser classificadas em climatéricas ou não-climatéricas (PANTASTICO, 1975). As frutas climatéricas são aquelas em que, no final da maturação, apresentam um aumento na atividade respiratória, devido à produção autocatalítica de etileno, conduzindo a fruta ao amadurecimento. As frutas que não apresentam esse padrão respiratório são denominadas não-climatéricas. Segundo Biale (1960), a taxa respiratória de figos 'Mission' varia de 12 a 83  $\text{mg CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ , para as temperaturas de 0°C e 30°C, respectivamente.

Em relação ao comportamento respiratório do figo, existem divergências entre autores. De acordo com Kader (2002), o figo é considerado uma fruta climatérica, enquanto Biale (1960) e Ryall e Pentzer (1982) classificam o figo como produto não-climatérico. A taxa

produção de etileno para figos, mesmo quando maduros, é considerada baixa, variando de 1 a 10  $\mu\text{L.kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$  a 20°C (KADER, 2002), e menor que 1  $\mu\text{L.kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$  para temperaturas inferiores a 5°C (COLELLI, MITCHELL e KADER, 1991, utilizando figos 'Mission'). Devido às baixas taxas de produção de etileno e ao discreto comportamento climatérico, as frutas devem ser colhidas no estágio ótimo de amadurecimento, caso contrário não atingirão características de qualidade adequadas para comercialização.

## **2.4 Modificação da atmosfera**

Segundo Kader, Zagory e Kerbel (1989), os principais fatores na manutenção de qualidade e aumento da vida útil de frutas frescas são colheita no ponto adequado de maturidade, minimização de injúrias mecânicas e utilização de temperatura e umidade relativa adequadas durante as etapas de beneficiamento e comercialização. Além desses fatores, pode-se também modificar as concentrações dos gases oxigênio e gás carbônico na atmosfera ao redor do produto a concentrações diferentes daquelas encontradas no ar. Essa alteração é denominada atmosfera modificada ou atmosfera controlada, dependendo do grau de controle dos gases (KADER, ZAGORY e KERBEL, 1989; KADER e WATKINS, 2000). Atualmente, o uso modificação atmosférica é mais comum no armazenamento prolongado de frutas e hortaliças, armazenamento e transporte de produtos altamente perecíveis de alto valor comercial e produtos minimamente processados (KADER e WATKINS, 2000). De acordo com Kader (2002), o uso de atmosfera modificada, mesmo à temperatura ambiente, entre 20 e 25°C, pode dobrar o tempo de comercialização de um produto. Quando esta técnica é empregada em conjunto com a refrigeração, em condições de temperatura e umidade relativa adequadas, o tempo disponível para comercialização pode ser três vezes maior.

De acordo com Chitarra e Chitarra (1990), a atmosfera controlada baseia-se no controle das concentrações de  $\text{O}_2$  e  $\text{CO}_2$  no meio de armazenagem. O uso de produtos químicos não é necessário para o estabelecimento da atmosfera controlada, pois o princípio básico é diminuir a percentagem de oxigênio e aumentar a de gás carbônico. No armazenamento em atmosfera modificada (AM), os produtos são, na maioria das vezes, acondicionados em filmes plásticos, os quais permitem que a concentração de  $\text{CO}_2$  no interior da embalagem aumente, devido à respiração do produto, e a concentração de  $\text{O}_2$  diminua, à

medida que o mesmo é utilizado pelo processo respiratório, provocando assim uma alteração da atmosfera ambiental local. Neste tipo de armazenamento, as concentrações dos gases não são controladas, e variam com o tempo, temperatura, tipo de filme e taxa respiratória do produto (CHITARRA e CHITARRA, 1990). A diferença entre os dois métodos está no grau de controle das concentrações de gases.

A adoção da modificação atmosférica no armazenamento como opção para o prolongamento da vida de frutas e hortaliças pós-colheita deve ser analisada não só economicamente como também tecnicamente, pois, em algumas condições, dependendo do produto, o uso desta técnica pode ter efeitos prejudiciais em sua qualidade. Dentre os principais benefícios, podem ser citados inibição do início do amadurecimento, o retardamento do processo de amadurecimento e senescência e redução da incidência e intensidade de podridões. Por outro lado, a modificação atmosférica pode provocar desordens fisiológicas, como escurecimento de caules em alface e escurecimento da parte central em batatas e maçãs. Além disso, a utilização de níveis de oxigênio inferiores a 2% e superiores a 5% de gás carbônico podem provocar amadurecimento irregular de algumas frutas, como banana, pêra e tomate, pois estas condições inibem a produção de etileno pelas frutas. Baixas concentrações de oxigênio podem ainda provocar o desenvolvimento de odores desagradáveis e aumento na susceptibilidade a doenças devido à respiração anaeróbia (KADER, 2002).

#### **2.4.1 Atmosfera controlada**

A técnica do controle atmosférico envolve o uso de câmaras herméticas a gases e implica na adição ou remoção de gases (gás carbônico, oxigênio e etileno), exigindo um controle instrumental rigoroso da composição atmosférica. A atmosfera controlada não estaciona a deterioração, porém pode minimizá-la, dependendo das características do produto (KADER, ZAGORY e KERBEL, 1989). Segundo Chitarra e Chitarra (1990), o uso adequado do método reduz a taxa respiratória em cerca de 50%, quando comparada com a taxa respiratória do produto armazenado ao ar, nas mesmas condições de temperatura. Dessa forma, há redução em sua atividade metabólica, mantendo-se, porém, as células vivas.

#### **2.4.2 Atmosfera modificada**

É uma técnica bastante simples, que pode ser conseguida pelo envolvimento do produto em filmes plásticos de permeabilidade limitada aos gases oxigênio e dióxido de carbono, com conseqüente modificação na concentração de gases no interior da embalagem. A composição da atmosfera interna irá depender da característica de permeabilidade do material da embalagem e da velocidade de consumo ou de liberação de gases pelo produto embalado (KADER, ZAGORY e KERBEL, 1989). A diminuição da atividade respiratória é conseguida através do uso de materiais que tenham características adequadas de permeabilidade, bem como pela temperatura de armazenamento.

Segundo Kader, Zagory e Kerbel (1989), a atmosfera modificada com embalagens de filmes poliméricos pode ser estabelecida pela modificação ativa ou passiva ou pela combinação de ambas. No caso da modificação ativa, a atmosfera da embalagem é substituída pela mistura de gases desejada. A principal vantagem deste método é que a atmosfera pode ser modificada logo após o acondicionamento. Absorvedores ou adsorvedores podem ser colocados nas embalagens para retirar oxigênio, gás carbônico e etileno, garantindo uma quantidade mínima desejada de determinado gás ou evitando que haja acúmulo de um gás indesejado. Na modificação passiva, a condição de atmosfera desejada é atingida através da respiração do produto e depende das características do produto e dos filmes de embalagem, como respiração e características de difusão do produto, características e permeabilidade do filme e temperatura de armazenagem (KADER, ZAGORY e KERBEL, 1989).

O tipo ideal de embalagem é aquele que possibilita que a concentração de oxigênio seja suficientemente baixa para retardar a respiração, porém mais alta que a concentração crítica para o início da respiração anaeróbia (CHITARRA e CHITARRA, 1990). A concentração de gases recomendada varia de acordo com a tolerância de cada produto a baixas concentrações de oxigênio ou elevada concentração de gás carbônico, pois valores diferentes desses níveis (inferiores à concentração de oxigênio e superiores à concentração de gás carbônico recomendada) podem causar danos fisiológicos aos produtos. Os limites de tolerância também variam de acordo com a temperatura de armazenamento de cada produto. Para figos, as condições recomendadas de atmosfera modificada são de 5-10% de oxigênio e 15-20% de gás carbônico (KADER, 2002; THOMPSON, BISHOP e BRECHT, 2004).

Segundo Kader (2002), os efeitos do uso de atmosfera modificada em produtos frescos depois de transferidos para o ar, durante a comercialização, podem incluir redução das taxas de respiração e produção de etileno, manutenção da cor e firmeza, e atraso do apodrecimento. Na maioria das vezes, os melhores resultados são conseguidos quando se utiliza a menor concentração de oxigênio e maior concentração de gás carbônico, dentro dos limites de tolerância para cada produto.

Com o objetivo de estudar a efetividade da atmosfera controlada na manutenção de figos da variedade 'Mission' (*Ficus carica* L.), Colelli, Mitchell e Kader (1991) submeteram frutas maduras a altas concentrações de gás carbônico, iguais a 15% e 20%, armazenando-as durante quatro semanas às temperaturas de 0°C, 2,2°C e 5°C sob fluxo contínuo. Foram realizadas análises de avaliação da qualidade, taxas de produção de gás carbônico e etileno e conteúdo de etanol e acetaldeído. Segundo o autor, as frutas mantidas às condições de atmosfera controlada apresentaram baixos valores de taxa respiratória e produção de etileno, uma vez que a produção desse gás está associada com a disponibilidade de oxigênio. As frutas armazenadas sob atmosfera controlada mostraram melhor qualidade do que as frutas do tratamento controle, sendo que estas últimas, ao final de duas semanas, já se encontravam deterioradas e sem condições de comercialização, enquanto as frutas submetidas aos demais tratamentos, ao final do período de armazenagem, mantinham boas condições de qualidade. No entanto, as concentrações de etanol e acetaldeído encontradas nos produtos submetidos a altas concentrações de gás carbônico foram superiores aos valores encontrados para as amostras armazenadas nas condições normais de atmosfera, podendo desenvolver sabores desagradáveis às frutas.

D'Aquino *et al.* (1998), investigaram os efeitos da utilização de filme de polietileno esticável de 19 µm com atmosfera modificada em figos (*Ficus carica* L.) da variedade 'Craxiou de Porcu', em condições simuladas de comercialização (15°C e 80% de umidade relativa) durante uma semana. Foram utilizadas as concentrações iniciais de atmosfera (1) 100% de gás carbônico, (2) 100% de nitrogênio e (3) utilização de filme plástico sem modificação atmosférica. Segundo os autores, o filme plástico foi efetivo na manutenção da qualidade e redução de perda de massa dos figos, e que a adição de nitrogênio no interior das embalagens foi a mais efetiva no retardamento da deterioração. Após cinco dias de armazenamento, aproximadamente 30% das frutas deste tratamento apresentavam podridão,

contra 55% dos outros tratamentos. Enquanto isso, os figos do tratamento controle, nos quais não foram utilizados filme plástico e atmosfera modificada, não apresentaram condições de comercialização depois de dois dias de armazenamento.

Piga *et al.* (1998) avaliaram a influência da modificação atmosférica na conservação de figos frescos (*Ficus carica* L.) da variedade 'Niedda longa', em condições ambientais durante três dias. As frutas foram submetidas por um período de 12 horas a uma atmosfera com 99% de nitrogênio e 1% de oxigênio, sendo depois transferidas para condições normais de armazenagem à temperatura ambiente. Os figos submetidos à modificação atmosférica apresentaram uma redução na perda de massa e melhor aparência, sem efeitos negativos no sabor. Além disso, a adição de nitrogênio reduziu o apodrecimento das frutas devido a contaminação por fungos, assim como a exudação do líquido intracelular.

## **2.5 Filmes utilizados em atmosfera modificada**

Vários materiais de embalagens têm sido utilizados para acondicionar frutas e hortaliças. Dentre eles incluem-se polietileno de baixa densidade, polietileno de alta densidade, polipropileno, poliestireno e policloreto de vinila (PVC). Conhecendo-se as características respiratórias e condições gasosas ideais para a conservação do produto, pode-se selecionar um filme plástico com uma taxa de permeabilidade tal que permita entrada de oxigênio na embalagem, para compensar o consumo desse gás, e também a saída do excesso de gás carbônico, devido à respiração do produto (KADER, ZAGORY e KERBEL, 1989).

Segundo Kader e Watkins (2000), o principal problema associado às embalagens é manter a integridade das mesmas durante as operações de armazenagem e transporte. O plástico deve ser flexível e fácil de usar, mas também deve ser resistente o suficiente para resistir ao manuseio.

O uso de filme plástico à base de polietileno ou PVC, devido a sua praticidade, custo relativamente baixo e alta eficiência tem sido bastante utilizado, principalmente quando associado ao armazenamento refrigerado para evitar perdas em frutas e produtos minimamente processados (KADER e WATKINS, 2000).

Filmes plásticos influenciam as taxas de transferência de calor dos produtos e devem ser considerados na seleção dos procedimentos apropriados de controle de temperatura para um produto embalado. Produtos embalados com filmes normalmente requerem maiores períodos de resfriamento que produtos não embalados. Outra desvantagem potencial do acondicionamento com filme é a possível condensação de água dentro da embalagem, a qual pode estimular o crescimento de fungos e aumento do apodrecimento. Tal condensação ocorre quando o produto é removido da armazenagem a baixas temperaturas para o ambiente com altas temperaturas durante o manuseio pós-colheita (KADER, ZAGORY e KERBEL, 1989).

Devido aos avanços recentes no projeto e fabricação de filmes poliméricos, tem sido possível produzir filmes com permeabilidades específicas e diferentes ao oxigênio e gás carbônico. Filmes semipermeáveis são utilizados para modificar a atmosfera nas embalagens. As principais características desejadas para filmes plásticos são permeabilidades diferentes para diferentes gases, boa transparência e brilho, leveza, alta resistência ao cisalhamento e alongação, atóxica, não reagente com o produto, facilidade de manuseio e facilidade de impressão para rotulagem (KADER, ZAGORY e KERBEL, 1989).

Penteado (1998) avaliou a influência de embalagens de atmosfera modificada e substâncias ativas na conservação do figo 'Roxo de Valinhos'. Foram utilizados figos nas fases de maturação verde (padrão exportação) e Rami (meio maduro), em quatro tratamentos: polietileno de baixa densidade (PEBD) de 60µm, PEBD de 60µm com sachê de cal hidratada (absorvedor de gás carbônico e umidade), filme plástico Confresh (PEBD de 35µm com absorvedor de etileno) e embalagem Fresh Paper (papel impregnado com absorvedor de gases), nas condições ambientais (temperatura de 25°C e umidade relativa de 70%) e sob refrigeração (temperatura de 0°C e umidade relativa de 90%). O uso das embalagens de atmosfera modificada PEBD, PEBD com sachê de cal hidratada e Confresh tiveram efeito positivo na conservação do figo, mesmo sem o emprego de refrigeração, conservando as frutas por até oito dias, contra quatro dias do tratamento controle. O figo Rami apresentou melhores características de sabor e aparência ao final da armazenagem. Os figos submetidos à refrigeração, apesar de apresentarem menor perda de peso e maior firmeza ao final do armazenamento, tiveram coloração da casca e sabor prejudicados, além da fruta ser mais susceptível à ocorrência de extravasamento do líquido intracelular. Os métodos estudados não foram efetivos para evitar o desenvolvimento da podridão nas frutas. Desta forma, a utilização

de filmes de PEBD, de espessuras variando de 19 $\mu$ m (D'AQUINO *et al.*, 1998) a 60 $\mu$ m (PENTEADO, 1998) parecem ser adequadas para a conservação de figos, em temperatura ambiente.

Neves, Rodrigues e Vieites (2002) estudaram o efeito de embalagens de polietileno de baixa densidade (PEBD) de diferentes espessuras em figos 'Roxo de Valinhos', colhidos no início do estágio de maturação, sob condições de armazenagem refrigerada, à temperatura de 0,5°C negativos e umidade relativa entre 85-90% durante oito dias. Foram utilizadas embalagens de PEBD com 6, 10, 15 e 22 $\mu$ m, avaliando-se os parâmetros de qualidade da fruta: perda de massa, aparência, firmeza da polpa, sólidos solúveis totais e acidez total titulável. Verificou-se que nestas condições de armazenagem, as frutas embaladas em PEBD de 22 $\mu$ m apresentaram melhor qualidade ao final do armazenamento quando comparadas aos demais tratamentos, enquanto as frutas do tratamento controle, ao final de quatro dias de armazenamento, estavam impróprias para comercialização.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Estudo preliminar de firmeza

Para estabelecer um índice de firmeza com pequena variabilidade para o figo, foram realizados ensaios mecânicos de penetração e compressão entre pratos planos e paralelos. Nos ensaios, utilizou-se uma máquina universal de ensaios Texture Analyser, modelo TA500, com taxa de deformação de 1mm/s. Devido à fruta apresentar formato irregular e material não homogêneo, não foram utilizadas as equações apresentadas pela norma ASAE S368.2 (ASAE STANDARDS, 1994). No entanto, foram seguidos os procedimentos apresentados na mesma para realização dos ensaios, como temperatura ambiente, número de amostras e velocidade do teste. As frutas foram identificadas e tomadas as medidas de dois diâmetros (paquímetro digital Starrett modelo 727-2001, precisão 0,01mm) para estimativa do diâmetro médio das frutas através de média aritmética.

*Ensaio de penetração.* Foi utilizada ponteira cilíndrica com bordas arredondadas, com 2mm de diâmetro, acoplada à máquina universal de ensaios, com célula de carga de 50N. As frutas foram apoiadas em recipiente côncavo, de forma a posicionar a superfície de contato das mesmas perpendicularmente à direção de deslocamento da ponteira, como mostrado na Figura 1(A). O ensaio foi conduzido até a deformação de 6mm, valor suficiente para romper a epiderme das frutas. A região considerada neste ensaio foi a região equatorial da fruta, realizando-se três perfurações em cada fruta e obtendo-se os respectivos diagramas força x deformação. Foram realizadas cinquenta repetições.

*Ensaio de compressão entre pratos planos e paralelos.* Neste ensaio, foi utilizada uma célula de carga de 500N, pois os valores de força alcançados nos ensaios de compressão entre pratos planos e paralelos são mais elevados que aqueles obtidos nos ensaios de penetração. Frutas íntegras foram colocadas em contato com as superfícies planas e comprimidas até atingir deformação de 15mm, correspondendo a, aproximadamente, 25% do diâmetro das frutas, realizando-se cinquenta repetições. Na Figura 1 são apresentados os aspectos dos ensaios de penetração (A) e dos ensaios de compressão entre pratos planos e paralelos (B) realizados para o estudo de firmeza do figo.

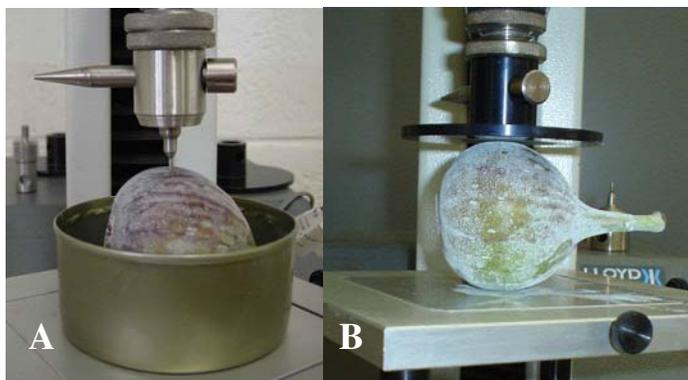


Figura 1. Aspectos dos ensaios de penetração (A) e compressão entre pratos planos e paralelos (B).

*Análise dos resultados.* A partir das medidas de diâmetro das frutas e dos dados de deformação obtidos experimentalmente, calculou-se a deformação específica pela Equação (1).

$$\delta = \frac{L_0 - L}{L_0} \quad (1)$$

onde:

$\delta$  = deformação específica (mm/mm);

$L_0$  = comprimento inicial da amostra (mm);

$L$  = comprimento final da amostra, após a deformação (mm).

Através da análise dos diagramas força x deformação específica, identificou-se o valor máximo de deformação específica correspondente ao limite linear da curva, como apresentado na Figura 2. Para cada repetição, foram encontrados os valores de deformação correspondente à deformação específica estabelecida para cada ensaio. Nos diagramas força x deformação, foram identificados os valores de força máxima e força à deformação específica. Os valores de energia de deformação na força máxima foram calculados a partir da área sob a curva dos diagramas força x deformação, correspondente ao ponto de força máxima, e os valores de energia de deformação à deformação específica foram calculados através da área sob a curva dos diagramas força x deformação, correspondente ao ponto de deformação

específica determinado. Os índices de firmeza foram analisados, buscando-se identificar o índice com maior resolução e menor variabilidade, representado pelo menor coeficiente de variação.

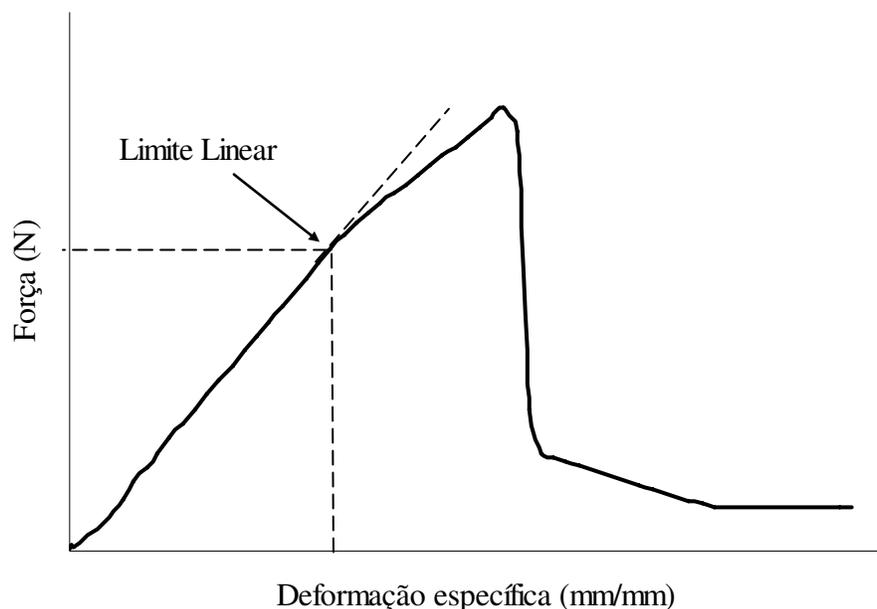


Figura 2. Diagrama força x deformação específica representativo dos ensaios de penetração, mostrando o ponto de limite linear da curva.

### 3.2 Avaliação da qualidade dos figos armazenados sob atmosfera modificada

#### 3.2.1 Figos

Foi utilizado o figo 'Roxo de Valinhos' (*Ficus carica* L.), de tamanho médio e estágio de maturação rami. Neste estágio, o figo encontra-se completamente desenvolvido, com cerca de três quartos de sua maturação total.

A fruta foi adquirida diretamente com um produtor do município de Campinas/SP. A colheita do figo foi realizada no período da manhã pelos trabalhadores da propriedade, e em seguida levado ao galpão de beneficiamento, onde foi realizada a seleção do mesmo de acordo com os padrões de tamanho, coloração e qualidade pré-estabelecidos, ou seja, massa média entre 70 e 90g, aproximadamente 50% da superfície das frutas com coloração arroxeadada e ausência de danos físicos ou microbiológicos visíveis. A seguir, as frutas foram transportadas

para o Laboratório de Pós-colheita da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, onde foram realizados os experimentos.

### 3.2.2 Embalagem

*Recipientes para acondicionamento das frutas.* Para acondicionar as frutas e facilitar o manuseio, foram utilizados recipientes plásticos transparentes fabricados em polipropileno, de dimensões 233x163x77mm e capacidade de 1800mL, colocando-se oito frutas em cada recipiente (aproximadamente 600g de produto). Para escolha dos recipientes foram consideradas as relações volume e área ocupados por unidade de produto, de forma a obter valores próximos aos encontrados nas embalagens comerciais destinadas à exportação, cujas dimensões são de 380x280x80mm e capacidade para 24 frutas.

