

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS/UNICAMP
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA/FEAGRI**

**RESFRIAMENTO RÁPIDO E ARMAZENAMENTO
REFRIGERADO DO FIGO (*Ficus carica* L.) `ROXO DE
VALINHOS´ E SEUS EFEITOS NA QUALIDADE DA FRUTA**

SAUL DUSSÁN SARRIA

**CAMPINAS, SP
ABRIL DE 2003**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS/UNICAMP
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA/FEAGRI**

**RESFRIAMENTO RÁPIDO E ARMAZENAMENTO
REFRIGERADO DO FIGO (*Ficus carica* L.) `ROXO DE
VALINHOS´ E SEUS EFEITOS NA QUALIDADE DA FRUTA**

Tese submetida à banca examinadora para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola na área de concentração Tecnologia Pós-Colheita de Frutas e Hortaliças.

SAUL DUSSÁN SARRIA

Orientador : Prof. Dr. Sylvio Luís Honório

CAMPINAS, SP

ABRIL DE 2003

DEDICATÓRIA

**À Inés e Saul, meus pais;
A Melby Astrid, Nicolás, Vladimir, Fernando e Alberto, meus irmãos;
A toda minha família;
A Dios;**

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer a todas as pessoas que de uma ou outra forma colaboraram com a realização deste projeto. Desta forma, cito aqui a quem merece os meus mais sinceros agradecimentos e que nunca serão suficientes para retribuir o que fizeram por mim e pela pesquisa.

Ao Brasil, este país caloroso que me recebeu e me acolheu durante todos estes anos.

À Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, onde tive o privilégio de desenvolver meus estudos.

À Fundação de Apoio e Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP pelo suporte financeiro a este projeto.

Ao meu orientador Prof. Dr. Sylvio Luís Honório pela sua amizade, orientação na pesquisa e ensinamentos transmitidos ao longo deste tempo.

A minha família na Colômbia por sempre me incentivar e sentirem orgulho de mim.

Aos professores da Unicamp, Prof. Dr. Paulo Ademar Martins Leal, Prof. Dr. Antonio Carlos de Oliveira Ferraz, Prof. Dr. Vivaldo Silveira Junior, Prof. Dr. Inácio Maria Dal Fabbro, Prof. Dr. Kil Jin Park, Profa. Dra. Sônia Maria P. P. Bergamasco e Profa. Dra. Marlene Rita De Queiroz. Aos professores Dr. Khe V. Chau e Dr. Clément Vigneault pelos suportes científicos na pesquisa.

A Flávia Rocha, aluna de iniciação científica pela sua amizade e apoio nas avaliações experimentais.

Aos técnicos da FEAGRI/UNICAMP, Maria Rosália S. Favoretto, Francisco F. de Oliveira, Pedro Luís Magna Fonte, Rosa Helena Aguiar, José Benedito Dos Santos, Leandro Moraes, André Aparecido Nogueira e Clóvis Tristão.

Às secretárias da FEAGRI/UNICAMP, Vânia Ap. Bellodi S. Furlan, Ana Paula Montagner (Aninha), Marta Ap. Rigonatto Vechi e Rosangela Gomes.

A Cristiane Fabiano, de Valinhos-SP, que junto com seu pai, facilitou-me a aquisição do figo para o experimento.

A Jorge Antonio Gordillo Torres (peruano) pela ajuda na montagem dos resfriamentos rápidos.

À empresa RIGESA® – Papel e celulose, pelas embalagens doadas para a realização o projeto.

A todos os colaboradores da FEAGRI/UNICAMP na análise sensorial do figo.

A meus colegas e amigos da FEAGRI/UNICAMP, Delvio Sandri, Maria Madalena Rinaldi, Cinthya Alejandra Castillo Pizarro, Jussara Bertho Fantinatti e José Marcos Leme.

Aos meus amigos, os colombianos: Duvan e Judith, Paul Richard, Silvio Sanchez, Martha e Jaime, Martha Célia e Nora. Os peruanos Carlos (cachetes), Roberto e Enith, Roger, Abel e Mirian, Kati, Marcos e Alcira, Raul e Juan. Os brasileiros: Thais Bianca, Silvério, Kelly, Lana, Aridiana, Adriana, Gisele, Elaine, Mariana, Fabiana, Vânia, Teresa, Clara, Junior, Sissa, Francisco e Leila. Os cubanos: Maria Eugenia e Electo, Vladimir, Martha, Edgardo, Yamilia e Adolfo e Yaimy Nerón Acán. Os Bolivianos: Ramiro Salinas e Maria Inés. Um agradecimento especial para Maria Rosa dos Santos e Carol. Na Colômbia, em Neiva-Huila aos meus amigos opitas, Família Parra, Família Celis Cuevas e Martha Liliana Sanchez Figueroa e sua família.

A Colômbia, “tierra querida...”

MUITO OBRIGADO

MUCHAS GRACIAS.

RESUMO

O figo 'Roxo de Valinhos', atualmente é resfriado lentamente em câmaras frias a temperaturas entre 1 e 3°C, não se sabendo, ao certo, qual o tempo de resfriamento necessário para atingir tal temperatura. Este trabalho se fundamentou na necessidade de avaliar o efeito do resfriamento rápido com ar forçado na qualidade do figo 'Roxo de Valinhos' durante o armazenamento refrigerado. Para isso foram avaliados os principais parâmetros envolvidos no amadurecimento das frutas (perda de peso, percentagem de sólidos solúveis, pH, acidez total titulável, taxa respiratória, módulo de elasticidade aparente e análise sensorial). As frutas foram colhidas em estágio rami (3/4 de maturidade) e tamanho tipo 8 que correspondem a 8 frutas por caixeta somando no total 24 frutas por embalagem. O trabalho foi desenvolvido em duas fases: a inicial na qual foi selecionada a condição (tratamento) mais adequada de fluxo de ar e tipo de embalagem (caixa de madeira, caixa de papelão RIGESA® e uma das caixas de papelão utilizada atualmente para a exportação). Nesta fase foram testadas nove condições de resfriamento (tratamentos: 3 fluxos de ar para 3 tipos embalagens). Os fluxos de ar aplicados foram: 1,8; 2,8 e 4,9 L/s por quilograma de produto resfriado. A temperatura final das frutas no resfriamento rápido, foi de 1°C e a escolha da condição (tratamento) mais adequada de fluxo de ar foi feita com base no comportamento da relação temperatura-tempo de resfriamento rápido e na evolução dos parâmetros envolvidos no amadurecimento da fruta. Após o resfriamento rápido as frutas foram armazenadas à temperatura de $1\pm 1^\circ\text{C}$ e 85% de umidade relativa. Na fase final foi repetido o resfriamento rápido do figo embalado na caixa RIGESA® com o fluxo de ar de 2,8L/s por quilograma de produto, por ter apresentado as melhores condições de transferência de calor e de conservação no armazenamento refrigerado. Uma outra parcela, sem ter recebido resfriamento rápido, foi armazenada diretamente em câmara refrigerada nas mesmas condições das frutas resfriadas rapidamente. Os tempos de resfriamento nas nove condições iniciais foram similares, variando entre 100 e 140 minutos. O resfriamento rápido com ar forçado de figo acondicionado na embalagem RIGESA® apresentou a melhor eficiência de resfriamento, utilizado o fluxo de ar de 2,8L/s.kg, exibindo o maior valor do número de Biot (1,3), do coeficiente de resfriamento ($0,0344\text{min}^{-1}$) e do coeficiente convectivo de transferência de calor de $23,8\text{W/m}^2\text{C}$. O tempo de resfriamento nestas condições com temperatura inicial de 20°C, temperatura final de 1°C e temperatura do ar de resfriamento de 0°C, foi de 110 minutos. O resfriamento rápido com ar forçado do figo 'Roxo de Valinhos' acondicionado na caixa RIGESA® e mantido em armazenamento refrigerado conservou por maior tempo o produto se comparado com o figo resfriado lentamente. Nestas condições o figo resfriado rapidamente conserva-se bem até 36 dias.

PALAVRAS-CHAVE: Frutas, conservação, ar forçado.

ABSTRACT

The fig of the variety 'Roxo de Valinhos' are currently cooled in a cold room at a temperature of $1\pm 1^{\circ}\text{C}$, and it is unknown how long it takes to cool the fruits to that temperature. This work was based on the need to evaluate the effect of forced air precooling on the quality of the fig during cold storage. The main parameters involved in the ripening of the fruits were weight loss, changes in soluble solids, variation in total titratable acidity, changes in texture and pH. In addition, a sensory analysis was performed. The fruits were harvested at the harvest index rami (3/4 of maturity) and size type 8 corresponding to 8 fruits per box, making up a total of 24 fruits per package. The work was developed in two phases: phase 1 - selection of the most adequate conditions (treatment) of air flow and type of package (wooden box, carton box projected by the RIGESA[®] Company and carton box currently used for exportation). In this phase nine conditions of precooling (3 air flows for 3 package types) were tested. The air flows were: 1,8; 2,8 and 4,9 L/s per kilogram of product. The fruits had reached one same final temperature in the precooling (1°C) and the choice of the condition (treatment) more adjusted of air flow was made on the basis of the behavior of the temperature-time of reply in precooling and in the evolution of the involved parameters in the ripening of the fruit. After the precooling the fruits were cold stored at $1\pm 1^{\circ}\text{C}$ and 85% of relative humidity. In the final phase the precooling of the figs packed in the RIGESA[®] pack was repeated with the air flow of 2.8L/s per kilogram of product, for having presented the best conditions of transference of heat and conservation in the cool storage. Another group of fruits without precooling was stored directly in the cold room at the same conditions of the precooled fruits. The cooling times in the nine conditions had been similar, varying between 100 and 140 minutes. The precooling with forced air of fig fruit conditioned in the RIGESA[®] packing presented the best efficiency of precooling, used the air flow of 2.8L/s.kg, the biggest value for the Biot number (1.3) was shown, with a cooling coefficient of 0.0344min^{-1} and convective heat transference coefficient of $23.8\text{W/m}^2\text{C}$. The cooling time to decrease the fruit temperature from 20°C to 1°C with air temperature of 0°C , was of 110 minutes. The precooling with forced air of the figs 'Roxo de Valinhos' in RIGESA[®] carton boxes followed by cold room storage, preserved the figs longer than fruits just stored in the cold room. Precooled figs under suitable storage for a period of 36 days.

KEYS WORDS: fruits, conservation, forced air.

SUMÁRIO

	Pág.
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABELAS	xii
1. INTRODUÇÃO	1
2.OBJETIVOS	4
2.1 Objetivos gerais	4
2.2 Objetivos específicos	4
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3.1 Aspectos gerais da fruta	5
3.2 Desenvolvimento e amadurecimento da fruta	5
3.2.1 Taxa respiratória	7
3.3. Qualidade das frutas e hortaliças	10
3.3.1 Fatores pré-colheita que afetam a qualidade do figo	11
3.3.1.1 Aparência	11
3.3.1.2 Textura	11
3.3.1.3 Sabor e aroma	12
3.3.1.4 Desordens fisiológicas	12
3.4 Práticas de manuseio na produção e comercialização do figo `Roxo de Valinhos´	12
3.5 Cadeia do frio	14
3.6 Propriedades térmicas das frutas	15
3.6.1 Conteúdo de água	16
3.6.2 Condutividade térmica	16
3.6.3 Difusividade térmica	17
3.6.4 Calor específico	18
3.6.5 Coeficiente convectivo superficial de transferência de calor	19
3.7 Armazenamento refrigerado	20
3.8 Resfriamento rápido	21
3.8.1 Resfriamento rápido com ar forçado	30
3.8.2 Fatores que afetam a taxa de resfriamento	34
3.8.2.1 Tipo de embalagem	34
3.8.2.2 Dimensões e forma geométrica do produto	35
3.8.2.3 Fluxo de ar	35

3.8.3 Resfriamento rápido – abordagem matemática do resfriamento rápido de frutas e hortaliças	35
3.8.3.1 Modelos matemáticos para a determinação da taxa e tempo de resfriamento de frutas e hortaliças	41
3.9 Propriedades físicas	42
3.9.1 Forma e tamanho	42
3.9.2 Esfericidade	43
3.9.3 Volume	44
3.10 Propriedades mecânicas	45
3.11 Padronização de produtos hortícolas	49
3.11.1 Embalagem	50
3.11.2 Packinghouse	51
4. MATERIAL E MÉTODOS	54
4.1 Figo	54
4.2 Câmara fria	54
4.3 Sistema de resfriamento por ar forçado	55
4.3.1 Ventilador – características	55
4.4 Embalagem	56
4.5 Avaliação inicial da câmara fria	57
4.6 Determinação das características físicas do figo	57
4.7 Resfriamento rápido	58
4.8 Resfriamento lento	61
4.9 Abordagem matemática do resfriamento rápido	61
4.10 Armazenamento	63
4.10.1 Perda de peso	63
4.10.2 Relação sólidos solúveis/acidez total titulável	64
4.10.3 pH	64
4.11 Análise sensorial	65
4.12 Determinação da taxa respiratória do figo	65
4.13 Determinação do módulo de elasticidade aparente	66
4.14 Planejamento experimental	67
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	70
5.1 Avaliação inicial da câmara fria	70
5.2 Área Superficial	70

5.3 Esfericidade	71
5.4 Volume	71
5.5 Variação da temperatura antes do resfriamento rápido	72
5.6 Resfriamento rápido com ar forçado do figo acondicionado em diferentes embalagens e diferentes fluxos de ar	74
5.7 Armazenamento refrigerado do figo após diferentes condições de resfriamento rápido	91
5.7.1 Perda de peso	91
5.7.2 Relação sólidos solúveis/acidez total titulável	94
5.7.3 Mudanças no pH	97
5.8 Resfriamento rápido com ar forçado do figo acondicionado na caixa de papelão RIGESA®, com fluxo de ar 2,8L/s.kg	100
5.9 Resfriamento lento do figo acondicionado na caixa RIGESA®	103
5.10 Armazenamento refrigerado do figo resfriado rapidamente e lentamente na caixa RIGESA®	105
5.10.1 Perda de peso	105
5.10.2 Relação sólidos solúveis/acidez total titulável	106
5.10.3 Mudanças no pH	109
5.10.4 Análise sensorial	110
5.10.5 Taxa respiratória	111
5.10.6 Módulo de elasticidade aparente	114
6. CONCLUSÕES	117
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	119
ANEXOS	126
ANEXO 1. Análise sensorial do figo `Roxo de Valinhos´	127
ANEXO 2. Análise estatística através do programa ESTAT v. 2.0	128
ANEXO 3. Fotos	149

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1. Resfriamento de Produtos Hortícolas (THOMPSON et al., 1998-traduzido)	26
2. Monitoramento da temperatura na superfície e no centro de uma esfera (Fonte: CHAU, 2001)	29
3. Diâmetros mutuamente perpendiculares da fruta	44
4. Uma esfera em contato com uma superfície plana	47
5. Sistema de resfriamento com ar forçado, tipo túnel californiano	55
6. Localização dos termopares (a) e (b) e do termoanemômetro (c) e (d) na pilha de embalagens	60
7. Fluxograma de procedimento de cálculo dos parâmetros teóricos de resfriamento	62
8. Variação da temperatura do ar de resfriamento e no interior das frutas antes e após o resfriamento rápido	73
9. Distribuição de temperatura experimental e teórica no resfriamento rápido de figo, embalado em caixa de madeira ($v=1,0\text{m/s}$)	79
10. Distribuição de temperatura experimental e teórica no resfriamento rápido de figo, embalado em caixa RIGESA [®] ($v=1,3\text{m/s}$)	80
11. Distribuição de temperatura experimental e teórica no resfriamento rápido de figo, embalado em caixa tipo exportação ($v=3,4\text{m/s}$)	80
12. Distribuição de temperatura experimental e teórica no resfriamento rápido de figo, embalado em caixa de madeira ($v=1,5\text{m/s}$)	81
13. Distribuição de temperatura experimental e teórica no resfriamento rápido de figo, embalado em caixa RIGESA [®] ($v=2,0\text{m/s}$)	81
14. Distribuição de temperatura experimental e teórica no resfriamento rápido de figo, embalado em caixa tipo exportação ($v=5,2\text{m/s}$)	82
15. Distribuição de temperatura experimental e teórica no resfriamento rápido de figo, embalado em caixa de madeira ($v=2,7\text{m/s}$)	82
16. Distribuição de temperatura experimental e teórica no resfriamento rápido de figo, embalado em caixa RIGESA [®] ($v=3,5\text{m/s}$)	83
17. Distribuição de temperatura experimental e teórica no resfriamento rápido de figo, embalado em caixa tipo exportação ($v=9,0\text{m/s}$)	83

18. Perda de peso acumulada do figo durante o armazenamento refrigerado a $1\pm 1^{\circ}\text{C}$ e 85% de UR, para diferentes condições de resfriamento rápido	92
19. Relação Sólidos Solúveis/Acidez Total Titulável do figo durante o armazenamento refrigerado a $1\pm 1^{\circ}\text{C}$ e 85% de UR, para diferentes condições de resfriamento rápido	94
20. Mudanças do pH do figo durante o armazenamento refrigerado a $1\pm 1^{\circ}\text{C}$ e 85% de UR, para diferentes condições de resfriamento rápido	98
21. Distribuição de temperatura experimental e teórica no figo, resfriado em caixa RIGESA [®] ($u=2,1\text{m/s}$)	102
22. Distribuição da temperatura durante o resfriamento lento do figo, embalado na caixa RIGESA [®] . Temperatura do ar 0°C . Temperatura inicial da fruta $24,2^{\circ}\text{C}$	104
23. Perda de peso acumulada do figo armazenado a $1\pm 1^{\circ}\text{C}$ e 85% de UR, após RR e RL	106
24. Mudanças na relação SS/ATT do figo armazenado $1\pm 1^{\circ}\text{C}$ e 85% de UR, após RR e RL	107
25. Mudanças no teor de Sólidos Solúveis (SS) do figo armazenado $1\pm 1^{\circ}\text{C}$ e 85% de UR, após RR e RL	107
26. Mudanças na Acidez Total Titulável do figo armazenado $1\pm 1^{\circ}\text{C}$ e 85% de UR, após RR e RL	108
27. Mudanças do pH no figo armazenado a $1\pm 1^{\circ}\text{C}$ e 85% de UR, após RR e RL	109
28. Produção de CO_2 do figo 'Roxo de Valinhos', no estágio rami, armazenado a $25\pm 1^{\circ}\text{C}$ e 85% de UR	112
29. Produção de CO_2 do figo 'Roxo de Valinhos', no estágio rami, armazenado a $1\pm 1^{\circ}\text{C}$ e 85% de UR	113
30. Compressão axial do figo, carga – deformação	116

LISTA DE TABELAS

	Pág.
1. Taxa respiratória do figo (sem especificar o cultivar) $\text{mgCO}_2/\text{kg.h}$, armazenado a diferentes temperaturas	9
2. Valores médios do conteúdo de água do figo 'Roxo de Valinhos' (%)	16
3. Valores médios de tamanho e massa do figo 'Roxo de Valinhos'	43
4. Esfericidade de algumas frutas	44
5. Características da câmara fria	54
6. Características de operação do ventilador	56
7. Valores da área superficial real do figo	71
8. Fluxos de ar no resfriamento rápido do figo para diferentes regimes de operação do ventilador	76
9. Equações teóricas para cada condição de resfriamento	84
10. Tempo de 1/2 resfriamento e 7/8 de resfriamento calculado do figo com temperatura do ar de resfriamento a 0°C	85
11. Tempos experimentais e de ajuste do resfriamento do figo para $T_f=1^\circ\text{C}$	85
12. Parâmetros de resfriamento do figo, diferença entre h_T e h_E	87
13. Parâmetros de resfriamento do figo, diferença entre os coeficientes de resfriamento	87
14. Teores de sólidos solúveis do figo rami ($^\circ\text{Brix}$) durante o armazenamento sob diferentes condições de resfriamento	95
15. Acidez total titulável do figo rami (%) durante o armazenamento sob diferentes condições de resfriamento	96
16. Resultado das análises realizadas no período de conservação máximo do figo 'Roxo de Valinhos', tipo rami, submetido a diferentes condições de resfriamento rápido e armazenados a 1°C	99
17. Tempos experimentais e de ajuste do resfriamento do figo embalado na caixa RIGESA [®] para $T_f=1^\circ\text{C}$, com fluxo de ar de $2,94\text{L/s.kg}$	102
18. Parâmetros de resfriamento rápido do figo acondicionado em caixa RIGESA [®] diferença entre h_T e h_E , com fluxo de ar de $2,94\text{L/s.kg}$	102

19. Parâmetros de resfriamento rápido do figo acondicionado em caixa RIGESA®	103
20. Valores dos parâmetros avaliados do figo 'Roxo de Valinhos' nos períodos considerados adequados para o armazenamento a $1\pm 1^{\circ}\text{C}$ e 85% de UR	113
21. Valores do diâmetro equivalente e módulo de elasticidade do figo	115

1. INTRODUÇÃO

A produção de alimentos é necessária não só para atender a demanda quantitativa, mas também a demanda qualitativa da população mundial. A magnitude das perdas pós-colheita de frutas em fresco é estimada de 5 a 25% nos países desenvolvidos e de 20 a 50% nos países em desenvolvimento, cifras que dependem do produto. No mundo todo existe a preocupação de aumentar a produção de alimentos, mas não basta obter esse aumento se a qualidade do produto não for satisfatória, além disso, não basta produzir com qualidade se não houver redução nas perdas. Em supermercados, feiras livres e quitandas da cidade de São Paulo (Brasil), observaram-se perdas de figos frescos de até 20%.

Os principais fatores causadores das perdas foram: colheita e embalagem inadequadas, falta de padronização do produto na classificação e péssimas condições de transporte e armazenagem (**TSUNECHIRU et al., 1994**). No Brasil, as maiores regiões produtoras, segundo dados do **IBGE (2000)**, concentram-se em São Paulo, Rio Grande do Sul e Minas Gerais. O Estado de São Paulo é responsável por cerca de 80% da produção brasileira sendo a região de Valinhos a principal produtora do Estado. Atualmente, cerca de 70% dos figos produzidos no Estado de São Paulo destina-se ao consumo em fresco. De acordo com informações da Secretaria da Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo – **SAA (2000)**, o Município de Valinhos apresenta uma área cultivada de 256,30 ha de figo cultivar Roxo de Valinhos o que corresponde a 460.000 pés.

Segundo o **IBRAF (2002)**, o Brasil é um dos três maiores produtores mundiais de frutas, com uma produção que supera os 34 milhões de toneladas/ano. As exportações brasileiras de frutas frescas no primeiro bimestre de 2002 mostram um crescimento de 16,2% em valor e de 48,7% em volume quando comparado com o mesmo período de 2001. Este crescimento foi devido principalmente ao aumento de 200% no volume exportado de banana, 92% de melancia, 60% de limão e 44% para maçã. A cultura do consumidor brasileiro pelo consumo de frutas em fresco esta crescendo, e atualmente o consumo per-capita é de 57kg/ano (**IBRAF, 2002**). Cerca de 70% dos figos produzidos no Estado de São Paulo destinam-se ao consumo em fresco. No mundo os maiores países produtores de figo são a Espanha e a Itália, mas refere-se ao figo turco do grupo Smyrna.

A comercialização mundial atual de frutas e hortaliças em fresco esta entorno de US\$65 bilhões anuais, com taxa média de crescimento de 7% ao ano (**IBRAF, 2002**). A abertura de novos mercados como o caso do Mercosul que exigem produtos de melhor qualidade, o que

torna fundamental o desenvolvimento e/ou adequação de técnicas no manuseio pós-colheita dos produtos hortícolas.

Figos destinados ao mercado local, são colhidos no período da manhã e duas horas após a colheita estão acondicionados e prontos para o transporte. No período entre a colheita e a embalagem no galpão, o produto pode ganhar calor, fato que pode acelerar o seu amadurecimento. O produto é enviado aos entrepostos CEASA/Campinas-SP e CEAGESP/São Paulo-SP, num percurso por rodovia utilizando caminhões, em sua maioria, cobertos com lona. Durante esse período o produto também pode ganhar calor. O figo é mantido, então, à temperatura ambiente até seu destino, isto é, até chegar ao consumidor final. Cerca de 80% da produção de figo de mesa da região de Valinhos é escoada desta maneira. Uma variante diferente ocorre quando o produto é vendido aos supermercados, com embalagem diferenciada e colocado diretamente à disposição dos clientes em balcões refrigerados. Essa venda, no entanto, está limitada às cidades vizinhas a Valinhos.

Na produção e comercialização de frutas e hortaliças tem que se dar sempre atenção às preferências do heterogêneo mercado nacional e internacional, através de um profundo estudo sobre suas características distintas, exigências ou barreiras tarifárias e fitossanitárias. A realização de esforço constante para se alcançar a excelência em qualidade dos produtos comercializados trará conseqüentemente, bons negócios.

Na última década, a produção de frutas no Brasil, ampliou horizontes, ousou novas tecnologias e conquistou mercados ainda inexplorados. Por outro lado, o consumidor está cada dia mais exigente, obrigando o fruticultor a redobrar esforços para cada vez mais, se tornar competitivo.

Sabe-se que o consumo de frutas proporciona importantes benefícios à saúde, com implicações diretas na qualidade de vida. Os benefícios são amplamente divulgados em revistas especializadas e na imprensa falada e escrita. Frequentemente as frutas são indicadas como excelentes aliadas da medicina preventiva, e até mesmo curativa. Nesse sentido, atualmente, refere-se a diversas frutas como produtos nutracéuticos.

As pesquisas direcionadas para as técnicas de produção têm proporcionado produtos agrícolas de melhor qualidade. A técnica mais utilizada no Brasil para prolongar a vida útil das frutas frescas têm sido a combinação de temperatura baixa com alta umidade relativa, ou seja o uso da refrigeração.

A temperatura de conservação é o fator ambiental mais importante, uma vez que regula os processos fisiológicos e bioquímicos associados às frutas em fresco (acidez, pH, conteúdo de açúcares, etc.) e de processos físicos como a pressão de vapor dos gases.

Havendo redução na taxa respiratória, há, em consequência, redução nas perdas de aroma, sabor, textura, aparência e valor nutritivo.

A redução da velocidade de deterioração das frutas em geral, depende da retirada rápida do calor do produto após a colheita (resfriamento rápido), combinado com o armazenamento refrigerado à temperatura e umidade relativa do ar adequadas, além do manuseio adequado durante estas etapas (**DINCER, 1995a; DINCER, 1995b; TURK,1989**).

O figo `Roxo de Valinhos´ é um dos produtos hortícolas que tem recebido pouca atenção em relação à sua vida pós-colheita, apesar de ser altamente perecível. Atualmente a fruta após a colheita é armazenada diretamente em câmaras frias. Por isso a importância de avaliar o resfriamento rápido da fruta para prolongar sua vida útil. Além disso, o cultivar Roxo de Valinhos apresenta pouca informação bibliográfica, e a maioria da informação refere-se ao figo turco. Mesmo que a cadeia de frio não seja completa (produtor-consumidor), o tratamento inicial do figo (resfriamento rápido) à baixa temperatura, é útil para manter a qualidade e estender a vida do produto.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Submeter o figo `Roxo de Valinhos` ao resfriamento rápido com ar forçado e comparar os resultados com o resfriamento lento na câmara frigorífica.

2.2 Objetivos específicos

- * Realizar o resfriamento rápido do figo `Roxo de Valinhos` com ar forçado em sistema tipo túnel californiano sob diferentes condições de fluxo de ar e diferentes tipos de embalagens.
- * Identificar a melhor condição de resfriamento rápido com base nos principais parâmetros de resfriamento (número de Biot, coeficiente convectivo de transferência de calor e coeficiente de resfriamento).
- * Avaliar a influencia do tipo de embalagem e das diferentes condições de fluxo de ar no resfriamento rápido, na qualidade da fruta durante o armazenamento refrigerado.
- * Avaliar da qualidade da fruta com base na perda de peso, teor de sólidos solúveis, acidez total titulável, pH, taxa respiratória, modulo de elasticidade aparente e análise sensorial.
- * Comparar os resultados dos parâmetros de resfriamento rápido obtidos do equacionamento matemático teórico e experimental e realizar ajuste dos dados experimentais.
- * Avaliar a influencia do tipo de resfriamento (rápido e lento), na qualidade da fruta durante o armazenamento refrigerado.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Aspectos gerais da fruta

O figo (*Ficus carica* L.) pertence à família das *Moráceas*, é uma fruta carnosa agregada, na qual os ovários são originados de um aumento na cavidade do receptáculo. Na parte terminal da fruta há um orifício denominado ostíolo, que liga a cavidade do receptáculo com o exterior. Os figos se dividem em quatro grupos distintos: Caprifigo, Smyrna, Comum e São Pedro. O Roxo de Valinhos e o Pingo de Mel são as principais variedades do grupo Comum, as quais não são polinizadas e não possuem sementes. As frutas do grupo Caprifigo não são comestíveis. As variedades do grupo Smyrna (figo turco) como a Calimyrna são cultivadas no Oriente Médio, Grécia, Argélia, Portugal e Califórnia (USA), já nas variedades do grupo São Pedro, a principal é a King (**CAMPOS, 1994**).

O figo 'Roxo de Valinhos' é de tamanho grande e o ostíolo, muito aberto, apresentando o inconveniente de facilitar a penetração de fungos e insetos. Quando amadurecido a coloração externa é roxo-escura e a polpa rosado-violácea. Os figos amadurecidos são macios, doces e muito saborosos, destinados ao mercado de mesa. O figo tipo rami ou $\frac{3}{4}$ de maturidade é empregado na produção do figo rami ou figo passa, sendo colhido 2 ou 3 dias antes do figo de mesa (**RIGITANO, 1964**). Com as técnicas de poda em uso, já se produz o figo praticamente o ano inteiro. Segundo **OGATA (1981)**, o figo 'Roxo de Valinhos' quando amadurecido é bastante perecível, notadamente quando amadurece em épocas chuvosas e quentes. Desta forma, deve ser colhido logo quando atinja o ponto de maturação, também designado "de vez". Nesta fase, já completamente desenvolvido, começa a perder a consistência firme, ao mesmo tempo que muda a coloração verde escura para roxo-bronzeada.

3.2 Desenvolvimento e amadurecimento da fruta

A vida da fruta é dividida em 3 fases de desenvolvimento: crescimento, maturação e senescência. Na maturação a fruta atinge o crescimento pleno e a qualidade comestível máxima. O amadurecimento corresponde à etapa final da maturação na qual as principais mudanças são químicas. Para algumas frutas, o amadurecimento pode ocorrer tanto antes como após a colheita. Esta fase cessa quando se inicia a senescência da fruta.

A maturação da fruta pode ser definida como a seqüência de mudanças na cor, sabor e aroma e textura, conduzindo a um estado que as torna comestível.