*Filme plástico.* A estimativa da permeabilidade do filme plástico necessária para manter as concentrações desejadas dos gases foi realizada de acordo com Cameron, Talasila e Joles (1995). Baseado na estimativa da permeabilidade e nas recomendações da literatura para armazenagem de figos sob atmosfera modificada (D'Aquino *et al.*, 1998; Penteado, 1998 e Neves, Rodrigues e Vieites, 2002), disponibilidade comercial e baixo custo, foram utilizados sacos de polietileno de baixa densidade (PEBD) com espessura de 30 $\mu$ m (cada parede), transparentes e sem perfurações. As taxas de transmissão ao gás oxigênio e ao vapor de água para este filme são aproximadamente iguais a 7000cm<sup>3</sup>m<sup>-2</sup>dia<sup>-1</sup>atm<sup>-1</sup> (23°C e umidade relativa igual a 0%) e 10-30g H<sub>2</sub>Om<sup>-2</sup>dia<sup>-1</sup> (38°C e umidade relativa igual a 90%)(DAY, 2001). Este filme é amplamente utilizado em produtos agrícolas, tanto com atmosfera modificada ativa como passiva para manutenção da qualidade do produto, mantendo valores desejáveis de concentração de gases e umidade relativa nas embalagens e promovendo proteção mecânica aos produtos. Além disso, de acordo com D'Aquino *et al.* (1998), Penteado (1998) e Neves, Rodrigues e Vieites (2002), filmes de PEBD com espessuras entre 20 e 35 $\mu$ m são adequados para manutenção da qualidade do figo tanto sob armazenagem refrigerada como em condições ambientais. Dessa forma, foram adquiridos os sacos plásticos de dimensões 350x450mm, por apresentarem as dimensões comerciais mais próximas às dimensões desejadas. Os sacos foram cortados de forma a ficarem com 350x350mm, e os recipientes foram envolvidos nos sacos plásticos, estando prontos para a injeção dos gases e fechamento. Após o fechamento, a área

total de trocas gasosas do filme plástico considerada foi de 0,21m<sup>2</sup>, equivalente a 0,026m<sup>2</sup> por figo ou 0,35m<sup>2</sup> por quilograma de fruta.

### 3.2.3 Condições de concentração dos gases e processo de acondicionamento das frutas

Durante o processo de acondicionamento das frutas nas embalagens, a temperatura do ambiente foi mantida a 20±2°C e umidade relativa 70±5%, medidos com higrótermógrafo (OAKTON modelo 37250-10) com precisão de 0,1°C para temperatura e 1% para umidade relativa. Foram estabelecidas três condições com relação à concentração gasosa, sendo:

(1) *Tratamento testemunha*. As frutas foram colocadas nos recipientes plásticos abertos, sem cobertura com filme plástico;

(2) *Atmosfera modificada passiva*. Após serem colocados nos recipientes plásticos, os figos foram acondicionados em saco plástico de polietileno de baixa densidade com espessura 30µm. Tomou-se o cuidado de deixar uma distância de aproximadamente 7cm entre as laterais do saco plástico e do recipiente. O fechamento da embalagem por termosoldagem foi realizado em uma seladora (SELOVAC modelo 200B), ajustando o potenciômetro do tempo de selagem no nível 4, sem modificação inicial da concentração atmosférica.

(3) *Atmosfera modificada ativa*. Esta terceira condição de atmosfera foi escolhida pelo fato de que os melhores efeitos da aplicação da atmosfera modificada são obtidos com a menor concentração de oxigênio e maior concentração de gás carbônico, dentro dos limites de tolerância para cada produto (KADER, 2002). Segundo Kader (2002) e Thompson, Bishop e Brecht (2004), para figos (sem identificação da cultivar), as condições limite recomendadas de atmosfera modificada são de 5-10% de oxigênio e 15-20% de gás carbônico. Porém, não são conhecidas as condições adequadas para o figo 'Roxo de Valinhos' (*Ficus carica* L.).

A composição gasosa desejada foi adquirida em cilindro pressurizado pré-misturado (White Martins Praxair Inc.), contendo 5% de gás oxigênio, 20% de gás carbônico e 75% de gás nitrogênio, com precisão de 1%. Na saída do cilindro, além da válvula de pressão do mesmo, foi conectado um regulador de pressão de duplo estágio (PROSTAR modelo PGR-75), para diminuir a pressão e verificar a vazão de saída da mistura gasosa. A injeção da mistura gasosa e o fechamento do filme polimérico da embalagem com atmosfera modificada

ativa foram realizados com uma seladora (SELOVAC modelo 200B), com sistema de injeção de gases, como ilustrado na Figura 3.



Figura 3. Produto colocado na câmara interna da seladora para iniciar as operações de vácuo parcial, injeção de gases e fechamento das embalagens; (1) barra de selagem. (2) orifícios para injeção de gás.

Para atingir as condições desejadas de concentração gasosa, a vazão de saída do gás foi ajustada para 7L/min, sendo o potenciômetro de tempo de vácuo ajustado no nível 3, chegando a um vácuo de -540mmHg nas embalagens, equivalente a 70% do volume total, e o potenciômetro de injeção de gás foi ajustado no nível 10. Foram necessários três ciclos de operação da seladora, em uma mesma embalagem, para que se pudesse chegar às concentrações de gases de 6,50% de O<sub>2</sub>, 20% de CO<sub>2</sub> e 73,50% de N<sub>2</sub>, com tolerância de 5%. Nos dois primeiros ciclos, o potenciômetro de tempo de selagem foi ajustado no nível 1, para que não ocorresse o fechamento da embalagem, e somente no terceiro ciclo de operação o mesmo foi ajustado no nível 4. Para que a concentração inicial de gás oxigênio nas embalagens fosse reduzida para 5%, como desejado anteriormente, seria necessário aumentar o tempo de vácuo ou o número de ciclos de operação da seladora. Como o nível de vácuo utilizado foi o máximo suportado pelas frutas sem causar danos às mesmas, e o aumento do número de ciclos de operação da seladora conduziria a um maior consumo de mistura gasosa

em detrimento de pequena modificação da concentração de gás oxigênio, optou-se por utilizar concentração inicial de O<sub>2</sub> igual a 6,50%.

Após o fechamento das embalagens, foram colocados nas mesmas dois septos de silicone para retirada das amostras gasosas. Este procedimento finalizou o processo de acondicionamento, estando os recipientes prontos para serem armazenados sob as condições de temperatura consideradas no projeto.

### **3.2.4 Condições de variação de temperatura durante o armazenamento**

Para simular as condições às quais as frutas destinadas à exportação podem ser expostas durante a armazenagem, estas foram submetidas a quatro regimes de variação de temperatura, para identificar o tratamento com melhores condições de comercialização ao final do período de sete dias de armazenagem.

Para a armazenagem nas temperaturas desejadas foi utilizada uma câmara fria com dimensões externas 4,05 x 2,85 x 3,00m (comprimento x largura x altura, respectivamente), capacidade frigorífica de 4.400kcal.h<sup>-1</sup>, construída a partir de painéis pré-fabricados revestidos com chapas metálicas de 0,001m de espessura e isolamento de poliuretano injetado de 0,10m de espessura. Foi instalado um controlador eletrônico digital (COEL modelo TLY29) para manter a temperatura na faixa desejada. A umidade relativa na câmara variou de 85 a 95%. As embalagens contendo as frutas foram dispostas aleatoriamente na câmara fria em prateleiras, localizadas a 0,70m, 1,00m e 1,30m a partir do piso da mesma, e submetidas a quatro regimes térmicos, apresentados a seguir.

**RT1.** Temperatura constante igual a 20±1°C, representado a situação em que o produto é armazenado em condições ambientais desde a colheita até sua chegada ao consumidor final;

**RT2.** Temperatura constante igual a 10±1°C, representado a situação em que o produto é mantido sob refrigeração desde a colheita até sua chegada ao consumidor final;

**RT3.** Temperatura de 20±1°C nas primeiras 48 horas de armazenamento seguida de um degrau de 10±1°C a partir do terceiro dia, mantendo a temperatura de 10±1°C até o final do período de armazenamento. Esta situação refere-se ao produto que não é mantido refrigerado

após a colheita e durante o transporte, sendo refrigerado somente quando chega ao distribuidor final;

**RT4.** Temperatura igual a  $10\pm 1^{\circ}\text{C}$  no primeiro dia de armazenamento, seguidas por uma temperatura de  $20\pm 1^{\circ}\text{C}$  no segundo dia, com diminuição da temperatura para  $10\pm 1^{\circ}\text{C}$  no terceiro dia, mantendo esta temperatura até o final do armazenamento, situação em que o produto é transportado sem refrigeração, sendo mantido sob refrigeração somente antes e após o transporte.

Os gráficos representativos dos regimes térmicos ao longo do armazenamento são apresentados na Figura 4, sem considerar os efeitos da inércia térmica do ar nos regimes com variação de temperatura.

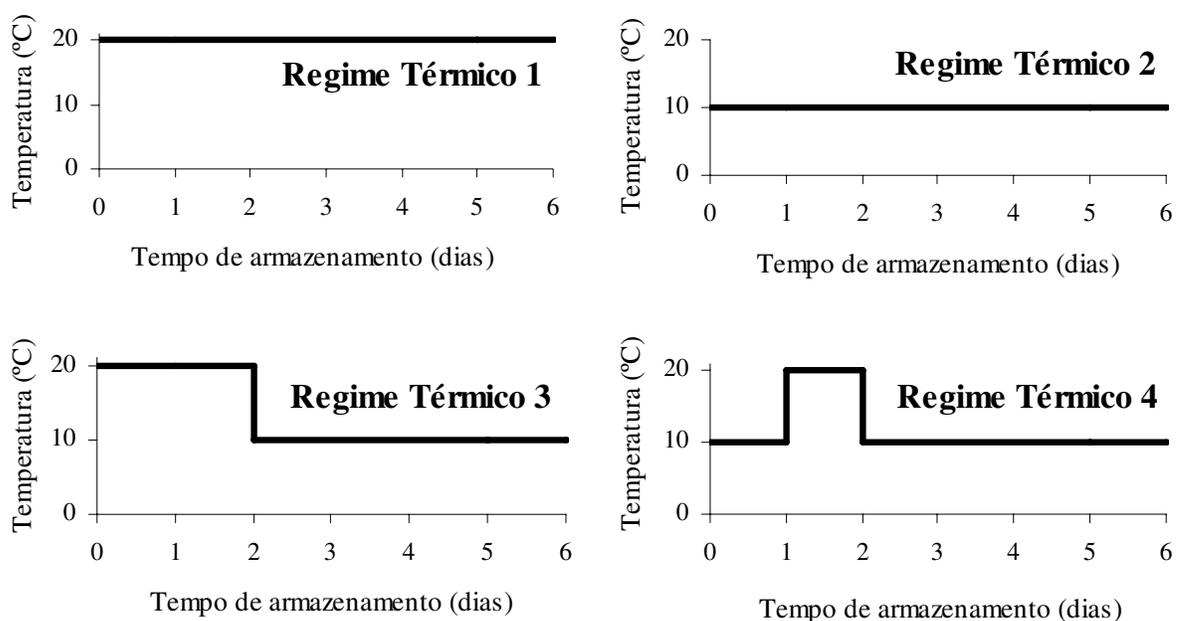


Figura 4. Gráficos representativos dos quatro regimes térmicos aos quais as frutas foram submetidas durante o armazenamento.

### 3.2.5 Tratamentos

Na Tabela 1 é mostrado um resumo com a identificação dos tratamentos utilizados, e a seguir é apresentada a caracterização de cada tratamento.

Tabela 1. Resumo dos tratamentos utilizados nos experimentos para figos no estágio de maturação rami.

Tratamento	Embalagem	AM	Regime Térmico
TT+RT1	Aberta	Não	1
TT+RT2	Aberta	Não	2
TT+RT3	Aberta	Não	3
TT+RT4	Aberta	Não	4
AMP+RT1	PEBD	Passiva	1
AMP+RT2	PEBD	Passiva	2
AMP+RT3	PEBD	Passiva	3
AMP+RT4	PEBD	Passiva	4
AMA+RT1	PEBD	Ativa	1
AMA+RT2	PEBD	Ativa	2
AMA+RT3	PEBD	Ativa	3
AMA+RT4	PEBD	Ativa	4

**TT+RT1:** Figo no estágio de maturação rami, acondicionado em embalagem plástica aberta, armazenado à temperatura constante de 20°C.

**TT+RT2:** Figo no estágio de maturação rami, acondicionado em embalagem plástica aberta, armazenado à temperatura constante de 10°C.

**TT+RT3:** Figo no estágio de maturação rami, acondicionado em embalagem plástica aberta, armazenado à temperatura de 20°C nas primeiras 48 horas de armazenamento seguida de um degrau negativo de 10°C a partir do terceiro dia até o final do armazenamento.

**TT+RT4:** Figo no estágio de maturação rami, acondicionado em embalagem plástica aberta, armazenado à temperatura de 10°C no primeiro dia de armazenamento, seguida de um degrau positivo de 10°C no segundo dia, e diminuição da temperatura para 10°C a partir do terceiro dia até o final do armazenamento.

**AMP+RT1:** Figo no estágio de maturação rami, acondicionado em embalagem plástica acondicionada em filme plástico de polietileno de baixa densidade (atmosfera modificada passiva), armazenado à temperatura constante de 20°C.

**AMP+RT2:** Figo no estágio de maturação rami, acondicionado em embalagem plástica acondicionada em filme plástico de polietileno de baixa densidade (atmosfera modificada passiva), armazenado à temperatura constante de 10°C.

**AMP+RT3:** Figo no estágio de maturação rami, acondicionado em embalagem plástica acondicionada em filme plástico de polietileno de baixa densidade (atmosfera modificada passiva), armazenado à temperatura de 20°C nas primeiras 48 horas de armazenamento seguida de um degrau negativo de 10°C a partir do terceiro dia até o final do armazenamento.

**AMP+RT4:** Figo no estágio de maturação rami, acondicionado em embalagem plástica acondicionada em filme plástico de polietileno de baixa densidade (atmosfera modificada passiva), armazenado à temperatura de 10°C no primeiro dia de armazenamento, seguida de um degrau positivo de 10°C no segundo dia, e diminuição da temperatura para 10°C a partir do terceiro dia até o final do armazenamento.

**AMA+RT1:** Figo no estágio de maturação rami, armazenado em embalagem plástica acondicionada em filme plástico de polietileno de baixa densidade, com injeção de mistura de gases com concentrações iniciais de gases 6,5% de O<sub>2</sub> e 20% de CO<sub>2</sub> (atmosfera modificada ativa), armazenado à temperatura constante de 20°C.

**AMA+RT2:** Figo no estágio de maturação rami, armazenado em embalagem plástica acondicionada em filme plástico de polietileno de baixa densidade, com injeção de mistura de gases com concentrações iniciais de gases 6,5% de O<sub>2</sub> e 20% de CO<sub>2</sub> (atmosfera modificada ativa), armazenado à temperatura constante de 10°C.

**AMA+RT3:** Figo no estágio de maturação rami, armazenado em embalagem plástica acondicionada em filme plástico de polietileno de baixa densidade, com injeção de mistura de gases com concentrações iniciais de gases 6,5% de O<sub>2</sub> e 20% de CO<sub>2</sub> (atmosfera modificada ativa), armazenado à temperatura de 20°C nas primeiras 48 horas de armazenamento seguida de um degrau negativo de 10°C a partir do terceiro dia até o final do armazenamento.

**AMA+RT4:** Figo no estágio de maturação rami, armazenado em embalagem plástica acondicionada em filme plástico de polietileno de baixa densidade, com injeção de mistura de gases com concentrações iniciais de gases 6,5% de O<sub>2</sub> e 20% de CO<sub>2</sub> (atmosfera modificada ativa), armazenado à temperatura de 10°C no primeiro dia de armazenamento, seguida de um

degrau positivo de 10°C no segundo dia, e diminuição da temperatura para 10°C a partir do terceiro dia até o final do armazenamento.

### 3.2.6 Fluxograma das principais etapas do experimento

Na Figura 5 é apresentado o fluxograma de realização dos experimentos, evidenciando a preparação dos tratamentos.

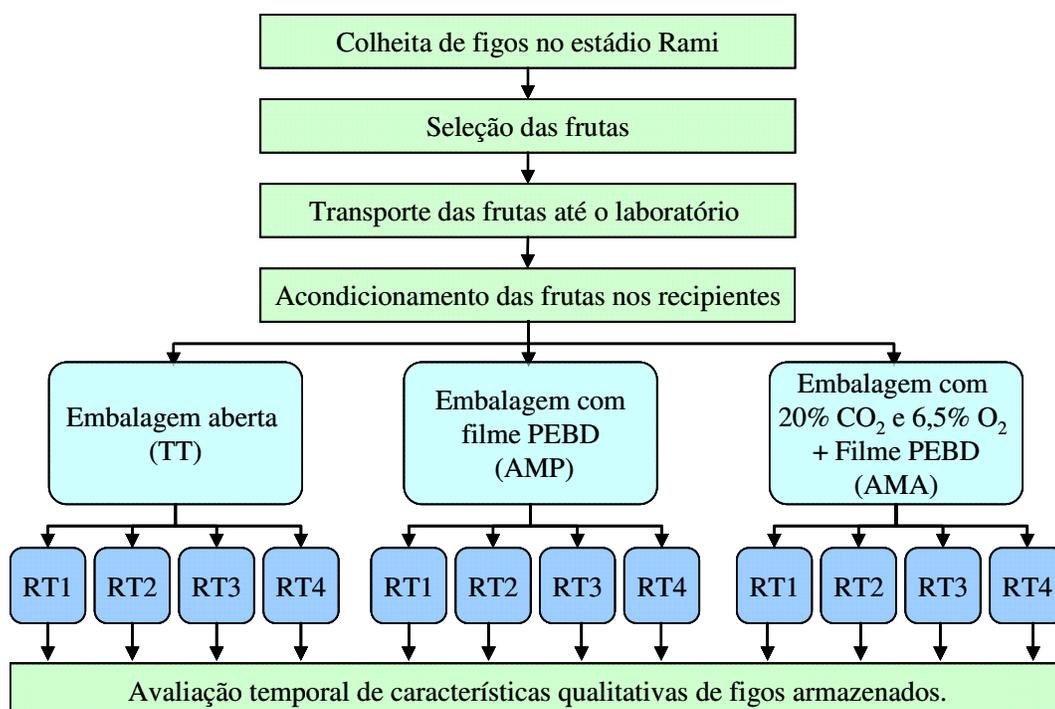


Figura 5. Fluxograma de preparação dos tratamentos utilizados no experimento (RTi = regimes térmicos).

### 3.2.7 Medidas de temperatura de polpa e do ar ambiente

As medições de temperatura de polpa e do ar ambiente foram realizadas com o objetivo de se conhecer a variação da temperatura da polpa das frutas em função dos vários regimes térmicos. Utilizou-se termopares tipo T conectados ao sistema de aquisição de dados Scanning Thermocouple Thermometer (Cole Parmer modelo 92000-00), com escala em grau Celsius e precisão de 0,1°C. Foi utilizada uma frequência de aquisição de dados de um minuto nas primeiras 24 horas de armazenagem, e cinco minutos nas horas seguintes até o fim do

tempo de armazenagem. Para programação da frequência de aquisição de dados foi utilizado o software Scanlink 2.0 para ambiente Windows. Para cada regime térmico foram realizadas seis repetições para temperatura de polpa dos figos e duas repetições para temperatura interna da câmara, sendo para a polpa duas medidas em cada prateleira, e para o ar ambiente, medidas nas alturas de 0,85m e 1,15m. Para registro da umidade relativa do ar no interior da câmara foi utilizado um higrotermógrafo (OAKTON modelo 37250-10), com precisão de 0,1°C para temperatura e 1% para umidade relativa.

A Figura 6 ilustra a disposição do sistema de aquisição de temperatura e a distribuição das embalagens na câmara fria para avaliação temporal dos tratamentos.



Figura 6. Montagem dos experimentos na câmara fria, mostrando a disposição das embalagens e sistema de aquisição de dados de temperatura. (1) Termopar para medição da temperatura do ar da câmara; (2) Sistema de aquisição de dados de temperatura conectado ao computador (3).

### **3.2.8 Medidas de concentração de gases nas embalagens**

A medição da concentração de gases presentes nas embalagens foi realizada através de cromatografia gasosa, utilizando-se de cromatógrafo gasoso (VARIAN modelo CG3400). O equipamento possui detector de condutividade térmica e coluna com Chromosorb 106 (60-80mesh, 180mm de comprimento e 3,2mm de diâmetro interno), utilizado na separação de gás carbônico e etileno, e um detector de ionização de chama e coluna empacotada com peneira molecular 5A (80-100mesh, 180mm de comprimento e 3,2mm de diâmetro interno) para separação de oxigênio e nitrogênio. Utilizou-se temperaturas de 40°C para as colunas, 70°C para o injetor e 150° para o detector. Para correção de prováveis variações da resposta do detector, foram utilizadas misturas padrão de concentrações conhecidas (BONATO, 2006), iguais a 114,30mg.L<sup>-1</sup>, 1,75mg.L<sup>-1</sup> e 8,54.10<sup>-3</sup>mg.L<sup>-1</sup> para os gases oxigênio, gás carbônico e etileno, respectivamente. Amostras de 1 mL foram retiradas diariamente, através de septo apropriado, e analisadas por cromatografia gasosa para determinação dos níveis de gás carbônico, oxigênio e etileno, realizando-se cinco repetições.

### **3.2.9 Avaliação do desempenho dos tratamentos**

A avaliação do desempenho dos tratamentos foi realizada com base na avaliação da qualidade das frutas, considerando perda de massa, sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), pH, firmeza de polpa e aparência.

#### *3.2.9.1 Perda de massa*

No primeiro dia do experimento, foram medidas a massa das frutas em cada recipiente e a massa das embalagens, de forma a ter a massa do conjunto. Diariamente, foram realizadas medidas da massa do conjunto frutas+embalagem, utilizando-se balança digital (GEHAKA, modelo BG2000), com capacidade para 2.000g e precisão 0,01g. Foram realizadas cinco repetições.

A perda de massa foi calculada a partir do peso inicial de cada embalagem, de acordo com a Equação (2), e os resultados expressos em porcentagem.

$$P_M(\%) = \frac{(P_i - P_f)}{P_i} \times 100 \quad (2)$$

em que:

$P_i$  = massa inicial do conjunto frutas+embalagem (g);

$P_f$  = massa final do conjunto frutas+embalagem (g).

### 3.2.9.2 *Sólidos solúveis*

O teor de sólidos solúveis (SS) foi obtido segundo metodologia oficial da Association of Official Analytical Chemistry (1995), através de leitura refratométrica, em °Brix, com refratômetro manual (QUIMIS modelo Q-109B), com precisão de 0,25%. Diariamente, foram retiradas duas embalagens, contendo oito frutas cada, as quais foram trituradas inteiras, duas a duas, para melhor homogeneização da polpa, e colocando-se em seguida um pouco da amostra entre os prismas do refratômetro. Foi realizada a leitura direta do °Brix da amostra, a qual foi corrigida em função da temperatura e acidez total da amostra, segundo manual do aparelho. Foram realizadas oito repetições.

### 3.2.9.3 *Acidez titulável e pH*

A acidez titulável foi determinada através da metodologia do Instituto Adolfo Lutz (1976), pela titulação de 10g de polpa triturada e homogeneizada com 90ml de água destilada, utilizando-se como titulante solução padronizada de hidróxido de sódio (NaOH) a 0,10 N, e potenciômetro digital (HANNA INSTRUMENTS, modelo HI 8417), com precisão de 1%. A amostra foi colocada sobre o agitador magnético (Marconi modelo MA089), para homogeneização da mesma. A partir de então, foi-se adicionando a solução de NaOH até a amostra atingir pH igual a 8,10. Para cada tratamento, foram realizadas oito repetições. A acidez titulável foi calculada pela Equação (3) (CARVALHO *et al.*, 1990), e os resultados expressos em porcentagem de ácido cítrico.

$$AT = \frac{\text{mLNaOH} \times N \times 64 \times 100}{m_{\text{amostra}} \times 1000} \quad (3)$$

onde:

mLNaOH = volume da solução de NaOH adicionada à amostra (ml);

N = normalidade da solução de NaOH;

64 = equivalente-grama do ácido cítrico anidro;

$m_{\text{amostra}}$  = massa de amostra (g).

O pH das amostras foi medido pela imersão direta do eletrodo do potenciômetro na polpa da fruta triturada e homogeneizada (CARVALHO *et al.*, 1990).

#### 3.2.9.4 Firmeza

Para avaliação da firmeza dos figos, foi utilizado o ensaio mecânico de compressão entre pratos planos e paralelos, descrito no item 4.1, realizando-se oito repetições. O índice de firmeza eleito para análise dos resultados foi a energia de deformação a uma dada deformação específica, pois de acordo com o estudo realizado, o mesmo apresentou melhor resolução e menor variabilidade.

#### 3.2.9.5 Aparência

A avaliação da aparência das frutas foi determinada visualmente através do amadurecimento das frutas, turgidez, presença de danos físicos e ocorrência de podridões. Para cada parâmetro, foi atribuída uma escala de notas, variando de 0 a 10, de acordo com as características apresentadas para cada parâmetro. Foram consideradas melhores para comercialização as frutas que obtiverem as maiores notas para amadurecimento e menores notas para os demais parâmetros ao final da armazenagem.