A etapa correspondente ao amadurecimento é aquela na qual a fruta torna-se mais palatável, pois, sabores e odores específicos se desenvolvem em conjunto com o aumento da doçura, da acidez, amaciamento da fruta e mudança na coloração. A clorofila decresce nos cloroplastos, enquanto que os pigmentos carotenóides e antocianinas se desenvolvem. Portanto, o amadurecimento corresponde basicamente às mudanças nos fatores sensoriais, sabor, odor, cor e textura que tornam o fruto aceitável para o consumo. Algumas dessas mudanças podem ser detectadas por análise ou observação das transformações físicas visíveis, ou pelas endógenas, como mudanças nos pigmentos, ácidos, taninos, carboidratos, pectinas, etc.

Não há, entretanto, uma distinção bem delineada entre amadurecimento e senescência, embora cada um dos processos que contribui para a síndrome da senescência, conduza diretamente à morte dos tecidos. O processo da senescência aumenta a probabilidade de morte, como, por exemplo, por desidratação ou invasão de microorganismos; porém, não há evidências de que ela inclua a morte programada do tecido (**CHITARRA e CHITARRA, 1990**).

Para a maioria dos produtores, a maturação das frutas baseia-se na coloração da casca, embora muitas vezes, a coloração não seja indicativa da constituição química da polpa quando se pretende saber, pôr exemplo, qual é o teor de açúcar ou de acidez que uma determinada fruta pode conter. A coloração da fruta pode dar uma falsa indicação do seu estágio de maturação, principalmente quando se encontra em posição privilegiada na copa, recebendo os raios solares durante boa parte do dia e adquirindo coloração muito intensa.

De acordo com **AWAD (1993)**, a maturidade dos produtos hortícolas é considerada sob dois aspectos: a maturidade fisiológica e a comercial. A maturidade fisiológica ocorre quando a fruta já alcançou seu desenvolvimento máximo e tem a capacidade de atingir a maturação na planta ou fora dela. Pode-se determinar pela cor da casca, consistência da polpa, tamanho e forma da fruta, composição química, comportamento respiratório e tempo após a antese. A determinação se baseia, na maioria dos casos, na experiência do fruticultor. A maturidade comercial é o estágio do órgão ou da planta requerido para a comercialização. Não se relaciona com a maturidade fisiológica, porque pode ser em qualquer etapa da vida do produto, desde o início do desenvolvimento até a senescência.

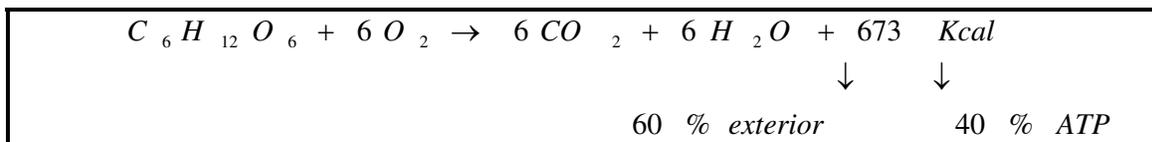
A maturidade dos produtos perecíveis colhidos, têm relação importante com a forma com que são manejados, comercializados e conservados. A boa qualidade comercial se obtém quando a colheita é realizada no estágio de maturidade comercial apropriado.

Os principais ácidos orgânicos encontrados nas frutas são: málico, cítrico, tartárico, oxálico e succínico. Em cada espécie de fruta há predominância de um desses ácidos. Segundo **SALUNKE e DESAI (1984)**, o ácido orgânico em concentrações maiores presente no figo, é o ácido ascórbico (vitamina C - C₆H₈O₆). **SALUNKE e DESAI (1984) e WHITING (1970)**, comentam que na medida que as frutas vão amadurecendo, o amido é hidrolisado a açúcares mais simples. Em consequência, com o amadurecimento da fruta, o seu teor de sólidos solúveis vai se elevando. **PEARSON (1986)**, afirma que a relação Acidez/Sólidos Solúveis é a relação entre o ácido e o doce da fruta; é o balanço de sabor e que é utilizado em alguns países como fator de classificação das frutas, para exportação.

A textura da fruta torna-se macia com o decorrer do amadurecimento, devido a ação de enzimas que atuam na hidrólise do amido, na transformação dos constituintes celulósicos, bem como na conversão da protopectina em pectina solúvel (**MATOO et al., 1975**). Outros fatores que aceleram o envelhecimento da fruta após a colheita é o ataque de patógenos. Os principais patógenos responsáveis pela deterioração pós-colheita do figo são: *Alternaria spp*, *Aspergillus niger*, *Fusarium moniliforme*, *Cladosporium spp*, *Penicillium spp*, *Rhizopus spp* e *Botrytis cinerea* (**SALUNKE e DESAI, 1984; RICCI, 1972; BEWAJI et al., 1977 e CAMPOS, 1994**).

3.2.1 Taxa respiratória

A respiração é o processo metabólico predominante nas frutas e hortaliças após a colheita, e pode ser descrita como a quebra oxidativa de compostos complexos, como amido, açúcares e ácidos orgânicos, em moléculas mais simples como dióxido de carbono e água, com a liberação de energia em forma de calor e de outras moléculas que podem ser utilizadas pelas células nas reações de síntese. A taxa respiratória do produto é um indicador de atividade metabólica do tecido e, portanto, guia útil do seu potencial de armazenagem e quantificação da carga térmica, em forma de calor vital, durante o resfriamento (**CHITARRA e CHITARRA, 1990; KLUGE et al., 2002**). Na oxidação de uma molécula de glicose durante o processo respiratório, para cada grama de CO₂ produzida, 2,55Kcal de energia são produzidos. A representação genérica da reação química é expressa da seguinte forma:



Segundo **KLUGE et al. (2002)**, a respiração não é só importante para a produção de energia na forma de ATP (Adenosina trifosfato), pois, a partir de compostos intermediários

existentes ao longo da cadeia respiratória, outras substâncias importantes são sintetizadas. Algumas destas substâncias são sintetizadas na via pentose-fosfato, uma rota alternativa à glicólise. Nesta via, são sintetizados vários compostos fenólicos, incluindo fitoalexinas, que são substâncias para combater o ataque de fungos causadores de podridões e de lignina, envolvida na cicatrização de ferimentos. Quanto maior a intensidade da taxa respiratória de uma fruta, menor é o potencial de armazenamento e menor a vida útil da mesma.

A respiração resulta em modificações profundas dos constituintes que regulam o metabolismo das frutas, e podem ser indesejáveis sob o ponto de vista da qualidade. Em condições não controladas, essas mudanças podem levar rapidamente à senescência, e os tecidos tornam-se muito susceptíveis ao ataque de microrganismos e à perda de água. Assim, o controle da taxa respiratória passa a ser condição essencial para obtenção de condições adequadas de armazenamento dos produtos perecíveis.

De maneira geral, a taxa de deterioração de um produto colhido é proporcional à sua taxa respiratória. A temperatura à qual a fruta é exposta influencia diretamente a respiração, e o aumento de 10°C na temperatura do produto eleva em 2 ou mais vezes a sua taxa respiratória e, conseqüentemente, diminui a sua vida pós-colheita (**KLUGE et al., 2002**). Por outro lado, a atividade respiratória é reduzida pelo uso de temperaturas baixas. Em frutas climatéricas, o abaixamento da temperatura retarda o pico climatérico e reduz sua intensidade, podendo o mesmo ser suprimido na faixa de temperatura próxima ao limite fisiológico de tolerância da fruta.

As frutas são classificadas em dois grupos com base no comportamento respiratório: climatéricas e não-climatéricas. O figo é classificado como um produto climatérico, ou seja, a taxa respiratória apresenta um acréscimo durante a maturação, esta subida súbita é denominada pico climatérico. O início do climatérico coincide aproximadamente com o amadurecimento e o máximo tamanho alcançado pela fruta (**WILLS et al., 1982; CHITARRA e CHITARRA, 1990**).

Existe uma temperatura ideal para o amadurecimento de cada tipo de fruta, para que a mesma alcance a qualidade comestível máxima. Temperaturas inferiores ou superiores às toleradas pelo produto, podem ocasionar injúrias fisiológicas.

De acordo com **KLUGE et al. (2002)**, o climatérico pode ser definido como um período na ontogenia de certas frutas, durante o qual uma série de mudanças bioquímicas são geralmente iniciadas devido à produção autocatalítica de etileno, definindo a transição entre o desenvolvimento e a senescência e envolvendo um aumento na respiração, conduzindo ao amadurecimento.

Acredita-se que o climatério seja uma resposta reguladora de mitocôndria, numa tentativa de compensar e reparar as decomposições celulares, atribuído ao aumento do metabolismo respiratório uma forma da fruta continuar o processo de maturação e, ao mesmo tempo, manter a integridade celular. Desde que colhidas no seu estágio ideal, as frutas climatéricas são capazes de completar o seu amadurecimento quando destacadas da planta. Já as não-climatéricas devem ser colhidas quando atingem a qualidade comestível completa, uma vez que naturalmente não possuem a capacidade de completar o amadurecimento fora da planta.

O figo (sem especificar o cultivar) armazenado a 0°C apresenta uma taxa respiratória que varia de 3,9 a 7,8mgCO₂/kg.h. Na Tabela 1 apresentam-se alguns valores da taxa respiratória do figo fresco (sem especificar o cultivar) observados por HARDENBURG, WATADA e WANG citados por **CHITARRA e CHITARRA (1990)**.

Tabela 1. Taxa respiratória do figo (sem especificar o cultivar) mgCO₂/kg.h, armazenado a diferentes temperaturas.

Temperatura de armazenamento (°C)					
0	4 a 5	10	15 a 16	20 a 21	26 a 27
*	21,6 a 25,5	43,1 a 45,1	96,0 a 123,5	111,7 a 186,2	166,6 a 207,8

* valor não discriminado

Fonte: HANDEBURG et al. citados por **CHITARRA e CHITARRA (1990)**.

De acordo com **KADER (1992) e MATHOOKO et al. (1975)**, o figo (sem especificar o cultivar) é classificado como fruta climatérica, com taxa respiratória de 10 a 20 mgCO₂/kg.h a 5°C e moderada produção de etileno (C₂H₄) de 1 a 10 mm³/kg.h a 20°C; é uma fruta perecível e com uma vida potencial de armazenamento menor que duas semanas. **HIRAI (1966)** estudou a curva de respiração do figo (sem especificar o cultivar) e verificou que a taxa respiratória inicialmente cresce, declinando durante o desenvolvimento da fruta.

Quando o figo (sem especificar o cultivar) é colhido antes de atingir a fase pré-climatérica, o fluxo de seiva proveniente da planta é interrompido, causando seu murchamento, devido às perdas por transpiração não serem mais compensadas pela seiva, permanecendo com a polpa esbranquiçada, firme e ácida e sem sabor. Na fase pré-climatérica, no entanto, a fruta já acumulou todas as suas reservas, e atingiu, portanto, a maturidade fisiológica (**BLEINROTH, 1988**). Porém, segundo **BIALE (1960)** o figo (sem especificar o cultivar) é considerado como fruta não-climatérica. Estas considerações contraditórias em relação ao modelo respiratório do figo, provavelmente sejam devido ao fato de trataram-se de figos de cultivares distintos. Na revisão bibliográfica realizada sobre o

modelo respiratório para o figo, não foi encontrado referência que esclarecesse o modelo respiratório para o figo 'Roxo de Valinhos'.

3.3 Qualidade das frutas e hortaliças

A maioria de pesquisadores em pós-colheita e produtores de frutas e hortaliças descrevem a qualidade por atributos específicos do produto como conteúdo de açúcares, coloração e firmeza. Por outro lado, consumidores, comercializadores e economistas se orientam pela preferência do consumidor (**SHEWFELT, 1999**).

Segundo **ABBOTT (1999)**, o termo qualidade corresponde ao grau de excelência do produto para um uso específico. A qualidade é uma construção humana que compreende muitas propriedades ou características. A qualidade dos produtos encerra propriedades sensoriais (aparência, textura, sabor e aroma), valores nutritivos, constituintes químicos, propriedades mecânicas, propriedades funcionais e defeitos.

A qualidade das frutas e hortaliças frescas não deve ser vista com base em dois pontos de vista distintos, sendo que a combinação das medições sensoriais ou instrumentais dos atributos de qualidade em combinação com a aceitabilidade por parte do consumidor definem a qualidade dos produtos. Medições instrumentais são realizadas em pesquisas e aplicações comerciais por que reduzem a variação entre as amostras, são mais precisas e podem proporcionar uma linguagem comum entre pesquisadores, indústria e consumidor, porém, a relação entre a medição instrumental dos atributos sensoriais e a relação entre esses atributos sensoriais e a aceitabilidade do consumidor deve ser considerada (**ABBOTT, 1999**).

A aparência é detectada instrumentalmente por medições eletromagnéticas (usualmente ópticas), a textura por propriedades mecânicas e o sabor e aroma por propriedades químicas. Alguns sensores são baseados em sinais não detectáveis por humanos, por exemplo, infravermelho, raio X, ressonância magnética e eletromagnética. Ultimamente tem-se dado ênfase no desenvolvimento de sensores em tempo real não destrutivos. Deve-se ter presente que frutas e hortaliças são notoriamente variáveis e a qualidade individual pode diferir grandemente do valor médio, por isso, é essencial a amostragem estatística e o número adequado de medições nas amostras para que os resultados sejam representativos. Verifica-se, no mercado, que o consumidor também está mais atento aos valores nutritivos e à segurança do alimento, tanto que ultimamente esta se utilizando o termo de "nutraceútico" para definir as frutas e hortaliças. A qualidade dos produtos hortícolas pode ser afetada por fatores pré ou pós-colheita (**ABBOTT, 1999**).

3.3.1 Fatores pré-colheita que afetam a qualidade do figo

3.3.1.1 Aparência

A aparência de frutas e hortaliças frescas é um critério importante na comercialização destes produtos. A aparência caracteriza-se por tamanho, forma, coloração e ausência de defeitos. Os fatores pré-colheita que podem afetar a aparência dos produtos hortícolas são: fatores biológicos (patológicos, entomológicos e outras pragas); fatores fisiológicos (desordens fisiológicas, desigualdade nutricional, grau de maturidade); fatores ambientais e culturais (clima, água, solos, balanços hídricos, intensidade luminosa); danos mecânicos; material estranho (material vegetal, resíduos químicos) e variações genéticas. O tamanho do produto pode ser considerado pela sua dimensão (comprimento, largura, diâmetro); peso ou volume. A forma é o perfil do produto e pode ser determinado com medidas específicas e/ou relações matemáticas. A forma, tamanho e/ou coloração dos produtos hortícolas são de fundamental importância quando se trata da classificação automatizada no *packinghouse* para uma padronização correta (KAYS, 1999).

O grau de maturidade do produto ou o ponto de colheita influencia na aparência de frutas e hortaliças. O dano por frio ou “chilling”, embora seja relacionado à fase pós-colheita, também pode acontecer na fase pré-colheita, normalmente quando acontecem geadas. As temperaturas altas também ocasionam desordens na aparência dos produtos, principalmente quando o produto é exposto diretamente ao sol, originando amadurecimento prematuro e perda excessiva de água devido a taxa de transpiração alta. A aplicação de defensivos agrícolas na fase de produção podem mudar a aparência natural dos produtos (KAYS, 1999).

3.3.1.2 Textura

A textura refere-se ao conjunto de características físicas definidas pela sensação de contato e relacionadas com a deformação, desintegração ou o fluxo de produto sob a aplicação de uma força e que são medidas objetivamente em termos de força, tempo e distância (BOURNE, 1980).

Segundo SAMS (1999), a textura inclui propriedades mecânicas (dureza, elasticidade e viscosidade), geométricas (tamanho e forma da partícula) e químicas (conteúdo de água e gordura). Nas frutas e hortaliças a textura é função das organelas celulares e constituintes bioquímicos, conteúdo de água e turgidez das células e composição da parede celular. Mudanças na textura acontecem normalmente durante o crescimento e desenvolvimento dos

produtos como o figo e envolve mudanças geneticamente programadas na estrutura da parede celular e outros fatores fisiológicos no desenvolvimento da planta. Acontecem mudanças químicas na parede celular como nos componentes de celulose, pectinas e hemicelulose, devido a ação de enzimas pécticas, especialmente a polimetilgalacturonase e polimetilesterase. Existem fatores ambientais pré-colheita que afetam a textura dos produtos hortícolas como o figo, como por exemplo clima, insetos, adubação, patógenos e genéticos. Após a colheita, os principais danos mecânicos acontecem durante o manuseio e comercialização.

3.3.1.3 Sabor e aroma

De acordo com **MATTHEIS e FELLMAN (1999)**, a percepção do sabor e aroma das frutas como o figo, é uma composição de respostas sensoriais no nariz e na boca. A diversidade de constituintes nas frutas como ácidos, açúcares, compostos voláteis e outros componentes provocam a resposta sensorial conhecida como sabor e aroma. O acúmulo desses componentes durante o desenvolvimento e as mudanças no amadurecimento e/ou senescência deve-se, em grande parte, à genética das espécies bem como ao estágio de desenvolvimento do figo na colheita. Porém outros fatores como o meio ambiente e tratos culturais influenciam neste atributo sensorial.

3.3.1.4 Desordens fisiológicas

A posição da fruta na árvore e a quantidade de calor recebida pela fruta são os principais fatores no seu amadurecimento. Em maçãs e figos, a posição na árvore influencia o conteúdo de minerais e pode provocar desordens fisiológicas. O armazenamento a temperaturas baixas e atmosfera modificada ou controlada ajuda a retardar o efeito das desordens fisiológicas. A nutrição mineral inadequada durante a fase pré-colheita permite o desenvolvimento de desordens fisiológicas após a colheita. Na maçã, a falta de cálcio dá origem a pontos de sabor amargo. A falta de cálcio também origina desordens em tomate e mamão (**FERGUSON et al., 1999**).

3.4 Práticas de manuseio na produção e comercialização do figo 'Roxo de Valinhos'

Na colheita do figo não são utilizadas tesouras de poda para cortar o seu pedúnculo. O desprendimento da fruta é feito manualmente através de torção. Uma vez colhida a fruta é colocada em cesta de bambu e levada para o galpão de embalagem. As cestas de colheita, devido o seu uso excessivo, acumulam sujeira e látex secretado pela fruta, o que sem dúvida

permite a proliferação de microrganismos que contaminam as frutas. Na hora da colheita é realizada uma seleção rápida das frutas, rejeitando as frutas mal formadas e com rachaduras excessivas. No galpão as frutas são classificadas manualmente por tamanho e estágio de maturidade e colocada em gavetas de papelão. Essas gavetas são posteriormente colocadas dentro da embalagem (caixa de madeira ou papelão, de acordo com a destinação do produto). O galpão onde é realizada a embalagem das frutas não oferece condições de higiene e conforto.

Os figos no estágio rami são comercializados em tamanho único, tipo 8 normal, que corresponde a 24 frutas por embalagem. Os figos em estágio verde são comercializados em padrão único, com diâmetro aproximado de 40mm. O figo tipo exportação é comercializado para Europa apresentando a mesma classificação do tipo oitinho (diâmetro inferior ao tipo oito normal e que também equivale a 24 frutas/embalagem). Na Foto 1 do ANEXO 3 observa-se o figo tipo exportação, rami e maduro.

Na Região de Valinhos a cor roxo-bronzeada da fruta quando amadurecida, não é visível devido à aplicação de sulfato de cobre (CuSO_4). O sulfato de cobre é um produto largamente utilizado em várias plantações de frutas, como a uva, figo, morango, maçã, caqui, pêra, laranja, maracujá etc. A Calda Bordalesa, feita com a mistura de cal virgem e sulfato de cobre, em determinado volume de água, é indicada para o controle de podridão de gomose, antracnose, ferrugem, verrugose, e outras doenças provocadas por fungos. A aplicação da calda bordalesa na figueira, tem como objetivo prevenir a ferrugem que causa perda de folhas e frutas, e recomenda-se aplicar pelo menos uma vez por mês. A coloração externa da fruta atualmente serve como padrão de comercialização, tanto assim que se diz que a fruta é o figo "cinza" de Valinhos.

Devido a perecibilidade do figo ser considerada elevada, a cadeia do frio é o aspecto mais relevante a ser considerado no manuseio pós-colheita, porém, a falta de domínio da técnica de condicionamento da fruta à temperaturas baixas, a região tem restrições para ampliar o seu mercado externo. O manejo adequado do cultivo da figueira com aprimoramento da técnica da colheita, a implementação de linhas de beneficiamento (*packinghouse*) apropriadas, o resfriamento rápido da fruta e a conservação refrigerada, transporte e comercialização do produto em temperaturas adequadas terá reflexos diretos no seu metabolismo e, conseqüentemente, na manutenção da sua qualidade por um período mais prolongado, essencial para evitar perdas e ampliar as oportunidades de comercialização.

3.5 Cadeia do frio

A cadeia do frio refere-se a todos os sistemas que garantem a manutenção da qualidade dos produtos hortícolas em níveis toleráveis para a comercialização, desde a colheita até o consumo. Os sistemas que compõem esta cadeia de frio são: câmaras frias e sistemas de resfriamento rápido e armazenamento refrigerado, transporte refrigerado e sistemas de exibição dos produtos ao consumidor.

Mesmo que uma fruta seja resfriada rapidamente esta não se conservará bem, se a sua temperatura não for mantida até antes do seu consumo final. Esta conservação sob refrigeração nas diversas etapas subsequentes é denominada “cadeia do frio”. Se a “cadeia do frio” for quebrada diminui-se, o período de conservação pela diminuição da qualidade do produto.

As perdas pós-colheita do figo, sejam diretas e indiretas, referem-se tanto à perda de valor comercial no mercado interno e externo, devido à diminuição da qualidade da fruta, como também à perda da energia utilizada na produção e manuseio do produto. A temperatura baixa nos limites de tolerância do produto durante o armazenamento prolonga a vida pós-colheita de frutas e hortaliças e protege os atributos de qualidade: textura, valor nutritivo, sabor e aroma.

O figo é um dos produtos hortícolas que tem recebido pouca atenção em relação à sua vida pós-colheita, apesar de ser muito perecível. A redução da velocidade de deterioração das frutas e sua perda de qualidade, em geral dependem da retirada rápida do calor do produto após a colheita, combinado com o armazenamento à temperatura e umidade relativa (UR) de câmaras frigoríficas adequadas e do manuseio adequado durante todas as etapas pós-colheita.

De acordo com **PAULL (1999)**, durante o manuseio de produtos hortícolas nos supermercados, varejos e feiras livres, não se conta com suficientes instalações para o acondicionamento adequado dos produtos, além do pouco conhecimento sobre as condições adequadas de temperatura e UR do ambiente de armazenamento. Além disso, deve-se considerar a compatibilidade de produtos diferentes no ambiente de armazenamento. As câmaras frias para conservação de frutas, em fresco, geralmente apresentam valores de UR inferiores a 80%, sendo desejável mantê-las com valores superiores a 90%. Na prática existe dificuldade para manter a UR em valores adequados, e para isso, geralmente utilizam-se sistemas de umidificação de ar. A UR baixa no interior das câmaras frias deve-se ao acúmulo de água na superfície das serpentinas do evaporador, sendo que a quantidade de umidade do ar acumulada depende da área de evaporação das serpentinas e da diferença

de temperatura entre a serpentina do evaporador e o ar circundante, influenciada pelas mudanças nas vazões de ar; da distribuição da temperatura dentro da câmara; do tipo e quantidade de produto armazenado e; do material da embalagem. Qualquer material no interior da câmara, que absorva água, faz decrescer a UR desta. Haverá perda de água do produto quando a sua temperatura não estiver próxima da temperatura do ar do ambiente de armazenamento, embora a UR possa estar elevada. O produto estando a uma temperatura maior que a temperatura do ar, apresentará uma pressão parcial de vapor superior à pressão parcial de vapor do ar, provocando perda de água do produto. Entende-se que a pressão parcial de vapor de água é função da temperatura e do conteúdo de umidade do meio. As perdas de peso máximas permissíveis podem variar de 10% para cebola, 8% para aspargos, 7% para mamão e 3% para alface. Não há recomendações de perda de peso para o figo `Roxo de Valinhos`.

GRIERSON e WARDOWSKI (1978) afirmam que a perda de água durante o armazenamento de frutas e hortaliças depende da diferença de pressão de vapor parcial entre o produto e o ar circundante, e segue um comportamento linear. A diferença de pressão de vapor pode ser reduzida diminuindo a diferença de temperatura entre o produto e o ar, elevando-se a UR do ar ou colocando barreiras para evitar a perda de água do produto.

Existem diversas tabelas nas quais estima-se o tempo de vida de prateleira na conservação de frutas e hortaliças, em fresco, e a temperatura e UR adequada, porém, essa estimativa se fundamenta em experiências de laboratório com base no critério da aparência dos produtos e não com base em perda de outros atributos de qualidade com textura, valor nutritivo e sabor e aroma.

3.6 Propriedades térmicas das frutas

As propriedades térmicas, tais como, a condutividade térmica, calor específico e a difusividade térmica das frutas, em fresco, são do ponto de vista da engenharia importantes para o conhecimento das necessidades e condições de operação dos equipamentos de resfriamento.

O processo de resfriamento está ligado estritamente à temperatura e propriedades dos produtos. Desta forma, o efeito das propriedades térmicas tem influência na precisão dos resultados. Por esta razão algumas soluções e equações podem tornar-se limitadas. A falta de valores tabulados das propriedades térmicas do figo `Roxo de Valinhos` tem restringido o emprego de equações, em modelos matemáticos, para o cálculo das propriedades termodinâmicas.

Muito importante também, junto as propriedades dos alimentos, são as propriedades ligadas ao meio de resfriamento, seja ar, água ou outro. Neste sentido destacam-se a condutividade térmica e o calor específico, as quais têm sido determinadas experimentalmente, e das quais existe na literatura uma vasta quantidade de tabelas e gráficos. Por outro lado, propriedades de transporte, tais como o coeficiente convectivo de transferência de calor, são também de grande importância no desenvolvimento de cálculos de transferência de calor. Constatou-se a existência de uma ampla faixa de valores do coeficiente convectivo de transferência de calor. Esta situação torna-se um problema quando é necessário escolher um valor para desenvolver cálculos de transferência de calor. Para o valor da difusividade térmica, a literatura apresenta uma faixa de dispersão bem menor (TERUEL, 2000).

3.6.1 Conteúdo de água

O conteúdo de água, embora não seja uma propriedade térmica, influencia significativamente todas as propriedades térmicas. Os valores de calor específico e calor latente de difusão são calculados através do valor médio de água contida no alimento. Para frutas e hortaliças, o conteúdo de água varia com o estágio de desenvolvimento do cultivar e perda de água após a colheita. Os valores normalmente aplicados em produtos maduros diminuem após a colheita. O teor de água contido em cada produto depende exclusivamente da sua constituição. A variação do conteúdo de água do produto dependerá da quantidade de água presente no ambiente de conservação. Na Tabela 2 observa-se o conteúdo de água do figo em diferentes estágios de maturidade segundo **DUSSÁN SARRIA e HONÓRIO¹**.

Tabela 2. Valores médios do conteúdo de água do figo 'Roxo de Valinhos' (%).

Maduro	Rami	Verde
83.1	84.3	85.4

3.6.2 Condutividade térmica

A condução de calor pode ser descrita como a transferência de calor associada com o movimento de partículas (moléculas, átomos, elétrons) da substância sem considerável deslocamento ou fluxo destas partículas. A forma de transferir o calor depende do coeficiente de condutividade térmica, o qual corresponde a quantidade de calor (fluxo) na unidade de tempo através de uma espessura unitária e área unitária com um diferencial de

¹ "Caracterização física do figo (*Ficus carica* L.) - 'Roxo de Valinhos' e determinação do conteúdo de água utilizando a energia do microondas". Trabalho a ser publicado.

temperatura entre as faces. A condutividade térmica depende do tipo de substância (metal, cristal, líquido e gás), da composição (impura, mistura), da estrutura e orientação estrutural, da temperatura e da pressão. A medição e estimativa precisa dos valores da condutividade térmica são de difícil obtenção para muitos alimentos. Entretanto, vários dados experimentais estão disponíveis para estimar a condutividade térmica com suficiente aproximação, podendo ser utilizados em trabalhos práticos (**SWEAT, 1974**). Este mesmo autor desenvolveu, para frutas e hortaliças, a equação (1) que relaciona a condutividade térmica (k), expressa em $W/m^{\circ}C$, em função do conteúdo de água (W) do produto expresso em percentagem em base úmida.

$$k = 0,00493W + 0,148 \quad (1)$$

3.6.3 Difusividade térmica

Sob condições de estado transiente, ou seja, onde as mudanças de temperatura dependem do tempo, esta propriedade é importante, e é definida com base na lei de Fourier. Para frutas e hortaliças, considerando-as como produtos homogêneos e isotrópicos, tem-se:

$$\alpha = \frac{k}{\rho \times C_p} \quad (2)$$

Em que a condutividade térmica (k) é expressa em $W/m^{\circ}C$, a densidade (ρ) expressa em kg/m^3 e o calor específico (C_p) expresso em $kJ/kg^{\circ}C$. A difusividade térmica (α) é expressa em m^2/s .

De acordo com **MOHSEIN (1980)**, o figo fresco (cultivar não identificado) com conteúdo de água de 78% apresenta um calor específico de $3,43kJ/kg^{\circ}C$, quando a temperatura está acima do ponto de congelamento.

O numerador da equação (2) representa a capacidade do produto de conduzir o calor dentro de si mesmo. O denominador representa a capacidade do produto de absorver o calor. Os dados de difusividade térmica nos alimentos são escassos, embora alguns autores em função da condutividade térmica, calor específico e densidade, a tenham calculado para alguns produtos. Por exemplo, para a maçã inteira 'Red Delicious', com conteúdo de água de 85%, densidade aparente de $840 kg/m^3$ e a temperatura entre 0 e $30^{\circ}C$, apresenta uma difusividade térmica de $1,4 \times 10^{-7}m^2/s$. A polpa de banana com 76% de conteúdo de água e a $5^{\circ}C$ a difusividade térmica é de $1,2 \times 10^{-7}m^2/s$. Já para figo (cultivar não identificado) semi-seco com 49% de conteúdo de água, densidade aparente de $1.241kg/m^3$, à temperatura de $23^{\circ}C$, a difusividade térmica é de $0,96 \times 10^{-7}m^2/s$ (**ASHRAE, 1993**).

3.6.4 Calor específico

Acima do ponto de congelamento o calor específico pode ser utilizado no lugar da entalpia. **ASHRAE (1993)**, descreve a equação de Siebel para o cálculo do calor específico (C_p) dos materiais biológicos com base no conteúdo de água (W):

$$C_p = 0,0335W + 0,837 \quad (> 0^\circ\text{C}) \quad (3)$$

Em que, W é expresso em percentagem e o C_p expresso em kJ/ kg °C.

Observa-se que o calor específico é diretamente proporcional ao conteúdo de água de frutas e hortaliças.