- Amadurecimento das frutas. Foi avaliado pelas mudanças na coloração da epiderme das frutas, considerando a escala de notas: 10 = 100% da epiderme das frutas com coloração roxa; 9 = 90 a 99% da epiderme das frutas com coloração roxa; 8 = 80 a 89% da epiderme das frutas com coloração roxa; 7 = 70 a 79% da epiderme das frutas com coloração roxa; 6 = 60 a 69 % da epiderme das frutas com coloração roxa; 5 = 50 a 59% da epiderme das frutas com coloração roxa; 4 = 40 a 49% da epiderme das frutas com coloração roxa; 3 = 30 a

39% da epiderme das frutas com coloração roxa; 2 = 20 a 29% da epiderme das frutas com coloração roxa; 1 = 10 a 19 % da epiderme das frutas com coloração roxa; 0 = menos de 10% da epiderme das frutas com coloração roxa..

- Murchamento. A turgidez foi avaliada com base no murchamento da fruta, considerando a escala de notas: 0 = fruta sem enrugamento; 1 = menos de 10% da superfície das frutas com enrugamento; 2 = 10 a 20% da superfície das frutas com enrugamento; 3 = 21 a 30% da superfície das frutas com enrugamento; 4 = 31 a 40% da superfície das frutas com enrugamento; 5 = 41 a 50% da superfície das frutas com enrugamento; 6 = 51 a 60% da superfície das frutas com enrugamento; 7 = 61 a 70% da superfície das frutas com enrugamento; 8 = 71 a 80% da superfície das frutas com enrugamento; 9 = 81 a 90% da superfície das frutas com enrugamento; 10 = 91 a 100% da superfície das frutas com enrugamento.

- Presença de danos físicos. Foi avaliada pela presença de danos e manchas na epiderme das frutas, provocadas pelos danos físicos e mecânicos, de acordo com a escala de notas: 0 = ausência de danos físicos; 1 = menos de 10% da superfície das frutas com danos e manchas; 2 = 10 a 20% da superfície das frutas com danos e manchas; 3 = 21 a 30% da superfície das frutas com danos e manchas; 4 = 31 a 40% da superfície das frutas com danos e manchas; 5 = 41 a 50% da superfície das frutas com danos e manchas; 6 = 51 a 60% da superfície das frutas com danos e manchas; 7 = 61 a 70% da superfície das frutas com danos e manchas; 8 = 71 a 80% da superfície das frutas com danos e manchas; 9 = 81 a 90% da superfície das frutas com danos e manchas; 10 = 91 a 100% da superfície das frutas com danos e manchas.

- Ocorrência de podridões. Foi avaliada considerando a quantidade de frutas com contaminações fúngicas em cada embalagem.

### **3.2.10 Delineamento experimental**

Para avaliação do desempenho das condições de atmosfera, o delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com esquema fatorial 3 x 4 (três

condições de atmosfera e quatro regimes de temperatura de armazenagem), totalizando doze tratamentos, com cinco repetições cada.

### **3.2.11 Análise dos resultados**

Foi realizada análise de variância e comparação de médias entre os tratamentos utilizando-se teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) (NETO, SCARMINO e BRUNS, 2001), com o auxílio do pacote estatístico SAS (Statistical Analysis System) versão 9.1.3.

Para análise dos atributos de qualidade considerados, os valores obtidos foram apresentados graficamente em função do tempo. Foi considerado com melhor desempenho o tratamento que apresentou melhor aparência, melhores valores de sólidos solúveis e acidez total, menores valores de perda de massa, e mantiveram os valores do índice de firmeza mais próximos ao valor inicial durante o período de armazenamento.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Estudo preliminar de firmeza

Os valores de deformação específica ( $\delta$ ) utilizados para determinação dos índices de firmeza força e energia de deformação a uma dada deformação específica nos ensaios de penetração e de compressão entre pratos planos e paralelos foram 0,03 e 0,10mm/mm, respectivamente. Tais deformações correspondem, respectivamente, aos menores valores de deformação específica máxima encontrada para cada ensaio antes de atingir o limite linear de cada curva. A Figura 7 apresenta os diagramas força x deformação específica representativos dos ensaios de penetração (1) e compressão entre pratos planos e paralelos (2), onde os pontos indicados correspondem aos valores estabelecidos para cada ensaio.

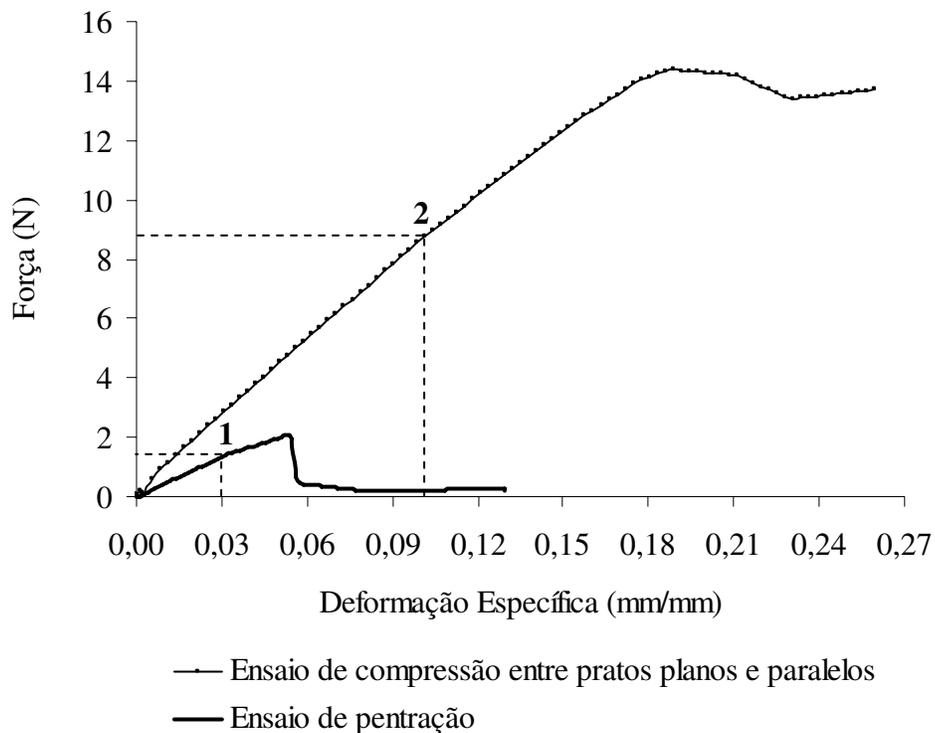


Figura 7. Diagramas força x deformação específica representativos dos ensaios de penetração (1) e compressão entre pratos planos e paralelos (2). O ponto indicado em cada diagrama corresponde ao respectivo valor de deformação específica estabelecido para determinação dos índices de firmeza força e energia de deformação a uma dada deformação específica.

Os valores médios dos índices de firmeza obtidos para cada ensaio são apresentados na Tabela 2. Observa-se que nos ensaios de penetração, em função da área de contato com a ponteira ser menor que a área de contato dos pratos planos do ensaio de compressão, os valores obtidos de todos os índices foram menores e conseqüentemente apresentam menor resolução.

Tabela 2. Valores médios dos índices de firmeza obtidos a partir dos ensaios mecânicos de penetração e compressão entre pratos planos e paralelos para figos.

	Ensaio de Penetração				Ensaio de Compressão entre Pratos Planos e Paralelos			
	F <sub>máx</sub> (N)	F <sub>δ</sub> (N)	ED F <sub>máx</sub> (N.mm)	ED à δ (N.mm)	F <sub>máx</sub> (N)	F <sub>δ</sub> (N)	ED F <sub>máx</sub> (N.mm)	ED à δ (N.mm)
Média	1,64	1,06	2,70	1,01	20,13	9,82	162,84	31,39
Desvio Padrão	0,46	0,29	1,10	0,29	4,99	1,86	40,22	5,12
CV (%)	28,39	27,33	40,52	28,40	24,80	18,94	24,70	16,31

Analisando os coeficientes de variação (Tabela 2), verifica-se que o ensaio de compressão entre pratos planos e paralelos apresenta os menores valores para todos os índices estudados, dos quais o índice de firmeza Energia de Deformação (ED) à deformação específica de 0,10mm/mm apresentou o menor coeficiente de variação, igual a 16,31%, valor considerado bom quando se trabalha com produtos agrícolas, que geralmente apresentam grande variabilidade. Para uva ‘Niagara Rosada’, Gomes (2005) encontrou menores variabilidades para os parâmetros módulo de elasticidade e deformação específica na força máxima, com coeficientes de variação iguais a 18 e 20%, respectivamente. Assim como para figos, o índice de firmeza força máxima apresentou grande variabilidade (CV=41%), mostrando ser um parâmetro pouco adequado para avaliação da firmeza de produtos agrícolas.

Diante desse resultado, para avaliação do desempenho dos tratamentos utilizando-se diferentes condições de atmosfera, optou-se pelo ensaio de compressão entre pratos planos e paralelos. O índice de firmeza utilizado foi a Energia de Deformação à deformação específica de 0,10mm/mm.

## 4.2 Avaliação da qualidade dos figos armazenados sob atmosfera modificada

### 4.2.1 Medidas de temperatura de polpa e do ar ambiente

Durante o período de armazenamento, a umidade relativa na câmara variou de 85% a 95%, sendo os maiores valores observados no período noturno. Nas Figura 8 e Figura 9 são apresentados os gráficos da variação de temperatura da polpa das frutas e da câmara para os regimes térmicos 1 e 2, respectivamente, para o período de 24 horas, uma vez que neste período a temperatura da polpa das frutas entrou em equilíbrio com a temperatura do ar da câmara, uma vez que tais regimes não sofreram variação de temperatura durante o período de armazenamento. Para os regimes térmicos 3 e 4, que foram submetidos a variações de temperatura durante as primeiras 48 horas do período de armazenamento, são apresentados os dados de variação de temperatura da polpa e do ar ambiente para um período de 60 horas, como mostrado nas Figura 10 e Figura 11.

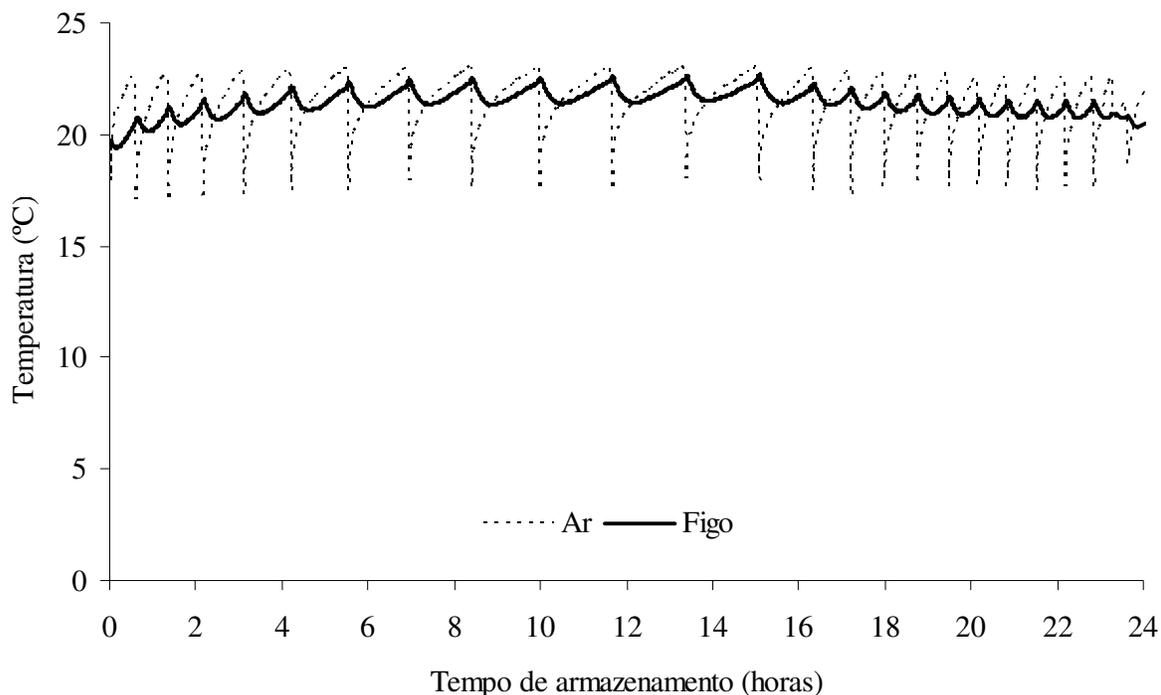


Figura 8. Variação de temperatura da polpa de figos sem tratamento e do ar interno da câmara fria para o Regime Térmico 1, durante as primeiras 24 horas do período de armazenamento.

Observa-se, pela Figura 8, que a temperatura da câmara variou de 17°C a 23°C. Quando as frutas foram colocadas na câmara, a temperatura média, tanto da polpa dos figos quanto da câmara era de 19,5°C. A partir de então, houve um aumento nas temperaturas da câmara e conseqüentemente da polpa das frutas, que variou de 19,5 °C a 22,5°C, no período de 2 a 14 horas de armazenamento, que corresponde ao período noturno. Notou-se que, no período noturno, a câmara fria apresentou valores de temperatura interna mais elevados do que durante o dia. Já durante o dia, no período de 16 a 24 horas de armazenamento, verifica-se que a temperatura da polpa das frutas oscilou menos, variando de 20,5 °C a 21,5°C, em função da maior frequência de acionamento do sistema de refrigeração. Isto deve-se ao fato de que os equipamentos de refrigeração, tais como unidade condensadora e evaporador, apresentarem uma capacidade térmica elevada para o volume da câmara. Durante o dia, além das trocas de calor por transmissão e radiação, devido às maiores temperaturas, também houve abertura da porta da câmara, fazendo com que a temperatura interna se elevasse mais rapidamente durante o dia, ocasionando o acionamento do sistema de refrigeração em intervalos de tempo menores, o que impediu que a temperatura da polpa dos figos sofresse maiores oscilações. Esse comportamento pode ser visualizado melhor pela Figura 22 (Anexo 1), onde são apresentados os dados de temperatura para todo o período de armazenamento.

Devido a problemas com a unidade condensadora da câmara, os experimentos do segundo regime térmico (RT2) foram realizados somente até o quarto dia de armazenamento. A temperatura inicial do ar da câmara, que era de 10°C, sofreu grande variação devido à abertura da mesma para armazenagem das frutas, passando para 20°C. A temperatura inicial da polpa das frutas era de 18,3°C, e estas levaram aproximadamente 3,7 horas para atingir a temperatura 10,5°C. Entre o período de 4 a 24 horas de armazenamento, a temperatura média da polpa do figo foi de 11,0°C, e as temperaturas mínimas e máximas registradas foram iguais a 9,9 °C e 11,8°C, respectivamente. Para a câmara, as temperaturas média, mínima e máxima registradas no período foram iguais a 11,5 °C, 9,4 °C e 11,5°C, respectivamente, como mostrado na Figura 9. Assim como no primeiro regime térmico, as maiores temperaturas de polpa do figo foram registradas no período noturno, variando de 10,7 °C a 11,8°C, enquanto que durante o dia, no período de 18 a 26 horas de armazenamento, oscilou de 9,9 °C a 11,3°C, comportamento que pode ser observado durante todo o período de armazenamento (Figura 23 - Anexo 1).

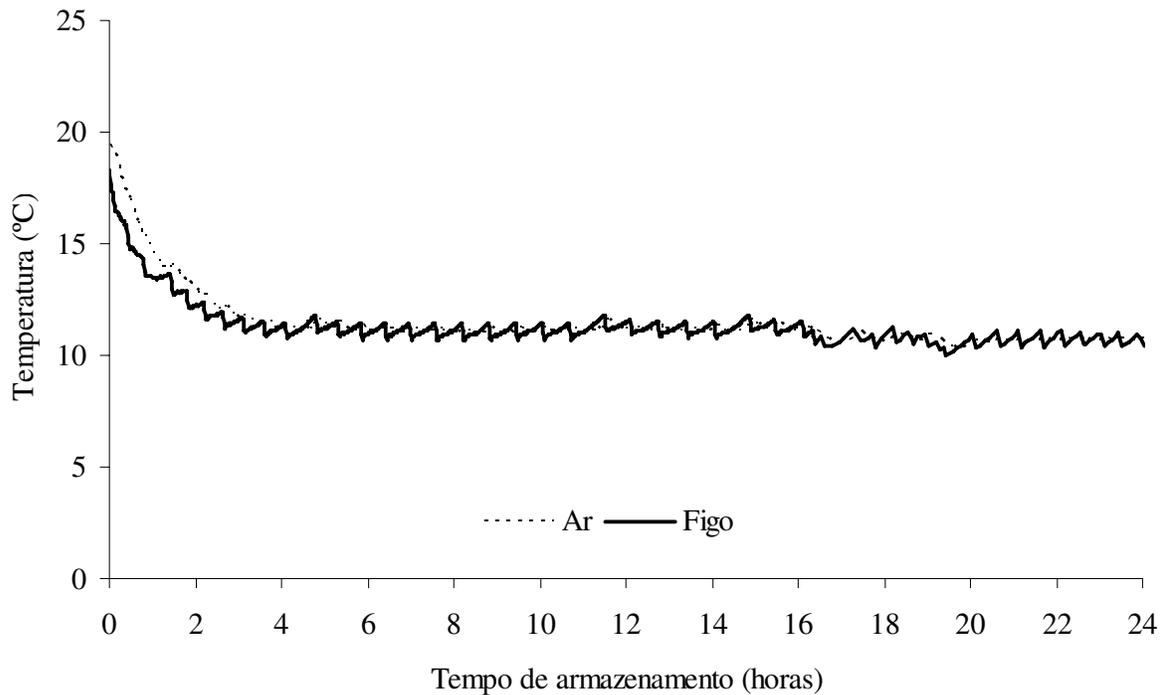


Figura 9. Variação de temperatura da polpa de figos sem tratamento e do ar interno da câmara fria para o Regime Térmico 2, durante as primeiras 24 horas do período de armazenamento.

As medidas de temperatura para o terceiro regime térmico, caracterizado por temperatura de 20°C nas primeiras 48 horas seguida de um degrau negativo de 10°C a partir do terceiro dia de armazenamento são apresentadas na Figura 10, para o período de 60 horas. Quando as frutas foram colocadas na câmara, estas se encontravam à temperatura de 18°C, e o ar da câmara fria a 19°C. Os figos levaram aproximadamente 1,6 horas para atingirem temperatura de polpa igual a 20°C. Assim como nos demais regimes térmicos, as temperaturas foram mais elevadas durante o período da noite. Para a polpa dos figos, as temperaturas média, máxima e mínima medidas durante a noite foram iguais a 21,8 °C, 22,5 °C e 21,3°C, e para a câmara 21,6 °C, 23,0 °C e 18,0°C, respectivamente. Durante o dia, as temperaturas média, máxima e mínima medidas para a polpa das frutas foram iguais a 20,7 °C, 21,3 °C e 19,0°C, e para o ar da câmara iguais a 20,6 °C, 22,7 °C e 16,4°C, respectivamente.

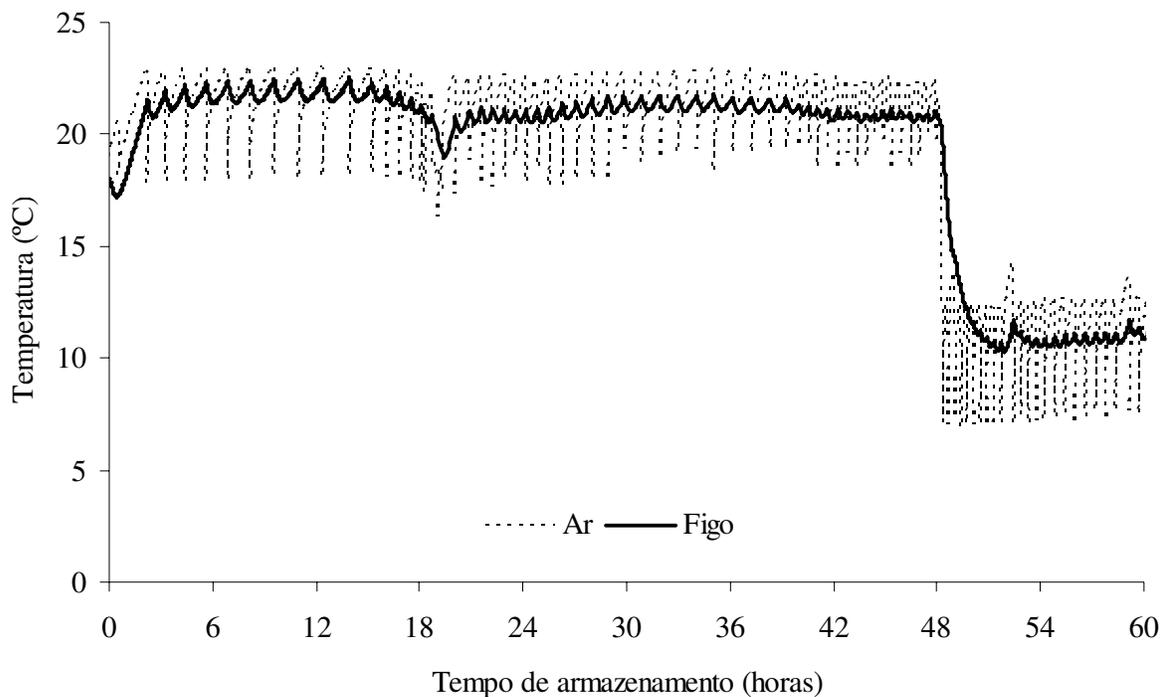


Figura 10. Variação de temperatura da polpa de figos sem tratamento e do ar interno da câmara fria para o Regime Térmico 3, durante as primeiras 60 horas do período de armazenamento.

Após a mudança de temperatura de 20°C para 10°C, os intervalos de tempo necessários para a câmara e as frutas atingirem a temperatura do regime foram, respectivamente, de 0,27 horas (aproximadamente 16 minutos) e 3 horas. Durante o período em que as frutas foram armazenadas à temperatura de 10°C, as temperaturas média, máxima e mínima medidas durante a noite foram iguais a 10,9 °C, 11,1 °C e 10,5°C para a polpa dos figos e 10,6 °C, 13,4 °C e 7,4°C para a câmara fria, e durante o dia iguais a 10,4 °C, 10,8 °C e 9,2°C e 10,1 °C, 12,1 °C e 7,0°C, para a polpa dos figos e para a câmara fria, respectivamente (Figura 24 – Anexo 1).

Os dados de temperatura do quarto regime térmico para as primeiras 60 horas do período de armazenamento, compreendendo os períodos de variação de temperatura são apresentados na Figura 11. Quando as frutas foram colocadas na câmara, as mesmas estavam com temperatura de polpa igual a 18,3°C, e o ar da câmara fria estava à temperatura de 9,1°C. A partir deste momento, a temperatura da câmara sofreu oscilações devido à abertura da

câmara e colocação do produto no interior da mesma. Observa-se que o tempo necessário para a temperatura de polpa do figo atingir 10,5°C foi de 4 horas. As temperaturas média, máxima e mínima da câmara fria no período entre 4 e 24 horas de armazenagem foram iguais a 10,8 °C, 14,4 °C e 7,3°C, enquanto para a polpa do figo tais temperaturas foram iguais a 10,9 °C, 11,8 °C e 10,2°C. Assim como nos regimes anteriores, as temperaturas mais elevadas foram registradas no período da noite. No entanto, as diferenças entre as temperaturas média, máxima e mínima medidas durante o dia foram de aproximadamente 0,5°C.

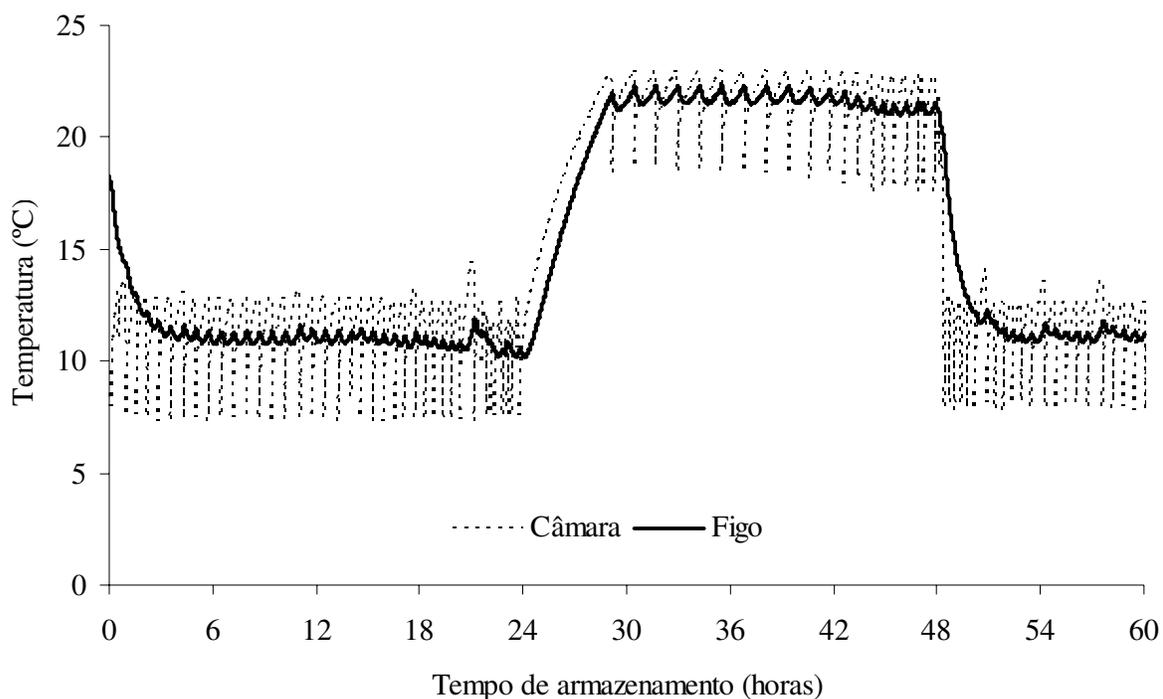


Figura 11. Variação de temperatura da polpa de figos sem tratamento e do ar interno da câmara fria para o Regime Térmico 4, durante as primeiras 60 horas do período de armazenagem.

Foram necessárias 3,25 horas para que a câmara atingisse a temperatura programada de 20°C. Em relação à temperatura de polpa das frutas, foram necessárias 4 horas para que as mesmas alcançassem a temperatura do regime. No período de 28 a 48 horas de armazenagem, as temperaturas média, máxima e mínima registradas para a polpa do figo foram respectivamente iguais a 21,6 °C, 22,3 °C e 19,9°C, e para a câmara fria, iguais a 21,5 °C, 23 °C e 17,6°C. Após a alteração da temperatura de armazenagem de 20 °C para 10°C, os

intervalos de tempo necessários para a câmara e as frutas atingirem a temperatura do regime foram respectivamente iguais a 0,35 e 4,15 horas. De 54 horas até o período final de armazenamento, as temperaturas médias registradas para a câmara fria e a polpa do figo foram iguais a 10,9°C, e as temperaturas máximas e mínimas iguais 14,5 °C e 7,0 °C para a câmara e 12,2 °C e 9,1 °C para a polpa do figo, como apresentado na Figura 25 (Anexo 1).

#### **4.2.2 Concentração dos gases nas embalagens**

Na Figura 12 são apresentados os valores médios das concentrações de gás carbônico (A) e oxigênio (B) no interior das embalagens contendo figos dos tratamentos com atmosfera modificada passiva e atmosfera modificada ativa, armazenadas sob os quatro regimes térmicos. Nos tratamentos com AMP verifica-se que a concentração de gás carbônico, inicialmente igual a 0,3% (porcentagem encontrada no ar ambiente), teve um aumento significativo para todos os regimes térmicos. No primeiro dia de armazenamento, as concentrações de CO<sub>2</sub> medidas para os regimes térmicos 1, 2, 3 e 4 foram iguais a 7,38%, 4,94%, 10,89% e 5,57%, respectivamente (Tabela 3). Nota-se que nos regimes térmicos 1 e 3, cuja temperatura inicial foi de 20°C, as concentrações deste gás foram mais elevadas, provavelmente devido a maior taxa respiratória do produto. A partir do segundo dia de armazenamento, as concentrações médias de gás carbônico no interior das embalagens submetidas aos regimes térmicos 1 e 2, nos quais não houve variação da temperatura, praticamente não ocorreram alterações significativas (Tukey, p<0,05) até o final do armazenamento, cujas concentrações finais foram iguais a 5,49% e 6,69%, respectivamente. Em relação ao regime térmico 3, a partir do segundo dia de armazenamento houve queda na concentração de CO<sub>2</sub> nas embalagens, alcançando concentração final de 4,86%. Para o regime térmico 4, ocorreu aumento significativo na concentração de gás carbônico no segundo dia de armazenamento, que passou de 5,57% para 9,28%. Este aumento ocorreu devido à variação da temperatura da câmara de 10°C para 20°C, que por sua vez provocou aumento na taxa respiratória do figo. A partir do terceiro dia, quando a temperatura do regime térmico já se encontrava a 10°C, a concentração de CO<sub>2</sub> voltou a decrescer, chegando ao final do armazenamento próxima a 4,60%.

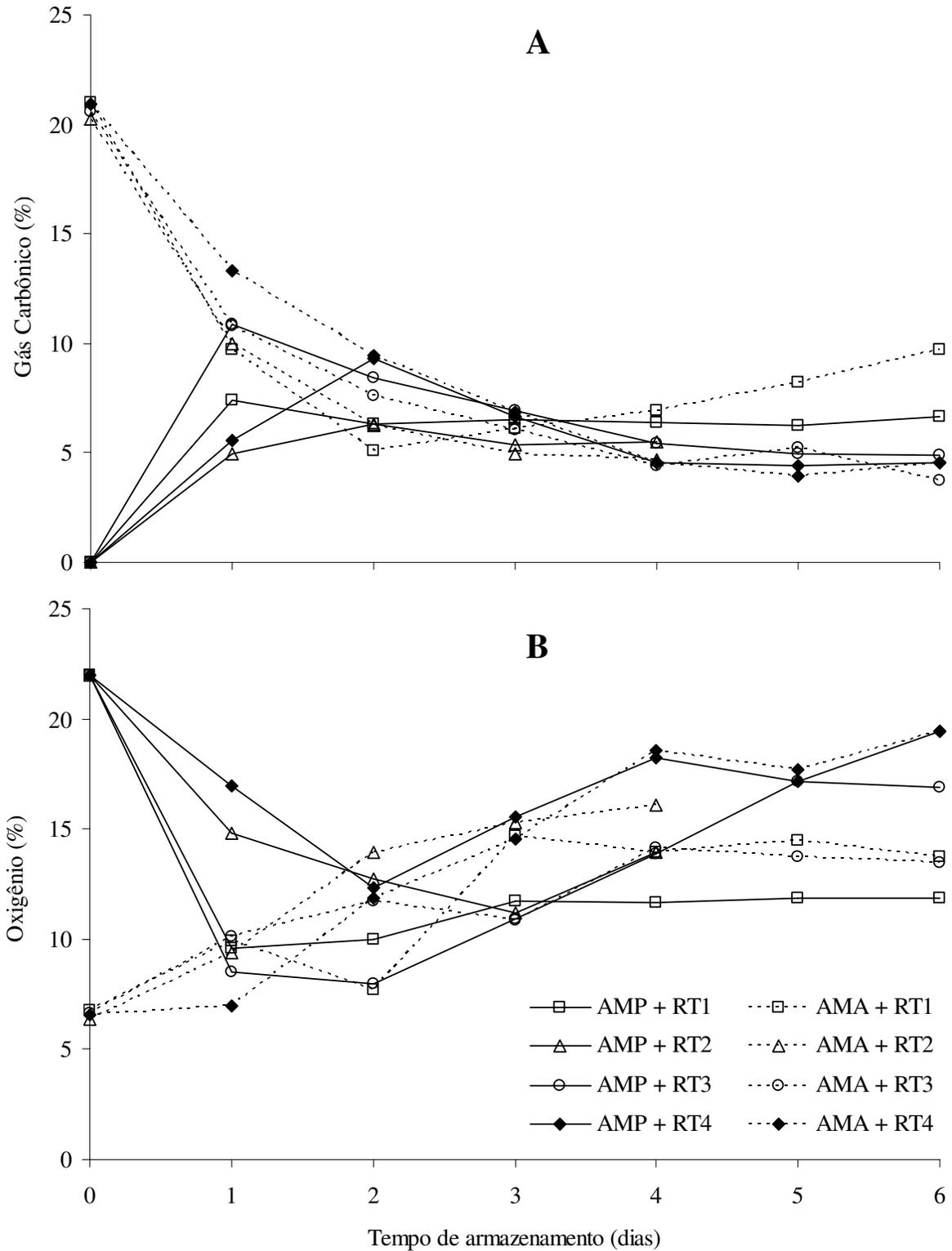


Figura 12. Concentração de gás carbônico (A) e oxigênio (B) no interior das embalagens contendo figos para os tratamentos atmosfera modificada passiva (AMP) e atmosfera modificada ativa (AMA), armazenados sob os quatro regimes térmicos.

Tabela 3. Valores médios e comparação de médias da concentração de gás carbônico, em porcentagem (%), nas embalagens com atmosfera modificada passiva e atmosfera modificada ativa, armazenadas sob os quatro regimes térmicos.

Tratamento	Tempo de Armazenamento (dias)							
	0	1	2	3	4	5	6	
AMP+RT1	Média	0,03 A,a	7,38 B,ab	6,31B,ab	6,50 B,bc	6,40 B,b	6,26 B,ab	6,69 B,a
	D.P.		0,26	1,32	0,73	1,08	1,59	0,85
AMA+RT1	Média	21,00 D,b	9,74 C,bc	5,11 A,a	6,14 AB,abc	6,90 AB,b	8,25 BC,b	9,69 C,b
	D.P.		0,94	0,34	1,03	0,41	2,65	1,88
AMP+RT2	Média	0,03 A,a	4,94 B,a	6,33 D,ab	5,35 BC,ab	5,49 C,ab	**	**
	D.P.		0,15	0,36	0,31	0,36	**	**
AMA+RT2	Média	20,23 D,b	10,01 C,bc	6,28 B,ab	4,99 AB,a	4,68 A,a	**	**
	D.P.		0,73	1,06	0,77	0,98	**	**
AMP+RT3	Média	0,03 A,a	10,89 D,cd	8,41 C,c	6,95 AB,c	5,43 A,ab	4,94 A,a	4,86 A,a
	D.P.		1,37	0,91	0,51	0,65	1,72	1,39
AMA+RT3	Média	20,59 E,b	10,79 D,cd	7,58 C,bc	6,01 BC,abc	4,40 AB,a	5,21 AB,a	3,74 A,a
	D.P.		4,83	3,35	2,71	2,04	2,43	2,03
AMP+RT4	Média	0,03 A,a	5,57 BC,a	9,28 D,c	6,64 C,bc	4,54 BC,a	4,44 B,a	4,58 BC,a
	D.P.		1,62	1,36	0,88	0,70	0,90	1,31
AMA+RT4	Média	20,90 E,b	13,34 D,d	9,41 C,c	6,86 BC,c	4,56 AB,a	3,97 A,a	4,54 AB,a
	D.P.		2,42	1,46	0,87	1,09	0,91	1,77

\*\* Não foram realizadas medidas.

Médias seguidas por mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si (Tukey,  $p < 0,05$ ).

Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si (Tukey,  $p < 0,05$ ).

As concentrações de gás carbônico nas embalagens com AMA caíram consideravelmente no primeiro dia de armazenamento para todos os regimes térmicos, passando do valor médio de aproximadamente 20% para 9,74%, 10,01%, 10,79% e 13,34%, para os regimes térmicos 1, 2, 3 e 4, respectivamente (Tabela 3). Do segundo dia até o final do armazenamento, o comportamento de decréscimo das concentrações de CO<sub>2</sub> foi verificado para os regimes térmicos 2, 3 e 4, os quais apresentaram concentrações ligeiramente inferiores às obtidas para as embalagens com atmosfera modificada passiva, porém sem apresentar diferença significativa. Somente para o RT1 a concentração de gás carbônico voltou a crescer a partir do segundo dia, chegando ao final do armazenamento próxima a 9,70%. Os resultados

observados diferem dos obtidos por D'Aquino *et al.* (1998) para figos 'Craxiou de porcu' armazenados com atmosfera modificada passiva e ativa (100% CO<sub>2</sub> e 100% N<sub>2</sub>) durante uma semana à temperatura de 15°C com filme de polietileno esticável de 19µm, em que a concentração de CO<sub>2</sub> nas embalagens de AMP aumentou progressivamente até o final do período de armazenamento, chegando a valores próximos a 40%. Para as frutas armazenadas com AMA, a concentração inicial de gás carbônico decresceu rapidamente para 20% no primeiro dia de armazenamento, voltando a crescer a partir do quarto dia, até atingir a concentração de aproximadamente 40% no sétimo dia de armazenamento. As diferenças de comportamento observadas nas variações das concentrações de gás carbônico durante o período de armazenamento possivelmente são devidas aos diferentes cultivares de figo, e diferentes embalagens, utilizadas em cada experimento. No entanto, a tendência de equilíbrio da concentração de CO<sub>2</sub> a partir do terceiro dia de armazenamento também foi obtida por Flores *et al.* (2004) no armazenamento de melão à 2°C, com filme plástico não-retrátil de 19µm.

Os tratamentos armazenados sob o regime térmico 1 obtiveram, em sua maior parte, as maiores concentrações de gás carbônico durante o período de armazenamento, porém inferiores ao limite recomendado para o armazenamento do figo, igual a 20% (KADER, 2002; THOMPSON, BISHOP e BRECHT, 2004), devido à maior taxa respiratória das frutas, uma vez que a taxa respiratória é proporcional à temperatura. As embalagens com atmosfera modificada ativa não mantiveram a concentração inicial de CO<sub>2</sub> em 20%, provavelmente devido à alta taxa de permeabilidade do filme de polietileno de baixa densidade a esse gás. A partir do quarto dia de armazenamento, as concentrações de CO<sub>2</sub> apresentaram tendência de equilíbrio, sem alterações significativas até o final do armazenamento.

Os tratamentos com AMP apresentaram redução significativa na concentração de oxigênio no primeiro dia de armazenamento, passando de 21% para 9,57%, 14,80%, 8,51%, 16,98% (Tabela 4) para os regimes térmicos 1, 2, 3 e 4, respectivamente, sendo que os tratamentos armazenados sob os regimes térmicos 2 e 4, com temperatura inicial de 10°C, apresentaram redução menos acentuada que os tratamentos armazenados sob os regimes térmicos 1 e 3, com temperatura inicial de 20°C. Neste último caso, houve maior consumo do O<sub>2</sub> presente nas embalagens devido à maior atividade respiratória do produto. Para os regimes térmicos 1 e 3, do primeiro ao terceiro dia de armazenamento, houve tendência de acréscimo

na concentração de oxigênio nas embalagens, em torno de 2% para cada tratamento. A partir do quarto dia, houve tendência de equilíbrio nas concentrações de oxigênio para o RT1, em torno de 11,80%, enquanto para o RT3 esta concentração continuou aumentando até atingir aproximadamente 17% no último dia de armazenamento. No RT2, a partir do segundo dia de armazenamento, a concentração de O<sub>2</sub> oscilou entre 12,70% e 13,97%. Para o regime térmico 4, a partir do segundo dia de armazenamento, houve tendência de aumento desse gás nas embalagens, passando de 12,37% para 18,20%, em função da permeabilidade da embalagem e da baixa temperatura, que diminuiu o consumo de O<sub>2</sub> das embalagens. Os tratamentos submetidos ao RT1, com temperatura constante de 20°C, obtiveram as menores concentrações de oxigênio nas embalagens, em função do maior consumo desse gás pelos produtos.

Tabela 4. Valores médios e comparação de médias da concentração de oxigênio, em porcentagem (%), nas embalagens com atmosfera modificada passiva e atmosfera modificada ativa, armazenadas sob os quatro regimes térmicos.

Tratamento	Tempo de Armazenamento (dias)							
	0	1	2	3	4	5	6	
AMP+RT1	Média	21,00 B,b	9,57 A,bc	9,99 A,ab	11,70 A,a	11,68 A,a	11,89 A,a	11,89 A,a
	D.P.		1,46	2,64	3,23	3,57	4,06	3,29
AMA+RT1	Média	6,77 A,a	9,89 AB,c	7,74 BC,b	14,66 C,ab	13,96 C,ab	14,45 C,ab	13,76 C,ab
	D.P.		0,91	1,79	1,72	1,34	2,79	2,39
AMP+RT2	Média	21,00 B,b	14,80 A,d	12,70 A,a	11,21 A,ab	13,97 A,ab	**	**
	D.P.		0,35	0,96	5,42	1,37	**	**
AMA+RT2	Média	6,35 A,a	9,40 B,abc	13,92 C,a	15,29 C,bc	16,07 C,bc	**	**
	D.P.		1,28	2,32	1,61	1,54	**	**
AMP+RT3	Média	21,00 D,b	8,51 A,abc	8,00 AB,a	10,93 AB,a	13,86 BC,ab	17,13 CD,b	16,89CD,bc
	D.P.		1,56	2,57	1,85	1,71	2,88	2,47
AMA+RT3	Média	6,66 A,a	10,09 A,a	11,75 BC,a	10,85 BC,a	14,11C,bc	13,73 C,bc	13,46 C,bc
	D.P.		6,10	5,35	6,33	8,29	7,76	8,09
AMP+RT4	Média	21,00 D,b	16,98 BC,d	12,37 B,a	15,55 B,a	18,20 BCD,c	17,18 CD,c	19,44 CD,c
	D.P.		1,02	2,66	2,01	1,51	0,78	1,19
AMA+RT4	Média	6,55 A,a	7,00 A,ab	11,87 BC,a	14,57 BC,a	18,57 D,c	17,69 D,c	19,43 D,c
	D.P.		1,60	3,10	1,36	1,21	2,01	1,42

\*\* Não foram realizadas medidas.

Médias seguidas por mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si (Tukey, p<0,05).

Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si (Tukey, p<0,05).

Os tratamentos com AMA, cuja concentração inicial de oxigênio nas embalagens foi de aproximadamente 6,50%, apresentaram tendência de crescimento na concentração desse gás até o terceiro dia de armazenamento, chegando às concentrações de 14,66%, 15,29%, 10,85% e 14,57%, para os regimes térmicos 1, 2, 3 e 4, respectivamente. A partir do quarto dia, para os regimes térmicos 1 e 2, essas concentrações se estabilizaram até o final do armazenamento em aproximadamente 14% e 16%. Para o RT3, a mudança de temperatura de 20°C para 10°C após 48 horas de armazenamento não causou oscilação significativa na concentração de O<sub>2</sub> nas embalagens no terceiro dia de armazenamento, somente a partir do quarto dia, em que a concentração média aumentou de 10,85% para 14,11%, se estabilizando em aproximadamente 14% até o final do armazenamento. Para o RT4, as variações de temperatura de 10°C para 20°C ao final do primeiro dia de armazenamento, e de 20°C para 10°C entre o segundo e terceiro dia de armazenamento, provocaram aumento de 4,87% e 2,70%, respectivamente, na concentração de oxigênio das embalagens. A partir do terceiro dia, tais concentrações continuaram a aumentar, chegando ao final do armazenamento a 19,43%. Observa-se que as embalagens com AMP e AMA armazenadas sob o RT1 apresentaram menores concentrações de oxigênio quando comparadas aos demais tratamentos, com exceção do tratamento AMA+RT3, que apresentou valores de concentração média de oxigênio próximos aos obtidos para o tratamento AMA+RT1, provavelmente devido ao efeito da variação de temperatura do regime na atividade respiratória do produto.

Segundo Kader, Zagory e Kerbel (1989), o decréscimo rápido da concentração inicial de CO<sub>2</sub> é devido às maiores taxas de permeabilidade do filme para este gás, uma vez que a difusão de gás carbônico ocorre de duas a seis vezes mais rapidamente que a do oxigênio (ZAGORY, 1997). Inicialmente, o gradiente de concentração dos gases permite a entrada de oxigênio e saída de gás carbônico. Com o passar do tempo, devido à respiração do produto, a concentração de oxigênio tende a diminuir, enquanto ocorre o inverso com o gás carbônico. Como baixas concentrações de oxigênio induzem o decréscimo da atividade respiratória, novamente ocorre um aumento na concentração de O<sub>2</sub> e decréscimo de CO<sub>2</sub>. Estas trocas continuam ocorrendo até o momento em que as quantidades de oxigênio consumido e gás carbônico produzido pelo produto se igualam às taxas de difusão destes gases pela embalagem, alcançando o equilíbrio. Este comportamento é observado na Figura 12 (A) e (B), na qual se observa que as concentrações de gás carbônico e oxigênio, respectivamente, podem

ser analisadas em três intervalos distintos. Para o tratamento AMP, no primeiro intervalo, compreendido entre 0 e 2 dias de armazenamento, ocorreu aumento da concentração de CO<sub>2</sub> e decréscimo na concentração de O<sub>2</sub>. No segundo intervalo, entre 2 e 4 dias, houve tendência de decréscimo nas concentrações de CO<sub>2</sub> e acréscimo nas concentrações de O<sub>2</sub>, e no terceiro intervalo, há uma tendência de estabilização das concentrações de ambos os gases. Para o tratamento AMA, no primeiro intervalo ocorre uma diminuição acentuada da concentração de gás carbônico e aumento da concentração de oxigênio, comportamento que se repete no segundo intervalo, porém de forma menos acentuada. No terceiro intervalo, ocorreu uma tendência de estabilização nas concentrações desses gases, exceto para o TT+RT1, no qual houve aumento da concentração de gás carbônico, e no AMP+RT3, cuja concentração de O<sub>2</sub> continuou aumentando até o final do período de armazenamento.

Os valores médios das concentrações de etileno nas embalagens ao longo do período de armazenamento são mostrados na Figura 13.

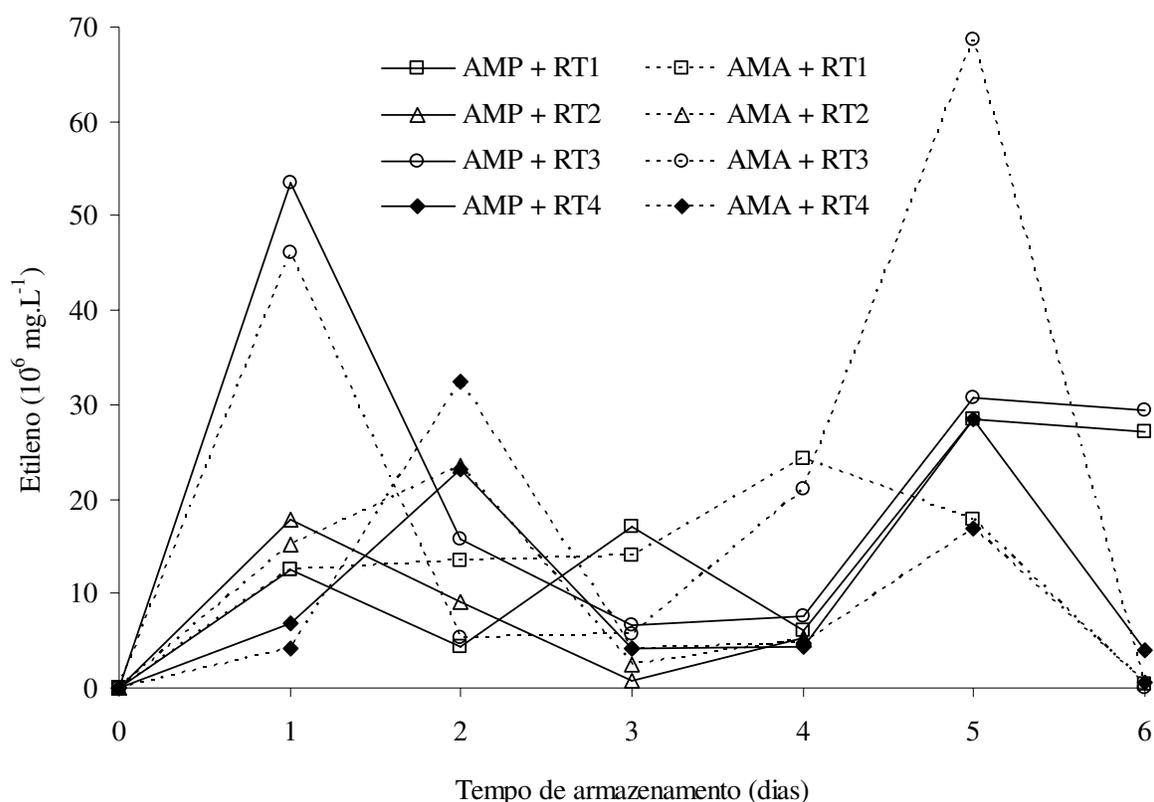


Figura 13. Concentração de etileno no interior das embalagens contendo figos para os tratamentos atmosfera modificada passiva (AMP) e atmosfera modificada ativa (AMA), armazenados sob os quatro regimes térmicos.