Foram determinados experimentalmente os valores da condutividade térmica, difusividade térmica e calor específico da polpa de figo 'Roxo de Valinhos' em estágio maduro e figo inteiro em estágio rami. O método utilizado foi o método transiente da fonte linear de calor (**INGERSOLL et al., 1954; NIX et al., 1967 e MOHSEIN, 1980**). Na polpa da fruta o valor da condutividade térmica resultou ser de 0,59W/m°C, o valor da difusividade térmica de $1,84 \times 10^{-7} \text{m}^2/\text{s}$ e o calor específico de 3,11kJ/kg°C (**DUSSÁN SARRIA e HONÓRIO²**). Para o figo inteiro os valores foram os seguintes: condutividade térmica de 0,52W/m°C, difusividade térmica com o valor de $1,56 \times 10^{-7} \text{m}^2/\text{s}$ e o calor específico de 4,07kJ/kg°C (**DUSSÁN SARRIA e HONÓRIO³**).

De acordo com **MOHSEIN (1980)**, a condutividade térmica, a difusividade térmica e o calor específico de materiais sólidos de origem vegetal são funções do tipo de material, da temperatura do material e do conteúdo de água do material. O calor específico pode ser considerado a volume constante ou a pressão constante. Normalmente os produtos biológicos de origem vegetal encontram-se a pressão constante, portanto os valores de calor específico encontrados na literatura referem-se a valores a pressão atmosférica constante. Quando trata-se de produtos como frutas e hortaliças frescas com alto conteúdo de água (conteúdos maiores de 90%), os valores da condutividade térmica, difusividade térmica e calor específico são influenciados fortemente pelo conteúdo de água. Nos produtos biológicos de origem vegetal a condutividade térmica depende muito mais da estrutura celular, massa específica e conteúdo de água que do efeito da temperatura.

² "Determinação da condutividade e difusividade térmica da polpa de figo (*Ficus carica* L.) 'Roxo de Valinhos'". Trabalho a ser publicado.

³ "Condutividade e difusividade térmica do figo (*Ficus carica* L.) - 'Roxo de Valinhos'". Trabalho a ser publicado.

3.6.5 Coeficiente convectivo superficial de transferência de calor

Segundo **ASHRAE (1993)**, apesar do coeficiente superficial de transferência de calor (h) não ser uma propriedade térmica dos alimentos, este é necessário para projetar equipamentos para alimentos onde se envolve a transferência de calor por convecção.

MOHSENIN (1980) afirma que o coeficiente convectivo superficial de transferência de calor durante o resfriamento de corpos sólidos, depende da geometria do corpo, rugosidade da superfície e características dimensionais do corpo. Segundo **ASHRAE (1993)**, quando realizado o resfriamento com ar forçado dos produtos hortícolas, o coeficiente convectivo superficial de transferência de calor também depende da velocidade de ar e das condições termodinâmicas do ar circundante. O tipo de embalagem e o tipo de arranjo utilizado no resfriamento também influenciam nos valores deste parâmetro.

CLELAND et al. (1994) afirma que quando trata-se da determinação experimental do coeficiente convectivo superficial de transferência de calor em frutas, tem-se a dificuldade da colocação adequada do sensor. Desta forma, assume-se que a temperatura da superfície é aproximadamente igual à temperatura do meio de resfriamento, mas na verdade, existe um gradiente de temperatura entre a superfície e o meio de aproximadamente $1,5^{\circ}\text{C}$ (**GOYETTE et al., 1997** citado por **TERUEL, 2000**).

Embora em alguns trabalhos tenha-se assumido o valor do h teoricamente, por simples geometria e assumindo fluxo laminar, os resultados mostram que os fatores envolvidos que afetam o coeficiente superficial de transferência de calor referem-se a condições de contorno ou fronteira do objeto a ser resfriado ou congelado. A camada superficial do produto é afetada pela dinâmica do fluido ao seu redor e as condições da superfície de produto.

Alguns autores representam os resultados dos experimentos em função do número de Nusselt, Reynolds e Prandtl. A correlação $Nu-Re$ permite estimar valores confiáveis por simples geometria como pratos planos. Derivações teóricas e experimentos de laboratório mostram que h é um fenômeno local variável (**ASHRAE, 1993**).

Os efeitos da embalagem nos valores de h não são bem documentados, não por que não tenham sido realizados trabalhos sobre o assunto, mas sim, pela dificuldade de definir velocidades e fluxos específicos na transferência de calor nos produtos. No caso do resfriamento de frutas com ar forçado, a distribuição do ar e a velocidade do ar variam muito dentro de uma mesma embalagem, o que dificulta definir um modelo experimental ou teórico de resfriamento que explique com precisão o processo.

DINCER e GENCELI (1994) encontraram valores entre $28,02 \pm 1,20 \text{ W/m}^2\text{C}$ até $52,11 \pm 3,02 \text{ W/m}^2\text{C}$ para produtos cilíndricos (pepinos) sob condições de resfriamento em

câmara com ar forçado e velocidades entre 1 e 2m/s. Segundo **HOLMAN (1986)**, em sistemas de resfriamento convencional, onde o movimento do ar através dos produtos é menor, especialmente quando os produtos estão entre caixas, este coeficiente pode ser considerado com valores entre 5 e 6 W/m²°C. **MOHSEIN (1980)**, afirma que o coeficiente pode alcançar valores entre 20 e 35W/m²°C para fluxos de ar de 1 a 3L/s por kg de produto. **TERUEL (2000)** encontrou valores do coeficiente superficial de transferência de calor entre 56,5 e 5,9 W/m²°C para laranja `Valencia´ e entre 13,6 e 8,23 W/m²°C para banana `Prata´.

3.7 Armazenamento refrigerado

A temperatura de conservação é o fator ambiental mais importante, não só do ponto de vista comercial, como também por controlar a senescência dos produtos perecíveis. Durante o armazenamento refrigerado verificam-se mudanças nos fatores sensoriais das frutas e hortaliças tornando-as aceitáveis para o consumo humano. Algumas dessas mudanças podem ser detectadas por análise ou observação das transformações físicas visíveis, ou pelas endógenas, como mudanças nos pigmentos, ácidos, taninos, carboidratos, pectinas, etc. (**CHITARRA e CHITARRA, 1990**).

A temperatura e a umidade relativa do ar do ambiente de armazenagem influenciam significativamente o índice de firmeza das frutas, o qual tende a diminuir ao longo do tempo de armazenamento (**ZAUBERMAN e JOBIN-DECOR, 1995**).

As perdas de vitamina C são geralmente mais rápidas a temperaturas altas de armazenamento, e são menores em frutas azedas que em frutas com pH neutro. A evolução do conteúdo de açúcares e a acidez total titulável são influenciados pela temperatura de armazenamento (**PAULL, 1999**).

A refrigeração é o método mais conhecido e utilizado para a conservação prolongada de frutas e hortaliças frescas. Métodos tais como controle ou modificação de atmosfera, uso de ceras na superfície dos produtos, entre outros, não produzem os melhores resultados, se não forem associados ao uso da refrigeração. De acordo com **KADER (1992)**, o figo maduro (sem especificar o cultivar) é um fruto altamente perecível e com uma vida potencial de armazenamento menor que duas semanas. A refrigeração do figo (sem especificar o cultivar), de modo geral, é recomendada por outros autores. Segundo a **ASHRAE (1993)**, pode-se conservar o figo à temperatura entre -1 a 0°C, com UR de 85 a 90%, durante 7 a 10 dias; **WETSWOOD (1982)**, recomenda uma temperatura em torno de 0°C, nas câmaras frigoríficas; **ASHRAE (1986)**, recomenda-se conservar o figo fresco a uma temperatura entre -1 a 0°C, e UR de 85 a 90%, durante 7 a 10 dias. **RIGITANO (1964)**, assegura que o figo

'Roxo de Valinhos' maduro é altamente perecível e não se conserva satisfatoriamente, mesmo a baixa temperatura, por períodos prolongados. Quando o fruto é colhido e frigorificado entre 0 a 4°C e 85% de UR, pode ser conservado em boas condições durante 10 dias.

Quanto mais rápido se resfria o produto, tanto menor é a perda de água, e também se tornam menos sensíveis ao etileno, ou toleram concentrações mais elevadas deste, retendo por mais tempo as suas qualidades.

3.8 Resfriamento rápido

O resfriamento rápido de frutas e hortaliças frescas é de vital importância para manter a qualidade desses produtos e consiste em eliminar o calor acumulado no campo, reduzindo-se rapidamente a temperatura destes, possibilitando, "a posteriori", facilidades no armazenamento e transporte. Quanto mais rápido seja realizado este procedimento, o produto poderá ser conservado por mais tempo em boas condições de comercialização. O resfriamento rápido de frutas, em geral, mantém os produtos frescos e retém sabor e aroma (ASHRAE, 1986). Um produto, mesmo resfriado rapidamente, só se conservará bem, se o seu conteúdo de calor for mantido até seu consumo final. Quando por alguma razão a "cadeia do frio" é quebrada, diminui-se, conseqüentemente, o período de conservação pela diminuição da qualidade do produto.

O resfriamento de frutas retarda os processos fisiológicos derivados da respiração originado um amadurecimento e evita o ataque de patógenos (MOHSEIN, 1980; DINCER, 1995a).

O resfriamento rápido pode ser feito utilizando: resfriamento à vácuo (*vacuum cooling*), resfriamento com água gelada (*hydrocooling*), resfriamento com gelo (*ice cooling*) e resfriamento com ar forçado (*forced air cooling*). O resfriamento realizado em câmaras frias (*room cooling*) é denominado de resfriamento lento (FRASER, 1991; CHAU, 2001; KADER, 1992). O método de resfriamento rápido a ser utilizado é função do tipo de produto a ser resfriado (cultivar, grau de maturidade, forma geométrica, tamanho e adaptabilidade ao método), do tipo de equipamento disponível, do tipo de embalagem, entre outros fatores.

CAMPOS (1994), afirma que o resfriamento rápido é recomendado para produtos como o figo. RYALL e PENTZER (1974), de modo geral, sugerem o resfriamento rápido de figos a uma temperatura próxima de 0°C, bem como temperaturas de 2 a 3°C, durante o transporte. ITO e SATO (1987), verificaram, no resfriamento rápido do figo, que o tratamento com ar frio forçado apresentou melhores características para o produto do que o tratamento à vácuo no

que diz respeito a perda de água do produto. O resfriamento rápido com água fria, apesar do seu menor custo e praticidade, não é recomendado para o figo 'Roxo de Valinhos', que possui ostíolo aberto, favorecendo a ocorrência de podridões. O custo da água, dependendo da região geográfica, normalmente é de fácil aquisição e baixo custo, além da facilidade de utilizar no resfriamento rápido de produtos hortícolas (por imersão em tanques ou aspersão). De acordo com **TURK (1989)**, o resfriamento rápido do figo 'Bursa siyahi' com ar forçado até 4°C e posterior armazenamento a 1°C e 90% de UR, interfere positivamente na qualidade da fruta, reduzindo a ocorrência de doenças e aumentando a vida útil do produto, em 1 ou 2 dias. Nestas condições a fruta conservou-se durante 6 semanas. **KADER (1992)** classifica o figo (sem especificar o cultivar) como um fruto não sensível ao dano por frio ("chilling injury").

O processo de transferência de calor que ocorre durante o resfriamento da superfície ao interior do produto hortícola pode ser considerado basicamente por condução, cujo processo só aparece quando pontos distintos de um corpo estão a diferentes temperaturas (**GOYETTE e VIGNEAULT, 1995**). A quantidade de calor retirada do produto depende da diferença de temperatura entre o produto e o meio de resfriamento, da taxa de resfriamento, da quantidade de produto a ser resfriada em um determinado tempo e do calor específico do produto. O calor de respiração é geralmente pequeno durante o resfriamento rápido (**ASHRAE, 1998**).

A precisão da distribuição da temperatura, das taxas de resfriamento, das propriedades térmicas durante o resfriamento dos diferentes produtos hortícolas são essenciais e possuem um importante interesse, pois proporcionam condições ideais ao processo. Por isso a necessidade de descrever matematicamente a transferência de calor durante o processo de resfriamento rápido de frutas para poder projetar apropriadamente o equipamento necessário e estabelecer um processo de resfriamento ótimo. Nos últimos anos o estudo teórico e experimental da transferência de calor em estado transiente de produtos individuais durante o resfriamento rápido, tem aumentado de interesse (**DINCER, 1995c**).

No processo de resfriamento de produtos hortícolas a abordagem matemática pode ser feita considerando a lei Newtoniana ou pode ser feita considerando-se a lei de Fourier. Segundo **MOHSENIN (1980)**, quando o corpo é resfriado, a resistência do fluxo de calor pode ser devido à resistência na superfície do corpo. Desta forma assume-se as seguintes condições das leis Newtonianas para produtos biológicos:

- A condutividade térmica (k) no interior do produto é alta se comparada com o coeficiente convectivo superficial de transferência de calor (h). Neste caso $Bi = (hR/k) < 0,2$;
- O gradiente de temperatura dentro do corpo é desprezível;
- Em nenhum momento a temperatura na superfície do corpo (T_s) é consideravelmente diferente da temperatura média interna do produto;

Se $Bi < 0,2$ a taxa de calor pode ser expressa por $q = h \cdot A (T_s - T_a)$ sendo T_a a temperatura do meio de resfriamento. Se resfriado um sólido de volume V , a temperatura do meio de resfriamento constante, num intervalo de tempo resulta uma equação diferencial cuja solução corresponde à equação (6) (página 25).

No resfriamento de produtos hortícolas, a lei de Fourier considera que o coeficiente convectivo superficial de transferência de calor é alto se comparado com a condutividade térmica; a resistência ao fluxo de calor pode ser considerada somente devido à resistência interna do produto e a existência de gradiente considerável de temperatura dentro do corpo. Desta forma as condições são as seguintes:

- O h é alto se comparado com k , ou seja, $Bi = (hR/k) > 0,2$;
- O gradiente de temperatura com respeito ao eixo do corpo (dt/dr , no caso de corpos esféricos), não é pequena e varia com o tempo;
- A temperatura média no interior do corpo é bem diferente da temperatura na superfície do corpo.

Para um material isotrópico, com condutividade térmica constante, o calor de condução é dado pela equação geral de Fourier em termos das coordenadas X , Y e Z : $\partial/\partial x(k\partial T/\partial x) + \partial/\partial y(k\partial T/\partial y) + \partial/\partial z(k\partial T/\partial z) + q_i = \rho \cdot C_p \cdot \partial T/\partial t$, sendo q_i uma fonte de calor interno. Considerando-se a condutividade térmica constante e sem considerar a geração interna de calor para um corpo esférico, a equação de Fourier define-se conforme a equação (10) (página 27).

MOHSEIN (1980), ASHRAE (1998), THOMPSON et al. (1998) e CHAU (2000) argumentam que para caracterizar o processo de resfriamento rápido, tanto em termos de tempo como de temperatura, são empregados diversos parâmetros, sendo os mais comuns o meio tempo ($1/2$) de resfriamento que refere-se ao tempo necessário para que o produto atinja a temperatura equivalente à metade da diferença entre a temperatura inicial do produto e a temperatura do meio de resfriamento, e os sete-oitavos ($7/8$) do tempo de resfriamento no qual o produto atinge $7/8$ da diferença entre as temperaturas. Estes termos são comumente usados nos cálculos das estimativas de resfriamento. Além disso, para prever as mudanças

na temperatura do produto durante o resfriamento tem-se os métodos analíticos e os métodos numéricos.