Tabela 5. Valores médios e comparação de médias da concentração de etileno ( $10^{-6}\text{mg.L}^{-1}$ ), nas embalagens com atmosfera modificada passiva e atmosfera modificada ativa, armazenadas sob os quatro regimes térmicos.

Tratamento	Tempo de Armazenamento (dias)					
	1	2	3	4	5	6
AMP+RT1	12,59±18,07 A,a	4,38±0,99 A,a	17,03±19,77 A,a	6,05±2,56 A,a	28,51±31,01 A,a	27,05±21,78 A,a
AMA+RT1	12,53±18,67 A,a	13,51±19,47 A,a	14,00±18,83 A,a	24,36±25,96 A,ab	17,80±25,74 A,a	0,34±0,62 A,a
AMP+RT2	17,81±22,81 A,a	9,12±1,67 A,a	0,67±0,26 A,a	5,23±1,11 A,a	**	**
AMA+RT2	15,10±21,051 A,a	23,59±28,15 A,a	2,40±3,03 A,a	5,21±2,28 A,a	**	**
AMP+RT3	53,55±23,95 B,b	15,71±21,52 AB,a	6,62±0,75 AB,a	7,56±0,85 AB,ab	30,76±38,06 AB,a	29,39±38,51 AB,a
AMA+RT3	46,19±3,69 B,b	5,24±0,41 A,a	5,70±1,08 A,a	21,08±21,64 AB,b	68,75±48,97 B,b	0,07±0,04 A,a
A MP+RT4	6,77±3,29 ABC,a	23,07±26,09 BC,a	4,24±0,89 AB,a	4,31±0,48 AB,a	28,46±12,05 C,a	4,01±3,26 AB,a
AMA+RT4	4,08±0,26 A,a	32,51±24,68 B,a	4,27±1,56 A,a	4,71±1,29 A,a	16,82±20,32AB,a	0,50±0,61 A,a

\*\* Não foram realizadas medidas.

Médias seguidas por mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si (Tukey,  $p < 0,05$ ).

Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si (Tukey,  $p < 0,05$ ).

Nota-se que, para todos os tratamentos, ocorreu grande variação na concentração desse gás, provavelmente devido às diferenças no estágio de maturação das frutas nas embalagens. No primeiro dia de armazenamento, as concentrações de etileno nas embalagens oscilaram entre  $4,08 \times 10^{-6} \text{mg.L}^{-1}$  e  $17,81 \times 10^{-6} \text{mg.L}^{-1}$  para os tratamentos submetidos aos regimes térmicos 1, 2 e 3, chegando a valores próximos a  $50 \times 10^{-6} \text{mg.L}^{-1}$  para os tratamentos submetidos ao RT3 (Tabela 5), provavelmente porque estas frutas se encontravam no pico de amadurecimento. No segundo dia, houve tendência de decréscimo da concentração de etileno para os tratamentos com AMP e acréscimo para os tratamentos com AMA, coincidindo com as tendências de decréscimo e acréscimo de  $\text{O}_2$  para os tratamentos AMP e AMA, respectivamente, uma vez que a biosíntese de etileno depende da concentração de oxigênio. A partir do terceiro dia, com o acréscimo das concentrações de oxigênio para ambos os tratamentos, verifica-se que também houve aumento na concentração de etileno nas embalagens, vindo a decrescer no sexto dia de armazenamento. No entanto, devido a grande variabilidade das concentrações medidas, as diferenças obtidas entre os tratamentos não foram significativas no segundo, terceiro, quinto e sexto dia de armazenamento, mas somente no primeiro e quarto dia, nos quais os tratamentos submetidos ao RT3 apresentaram maiores concentrações de etileno, como mostrado na Tabela 5. Observa-se que os tratamentos com um

mesmo regime térmico apresentaram variação semelhante dos valores de concentração de etileno, pois estas frutas foram colhidas no mesmo dia e, provavelmente, apresentavam grau de amadurecimento mais uniforme. Marei e Crane (1971) observaram que figos ‘Mission’ colhidos no pico climatérico continuaram com um aumento da atividade metabólica, mas quando foram colhidos antes ou depois do pico climatérico, mostraram um declínio na produção de gás carbônico e etileno.

### 4.2.3 Avaliação do desempenho dos tratamentos

#### 4.2.3.1 Perda de massa

As variações médias de perda de massa obtidas para figos dos tratamentos testemunha, atmosfera modificada passiva e atmosfera modificada ativa, submetidos aos quatro regimes de variação de temperatura são apresentados na Figura 14.

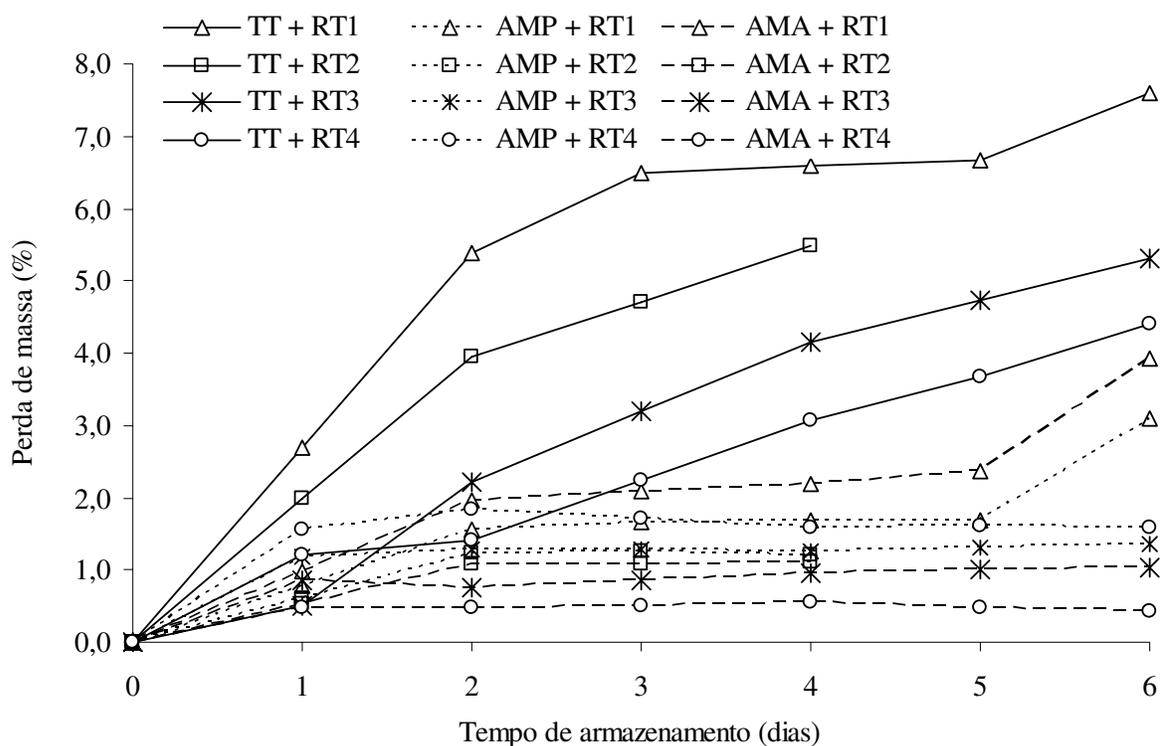


Figura 14. Perda de massa acumulada para figos dos tratamentos testemunha (TT), atmosfera modificada passiva (AMP) e atmosfera modificada ativa (AMA), submetidos aos quatro regimes de variação de temperatura.

O tratamento testemunha apresentou maiores valores de perda de massa durante o período de armazenamento para todos os regimes térmicos avaliados, e a maior perda de massa para este tratamento, igual a 7,59%, foi obtida no RT1 (Tabela 6), uma vez que temperaturas mais elevadas aumentam a transpiração do produto. Observa-se que, para um mesmo regime térmico, o tratamento testemunha apresentou diferença significativa ao nível de 5% em relação aos tratamentos com atmosfera modificada. Para os tratamentos AMP+RT1 e AMA+RT1, os valores médios de perda de massa ao final do período de armazenamento foram iguais a 3,09% e 3,91%, valores estes próximos ao obtido por Penteadó (1998) para o figo ‘Roxo de Valinhos’ armazenado com embalagens de polietileno de baixa densidade de 60 $\mu$ m à temperatura de 25°C.

De acordo com a Tabela 6, observa-se que as maiores porcentagens de perda de massa ocorreram nos dois primeiros dias de armazenamento. A partir do terceiro dia, tais perdas continuaram a ocorrer para o tratamento testemunha, armazenado sob os quatro regimes térmicos, e os tratamentos com AMP e AMA do RT1, porém de modo menos acentuado. Para os tratamentos com AMP e AMA armazenados sob os regimes térmicos 2, 3 e 4, a partir do segundo dia não ocorreram perdas significativas (Tabela 6), mas sim uma tendência de estabilização da massa das frutas. O tratamento com AMA apresentou menores médias de perda de massa durante o período de armazenamento para os regimes térmicos 2, 3 e 4. No entanto, somente para o RT4 estes valores apresentaram diferença significativa em relação ao tratamento AMP. Este comportamento está de acordo com o obtido por D’Aquino (1998), o qual observou que não houve diferença na perda de massa entre as embalagens com AMA e AMP para figos ‘Craxiou de Porcu’, mas somente entre estes tratamentos e o testemunha, cujas perdas, ao final de uma semana de armazenamento à temperatura de 15°C, foram iguais a 1% e 13%, respectivamente. Resultados semelhantes foram obtidos por Piga *et al.* (1998), usando figos ‘Niedda Longa’ e Penteadó (1998) e Neves, Rodrigues e Vieites (2002), para figos ‘Roxo de Valinhos’, os quais observaram que figos armazenados com atmosfera modificada apresentaram menores porcentagens de perda de massa quando comparados ao tratamento testemunha. O filme plástico, além da modificação atmosférica, auxiliou na retenção da umidade no interior das embalagens, diminuindo as perdas de massa do produto.

Tabela 6. Valores médios e comparação de médias da porcentagem de perda de massa para figos dos tratamentos testemunha, atmosfera modificada passiva e atmosfera modificada ativa, armazenados sob os quatro regimes térmicos.

.Tratamento	Tempo de armazenamento (dias)					
	1	2	3	4	5	6
TT + RT1	2,70±0,31 A,e	5,39±0,63 B,g	6,50±0,57 C,g	6,58±0,57 CD,h	6,68±0,57 CD,f	7,59±0,56 D,f
AMP+RT1	0,78±0,13 A,bc	1,56±0,26 B,bcde	1,65±0,11 B,cd	1,70±0,19 B,cd	1,68±0,07 B,bc	3,09±0,49 C,c
AMA+RT1	0,98±0,11 A,bc	1,96±0,21 B,de	2,09±0,16 BC,d	2,20±0,25 BC,c	2,35±0,19 C,c	3,91±0,18 D,d
TT+RT2	1,98±0,21 A,d	3,96±0,42 B,f	4,70±0,27 C,f	5,49±0,23 D,g	**	**
AMP+RT2	0,61±0,09 A,a	1,22±0,17 B,abcd	1,25±0,14 B,bc	1,21±0,13 B,abc	**	**
AMA+RT2	0,54±0,15 A,a	1,08±0,30 B,abc	1,08±0,11 B,abc	1,10±0,09 B,abc	**	**
TT+RT3	0,49±0,07 A,a	2,22±0,23 B,e	3,18±0,18 D,f	4,15±0,16 D,f	4,73±0,21 E,e	5,31±0,28 F,e
AMP+RT3	1,19±0,32 A,bc	1,29±0,24 A,abcd	1,27±0,21 A,bc	1,26±0,20 A,bc	1,31±0,22 A,b	1,36±0,25 A,b
AMA+RT3	0,84±0,63 A,bc	0,77±0,96 A,ab	0,86±0,76 A,ab	0,96±0,73 A,ab	1,00±0,75 A,ab	1,04±0,76 A,ab
TT+RT4	1,20±0,09 A,bc	1,41±0,07 A,bcde	2,23±0,19 C,e	3,06±0,31 D,d	3,67±0,31 D,d	4,40±0,25 E,d
AMP+RT4	1,56±0,03 A,cd	1,85±0,36 A,cde	1,72±0,21 A,bcd	1,59±0,06 A,b	1,60±0,06 A,b	1,59±0,02 A,b
AMA+RT4	0,49±0,13 A,a	0,47±0,05 A,a	0,51±0,07 A,a	0,55±0,10 A,a	0,48±0,04 A,a	0,42±0,05 A,a

\*\* Não foram realizadas medidas.

Médias seguidas por mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si (Tukey,  $p < 0,05$ ).

Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si (Tukey,  $p < 0,0$ )

#### 4.2.3.2 Sólidos solúveis

Na Figura 15 são apresentadas as variações médias na concentração de sólidos solúveis para figos ao longo do período de armazenamento sob os quatro regimes térmicos analisados. Observa-se que nos tratamentos submetidos aos regimes térmicos 1 e 2, em que não houve mudança de temperatura, ocorreu tendência de aumento nos teores de sólidos solúveis dos figos ao longo do período de armazenamento, variando entre 11,78 e 12,94, para o RT1, e entre 11,60 e 12,97, para o RT2. A exceção obtida foi para o tratamento AMA+RT2, cujo teor de sólidos solúveis não apresentou diferença significativa ao longo do armazenamento (Tabela7). Para o RT3, em a temperatura inicial de 20°C foi alterada para 10°C no segundo dia de armazenamento, verifica-se que os teores de sólidos solúveis sofreram um sensível aumento no segundo dia de armazenamento, seguido de pequena redução a partir do quarto dia para os tratamentos AMP e AMA, apresentando diferença significativa apenas

para o tratamento testemunha. Para o RT4, não foram observadas diferenças significativas entre os valores de sólidos solúveis ao longo do período de armazenamento.

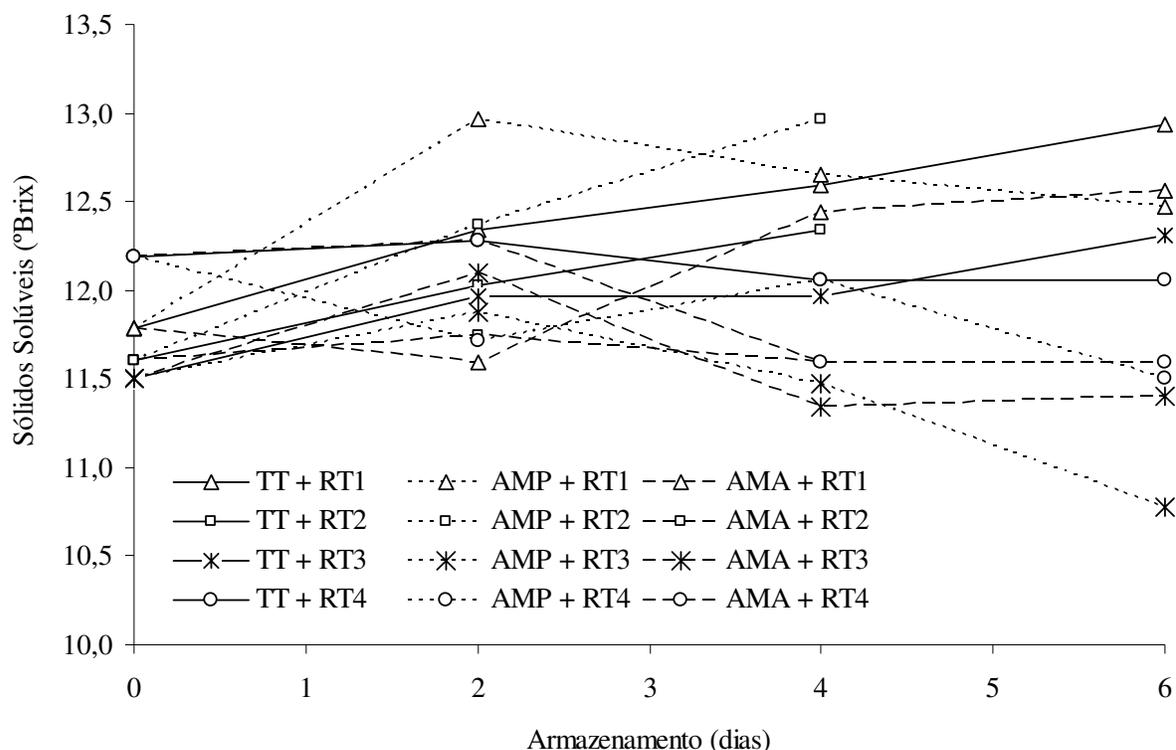


Figura 15. Variação nos valores médios da concentração de sólidos solúveis para figos dos tratamentos testemunha (TT), atmosfera modificada passiva (AMP) e atmosfera modificada ativa (AMA), submetidos aos quatro regimes de variação de temperatura.

Os tratamentos sob o regime térmico 1 obtiveram os maiores valores de sólidos solúveis ao final do armazenamento, provavelmente devido ao avanço no amadurecimento das frutas e elevadas porcentagens de perda de massa, causados pela temperatura mais elevada. Do mesmo modo, as frutas do tratamento testemunha apresentaram maior concentração de sólidos solúveis que os demais tratamentos para todos os regimes térmicos, porém somente para o RT3 foram encontradas diferenças significativas. Este comportamento está de acordo com o encontrado na literatura para figos (PIGA *et al.*, 1998; D'AQUINO *et al.*, 1998; PENTEADO, 1998; NEVES, RODRIGUES e VIEITES, 2002), em que as frutas armazenadas à atmosfera ambiente apresentaram uma pequena evolução nos valores de sólidos solúveis, enquanto as

frutas submetidas a condições de modificação atmosférica apresentaram redução desses teores. Segundo Piga *et al.* (1998) e D'Aquino *et al.* (1998), o aumento dos valores de sólidos solúveis no tratamento testemunha pode ser atribuído à perda de água do produto, favorecendo a concentração dos açúcares, uma vez que as maiores porcentagens de perda de massa foram encontradas para este tratamento. Já nos tratamentos com atmosfera modificada, a redução do teor de sólidos solúveis pode ser devido ao consumo de reservas do produto durante o processo respiratório.

Tabela 7 .Valores médios e comparação de médias de sólidos solúveis (°Brix), para figos dos tratamentos testemunha, atmosfera modificada passiva e atmosfera modificada ativa, armazenados sob os quatro regimes térmicos.

Tratamento	Tempo de Armazenamento (dias)			
	0	2	4	6
TT + RT1	11,78±0,97 A,a	12,34±0,68 AB,ab	12,59±0,38 AB,c	12,94±0,65 B,d
AMP+RT1	11,78±0,97 A,a	12,97±0,34 B,b	12,66±0,30 AB,c	12,47±0,76 AB,cd
AMA+RT1	11,78±0,97 AB,a	11,59±0,74 A,a	12,44±0,29 AB,c	12,56±0,65 B,d
TT+RT2	11,60±0,60 A,a	12,03±0,62 AB,ab	12,66±0,33 B,c	**
AMP+RT2	11,60±0,60 A,a	12,38±0,53 AB,ab	12,19±0,44 B,d	**
AMA+RT2	11,60±0,60 A,a	11,75±0,72 A,a	11,91±0,55 A,ab	**
TT+RT3	11,50±0,48 A,a	11,97±0,59 AB,ab	11,97±0,69 AB,abc	12,31±0,59 B,bcd
AMP+RT3	11,50±0,48 AB,a	11,88±0,76 B,a	11,47±0,59 AB,ab	10,78±0,36 A,a
AMA+RT3	11,50±0,48 AB,a	12,09±0,42 B,ab	11,34±0,60 A,a	11,41±0,58 AB,ab
TT+RT4	12,19±0,76 A,a	12,28±0,65 A,ab	12,06±0,56 A,abc	12,06±0,37 A,bcd
AMP+RT4	12,19±0,76 A,a	11,72±0,54 A,a	12,06±0,51 A,abc	11,50±0,57 A,ab
AMA+RT4	12,19±0,76 A,a	12,28±0,71 A,ab	11,59±0,42 A,ab	11,59±0,40 A,abc

\*\* Não foram realizadas medidas.

Médias seguidas por mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si (Tukey,  $p < 0,05$ ).

Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si (Tukey,  $p < 0,05$ ).

#### 4.2.3.3 Acidez titulável e pH

Na Figura 16 são apresentados os resultados de acidez titulável (A) e pH (B) obtidos para figos.

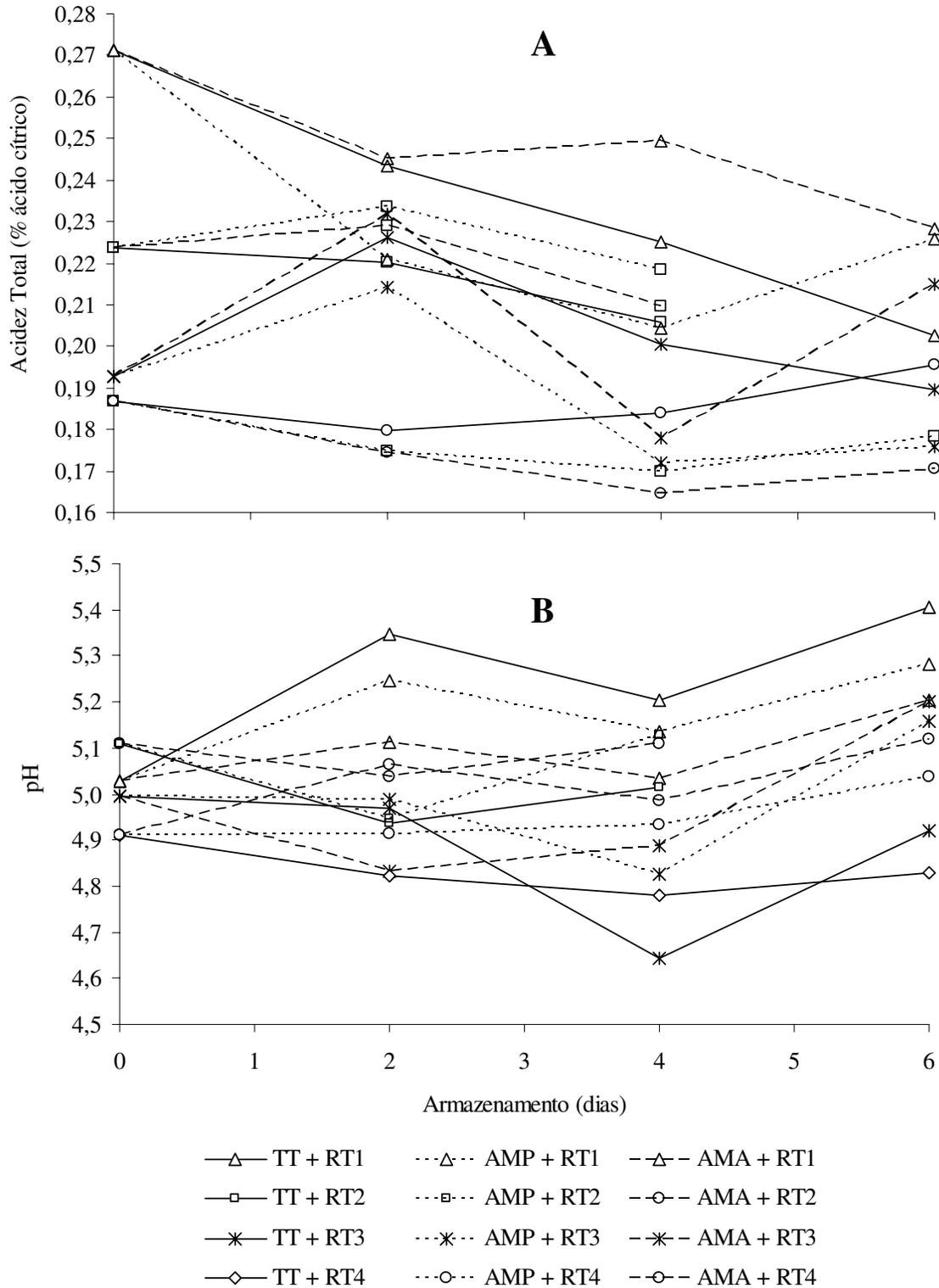


Figura 16. Valores médios de acidez titulável (A) e pH (B) para figos dos tratamentos testemunha (TT), atmosfera modificada passiva (AMP) e atmosfera modificada ativa (AMA), submetidos aos quatro regimes de variação de temperatura.