Segundo **CHAU (2001)**, o método do 1/2 tempo e os 7/8 do tempo de resfriamento, é simples, mas infelizmente é o menos preciso. Os outros dois métodos, o método analítico e os método numérico, são mais precisos porém mais complicados que o primeiro. No método do 1/2 tempo e os 7/8 do tempo de resfriamento assume-se que não existe gradiente de temperatura dentro do produto, a condutividade térmica do produto é infinita e o produto é considerado um sistema único. O resfriamento rápido de produtos hortícolas apresenta um comportamento exponencial, verificado por diversos autores (**MOHSENIN, 1980; DINCER, 1995a; CHAU, 2001**). A curva de resfriamento rápido pode ser descrita pela equação (4), a qual representada em papel semi-logarítmico é linear (**GOYETTE et al.,1997**).

$$\theta = J e^{-at} \quad (4)$$

Onde,

θ corresponde à relação adimensional de temperaturas, t corresponde ao tempo de resfriamento, J corresponde ao corte da curva com o eixo Y , considerado fator de erro quando assumido o resfriamento Newtoniano e também denominado fator de atraso e a o termo exponencial que representa a taxa ou coeficiente de resfriamento. A relação adimensional de temperaturas, ou também denominada taxa adimensional de temperaturas, expressa-se da seguinte forma:

$$\theta = (T - T_a) / (T_i - T_a) \quad (5)$$

Onde,

T_i corresponde à temperatura inicial da fruta, T_a a temperatura do meio de resfriamento e T corresponde à temperatura no centro da fruta em qualquer instante de tempo.

O coeficiente de resfriamento (a) define-se como a mudança da temperatura do produto por unidade de tempo para cada grau de diferença de temperatura entre o produto e seu redor. Quando existe transferência de calor Newtoniana, o gradiente de temperatura dentro do produto é desprezível e o coeficiente de interseção (J) do trecho reto da curva com o eixo y , corresponde a 1. Neste caso, a relação de temperaturas se expressa na forma da equação (6):

$$\frac{T - T_a}{T_i - T_a} = e^{-\frac{hA}{\rho V C_p} t} \quad (6)$$

Onde,

T = temperatura do produto no tempo t , °C;

T_a = temperatura do meio de resfriamento, °C;

T_i = temperatura inicial do produto no tempo zero, °C;

t = tempo, s;

h = coeficiente convectivo de transferência de calor, W/m²°C;

A = área superficial do produto, m²;

ρ = densidade do produto, kg/m³;

V = volume do produto, m³;

C_p = calor específico do produto, J/kg°C.

Isto significa que a taxa de resfriamento pode ser representada pela equação (7).

$$a = \frac{hA}{\rho V C_p} \quad (7)$$

Quando os parâmetros h , A , ρ , V e C_p são constantes (CHAU, 2001), podem ser substituídos por uma única constante a , como na equação (8).

$$\frac{T - T_a}{T_i - T_a} = e^{-at} \quad (8)$$

A taxa de resfriamento é definida como a queda da temperatura por unidade de tempo expressa normalmente em °C/h ou °C/min. A temperatura média do produto durante o resfriamento rápido segue um comportamento típico, apresentando queda rápida da temperatura do produto no início do processo, e lenta quando está próxima da temperatura final. Os cálculos de tempo e relações de temperatura no resfriamento de produtos podem ser estimados satisfatoriamente assumindo um comportamento exponencial como observa-se na Figura 1.

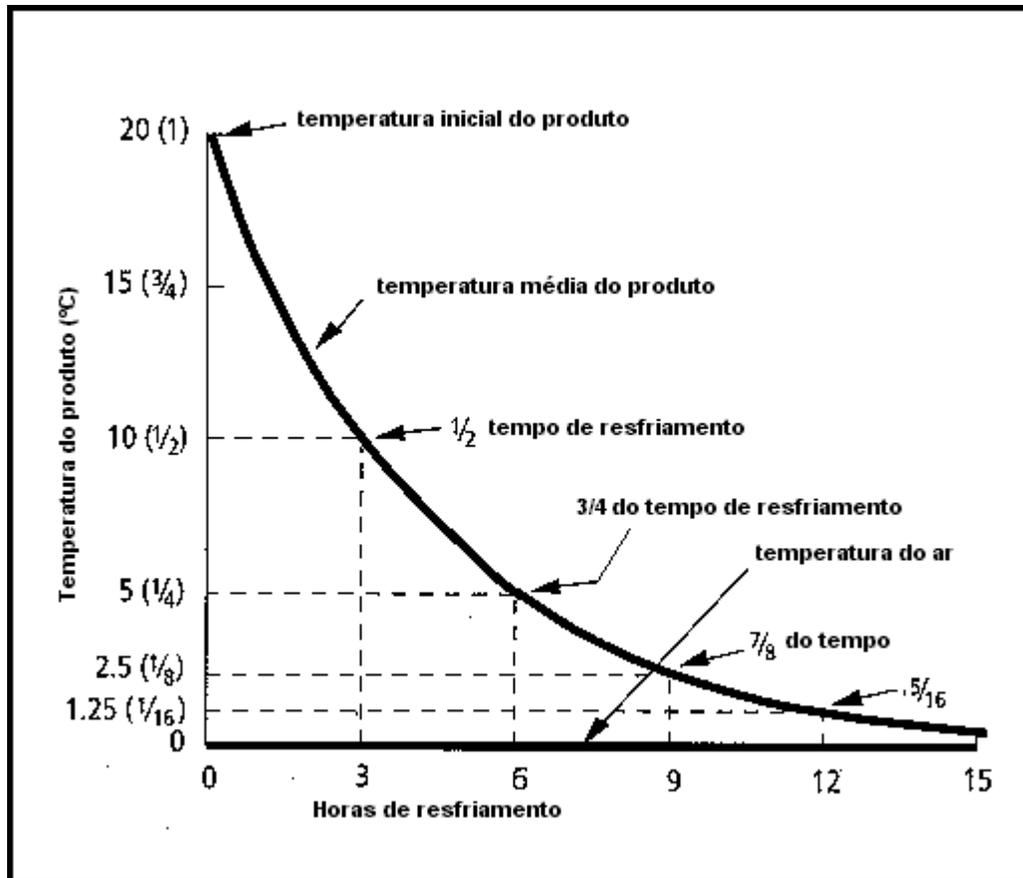


Figura 1. Resfriamento de Produtos Hortícolas (THOMPSON et al., 1998-traduzido).

Segundo **ASHRAE (1998)** e **GOYETTE et al. (1997)**, na maioria dos casos a transformação logarítmica da equação (4) gera uma linha reta que determina facilmente os parâmetros do resfriamento rápido. Desta forma, pode-se expressar a equação (9):

$$\boxed{\ln(\theta) = -at + \ln(J)} \quad (9)$$

Se a temperatura do ar é constante, a temperatura do produto em qualquer instante pode ser calculada. Desta forma, quando se assume que não existe gradiente de temperatura dentro do produto, a temperatura do produto em determinado tempo, pode ser estimada facilmente. O problema com este procedimento é que a maioria das frutas e hortaliças apresentam gradiente de temperatura entre o centro do produto e a sua superfície e a condutividade térmica de produtos hortícolas não é muito alta. Como regra geral quando $hV/kA \leq 0,1$ (onde k é a condutividade térmica do produto, V e A são o volume e a área

superficial do produto e h é o coeficiente convectivo de transferência de calor) a equação (6) pode ser usada sem muito erro (CHAU, 2001).

Já quando se trata de condições mais reais com melhor estimativa, podem ser utilizados os modelos analíticos. Estes modelos dependem da forma geométrica do produto (esferas, cilindros, pratos planos ou paralelepípedos) e considera-se que a temperatura inicial do produto é uniforme, as propriedades térmicas são constantes e a temperatura do meio de resfriamento é constante ou varia de acordo a uma simples função de tempo. Assim para uma esfera, com determinada difusividade térmica (α), temperatura inicial (T_i) e submetido a resfriamento a T_a , tem-se a seguinte equação:

$$\frac{T - T_a}{T_i - T_a} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2(\sin \mu_n - \mu_n \cos \mu_n)R \sin\left(\mu_n \frac{r}{R}\right) e^{-\mu_n^2 \frac{\alpha t}{R^2}}}{(\mu_n - \sin \mu_n \cos \mu_n)(r\mu_n)} \quad (10)$$

Onde,

R é o raio da esfera, r é a distância de localização desejada e T a temperatura em qualquer tempo t . A solução de μ_n está em termos do Número de Biot, assim:

$$1 - \text{Bi} = \mu \cot ag\mu \quad (11)$$

Para o cálculo, o coeficiente μ deve ser inserido em radianos. O Número de Biot é adimensional.

Na relação r/R , que aparece na equação (10) e na Figura 2, o r representa a distância com origem no centro da esfera e que no máximo teria o valor de R (raio da esfera), se o sensor de temperatura é colocado no centro do fruto (na origem das coordenadas), a relação seria zero e se for colocado na superfície a relação seria 1. Porém, o r , não pode ter o valor zero, pois a série ficaria $0/0$, que não é possível. O r , deve ser diferente de zero, pois, as soluções analíticas são condições de limite, com condições extremas supostas. Quando a temperatura no centro do fruto (T) for igual à temperatura do ar frio (T_a), analiticamente o r seria igual a zero. Mas no caso de resfriamento de frutas e hortaliças, esta condição não é lograda. Pode-se observar nas curvas de resfriamento, um comportamento assintótico da função exponencial, ou seja, a curva não alcança o valor zero no eixo y (relação adimensional de temperaturas).

A equação (10), representa o modelo analítico do comportamento típico da temperatura através do tempo durante o resfriamento de frutas esféricas. O fator de atraso (corte da curva com o eixo y) representado por (**J**) corresponde a:

$$J = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2(\text{sen } \mu_n - \mu_n \cos \mu_n)R \text{sen}(\mu_n r/R)}{(\mu_n - \text{sen } \mu_n \cos \mu_n)(r\mu_n)} \quad (12)$$

Segundo **CHAU (2001)**, o coeficiente angular (*slope*), pode ser representado por **a**, assim:

$$a = -\frac{\mu_n^2 \alpha}{R^2} \quad (13)$$

Através do coeficiente de resfriamento (**a**) que pode ser determinado experimentalmente; considerando na equação (10) e na equação (12) μ_n como μ_1 ; conhecendo o valor da difusividade térmica (α) e o raio da fruta (**R**) na equação (13), pode-se conhecer o valor de μ_1 . Com o valor de μ_1 na equação (11) encontra-se o valor do Número de Biot. Conhecido o valor do Número de Biot e o valor da condutividade térmica é possível calcular o valor do coeficiente convectivo de transferência de calor (**h**) utilizando a equação para o cálculo do número de Biot (equação 14).

$$Bi = \frac{hR}{k} \quad (14)$$

sendo

h = coeficiente convectivo de transferência de calor, W/m²°C;

k = condutividade térmica do produto, W/m°C;

R = raio do produto, m.

Entre a superfície do produto e o meio ou circunvizinhança (ar) existe transferência de calor por convecção. O número de Biot (Bi) se define como a razão entre a resistência interna e externa de transferência de calor. Na medida que a superfície se resfria mais rapidamente, a condução de calor do centro do produto à superfície do produto é maior. O resfriamento de produtos com ar forçado obedece à lei de Fourier.

Quando se realiza o monitoramento da temperatura no centro do produto, para um mesmo diferencial de temperatura, o tempo gasto é maior do que quando o monitoramento é feito na superfície da fruta. **CHAU (2001)** relacionando a razão de temperaturas com o Número de Fourier exhibe este fenômeno para uma esfera (Figura 2). Para cada período de

tempo no resfriamento existe um número de Fourier, e à sua vez, para cada período de tempo existe uma relação de temperaturas.

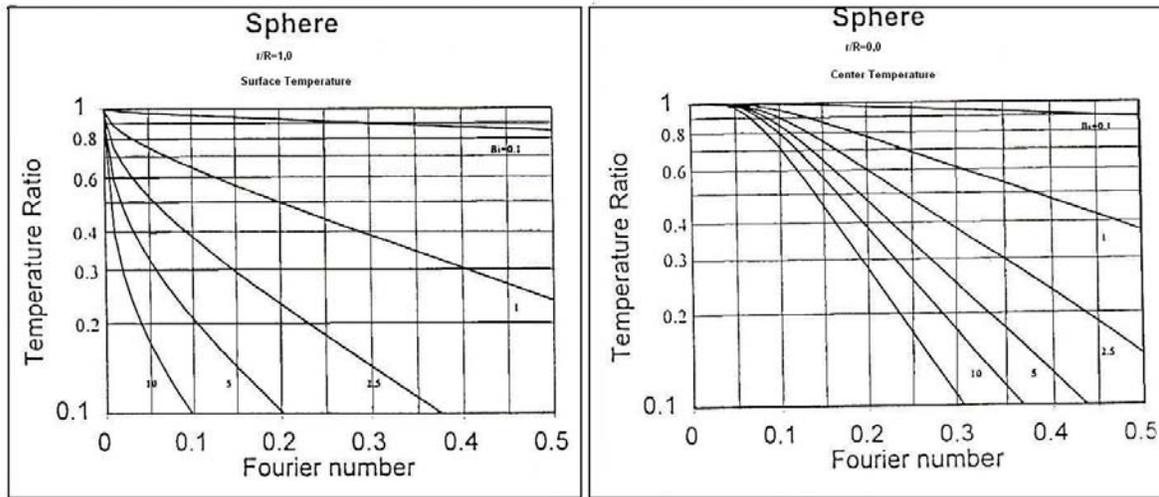


Figura 2. Monitoramento da temperatura na superfície e no centro de uma esfera.

Fonte: **CHAU, 2001.**

O número de Fourier (Fo) é adimensional e caracteriza os processos de transferência de calor.

$$Fo = \frac{\alpha t}{R^2} \quad (15)$$

sendo,

α = difusividade térmica, m^2/s ;

t = tempo, s;

R = raio do produto esférico, m.

Desta forma para conhecer o comportamento do resfriamento das frutas consideradas esféricas e os parâmetros como o Número de Biot (parâmetro adimensional que caracteriza a transferência de calor) e coeficiente convectivo de transferência de calor (parâmetro termodinâmico), o monitoramento de temperatura pode ser feito no centro ou na superfície da fruta. A mesma tendência é exibida em gráfico, sobre a relação de temperaturas e o tempo. Neste trabalho optou-se por monitorar a temperatura no centro da fruta, pois o objetivo é o resfriamento da polpa da fruta, sendo um dado comercial importante.

3.8.1 Resfriamento rápido com ar forçado

Este é o método de resfriamento mais conhecido utilizando câmaras frigoríficas. O método consiste em empilhar as embalagens com produtos formando uma estrutura fechada tipo túnel (sistema denominado túnel californiano). Os pallets com as embalagens contendo o produto são colocados lado a lado formando um túnel. Uma lona é colocada em cima cobrindo a parte posterior do túnel e o ventilador-exaustor succiona o ar de dentro do túnel, forçando o ar frio, fora do túnel a passar através do produto embalado. Este ar é, então, propulsionado diretamente ao evaporador, onde é resfriado novamente e retornado à câmara. Algumas vezes o ventilador ou conjunto de ventiladores possui motor com o controle de vazão, permitindo controle da temperatura durante o processo e reduzindo o consumo de energia, a entrada de calor no sistema de refrigeração e possível perda de peso do produto (**THOMPSON et al., 1998**).

De acordo com **LEAL e CORTEZ (1998)** o tempo de resfriamento é função das dimensões das caixas, da área de abertura destas, da forma de distribuição das mesmas, além das características do produto (temperatura, umidade e velocidade do ar através do produto, calor específico, forma geométrica). O resfriamento rápido (o tempo de resfriamento pode variar, dependendo do produto, embalagem e ventilador), aumenta a vida útil do produto, e o movimento de ar é sempre na direção do ar frio para o produto quente evitando a condensação de água sobre o produto, que é comum no resfriamento em câmaras convencionais. Câmaras frigoríficas podem ser usadas ou adaptadas para ar forçado com custo reduzido. Por outro lado, este sistema requer manuseio adicional do produto, dificulta o uso de embalagens secundárias que protegem o produto, e resfriamento é desigual, pois a temperatura desejada é atingida antes por alguns produtos do que por outros, e o tempo de resfriamento é mais lento do que o resfriamento a água ou vácuo.