Observa-se em (A) que ocorreu tendência de decréscimo nos valores de acidez durante o armazenamento tanto para o tratamento testemunha quanto para os tratamentos com atmosfera modificada, sendo que a redução mais acentuada foi observada para o RT1. Ao final do período de armazenamento, os valores de acidez titulável oscilaram entre 0,27% e 0,20% para o tratamento testemunha, correspondendo a uma variação de aproximadamente 25% em relação ao valor inicial, e entre 0,27% e 0,23% para os tratamentos com atmosfera modificada ativa e passiva, respectivamente, correspondendo a uma redução de 15%. Para os demais regimes térmicos, as reduções nos valores de acidez titulável não foram significativas, apresentando tendência de estabilização, como mostrado na Tabela 8.

Tabela 8. Valores médios e comparação de médias de acidez titulável (% de ácido cítrico) para figos dos tratamentos testemunha, atmosfera modificada passiva e atmosfera modificada ativa, armazenados sob os quatro regimes térmicos.

Tratamento	Tempo de Armazenamento (dias)			
	0	2	4	6
TT + RT1	0,27±0,04 C,c	0,24±0,02 BC,c	0,22±0,05 AB,de	0,20±0,02 A,a
AMP+RT1	0,27±0,04 B,c	0,22±0,04 A,c	0,20±0,02 A,abcd	0,23±0,03 A,a
AMA+RT1	0,27±0,04 B,c	0,24±0,02 AB,c	0,25±0,04 AB,d	0,23±0,02 A,a
TT+RT2	0,22±0,03 A,b	0,22±0,03 A,c	0,21±0,02 A,bcd	**
AMP+RT2	0,22±0,03 A,b	0,23±0,01 A,c	0,22±0,02 A,cde	**
AMA+RT2	0,22±0,03 AB,b	0,23±0,01 B,c	0,21±0,01 A,bcd	**
TT+RT3	0,19±0,02 A,a	0,23±0,02 B,c	0,20±0,02 A,abcd	0,19±0,01 A,a
AMP+RT3	0,19±0,02 AB,a	0,21±0,03 B,c	0,17±0,03 A,ab	0,18±0,04 AB,a
AMA+RT3	0,19±0,02 A,a	0,23±0,02 A,c	0,18±0,02 A,abc	0,21±0,14 A,a
TT+RT4	0,19±0,02 A,a	0,18±0,02 A,ab	0,18±0,02 A,abcd	0,20±0,01 A,a
AMP+RT4	0,19±0,02 A,a	0,17±0,02 A,a	0,17±0,01 A,ab	0,18±0,02 A,a
AMA+RT4	0,19±0,02 B,a	0,17±0,01 AB,a	0,16±0,01 A,a	0,17±0,02 AB,a

\*\* Não foram realizadas medidas.

Médias seguidas por mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si (Tukey,  $p < 0,05$ ).

Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si (Tukey,  $p < 0,05$ ).

Pela Figura 16 (B) observa-se que houve tendência de aumento dos valores de pH durante o armazenamento, com exceção dos tratamentos testemunha, armazenados sob os quatro regimes térmicos, e os tratamentos AMP e AMP submetidos ao RT2. Para o regime

térmico 1, ocorreu acréscimo significativo nos valores de pH no segundo dia de armazenamento, seguido de um pequeno decréscimo no quarto dia, voltando a aumentar no sexto dia, sendo que o tratamento testemunha apresentou as maiores médias no final do período de armazenamento (Tabela 9). No RT2, as oscilações do pH durante o armazenamento foram discretas, e não ocorreu diferença significativa entre os valores iniciais e finais tanto em relação aos tratamentos quanto em relação ao período de armazenamento, provavelmente porque à temperatura de 10°C as reações metabólicas ocorreram mais lentamente.

Tabela 9. Valores médios e comparação de médias de pH para figos dos tratamentos testemunha, atmosfera modificada passiva e atmosfera modificada ativa, armazenados sob os quatro regimes térmicos.

Tratamento	Tempo de armazenamento (dias)			
	0	2	4	6
TT + RT1	5,03±0,17 A,c	5,35±0,13 BC,e	5,20±0,03 B,f	5,41±0,19 C,e
AMP+RT1	5,03±0,17 A,c	5,25±0,20 B,de	5,13±0,05 AB,ef	5,28±0,18 B,de
AMA+RT1	5,03±0,17 A,c	5,11±0,07 AB,cde	5,03±0,09 A,de	5,21±0,13 B,cd
TT+RT2	5,11±0,12 B,d	4,94±0,09 A,abc	5,02±0,10 AB,de	**
AMP+RT2	5,11±0,12 B,d	4,95±0,08 A,abc	5,13±0,17 B,ef	**
AMA+RT2	5,11±0,12 A,d	5,04±0,08 A,abcd	5,11±0,13 A,ef	**
TT+RT3	4,99±0,12 B,d	4,97±0,31 B,abc	4,64±0,08 A,a	4,92±0,07 B,ab
AMP+RT3	4,99±0,12 B,d	4,99±0,15 B,abc	4,83±0,08 A,bc	5,16±0,14 C,cd
AMA+RT3	4,99±0,12 B,d	4,83±0,14 A,ab	4,89±0,12 A,abc	5,20±0,11 C,cd
TT+RT4	4,91±0,05 B,a	4,82±0,10 AB,a	4,78±0,08 A,ab	4,83±0,06 AB,a
AMP+RT4	4,91±0,05 A,a	4,92±0,08 A,abc	4,93±0,08 A,abc	5,04±0,07 B,bc
AMA+RT4	4,91±0,05 A,a	5,06±0,05 BC,cde	4,99±0,09 AB,cde	5,12±0,05 C,cd

\*\* Não foram realizadas medidas.

Médias seguidas por mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si (Tukey,  $p < 0,05$ ).

Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si (Tukey,  $p < 0,05$ ).

Para o RT3, não ocorreu diferença significativa entre os valores de pH do tratamento testemunha durante o armazenamento (Tabela 9). Para os tratamentos AMP e AMA, foram encontradas diferenças significativas tanto em relação ao tratamento testemunha como em relação ao período de armazenamento, variando de 4,99 para 5,16, para AMP e 4,99 para 5,20 para AMA. No RT4 ocorreu comportamento semelhante ao terceiro regime térmico, porém as

oscilações foram menores, variando de 4,91 a 5,04 e 4,91 a 5,12, para os tratamentos AMP e AMA, respectivamente. Estes resultados concordam com os obtidos por Piga *et al.* (1998), Penteado (1998) e Neves, Rodrigues e Vieites (2002), que observaram decréscimo no pH do tratamento controle, com conseqüente aumento na acidez titulável, enquanto as frutas armazenadas com atmosfera modificada apresentaram comportamento oposto.

#### 4.2.3.4 Firmeza

Na Figura 17 são apresentadas as curvas de energia de deformação ao longo do período de armazenamento para figos dos tratamentos testemunha, atmosfera modificada passiva e atmosfera modificada ativa, submetidos aos quatro regimes de variação de temperatura.

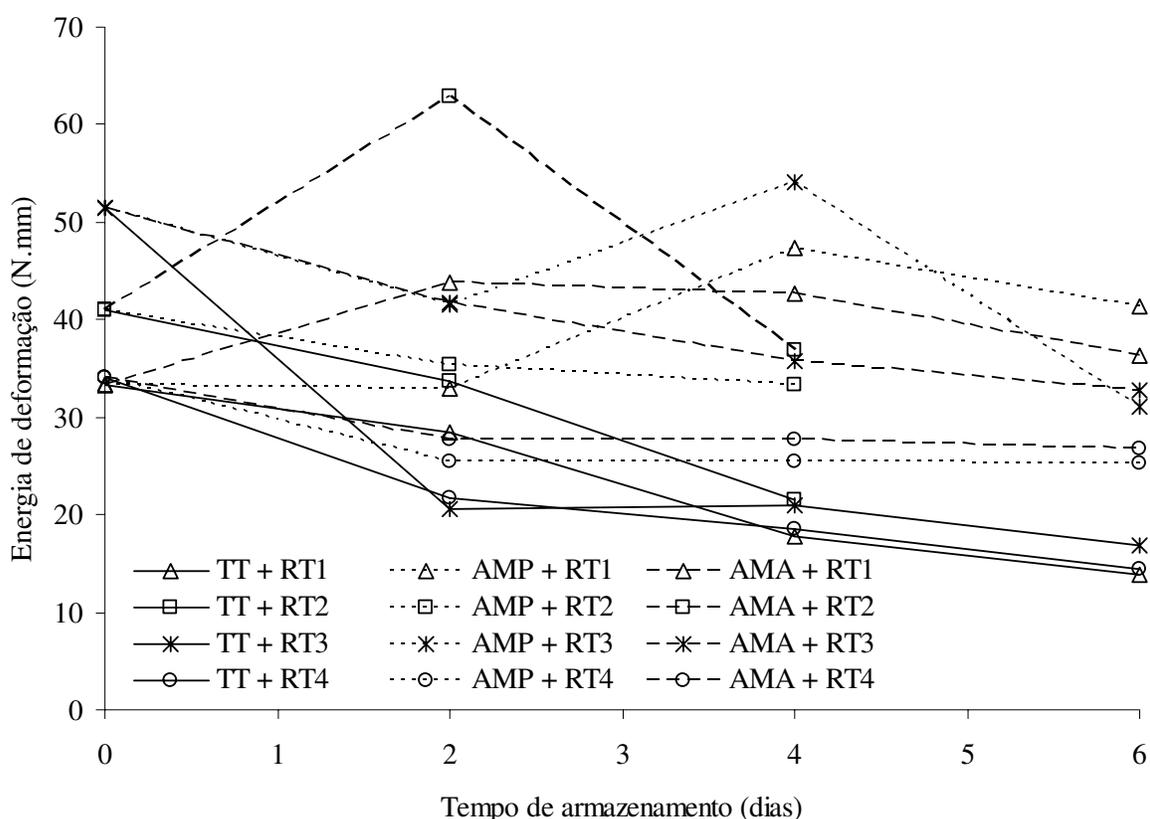


Figura 17. Valores médios de energia de deformação para figos dos tratamentos testemunha (TT), atmosfera modificada passiva (AMP) e atmosfera modificada ativa (AMA), submetidos aos quatro regimes de variação de temperatura.

Os figos do tratamento testemunha apresentaram decréscimo nos valores de energia de deformação para todos os regimes térmicos estudados até o final do armazenamento, oscilando entre 47% e 67% (Tabela 10), sendo que a maior porcentagem de perda de firmeza foi obtida para o regime térmico 3. Para o RT1, o tratamento testemunha apresentou decréscimo nos valores de energia de deformação ao longo do armazenamento, e os tratamentos com AMP e AMA apresentaram, ao final do período de armazenamento, tendência de aumento no índice de firmeza, respectivamente iguais a 24% e 9%. No entanto, não foram observadas diferenças significativas em relação ao dia zero ao nível de 5% (Tabela 10), devido a grande variabilidade nos valores de energia de deformação observada nos ensaios. Para os demais regimes térmicos, houve tendência de decréscimo dos valores do índice de firmeza analisado.

Tabela 10. Valores médios e comparação de médias de energia de deformação (N.mm) à deformação específica de 10% para figos dos tratamentos testemunha, atmosfera modificada passiva e atmosfera modificada ativa, armazenados sob os quatro regimes térmicos.

Tratamento	Tempo de Armazenamento (dias)			
	0	2	4	6
TT + RT1	33,28±6,25 B,a	28,36±8,03 B,ab	17,78±3,28 A,a	13,83±2,10 A,a
AMP+RT1	33,28±6,25 A,a	32,86±4,12 A,ab	47,30±4,49 B,ef	41,31±10,27 AB,e
AMA+RT1	33,28±6,25 A,a	43,74±9,96 A,b	42,73±12,53 A,def	36,29±10,40 A,de
TT+RT2	40,95±3,82 B,ab	33,73±9,15 B,ab	21,61±6,25 A,ab	**
AMP+RT2	40,95±3,82 A,b	35,38±9,46 A,ab	33,26±9,25 A,bcd	**
AMA+RT2	40,95±3,82 A,ab	62,95±22,95 B,c	36,83±10,51 A,cde	**
TT+RT3	51,41±19,01 B,b	20,50±4,76 A,a	20,96±5,52 A,ab	16,78±4,07 A,ab
AMP+RT3	51,41±19,01 B,b	41,53±15,50 AB,b	54,02±6,11 B,f	31,10±6,37 A,cde
AMA+RT3	51,41±19,01 A,b	41,82±16,58 A,b	35,78±12,61 A,cde	32,84±7,87 A,cde
TT+RT4	34,11±10,36 B,a	21,72±7,77 A,a	18,60±2,86 A,a	14,48±2,53 A,a
AMP+RT4	34,11±10,36 B,a	25,44±4,53 AB,ab	25,01±4,42 A,abc	25,26±4,09 A,bc
AMA+RT4	34,11±10,36 B,a	27,79±9,37 A,ab	34,53±11,95 A,bcd	26,70±6,32 A,bcd

\*\* Não foram realizadas medidas.

Médias seguidas por mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si (Tukey,  $p < 0,05$ ).

Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si (Tukey,  $p < 0,05$ ).

Nos regimes térmicos 2 e 3, houve diferença significativa entre os valores de energia de deformação obtidos no primeiro e último dia de armazenamento para o tratamento testemunha, enquanto para os tratamentos com AMP e AMA não foi observada diferença ao nível de 5% (Tabela 10). Para o RT4, ocorreu diferença significativa entre os valores inicial e final de energia de deformação para todos os tratamentos. Analisando os índices de firmeza obtidos entre os tratamentos testemunha, AMP e AMA ao longo do período de armazenamento, verifica-se que em todos os regimes térmicos estudados os tratamentos com atmosfera modificada apresentaram maiores valores de energia de deformação, diferindo estatisticamente do tratamento testemunha. Este comportamento também foi observado por Penteado (1998) e Neves, Rodrigues e Vieites (2002), em que figos armazenados com filmes de polietileno de baixa densidade com espessuras de 60 $\mu$ m e 22 $\mu$ m, respectivamente, apresentaram índice de firmeza superior aos obtidos pelas frutas do tratamento testemunha.

Apesar do estudo de firmeza ter indicado menor coeficiente de variação para o índice energia de deformação a uma dada deformação, observou-se que nos experimentos, em que o número de amostras utilizadas foi significativamente menor que o utilizado no estudo de firmeza, houve grande variabilidade, com coeficientes de variação entre 9,33% e 39,65%. Penteado (1998) também encontrou valores de coeficiente de variação elevados para os ensaios de firmeza, atribuídos, segundo o autor, a grande variabilidade no padrão de colheita do figo. Estes resultados indicam que o parâmetro firmeza não é um bom índice para avaliação da qualidade de figos quando se utiliza um pequeno número de amostras.

#### 4.2.3.5 Aparência

*Amadurecimento das frutas.* As frutas utilizadas nos experimentos apresentavam, no dia da preparação dos tratamentos, cerca de 50% da epiderme com coloração arroxeadas, correspondendo ao valor 5 da escala de notas estabelecida para avaliação do amadurecimento das frutas. Figos armazenados sob os quatro regimes de temperatura apresentaram discreta evolução na coloração, tanto para o tratamento testemunha quanto para os tratamentos com AMP e AMA, como ilustrado na Figura 18.

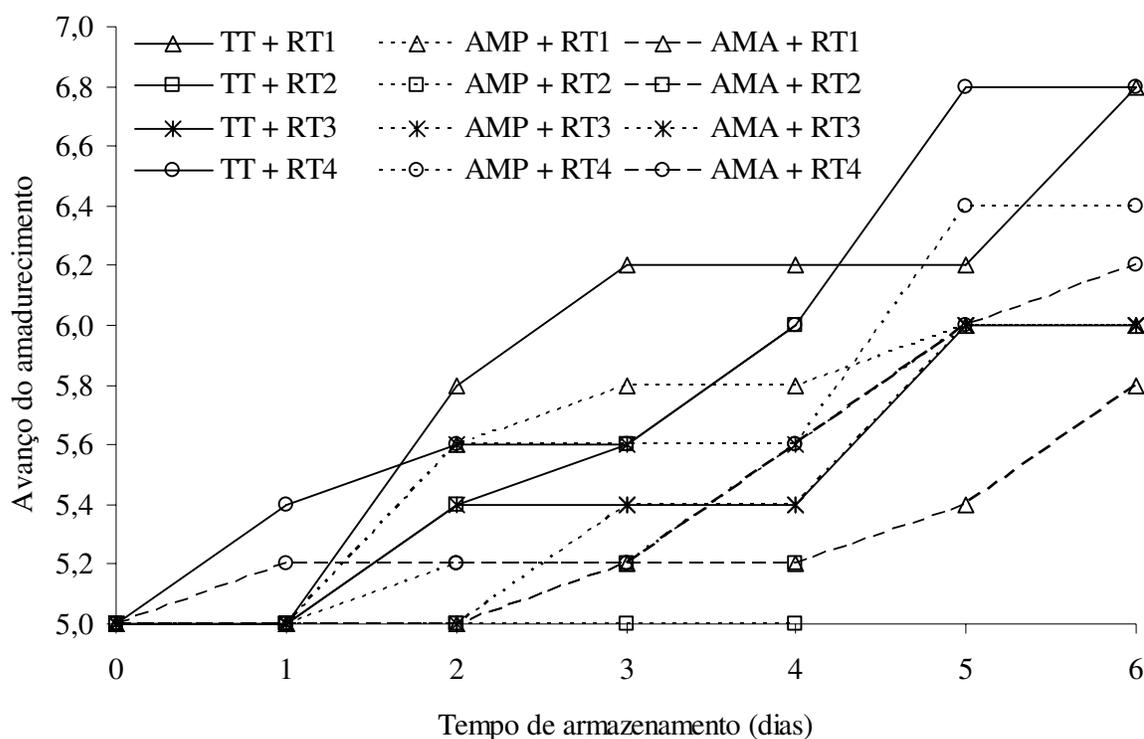


Figura 18. Notas médias da avaliação visual do avanço do amadurecimento para figos dos tratamentos testemunha (TT), atmosfera modificada passiva (AMP) e atmosfera modificada ativa (AMA), submetidos aos quatro regimes de variação de temperatura.

O tratamento testemunha armazenado sob o RT1 apresentou mudança significativa na coloração da epiderme das frutas no segundo dia de armazenamento (Tabela 11), enquanto para os demais regimes térmicos, esta mudança foi observada a partir do quarto dia para RT2 e RT4, e quinto dia para RT3. Para os tratamentos com atmosfera modificada, diferenças significativas ao longo do período de armazenamento só foram observadas a partir do quarto dia. No RT1, a partir do terceiro dia, o tratamento AMP apresentou diferença significativa em relação ao AMA, com valor médio de coloração da epiderme maior que o obtido para o tratamento AMA. Para os demais regimes térmicos, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos com atmosfera modificada (Tabela 11).

Tabela 11. Valores médios e comparação de médias das notas atribuídas à evolução do amadurecimento de figos dos tratamentos testemunha, atmosfera modificada passiva e atmosfera modificada ativa, armazenados sob os quatro regimes térmicos.

Tratamento	Tempo de Armazenamento (dias)						
	0	1	2	3	4	5	6
TT + RT1	5,0 A,a	5,0 A,a	5,8 B,b	6,2 B,b	6,2 B,b	6,2 B,b	6,8 C,b
AMP+RT1	5,0 A,a	5,0 A,a	5,6 AB,ab	5,8 B,b	5,8 B,b	6,0 B,b	6,0 B,a
AMA+RT1	5,0 A,a	5,0 A,a	5,0 A,a	5,2 A,a	5,2 A,a	5,4 AB,a	5,8 B,a
TT+RT2	5,0 A,a	5,0 A,a	5,4 AB,ab	5,6 A,B	6,0 B,b	**	**
AMP+RT2	5,0 A,a	5,0 A,a	5,0 AB,a	5,0 A,a	5,0 A,a	**	**
AMA+RT2	5,0 A,a	5,0 A,a	5,0 A,a	5,2 A,a	5,2 A,a	**	**
TT+RT3	5,0 A,a	5,0 A,a	5,4 AB,ab	5,4 AB,ab	5,4 AB,ab	6,0 B,b	6,0 B,a
AMP+RT3	5,0 A,a	5,0 A,a	5,6 AB,a	5,6 AB,ab	5,6 AB,ab	6,0 B,b	6,0 B,a
AMA+RT3	5,0 A,a	5,0 A,a	5,0 A,a	5,4 AB,ab	5,4 AB,b	6,0 B,b	6,0 B,a
TT+RT4	5,0 A,a	5,4 AB,a	5,6 AB,ab	5,6 AB,ab	6,0 B,b	6,8 C,c	6,8 C,b
AMP+RT4	5,0 A,a	5,0 A,a	5,2 A,a	5,2 A,a	5,6 AB,ab	6,4 B,bc	6,4 B,ab
AMA+RT4	5,0 A,a	5,2 A,a	5,2 A,a	5,2 A,a	5,6 AB,b	6,0 B,b	6,2 B,a

\*\* Não foram realizadas medidas.

Médias seguidas por mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si (Tukey,  $p < 0,05$ ).

Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si (Tukey,  $p < 0,05$ ).

*Murchamento.* Na Figura 19 são apresentadas as curvas com valores médios de murchamento para figos. Observa-se que as frutas do tratamento testemunha, juntamente com os tratamentos AMP e AMA armazenados sob o RT1, apresentaram as maiores notas para este atributo ao final do período de armazenamento. Estes resultados coincidem com os obtidos pelo tratamento testemunha para perda de massa (Figura 14), uma vez que o avanço no murchamento das frutas está relacionado com a perda de água do produto pela transpiração.

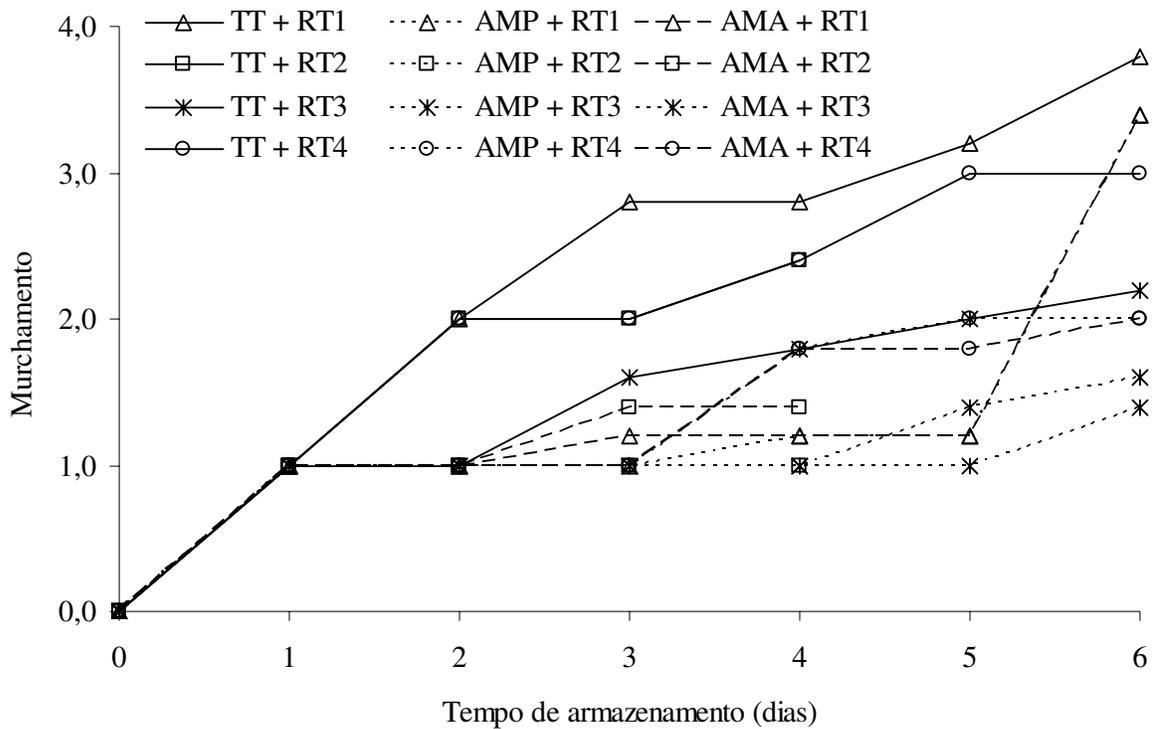


Figura 19. Valores médios da avaliação visual do murchamento para figos dos tratamentos testemunha (TT), atmosfera modificada passiva (AMP) e atmosfera modificada ativa (AMA), submetidos aos quatro regimes de variação de temperatura.

Pela Tabela 12, verifica-se que a partir do segundo dia de armazenamento o tratamento testemunha apresentou diferença significativa em relação aos tratamentos com atmosfera modificada para os regimes térmicos 1, 2 e 4. Os tratamentos com AMP e AMA mantiveram baixos índices de murchamento até o quinto dia de armazenamento, motivo pelo qual as frutas destes tratamentos apresentaram melhor aparência que as do tratamento testemunha.

Tabela 12. Valores médios e comparação de médias das notas atribuídas à evolução do murchamento de figos dos tratamentos testemunha, atmosfera modificada passiva e atmosfera modificada ativa, armazenados sob os quatro regimes térmicos.

Tratamento	Tempo de Armazenamento (dias)						
	0	1	2	3	4	5	6
TT + RT1	0	1,0 A,a	2,0 B,b	2,8 C,c	2,8 C,c	3,2 C,c	3,8 CD,d
AMP+RT1	0	1,0 A,a	1,0 A,a	1,0 A,a	1,2 A,a	1,2 A,a	3,4 B,cd
AMA+RT1	0	1,0 A,a	1,0 A,a	1,2 A,a	1,2 A,a	1,2 A,a	3,4 B,cd
TT+RT2	0	1,0 A,a	2,0 B,b	2,0 B,b	2,4 BC,bc	**	**
AMP+RT2	0	1,0 A,a	1,0 A,a	1,0 A, a	1,0 A,a	**	**
AMA+RT2	0	1,0 A,a	1,0 A,a	1,4 A,a	1,4 A,ab	**	**
TT+RT3	0	1,0 A,a	1,0 A,a	1,6 B,ab	1,8 B,b	2,0 BC,b	2,2 C,b
AMP+RT3	0	1,0 A,a	1,0 A,a	1,0 A,a	1,0 A,a	1,4 AB,ab	1,6 B,a
AMA+RT3	0	1,0 A,a	1,0 A,a	1,0 A,a	1,0 A,a	1,0 A,a	1,4 A,a
TT+RT4	0	1,0 A,a	2,0 B,b	2,0 B,b	2,4 BC,bc	3,0 C,c	3,0 C,c
AMP+RT4	0	1,0 A,a	1,0 A,a	1,0 A,a	1,8 AB,b	2,0 B,b	2,0 B,ab
AMA+RT4	0	1,0 A,a	1,0 A,a	1,0 A,a	1,8 AB,b	1,8 AB,b	2,0 B,ab

\*\* Não foram realizadas medidas.

Médias seguidas por mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si (Tukey,  $p < 0,05$ ).

Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si (Tukey,  $p < 0,05$ ).

*Danos físicos e manchas.* Apesar das frutas selecionadas estarem isentas de danos físicos, os danos mecânicos, causados durante o transporte ou mesmo durante a manipulação destas, provocaram o aparecimento de manchas no figo, identificadas pelo escurecimento da epiderme em algumas regiões. Nos tratamentos com atmosfera modificada, ocorreu leve a moderada condensação de vapor de água na superfície interna do filme plástico, porém não foi observada condensação de vapor na superfície das frutas. Esta condensação facilitou o aparecimento de manchas nas frutas dos tratamentos AMP e AMA. Verifica-se, pela Figura 20, que tais danos foram discretamente observados no segundo dia de armazenamento para todos os regimes térmicos. A partir do terceiro dia, as frutas do tratamento testemunha submetidas aos quatro regimes térmicos, e as frutas dos tratamentos AMP e AMA submetidas ao RT1 apresentaram maior incidência de danos e manchas, alcançando no último dia de armazenamento os maiores índices (Tabela 13). As frutas do tratamento testemunha, no quarto dia de armazenamento, não apresentavam condições de comercialização para todos os regimes

térmicos, justificado pelas maiores notas atribuídas às frutas deste tratamento. Penteado (1998) obteve resultado semelhante no armazenamento de figos a 25°C, os quais a partir do quarto dia já estavam completamente deteriorados. O efeito dos regimes térmicos 3 e 4 na aparência das frutas do tratamento testemunha não foi tão intenso quanto o efeito do RT1. No entanto, os altos índices de perda de massa e conseqüente murchamento das frutas tornaram-nas impróprias para comercialização. Os tratamentos com AMP e AMA armazenados sob os regimes térmicos 2, 3 e 4 foram eficientes na manutenção da qualidade das frutas, mantendo-as com boa aparência até o final do período de armazenamento.

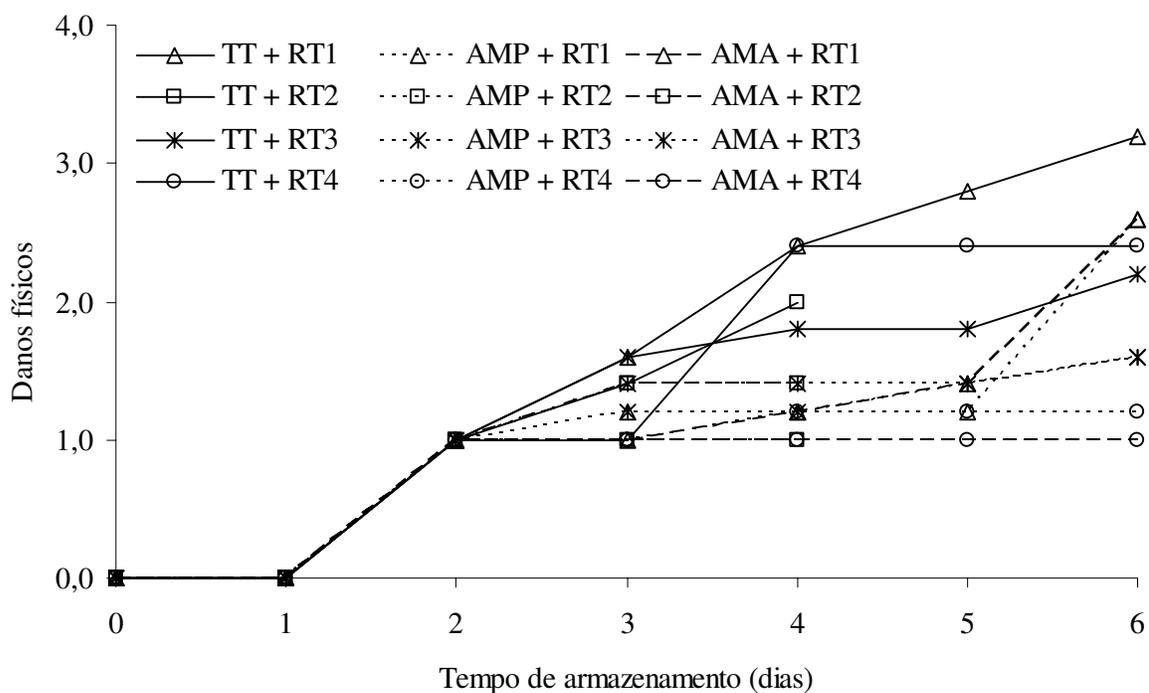


Figura 20. Notas médias para avaliação visual de danos físicos em figos dos tratamentos testemunha (TT), atmosfera modificada passiva (AMP) e atmosfera modificada ativa (AMA), submetidos aos quatro regimes de variação de temperatura.

Tabela 13. Valores médios e comparação de médias das notas atribuídas à evolução de danos físicos para figos dos tratamentos testemunha, atmosfera modificada passiva e atmosfera modificada ativa, armazenados sob os quatro regimes térmicos.

Tratamento	Tempo de Armazenamento (dias)						
	0	1	2	3	4	5	6
TT + RT1	0	0	1,0±0,0 A,a	1,6±0,5 B,b	2,4±0,5 BC,cd	2,8±0,4 CD,c	3,2±0,8 D,d
AMP+RT1	0	0	1,0±0,0 A,a	1,2±0,4 A,a	1,2±0,4 A,a	1,2±0,4 A,a	2,6±0,8 B,c
AMA+RT1	0	0	1,0±0,0 A,a	1,0±0,0 A,a	1,2±0,4 A,a	1,4±0,5 AB,ab	2,6±0,9 C,c
TT+RT2	0	0	1,0±0,0 A,a	1,4±0,5 B,ab	2,0±0,0 C,c	**	**
AMP+RT2	0	0	1,0±0,0 A,a	1,0±0,0 A,a	1,0±0,0 A,a	**	**
AMA+RT2	0	0	1,0±0,0 A,a	1,4±0,5 B,ab	1,4±0,5 B,ab	**	**
TT+RT3	0	0	1,0±0,0 A,a	1,6±0,5 B,b	1,8±0,4 B,b	1,8±0,4 B,b	2,2±0,8 BC,c
AMP+RT3	0	0	1,0±0,0 A,a	1,4±0,5 B,ab	1,4±0,5 B,ab	1,4±0,5 B,ab	1,6±0,5 B,b
AMA+RT3	0	0	1,0±0,0 A,a	1,2±0,4 A,a	1,2±0,4 A,a	1,4±0,5 AB,ab	1,6±0,5 B,b
TT+RT4	0	0	1,0±0,0 A,a	1,0±0,0 A,a	2,4±0,89 B,cd	2,4±0,9 B,c	2,4±0,9 B,c
AMP+RT4	0	0	1,0±0,0 A,a	1,0±0,0 A,a	1,2±0,4 A,a	1,2±0,4 A,a	1,2±0,4 A,a
AMA+RT4	0	0	1,0±0,0 A,a	1,0±0,0 A,a	1,0±0,0 A,a	1,0±0,0 A,a	1,0±0,0 A,a

\*\* Não foram realizadas medidas.

Médias seguidas por mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si (Tukey,  $p < 0,05$ ).

Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si (Tukey,  $p < 0,05$ ).

*Ocorrência de podridões.* Na Figura 21 são apresentados os valores médios do número de figos com podridão por embalagem para os tratamentos testemunha (TT), AMP e AMA, submetidos aos quatro regimes de variação de temperatura.

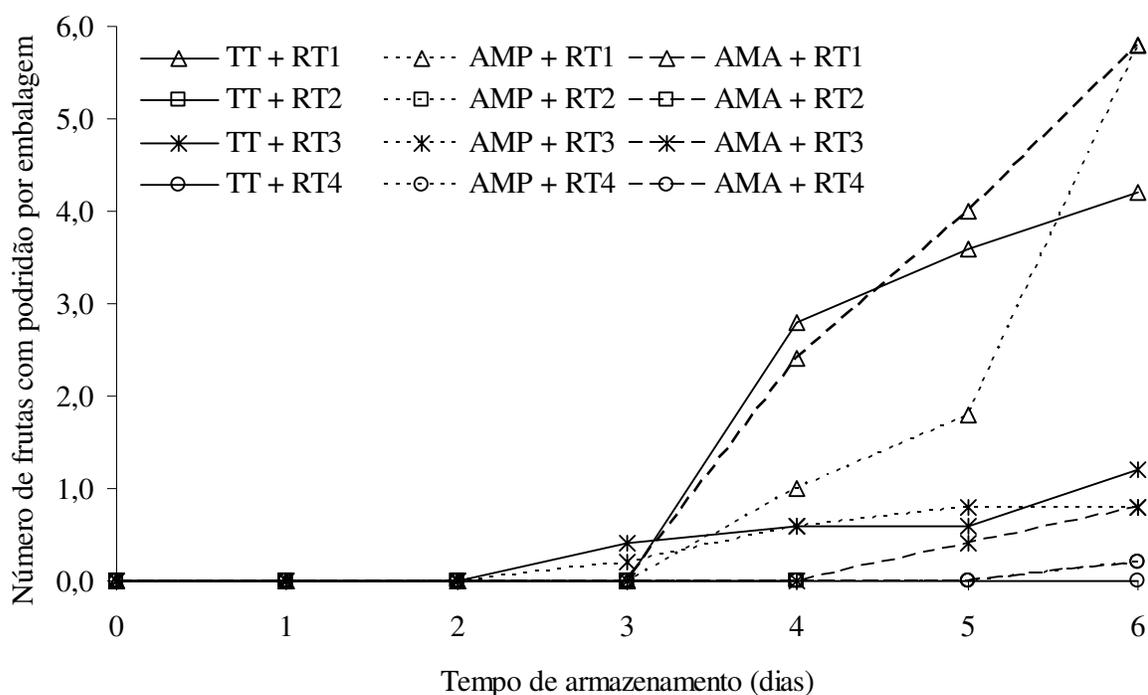


Figura 21. Valores médios do número de figos com podridão por embalagem para os tratamentos testemunha (TT), atmosfera modificada passiva (AMP) e atmosfera modificada ativa (AMA), submetidos aos quatro regimes de variação de temperatura.

Para o RT1, observa-se que ocorreu podridão nas frutas a partir quarto dia de armazenamento, tanto para as frutas do tratamento testemunha quanto para as armazenadas com atmosfera modificada. As frutas armazenadas com AMP e AMA apresentaram maior desenvolvimento de podridão devido à condensação de vapor de água no interior das embalagens, facilitando o desenvolvimento de microorganismos. De acordo com Kader, Zagory e Kerbel (1989), esta é uma das principais desvantagens do uso de filmes plásticos no armazenamento de frutas. D'Aquino *et al.* (1998) e Penteado (1998) observaram a ocorrência de podridão para figos armazenados com e sem atmosfera modificada, sem diferença entre os tratamentos. Estudos realizados por Colelli, Mitchell e Kader (1991) e Neves, Rodrigues e Vieites (2002) indicam a efetividade de baixas temperaturas para conter o desenvolvimento de podridão no figo. Esta tendência pode ser observada na Tabela 14, em que os tratamentos submetidos aos regimes térmicos 2 e 4, os quais mantiveram menores temperaturas ao longo do armazenamento, apresentaram menor índice de desenvolvimento de podridão.

Tabela 14. Número médio de frutas com ocorrência de podridão por embalagem ao longo do período de armazenamento.

Tratamento	Tempo de Armazenamento (dias)						
	0	1	2	3	4	5	6
TT + RT1	0	0	0	0	2,8	3,6	4,2
AMP+RT1	0	0	0	0	1,0	1,8	5,8
AMA+RT1	0	0	0	0	2,4	4,0	5,8
TT+RT2	0	0	0	0	0	**	**
AMP+RT2	0	0	0	0	0	**	**
AMA+RT2	0	0	0	0	0	**	**
TT+RT3	0	0	0	0,4	0,6	0,6	1,2
AMP+RT3	0	0	0	0,2	0,6	0,8	0,8
AMA+RT3	0	0	0	0	0	0,4	0,8
TT+RT4	0	0	0	0	0	0	0
AMP+RT4	0	0	0	0	0	0	0,2
AMA+RT4	0	0	0	0	0	0	0,2

\*\* Não foram realizadas medidas.

## 5 CONCLUSÕES

Os tratamentos com modificação atmosférica foram eficientes na manutenção da qualidade do figo, apresentando baixos índices de perda de massa, pois o filme de polietileno de baixa densidade apresenta baixa permeabilidade ao vapor de água, agindo como uma barreira contra a perda de água. Estes tratamentos apresentaram os melhores índices de qualidade até o final do armazenamento, aumentando em 50% o período de armazenamento das frutas.

Devido à elevada permeabilidade do filme plástico utilizado aos gases oxigênio e gás carbônico, as concentrações de gás carbônico nas embalagens apresentaram tendência de equilíbrio para os tratamentos com atmosfera modificada passiva e atmosfera modificada ativa, indicando que, neste caso, deve ser dada preferência à atmosfera modificada passiva.

Os efeitos das variações de temperatura às quais o figo foi submetido nos regimes térmicos 3 e 4 mostraram ser menos prejudiciais à qualidade do produto do que quando se utiliza temperatura elevada e constante durante todo o período de armazenamento.

A temperatura de armazenagem das frutas mostrou ser a condição determinante para manutenção da qualidade das mesmas. Apesar dos tratamentos com atmosfera modificada apresentarem resultados ligeiramente melhores que os tratamentos sem modificação atmosférica, sua utilização deve ser complementar ao uso da refrigeração para se obter melhores resultados.

Não se recomenda a utilização da firmeza como índice de qualidade em figos pois apresentaram grande variabilidade.

## **6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Para trabalhos futuros, sugere-se que sejam estudados os efeitos de diferentes filmes plásticos, com menores taxas de permeabilidade ao oxigênio e gás carbônico, no acondicionamento de figos, tanto à temperatura ambiente como para os regimes térmicos de interesse.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASAE STANDARDS. Compression Test of Food Materials of Convex Shape. **ASAE Standard**: ASAE S368.2, p.472-476, 1994.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry**. Arlington, Virginia, USA. 16 ed. v.II, 1995.

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

BONATO, P.S. Cromatografia Gasosa. In: COLLINS, Carol H.; BRAGA, Gilberto L.; BONATO, Pierina Sueli. (Org.) **Fundamentos de Cromatografia**. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2006.453p.

BRASIL. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Estatísticas. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br>>. Acesso em: 04/08/2006.

CAMERON, A.C.; TALASILA, P.C.; JOLLES, D.W. Predicting film permeability needs for modified-atmosphere packaging of lightly processed fruits and vegetables. **Hortscience**, v.30, p.25-34, 1995.

CAMPOS, A.D. **Aspectos Pós-Colheita do Figo**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.17, n.180, p.19-21, 1994.

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

ÇELIKEL, F.G.; KARAÇALI, I. Effects of harvest maturity and precooling on fruit quality and longevity of 'Bursa Siyahi' figs (*Ficus carica* L.). **Acta Horticulturae**, v.480, p.283-288, dec. 1998.

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

COLELLI, G.; MITCHELL, F.G.; KADER, A.A. Extension of Postharvest life of 'Mission' figs by CO<sub>2</sub>-enriched atmospheres. **Hortscience**, vol. 26, n.9, p.1193-1195, sep. 1991.

DAY, B.P.F. Fresh prepared produce: GMP for high oxygen MAP and non-sulphite dipping. Hungary: Campden & Chorleywood Food Research Association Group comprises, Guideline n.31, 2001.

D'AQUINO, S.; PIGA, A.; MOLINU, M.G.; AGABBIO, M.; PAPOFF, C.M. Maintaining quality attributes of "Craxiou de Porcu" fresh fruit in simulated marketing conditions by modified atmosphere. **Acta Horticulturae**, 480, p.289-294. dec. 1998.

DURIGAN, J.F. Pós-Colheita do Figo. In: Simpósio Brasileiro sobre a Cultura do Figo. **Anais...** Ilha Solteira: Funep, 1999. p.213-225.

FLORES, F.B.; MARTINEZ-MADRID, M.C.; AMOR, M.B.; PECH, J.C.; LATCHÉ, A.; ROMOJARO, F. Modified atmosphere packaging confers additional chilling tolerance on ethylene-inhibited cantaloupe Charentais melon fruits. **European Food Research Technology**, 2004, v.219, p.614-619, out 2004.

GOMES, D.; FERRAZ, A.C.O. Variabilidade de parâmetros mecânicos de bagos de uva 'Niagara Rosada'. Congresso Brasileiro de Viticultura e Enologia, 11. **Anais...** Bento Gonçalves-RS: Embrapa uva e vinho, out. 2005.(Documento 55).

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Banco de dados agregados - Produção Agrícola Municipal. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: 11/01/2006.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz** - Métodos químicos e físicos para análise de alimentos. 2ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, v.I, 371p. 1976.

KADER, A.A.; WATKINS, C.B. Modified Atmosphere Packaging - Toward 2000 and Beyond. **HortTechnology**. v.10, n. 3, p.483-486, July-September, 2000.

KADER, A.A.; ZAGORY, D.; KERBEL, E. L. Modified Atmosphere Packaging of fruits and vegetables. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Boca Raton, v. 28, n.1, p. 1-30. 1989.

KADER, A.A. **Postharvest Technology of Horticultural Crops**. 3<sup>rd</sup> ed. University of California, California: Publication 3311, 2002.

MAREI, N.; CRANE, J.C.; Growth and respiratory response of fig (*Ficus carica* L. cv. Mission) fruits to ethylene. **Plant Physiology**, n.48, fev, p.249-254, 1971.

NETO, B.B.; SCARMINIO, I.S.; BRUNS, R.E. **Como fazer experimentos: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2001.

NEVES, L.C.; RODRIGUES, A.C.; VIEITES, R.L. Polietileno de baixa densidade (PEBD) na conservação pós-colheita de figos cv. 'Roxo de Valinhos'. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticabal - SP, v. 24, n.1, p. 57-62, abril 2002.

PANTASTICO, ER. B. **Postharvest Physiology, Handling and utilization of tropical and subtropical fruits and vegetables**. Westport, Connecticut: The AVI Publishing company, INC. p.560. 1975.

PENTEADO, S.R. **Uso de atmosfera modificada e embalagens ativas, na conservação do figo 'Roxo de Valinhos' (*Ficus carica L.*)**. 1998. 105 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – ESALQ, Piracicaba – SP.

PIGA, A.; D'AQUINO, S.; AGABBIO, M.; PAPOFF, C.M. Short-term nitrogen atmosphere exposure extends shelf-life of fresh 'Niedda Longa' fig fruits. **Acta Horticulturae**, 480, 295-300, dec. 1998.

RYALL, A.; PENTZER, W. T. **Handling, Transportation and Storage of Fruits and Vegetables**. USA. The Saybrook Press, Inc. Second Edition, Volumes 1 & 2, 1982.

SHEWFELT, R.L.; PRUSSIA, S.E. **Postharvest Handling**. USA: Academic Press, Inc, 1993.

THOMPSON, J.F.; BISHOP, C.F.H.; BRECHT, P.E. **Air Transport of Perishable Products**. University of California, California, Publication 21618, 2004.

## **8 ANEXOS**

**1. Dados experimentais da variação de temperatura da polpa dos figos e do ar interno da câmara fria durante o armazenamento sob os quatro regimes térmicos estudados.**

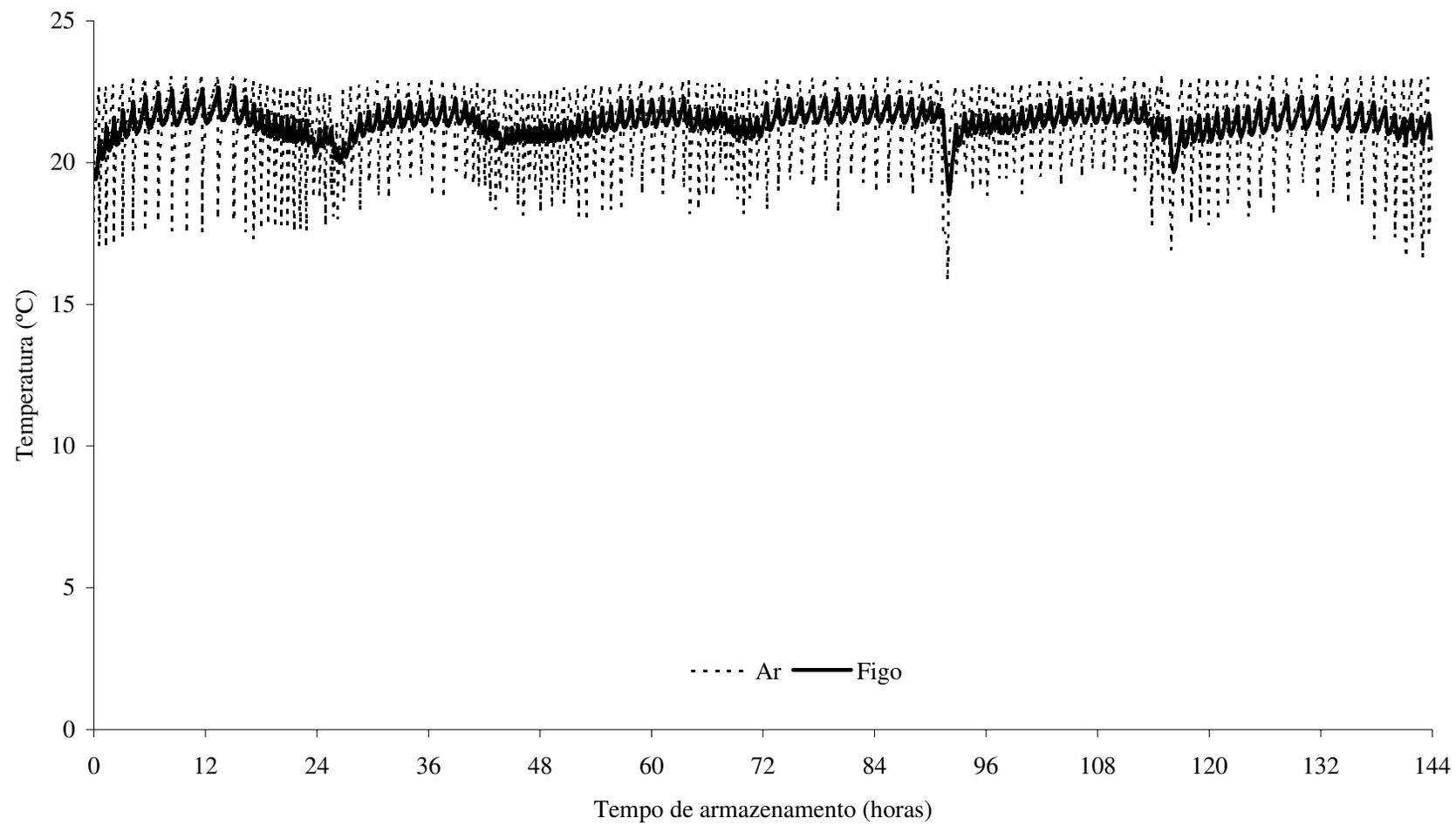


Figura 22. Variação de temperatura da polpa de figos sem tratamento e do ar interno da câmara fria para o Regime Térmico 1, durante o período de armazenamento.