Para a montagem do sistema de ar forçado no interior de uma câmara frigorífica são necessários os seguintes elementos: ventilador corretamente dimensionado, sistema de ventilação adequado, controle do fluxo de ar e sistema de monitoramento. É importante usar embalagens que tenham no mínimo entre 5 e 10% da área efetiva para a passagem do ar resfriado, e que a quantidade das áreas de abertura e forma estejam corretamente distribuídas para garantir a uniformidade do resfriamento (**LEAL e CORTEZ, 1998**).

Os ventiladores são selecionados com base no fluxo de ar que atravessa o produto e a diferença pressão estática entre a entrada e a saída de ar no ventilador. **FRASER (1991)** propõe que a quantidade de ar a ser succionado pelo ventilador deve ser de 0,5 a 3 L/s por kg do produto a ser resfriado. Segundo **BENNETT et al. (1966)**, no resfriamento de laranjas

com ar forçado, de 27°C a 8°C, o tempo de resfriamento foi de 1 hora, mantendo-se uma velocidade de ar de 1,7m/s. **ISHIBASHI et al. (1969)**, resfriaram frutas cítricas com diâmetro de 65mm de 25°C a 5°C, em túnel com ar forçado, sendo o tempo de resfriamento de 1 hora e a velocidade do ar de 3,6m/s.

Segundo **MOHSEIN (1980)**, em sistemas de ar forçado, com a velocidade do ar na faixa 1,5 a 5,0 m/s (1 a 3 L/s por kg de produto), o valor do coeficiente de transmissão superficial do calor, pode estar entre 20 e 35 W/m²°C. Dependendo do tipo de produto e das embalagens a serem utilizadas no resfriamento com ar forçado, a queda máxima de pressão estática do ar pode estar entre 50 e 75 mm de coluna de água. Para garantir a correta distribuição do ar na saída do ventilador e na entrada do túnel deve ser instalado um difusor. As áreas mais comuns em que o ar sofre queda de pressão são entre os pallets e entre os pallets e a unidade de ar forçado. Pode ser usado um medidor de pressão para monitorar a diferença de pressão entre o ar frio na câmara e o ar de retorno ao evaporador. No que se refere ao produto, para determinar a temperatura no seu centro é necessário o monitoramento, particularmente quando o sistema está sendo instalado e usado pela primeira vez, a fim de conhecer as limitações e capacidade do equipamento. A capacidade do equipamento depende da temperatura de entrada e da quantidade de produto, assim como da temperatura no interior da câmara, além de outros aspectos importantes na quantificação da carga térmica total e sua retirada.

THOMPSON et al.(1998), afirmam que a pressão estática incrementa-se com a profundidade do empilhamento. Normalmente no resfriamento de produtos, o cálculo é feito para que o fluxo de ar atravesse a espessura de um pallet (1,2m de produto). Os ventiladores mais usados são o axial e o centrífugo. Os axiais são indicados para sistemas com pressão estática menor que 2 polegadas de coluna de água, já os centrífugos se adequam melhor a pressões estáticas altas. O resfriamento rápido geralmente requer uma vazão alta e elevadas pressões estáticas resultando em alto consumo de energia. **THOMPSON et al.(1998)**, observou o aumento da pressão estática na embalagem de pêras com pouca área de ventilação durante o resfriamento rápido com ar forçado. O tempo total de resfriamento depende da vazão de ar e da forma geométrica do produto. No resfriamento de ameixas, usando uma vazão de ar de 1L/s por kg de produto resfriado, precisou-se de aproximadamente 4h para atingir os 7/8 do tempo de resfriamento, e dobrando-se a vazão de ar os 7/8 do tempo de resfriamento foi reduzido em até 40% (**THOMPSON et al., 1998**). Dobrar a vazão de ar requer que o ventilador opere com uma pressão 4 vezes maior e necessita-se um motor com cerca de 6 a 7 vezes mais potência, o que sem dúvida aumenta

os custos de operação. A desvantagem de operar com taxa de fluxo de ar baixa é que o tempo de permanência do produto na câmara é maior e aumenta a perda de peso do produto.

FRASER e OTTEN(1992) citados por **LEAL e CORTEZ (1998)**, desenvolveram testes comparando o sistema de resfriamento convencional (câmara frigorífica) e o sistema de resfriamento com ar forçado para resfriamento de morango. A temperatura no centro do produto foi monitorada desde o início dos testes. Os morangos foram colocados nos pallets a uma temperatura de 20°C para serem resfriados até 2°C. Os 7/8 da temperatura no centro (15°C) das frutas foi atingida após 3,75h do início do teste no sistema de ar forçado. No sistema de resfriamento convencional, os 7/8 da temperatura foram atingidos aproximadamente 27h após o início do teste, o que demonstra a eficácia do sistema de resfriamento rápido.

Na comercialização de produtos perecíveis torna-se necessário o resfriamento rápido dos produtos antes de serem transportados. Nas frutas embaladas em caixas, a eficiência do ar forçado requer espaços ou aberturas localizadas nas embalagens na direção da passagem do ar de resfriamento, de modo que este possa movimentar-se sem dificuldades. Assim, com pequenas diferenças de pressão entre os lados das pilhas de caixas, ocorrerá um resfriamento eficiente. **MITCHELL et al. (1972)**, observou que utilizando-se ar forçado no resfriamento rápido de frutas e hortaliças, o resfriamento realizava-se entre 1/4 e 1/10 vezes mais rápido que no método convencional (câmara fria), e duas a três vezes mais demorado que o resfriamento com água (hydrocooling) e à vácuo.

MOHSEIN (1980) mostra o tempo de meio resfriamento calculado para algumas frutas e hortaliças utilizando vários métodos de resfriamento. Analisando a relação temperatura-tempo no resfriamento com ar forçado de maçãs embaladas, observou-se que para atingir a mesma temperatura, requer-se menor tempo para se resfriar a superfície das frutas, enquanto no centro das frutas, requer-se maior tempo. Segundo **WILLS et al. (1989)** o tempo de meio resfriamento de citros em embalagem de 18kg sem tampa, no pallet, foi de 7h e na embalagem com tampa, 45h. **MOHSEIN (1980)**, recomenda o resfriamento de pêras com ar forçado mantendo as frutas em pallets com 3 a 4% de área de abertura nas embalagens, gastando de 8 a 10h no processo com uma vazão de ar de aproximadamente 0,3 L/s por kg de fruta e uma pressão estática de 1/4 de polegada de coluna de água.

THOMPSON et al. (1998) comprovaram que durante o resfriamento de cerejas embaladas e colocadas no pallet com ar forçado, à vazão de ar de 2 l/s por kg de fruta, as frutas localizadas na base da embalagem precisaram de aproximadamente 30min para

diminuir a temperatura de 30°C para 10°C, já aquelas situadas no meio da embalagem levaram 15min e as expostas na superfície, aproximadamente 5min. Também é possível estimar os 7/8 do tempo de resfriamento, conhecendo a relação na queda das temperaturas, a temperatura do meio de resfriamento e o tempo gasto. Por exemplo: com temperatura inicial do produto de 32,2°C e o ar frio a 1,1°C o tempo meio de resfriamento foi de 50min, então, para estimar os 7/8 que correspondem a 3,1°C, deve-se multiplicar por 3 o que resulta em 150min. Geralmente o tempo necessário para atingir os 7/8 do tempo de resfriamento corresponde a 3 vezes o tempo gasto em atingir o tempo de meio resfriamento.

O tempo de resfriamento rápido com ar forçado, para cada produto, depende de fatores como: geometria, características térmicas, temperatura inicial do produto e temperatura adequada de armazenagem, arranjo e tipo de embalagem, além de outros fatores inerentes ao sistema de refrigeração, como temperatura, umidade, velocidade do ar frio e vazão de ar.

BAIRD et al. (1988), desenvolveram um modelo econômico para projetar o sistema de resfriamento com ar forçado. Demonstraram que a velocidade do ar de resfriamento influencia consideravelmente nos custos de operação do sistema. Os resultados mostraram que os custos do resfriamento aumentaram na medida que se elevou a velocidade do ar. Para uma mesma velocidade do ar através do produto, com base no tempo de resfriamento (tempo de operação do sistema), os custos de resfriamento para produtos embalados em caixas de papelão é consideravelmente maior que produtos a granel. Os menores custos tanto para produtos a granel como embalados em caixas de papelão, consegue-se com velocidade do ar de 0,1 a 0,3m/s, aproximadamente. Em um estudo para avaliar os custos de resfriamento rápido de cítricos, **GAFFNEY e BOWMAN (1970)**, encontraram que o custo do resfriamento, com ar forçado, de produtos a granel e em caixas de papelão, são 20% e 45% mais caro que o resfriamento por hydrocooling em caixas plásticas, respectivamente. O figo, por apresentar o ostíolo aberto, não é recomendado para o resfriamento a água.

BAIRD e GAFFNEY (1976), afirmaram que quando o produto acondiciona-se dentro de embalagens, as embalagens influenciam na resposta ao resfriamento, particularmente em sistemas de resfriamento com ar forçado. Desenvolveram um método numérico para calcular as taxas de resfriamento de frutas e hortaliças, utilizando o método de elementos finitos através de equações diferenciais para descrever a transferência de calor em produtos embalados individualmente e a granel. O método aplica-se a produtos de geometria esférica, e requer que se conheça o tamanho do produto, as propriedades térmicas do produto, como o coeficiente convectivo superficial de transferência de calor, e a taxa de resfriamento.

No resfriamento rápido com ar forçado, o valor ideal do coeficiente superficial de transferência de calor é consideravelmente menor que no resfriamento rápido com água gelada. **PFLUG et al. (1965)**, mostraram que maçãs resfriadas a $-6,7^{\circ}\text{C}$ em túnel com ar forçado, apresentaram um coeficiente superficial de transferência de calor de $41\text{W}/\text{m}^2\text{C}$, valor similar ao encontrado quando resfriadas com pulverização de água a $1,7^{\circ}\text{C}$. **BAIRD e GAFFNEY (1976)**, encontraram que os valores do coeficiente superficial de transferência de calor de laranja a granel, oscilaram entre $8,5$ e $55\text{W}/\text{m}^2\text{C}$ para velocidades do ar aproximadas de $0,055$ e $2,1\text{m}/\text{s}$, respectivamente.

3.8.2 Fatores que afetam a taxa de resfriamento

BAIRD et al. (1988), afirmam que a taxa de resfriamento de frutas e hortaliças depende de alguns fatores intrínsecos do produto como tamanho, forma e propriedades térmicas (condutividade térmica, difusividade térmica e calor específico), temperatura inicial e temperatura final do produto a ser resfriado. Depende da configuração do produto, se a granel (altura da camada) ou embalados (tipo de embalagem, arranjo). A taxa de resfriamento também depende das condições do ar de resfriamento (temperatura, umidade relativa e velocidade).

3.8.2.1 Tipo de embalagem

O tipo de embalagem assim como a área de abertura, são elementos imprescindíveis para que exista um resfriamento eficiente. A área afetiva para a ventilação é um aspecto importante durante o resfriamento com ar forçado, onde o contato do ar com a superfície do produto deve ser o maior possível. São recomendadas embalagens que apresentem no mínimo uma área de abertura de 5 a 10% , no sentido da entrada do fluxo de ar (de nada adianta projetar um sistema de resfriamento com parâmetros eficientes se as embalagens são inadequadas para este tipo de sistema) (**TERUEL, 2000**). Na prática deve existir um compromisso entre a área de abertura nas caixas e a resistência mecânica destas, pois, uma área muito grande ou mal localizada, pode afetar a função das embalagens. Existem estudos que demonstram que a área de abertura das embalagens afetam significativamente os custos do resfriamento, por que é necessário um tempo maior para conseguir resfriar o produto até a temperatura desejada (**TALBOT e BAIRD, 1990**).

3.8.2.2 Dimensões e forma geométrica do produto

No resfriamento de produtos individuais, o coeficiente convectivo de transferência de calor e o tempo de resfriamento são proporcionais ao quadrado do diâmetro. Frutas de maior tamanho requerem maior tempo de resfriamento. Isto devido a que o tempo de resfriamento é proporcional ao número de Fourier (equação 2). Produtos com diferentes formas geométricas respondem de forma diferente ao resfriamento com ar forçado, quando submetidos a temperatura e fluxos de ar semelhantes (**BAIRD, et al., 1988**).

3.8.2.3 Fluxo de ar

A taxa de ar que passa pelas frutas é outro parâmetro muito importante, o qual envolve a velocidade, ou seja, para maiores taxas de ar, maior será a velocidade e menor o tempo de resfriamento, o que se traduz em maior eficiência do sistema. Mesmo assim, essa taxa de ar não pode ser aumentada de forma arbitrária, pois velocidades muito altas podem provocar ressecamento da superfície das frutas e como consequência perdas de peso. Como na prática os fatores inerentes ao produto não podem ser alterados, a diminuição das taxas de resfriamento têm que ser conseguida manipulando as demais variáveis ou fatores que influenciam o processo de resfriamento (**TERUEL, 2000**).

Para o resfriamento com ar forçado propõe-se que a taxa de ar deva estar entre 0,001 e 0,006m³/s por kg de produto, que corresponde a 1 a 6L/s por kg de produto a ser resfriado (**ARIFIN e CHAU, 1988; TALBOT e CHAU, 1991 e FRASER, 1991**).

EDEGOU et al.,(1997) compararam o efeito do resfriamento rápido de morango com ar forçado com o resfriamento lento em câmara convencional. A taxa aplicada foi de 0,002m³/s por kg de produto, fornecida por um ventilador centrífugo. A percentagem de área efetiva das caixas plásticas foi de 10%. A temperatura inicial das frutas foi de 20°C e foram resfriados até 2°C. O tempo de meio resfriamento foi de 26 min. e na câmara de 92 min.; uma diferença estatística significativa.

3.8.3 Resfriamento rápido - abordagem matemática do resfriamento rápido de frutas e hortaliças

Durante o resfriamento rápido de produtos hortícolas, a camada superficial do produto é afetada pela dinâmica do fluido ao seu redor e as condições da superfície deste. A superfície rugosa, embalagens, área efetiva na passagem do ar, etc., influenciam no regime de fluxo ao redor do produto e consequentemente afetam o coeficiente superficial de

transferência de calor. O coeficiente convectivo de transferência de calor depende, entre outros fatores, da velocidade do fluido ao qual é transferido o calor (**ASHRAE, 1993**).

Devido à importância tecnológica é necessário determinar efetivamente as propriedades térmicas, tais como a condutividade térmica (**k**), difusividade térmica (α) e calor específico (**C_p**), e a propriedade térmica de transporte como o coeficiente convectivo de transferência de calor (**h_c**) de um produto biológico, como o figo, através de dados experimentais e modelos analíticos.

Neste trabalho foi realizado a abordagem teórica do resfriamento rápido e confrontados os resultados com os resultados experimentais, conforme o definido por **DINCER (1995a), DINCER (1995b), DINCER (1995c), DINCER (1995d), DINCER (1995e), DINCER (1995f), DINCER (1995g), DINCER (1995h), DINCER (1996a), DINCER (1996b)**.