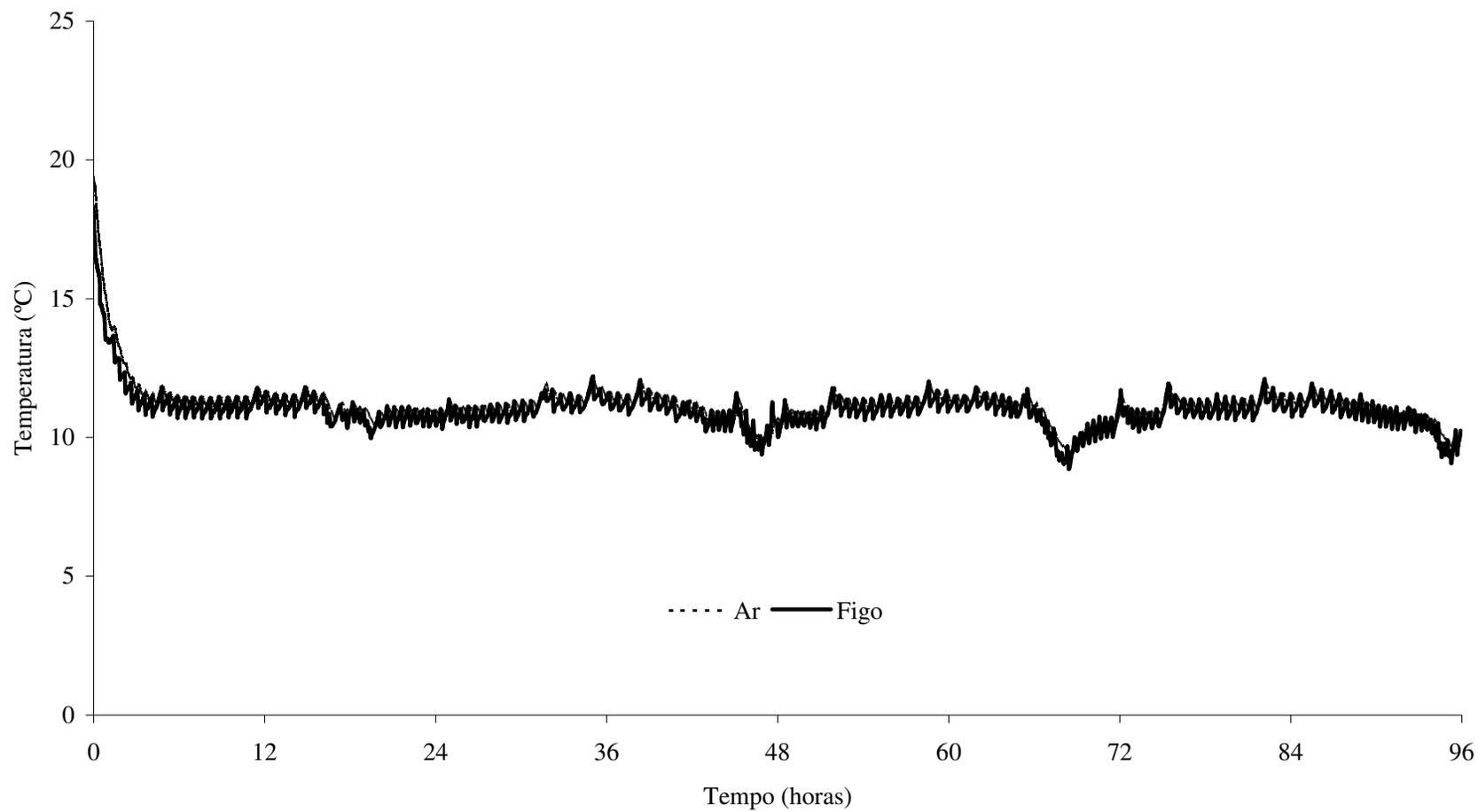


Figura 23. Variação de temperatura da polpa de figos sem tratamento e do ar interno da câmara fria para o Regime Térmico 2, durante o período de armazenamento.

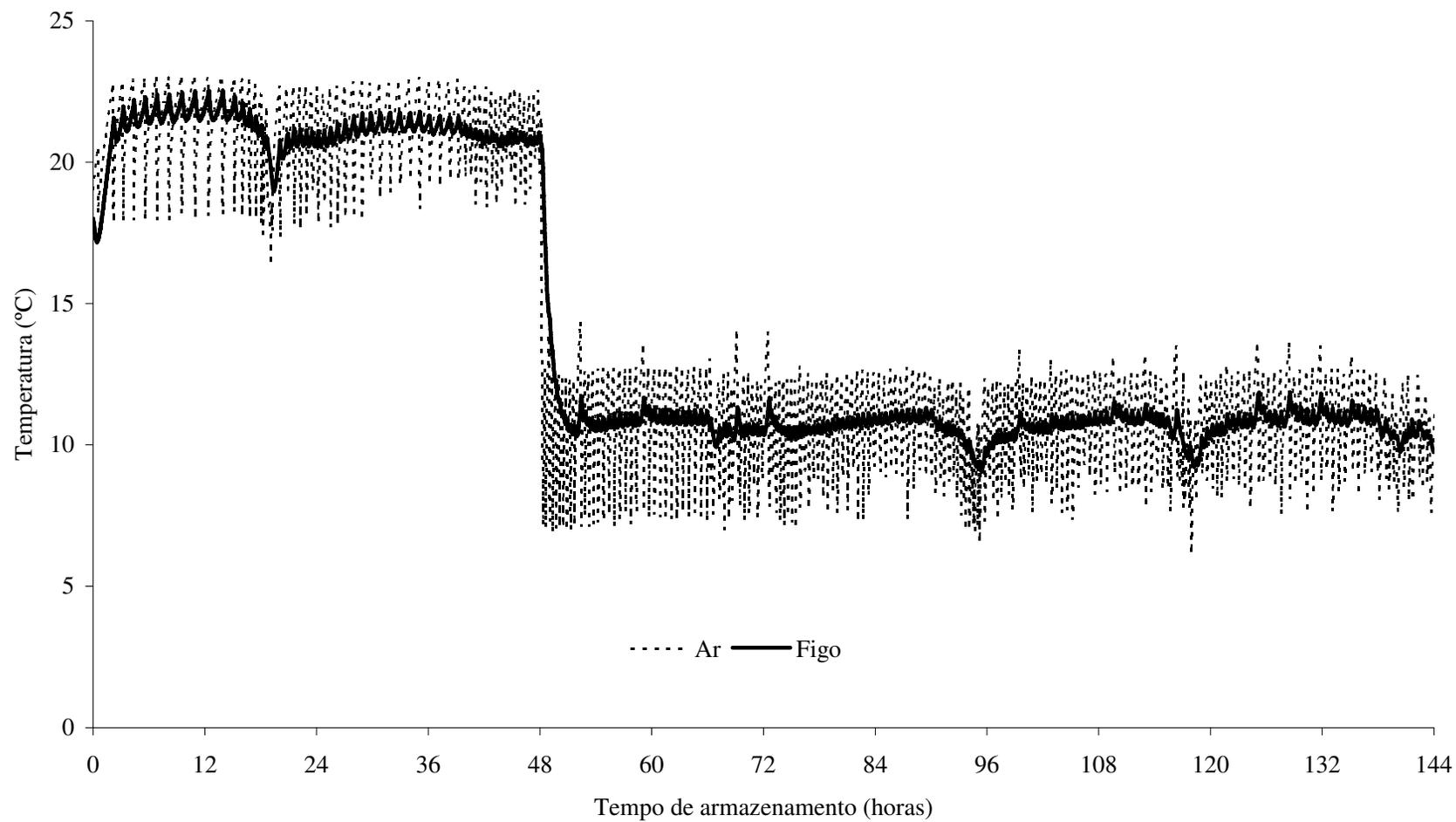


Figura 24. Variação de temperatura da polpa de figos sem tratamento e do ar interno da câmara fria para o Regime Térmico 3, durante o período de armazenamento.

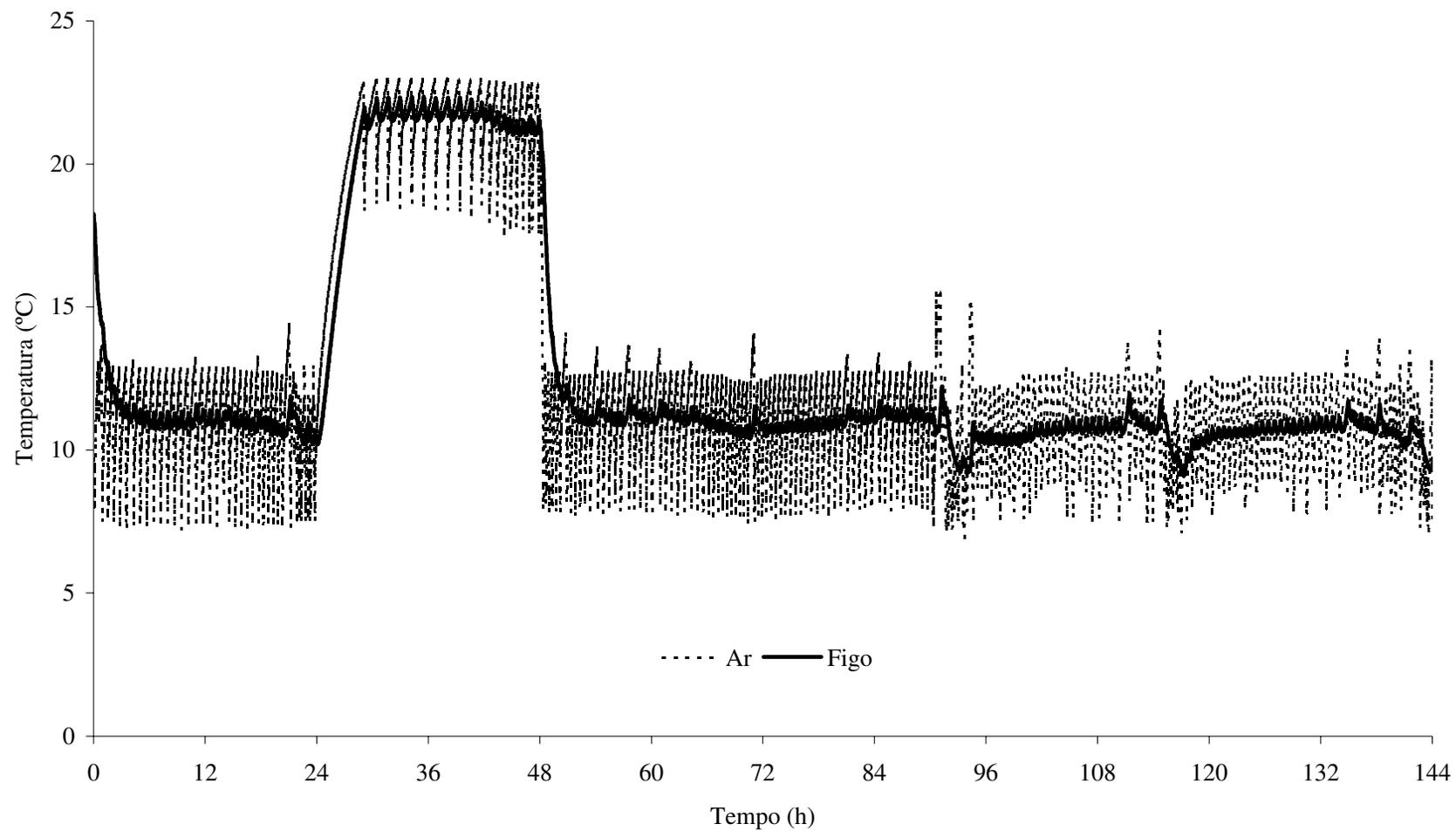


Figura 25. Variação de temperatura da polpa de figos sem tratamento e do ar interno da câmara fria para o Regime Térmico 4, durante o período de armazenamento.

**2. Análise de variância da composição gasosa nas embalagens com atmosfera modificada passiva e atmosfera modificada ativa armazenadas sob os quatro regimes térmicos.**

Tabela 15. Análise de variância para a concentração de gás carbônico nas embalagens dos tratamentos AMP e AMA, ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte de variação	GL	SO	OM	Fvalue	Pr > F
Tratamento	1	24,06	24,09	18,30	< 0,0001
RT	3	30,92	10,30	7,83	< 0,0001
Dia	5	449,16	89,83	68,22	< 0,0001
Tratamento x RT	3	30,05	10,02	7,61	< 0,0001
Tratamento x Dia	5	139,07	27,81	21,12	< 0,0001
RT x Dia	13	269,23	20,71	15,73	< 0,0001
Trat x RT x Dia	13	84,77	6,52	4,95	< 0,0001
Tratamento	43	1027,30	23,89	18,14	< 0,0001
Resíduo	176	231,74	1,32		
Média (%)	6,61				
Desvio Padrão	1,14				
CV (%)	17,35				

Tabela 16. Análise de variância para a concentração de oxigênio nas embalagens dos tratamentos com AMP e AMA, ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte de variação	GL	SO	OM	Fvalue	Pr > F
Tratamento	1	13,29	13,29	2,64	0,1062
RT	3	407,58	135,86	26,95	< 0,0001
Dia	5	1177,29	235,45	46,71	< 0,0001
Tratamento x RT	3	123,92	41,31	8,19	< 0,0001
Tratamento x Dia	5	285,76	57,15	11,34	< 0,0001
RT x Dia	13	348,37	26,79	5,32	< 0,0001
Trat x RT x Dia	13	106,19	8,16	1,62	< 0,0832
Tratamento	43	2462,41	57,26	11,36	< 0,0001
Resíduo	176	887,15	5,04		
Média (%)	13,63				
Desvio Padrão	2,24				
CV (%)	16,47				

Tabela 17. Análise de variância para a concentração de etileno nas embalagens dos tratamentos com AMP e AMA, ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte de variação	GL	SO	QM	Fvalue	Pr > F
Tratamento	1	0,58	0,58	0,00	0,9590
RT	3	6196,76	2065,58	9,42	< 0,0001
Dia	5	8873,72	1774,74	8,09	< 0,0001
Tratamento x RT	3	400,97	133,66	0,61	0,6098
Tratamento x Dia	5	3021,92	604,38	2,76	0,0201
RT x Dia	13	11313,40	870,26	3,97	< 0,0001
Trat x RT x Dia	13	4421,87	340,14	1,55	0,1037
Tratamento	43	34229,23	796,03	3,63	< 0,0001
Resíduo	176	38608,95	219,36		
Média (%)	12,90				
Desvio Padrão	14,81				
CV (%)	114,76				

**3. Análise de variância dos valores de perda de massa, sólidos solúveis, acidez titulável, pH e firmeza para os tratamentos testemunha, atmosfera modificada passiva e atmosfera modificada ativa armazenados sob os quatro regimes térmicos.**

Tabela 18. Análise de variância para os valores de perda de massa dos tratamentos testemunha, AMP e AMA, armazenados sob os quatro regimes térmicos.

Fonte de variação	GL	SO	OM	Fvalue	Pr > F
Tratamento	2	526,11	263,05	1671,21	< 0,0001
RT	3	154,14	51,38	326,42	< 0,0001
Dia	5	129,85	25,97	164,99	< 0,0001
Tratamento x RT	6	80,48	13,41	85,22	< 0,0001
Tratamento x Dia	10	98,87	9,88	62,82	< 0,0001
RT x Dia	13	23,51	1,81	11,49	< 0,0001
Tratamento	39	1012,98	25,97	165,01	< 0,0001
Resíduo	290	45,64	0,15		
Média (%)	2,21				
Desvio Padrão	0,39				
CV (%)	17,97				

Tabela 19. Análise de variância para os valores de sólidos solúveis obtidos para os tratamentos testemunha, AMP e AMA, armazenados sob os quatro regimes térmicos.

Fonte de variação	GL	SO	OM	Fvalue	Pr > F
Tratamento	2	8,23	4,11	13,12	< 0,0001
RT	3	26,32	8,77	27,94	< 0,0001
Dia	2	0,67	0,33	1,06	0,3472
Tratamento x RT	6	5,97	0,99	3,17	0,0052
Tratamento x Dia	4	5,87	1,47	4,67	0,0012
RT x Dia	5	6,21	1,24	3,96	0,0018
Trat x RT x Dia	10	8,32	0,83	2,65	0,0045
Tratamento	32	61,59	1,92	6,13	< 0,0001
Resíduo	231	72,52	0,31		
Média (°Brix)	12,05				
Desvio Padrão	0,56				
CV (%)	4,64				

Tabela 20. Análise de variância para os valores de acidez titulável obtidos para os tratamentos testemunha, AMP e AMA, armazenados sob os quatro regimes térmicos.

Fonte de variação	GL	SO	OM	Fvalue	Pr > F
Tratamento	2	0,0047	0,0023	2,09	0,1266
RT	3	0,01040	0,0346	30,71	< 0,0001
Dia	2	0,0163	0,0081	7,22	0,0009
Tratamento x RT	6	0,0137	0,0022	2,04	0,0619
Tratamento x Dia	4	0,0022	0,0005	0,50	0,7378
RT x Dia	5	0,0128	0,0025	2,28	0,0475
Trat x RT x Dia	10	0,0107	0,0011	0,95	0,4889
Tratamento	32	0,16	0,005	4,56	< 0,0001
Resíduo	231	0,26	0,001		
Média (%)	0,20				
Desvio Padrão	0,03				
CV (%)	16,41				

Tabela 21. Análise de variância para os valores de pH dos tratamentos testemunha, AMP e AMA, armazenados sob os quatro regimes térmicos.

Fonte de variação	GL	SO	OM	Fvalue	Pr > F
Tratamento	2	0,25	0,12	8,45	0,0003
RT	3	3,75	1,25	85,51	< 0,0001
Dia	2	1,08	0,54	37,23	< 0,0001
Tratamento x RT	6	1,35	0,22	15,44	< 0,0001
Tratamento x Dia	4	0,17	0,04	2,97	0,0204
RT x Dia	5	0,68	0,13	9,36	< 0,0001
Trat x RT x Dia	10	0,34	0,03	2,33	0,0124
Tratamento	32	7,63	0,24	16,33	< 0,0001
Resíduo	231	3,37	0,015		
Média	5,03				
Desvio Padrão	0,12				
CV (%)	2,40				

Tabela 22. Análise de variância para os valores de energia de deformação obtidos para os tratamentos testemunha, AMP e AMA, armazenados sob os quatro regimes térmicos.

Fonte de variação	GL	SO	QM	Fvalue	Pr > F
Tratamento	2	9220,76	4610,38	51,86	< 0,0001
RT	3	6380,72	2126,91	23,92	< 0,0001
Dia	3	10169,27	3387,75	38,13	< 0,0001
Tratamento x RT	6	3692,03	615,33	6,92	< 0,0001
Tratamento x Dia	4	1750,19	437,55	4,92	0,0008
RT x Dia	8	3637,72	454,72	5,11	< 0,0001
Trat x RT x Dia	10	2616,99	261,70	2,94	0,0016
Tratamento	36	37467,70	1040,77	11,71	< 0,0001
Resíduo	259	23026,52	88,90		
Média (N.mm)	32,52				
Desvio Padrão	9,42				
CV (%)	28,99				

**4. Análise de variância dos parâmetros utilizados para avaliação da aparência dos tratamentos testemunha, atmosfera modificada passiva e atmosfera modificada ativa armazenados sob os quatro regimes térmicos.**

Tabela 23. Análise de variância para o atributo amadurecimento utilizado para avaliação da qualidade do figo.

Fonte de variação	GL	SO	OM	Fvalue	Pr > F
Tratamento	2	5,31	2,66	10,85	< 0,0001
RT	3	6,41	2,14	8,73	< 0,0001
Dia	6	41,21	6,87	28,05	< 0,0001
Tratamento x RT	6	4,83	0,80	3,29	0,0038
Tratamento x Dia	12	10,15	0,85	3,46	< 0,0001
RT x Dia	16	7,59	0,47	1,94	0,0170
Trat x RT x Dia	32	11,44	0,36	1,46	0,0566
Tratamento	77	86,94	1,12	4,61	< 0,0001
Resíduo	312	163,34	0,24		
Média	5,42				
Desvio Padrão	0,49				
CV (%)	9,12				

Tabela 24. Análise de variância para o atributo murchamento utilizado para avaliação da qualidade do figo.

Fonte de variação	GL	SO	OM	Fvalue	Pr > F
Tratamento	2	43,03	21,51	322,73	< 0,0001
RT	3	13,97	4,65	69,86	< 0,0001
Dia	6	75,61	12,60	189,03	< 0,0001
Tratamento x RT	6	8,07	1,34	20,18	< 0,0001
Tratamento x Dia	12	22,04	1,83	27,55	< 0,0001
RT x Dia	16	15,27	0,95	14,32	< 0,0001
Trat x RT x Dia	32	10,32	0,32	4,84	< 0,0001
Tratamento	77	188,33	2,44	36,69	< 0,0001
Resíduo	312	20,80	0,06		
Média	1,47				
Desvio Padrão	0,25				
CV (%)	17,57				

Tabela 25. Análise de variância para o atributo dano físico utilizado para avaliação da qualidade do figo.

Fonte de variação	GL	SO	OM	Fvalue	Pr > F
Tratamento	2	16,40	8,20	59,24	< 0,0001
RT	3	4,52	1,51	10,89	< 0,0001
Dia	6	37,97	6,33	45,71	< 0,0001
Tratamento x RT	6	3,68	0,61	4,43	0,0003
Tratamento x Dia	12	19,86	1,65	11,96	< 0,0001
RT x Dia	16	5,46	0,34	2,47	0,0015
Trat x RT x Dia	32	6,71	0,21	1,52	0,0408
Tratamento	77	94,63	1,22	8,88	< 0,0001
Resíduo	312	43,20	0,14		
Média	1,29				
Desvio Padrão	0,37				
CV (%)	28,91				

Tabela 26. Análise de variância para o atributo podridão utilizado para avaliação da qualidade do figo.

Fonte de variação	GL	SO	OM	Fvalue	Pr > F
Tratamento	2	1,57	0,78	2,09	0,1256
RT	3	131,94	43,98	116,99	< 0,0001
Dia	6	161,80	26,96	71,55	< 0,0001
Tratamento x RT	6	10,69	1,78	4,73	< 0,0001
Tratamento x Dia	12	5,51	0,46	1,22	0,2683
RT x Dia	16	182,55	11,40	30,27	< 0,0001
Trat x RT x Dia	32	17,55	0,54	1,46	0,0581
Tratamento	77	511,64	6,64	17,63	< 0,0001
Resíduo	312	117,60	0,37		
Média	0,47				
Desvio Padrão	0,61				
CV (%)	129,43				