A situação abordada foi considerada para um produto de formato esférico de raio **R** o qual foi submetido a um fluxo de ar. A distribuição de temperatura em qualquer ponto do produto é função do tempo e do raio deste. A transferência de calor assumiu-se em uma direção no sentido do raio do produto. Para simplificar o modelo matemático do processo de resfriamento, na formulação assumiu-se o seguinte: (a) as propriedades térmicas do produto são constantes (condutividade térmica, difusividade térmica e calor específico), (b) as propriedades térmicas do ar de resfriamento são constantes, (c) os coeficientes de transferência de calor são constantes, (d) o corpo é esférico, isotrópico e homogêneo, (e) o produto apresenta temperatura inicial uniforme e, (f) condições de transferência de calor de estado transiente. Segundo (**DINCER, 1995e**), a transferência de calor por convecção é a mais importante de todas, sendo a transferência de calor devido à radiação de aproximadamente 15% do calor total transferido, o calor devido à evaporação da água do produto, aproximadamente 1,5% e o calor devido à convecção de aproximadamente 83,5%. A seguir, serão apresentadas as equações matemáticas teóricas que descrevem o fenômeno, considerando a geração de calor por radiação e por evaporação ou perda de água do produto, constantes. Assim, tem-se três casos de geração total de calor considerando os três coeficientes de transferência de calor:

$h = h_c$; o calor total inclui somente o coeficiente convectivo de transferência de calor.

$h = h_c + h_r$; o calor total inclui o coeficiente convectivo e radiativo de transferência de calor.

$h = h_c + h_r + h_e$; o calor total inclui o coeficiente convectivo e radiativo de transferência de calor mais o calor gerado perda de água do produto (evaporativo).

A abordagem teórica do resfriamento de figo foi feita considerando o produto de formato esférico. Desta forma, a condução de calor para produtos esféricos pode ser escrita em coordenadas esféricas da seguinte forma:

$$\boxed{(\partial T / \partial r^2) + (2/r)(\partial T / \partial r) + (q/k) = (1/\alpha)(\partial T / \partial t)} \quad (16)$$

A formulação do problema em termos de diferença de temperatura ($\theta = T - T_a$), fica:

$$\boxed{(\partial^2 \phi / \partial r^2) + (2/r)(\partial \phi / \partial r) + (q/k) = (1/\alpha)(\partial \phi / \partial t)} \quad (17)$$

As condições iniciais e de contorno e para uma temperatura final no tempo finito, tem-se:

$$\boxed{\phi(r,0) = \phi_i = T_i - T_a} \quad (18)$$

$$\boxed{\phi(0,t) = \text{finito}} \quad (19)$$

$$\boxed{-k[\partial \phi(R,t) / \partial r] = h\phi(R,t)} \quad (20)$$

De acordo com (**DINCER, 1995e**), aplicando a transformada de Laplace e separando as variáveis, a distribuição da temperatura transiente em algum ponto do produto esférico em termos adimensionais, é:

$$\boxed{\theta = A + \sum_{n=1}^{\infty} B_n \cdot C_n \cdot D_n \cdot E_n} \quad (21)$$

Onde:

$$\boxed{A = (Po/6)[1 + (2/B_i) - \chi^2]} \quad (22)$$

$$\boxed{B_n = [1 - (Po/\mu_n^2)]} \quad (23)$$

$$\boxed{C_n = [(2B_i \cdot \text{sen } \mu_n) / (\mu_n - \text{sen } \mu_n \cdot \cos \mu_n)]} \quad (24)$$

$$\boxed{D_n = (\text{sen } \mu_n \cdot \chi) / (\mu_n \cdot \chi)} \quad (25)$$

$$\boxed{E_n = \exp(-\mu_n^2 \cdot F_o)} \quad (26)$$

Po corresponde ao número de Pomerantsev (adimensional).

As quantidades adimensionais, número de Biot e o número de Fourier são definidas pelas equações 14 e 15 respectivamente. As outras quantidades adimensionais são definidas da seguinte forma:

$$\chi = (r/R) \quad (27)$$

$$Po = [q \cdot R^2 / k(T_i - T_a)] \quad (28)$$

A letra **q** corresponde ao calor interno (respiração) gerado por uma fruta. Para o figo 'Mission' a temperatura de 20°C é de 0,08612W/kg (ASHRAE, 1993).

Na distribuição transiente da temperatura no centro do produto esférico, $\chi=0$, sendo que $D_n=1$, e a expressão é reduzida à seguinte forma:

$$\theta = A + \sum_{n=1}^{\infty} B_n \cdot C_n \cdot E_n \quad (29)$$

onde:

$$A = (Po/6)[1 + (2/B_1)] \quad (30)$$

Na equação (29) a série converge rapidamente exceto para valores de Fourier pequenos (exemplo: $F_o < 0,2$); do outro lado a expressão da equação (26) decresce rapidamente quando se incrementam os valores de μ_n . Assim, o primeiro termo da série é considerado e o resto são ignorados, desta forma a equação (29) fica reduzida à seguinte expressão:

$$\theta = A + B_1 \cdot C_1 \cdot E_1 \quad (31)$$

Os demais termos ficam expressos assim:

$$B_1 = [1 - (Po / \mu_1^2)] \quad (32)$$

$$C_1 = [(2B_1 \cdot \text{sen } \mu_1) / (\mu_1 - \text{sen } \mu_1 \cdot \cos \mu_1)] \quad (33)$$

$$E_1 = \exp(a) \quad (34)$$

Para calcular o valor de **C**₁, os valores devem ser introduzidos em radianos.

.....Na equação (34) esta inserida a taxa de resfriamento (**a**) que corresponde a:

$$a = (\mu_1^2 \cdot \alpha) / R^2 \quad (35)$$

O valor de μ_1 pode ser calculado a partir das equações (36) ou (37):

$$\mu_1 \cot g \mu_1 = (1 - B_i) \quad (36)$$

$$\mu_1^2 = (10,3B_i)/(3,2 + B_i) \quad (37)$$

μ_1 é um coeficiente angular função do número de Biot (**CHAU, 2001**).

No caso de carecer de dados experimentais da condutividade térmica (**k**), difusividade térmica (α) e calor específico (C_p), estes valores podem ser calculados com base no conteúdo de água do produto, já que as propriedades térmicas dos produtos alimentícios são fortemente dependentes do conteúdo de água (**DINCER, 1995e; ASHRAE, 1993; SWEAT, 1974**). O valor do conteúdo de água (**W**) deve ser inserido em decimal. Valor da condutividade térmica resulta nas unidades de W/m°C e da difusividade térmica em m²/s. As equações são as seguintes:

$$k = (0,148 + 0,493 \cdot W) \quad (38)$$

$$\alpha = [0,088 \times 10^{-6} + (\alpha_w - 0,088 \times 10^{-6}) \cdot W] \quad (39)$$

$$C_p = (1,381 + 2,930W) \times 1000 \quad (40)$$

Onde α_w é a difusividade térmica da água à temperatura do produto, para 20°C pode-se assumir como 0,148x10⁻⁶m²/s (**ASHRAE, 1993**).

O coeficiente convectivo de transferência de calor pode ser estimado através da seguinte correlação de Nusselt-Reynolds para fluxo de gases que passam através de esferas (**DINCER, 1995e**):

$$h_c = (k_a / D) \cdot (2,0 + 0,552 \cdot R_e^{0,53} Pr^{0,33}) \quad \text{para } 1 < R_e < 48.000 \quad (41)$$

O h_c expresso em W/m²°C. As propriedades térmicas do ar são consideradas na temperatura de resfriamento e a pressão atmosférica, sendo k_a a condutividade térmica do ar, para 0°C é de 0,0243W/m°C, Pr = 0,715 e viscosidade dinâmica ($\nu=1,33 \times 10^{-5}$ m²/s). O valor do calor latente de vaporização ($h_{fg}=334,000$ J/kg) (**BERTO e CUNHA, 2000; ASHRAE, 1993**). O número de Reynolds é expresso como segue:

$$R_e = v \cdot D / \nu \quad (42)$$

Sendo v , no numerador, a velocidade do ar de resfriamento em m/s e D o diâmetro do produto em m.

MOHSEIN (1980) relata que o fluxo de ar considera-se laminar para valores de número de Reynolds inferiores a 2.130, quando os valores estão entre 2.130 e 10.000 as características do fluxo dependem dos detalhes da estrutura ou duto e, qualquer predição definitiva é impossível. Quando os valores são maiores de 4.000 considera-se fluxo turbulento.

Alguns autores representam os resultados dos experimentos em função do número de Nusselt, Reynolds e Prandtl. A correlação Nu-Re permite estimar valores confiáveis por simples geometria como pratos planos. Derivações teóricas e experimentos de laboratório mostram que h é um fenômeno local variável e sucede na superfície (**ASHRAE, 1993**).

Uma outra forma de calcular o coeficiente convectivo de transferência de calor é através do modelo desenvolvido por **DINCER (1995a)**, representado pela equação (43). Modelo matemático no qual o coeficiente convectivo é calculado com base na condutância térmica do filme ou superfície do produto esférico submetido ao resfriamento.

$$h_c = (3,2kRa)/(10,3\alpha - aR^2) \quad (43)$$

Onde a corresponde à taxa de resfriamento encontrada experimentalmente expressa em 1/s.

O coeficiente de transferência de calor por radiação (h_r) entre o produto e o ar de resfriamento pode ser calculado através da seguinte equação:

$$h_r = \sigma \cdot \varepsilon \cdot (T_s + T_a) \cdot [(T_s)^2 + (T_a)^2] \quad (44)$$

A constante de Stefan Boltzman (σ) equivale a $5,669 \times 10^{-8} \text{W/m}^2\text{k}^4$; a emissividade da superfície da fruta (ε) igual a 0,9 (**ASHRAE, 1993**). T_s é a temperatura na superfície da fruta em escala absoluta (K) e T_a a temperatura do ar de resfriamento em escala absoluta (K). O h_r é expresso em $\text{W/m}^2\text{°C}$.

Devido à perda de água do produto, existe transferência de calor devido a evaporação da água deste produto, e o coeficiente pode ser calculado através da seguinte equação:

$$h_e = h_{c+r} [(h_{fg}(W_i - W_f))/C_p(T_i - T_f)100] \quad (45)$$

Onde, W_i e W_f correspondem ao conteúdo de água inicial e final do produto, respectivamente expressos em percentagem; T_i e T_f correspondem à temperatura inicial e final do produto expressas em °C e; h_e é expresso em $W/m^2°C$.

Desta forma tem-se as equações matemáticas teóricas de distribuição da temperatura, onde se pode comparar os resultados com os valores experimentais. A equação analítica com a qual serão representados os dados experimentais da distribuição adimensional da temperatura em função do tempo de resfriamento, corresponde à equação (5).

3.8.3.1 Modelos matemáticos para a determinação da taxa e tempo de resfriamento de frutas e hortaliças

Para analisar o comportamento das diversas variáveis envolvidas no processo de resfriamento, visando sua otimização, empregam-se modelos matemáticos. As simulações oferecem resultados próximos em relação aos obtidos experimentalmente, quanto a forma da fruta pode ser aproximada a uma esfera, placa infinita ou cilindro, como é apresentado por diversos pesquisadores. HOOD citado por **MOHSEIN (1980)**, discute a semelhança nos modelos experimental e teórico durante o resfriamento rápido de pepino com água gelada, porém ressalta as possíveis variações da temperatura da água durante o experimento.

NOVY e KIERCKBUSH (1986) desenvolveram um modelo simples para o cálculo da taxa de resfriamento. Quando o produto é resfriado com embalagens de madeira ou papelão, o cálculo da taxa de resfriamento apresenta grandes dificuldades, isto porque a distribuição do ar não é uniforme no interior das embalagens. Outros modelos foram desenvolvidos por **PLANK (1963)**, **MASCHERONI e CALVELO (1982)**, nos quais os autores utilizam equações auxiliares em função de parâmetros básicos como entalpia, condutividade térmica, calor específico, difusividade térmica, geometria, entre outras propriedades e características dos produtos.

A maioria dos modelos matemáticos existentes respondem às condições dos países onde foram desenvolvidos. **LIMA et al (1997)** e **LIMA e NEBRA (1997)** desenvolveram um modelo matemático para descrever o fenômeno de transporte de água e avaliaram o modelo utilizando dados experimentais do processo de secagem de banana. O modelo foi adotado por **TERUEL (2000)** para caracterizar o resfriamento com ar forçado de frutas geométricas diferentes (laranja e banana). No caso do figo 'Roxo de Valinhos', não se tem informação sobre o resfriamento rápido dessa fruta. Por isso considerou-se importante a determinação

experimental de alguns parâmetros básicos da fruta envolvidos no resfriamento rápido, tais como a condutividade térmica, difusividade térmica e calor específico.

O comportamento das principais variáveis que interagem no processo de transferência de calor em qualquer etapa após a colheita da fruta, permite a simulação posterior em nível de laboratório, permitindo maior controle e possibilitando a análise de outras variáveis.

3.9 Propriedades físicas

Segundo **MOHSENIN (1986)**, as propriedades físicas dos materiais agrícolas, são requeridas em diferentes processos e meios operacionais, tais como aqueles que envolvem transferência de calor (aquecimento ou resfriamento).

A aparência física está relacionada com a textura, que à sua vez, é condição de firmeza. Quando um produto é resfriado com ar, mesmo que este contenha uma umidade relativa de 100%, o produto continuará perdendo água por evaporação, enquanto permanecer mais quente que o ar, ou seja, enquanto existir déficit de pressão de vapor (DPV). Portanto, é importante resfriar o produto, o mais rapidamente possível, para minimizar a DPV e sua conseqüente perda de água. Dessa forma evita-se uma redução na comercialização não só em função da perda de peso do produto, como também da qualidade (murchamento, enrugamento, perda de textura) (**CHITARRA e CHITARRA, 1990**).

3.9.1 Forma e tamanho

São características inseparáveis. As frutas e hortaliças, teoricamente, requerem um número infinito de medições, porém, do ponto de vista prático, algumas medições mutuamente perpendiculares são suficientes. O número de medidas incrementa-se com a irregularidade na forma do produto. Dentro dos critérios definidos para descrever a forma e tamanho dos produtos, se tem as cartas padrões e os baseados nas medidas longitudinal e transversal.

Segundo **DUSSAN e HONÓRIO (2000)**, de acordo com a terminologia utilizada na comercialização da fruta, o figo `Roxo de Valinhos´ apresenta diferentes pontos de colheita ou graus de maturidade e diferentes calibres ou tipos. Os diferentes graus de maturidade são os seguintes: o estágio maduro (fruta totalmente amadurecida, inchados e com o ostíolo aberto); o estágio rami ($\frac{3}{4}$ da fruta amadurecida); o estágio verde tipo exportação (também designado “de vez”.); e; o estágio verde (utilizado para figo em calda e comercializado a granel). As frutas em estágio maduro são comercializadas, atualmente, com base no seu tamanho, assim tem-se: tipo 6 (6 frutas por gaveta, cada gaveta com dimensões de

aproximadamente 25x12x5cm - 18 frutas por caixa); tipo 8 normal, o mais comercializado (oito frutas por gaveta - 24 frutas por caixa); tipo oitinho (utilizando gavetas menores que o tipo 8 normal - 24 frutas por caixa) e; tipo 10 (dez frutas por gaveta - 30 frutas por caixa). Na Tabela 3 observa-se a classificação por tamanho e massa do figo maduro, rami e verde comercializados atualmente.

Tabela 3. Valores médios de tamanho e massa do figo 'Roxo de Valinhos'.

Maduro				
Tipo	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)	Massa (g)
6	64,8	61,8	56,5	96,1
8	51,6	49,4	56,2	66,3
Oitinho	48,5	46,2	54,4	55,3
10	46,9	43,6	52,5	52,4
12	45,4	42,9	50,0	47,9
Rami				
8	58,9	55,9	55,8	83,4
Verde				
Granel	41,1	38,5	38,9	25,4

3.9.2 Esfericidade

Segundo **MOHSEIN (1986)**, para o cálculo da esfericidade utiliza-se a expressão (46), que significa a forma característica do sólido, relativo a uma esfera do mesmo volume.

$$Esf.(%) = \frac{d}{a} \times 100 \quad (46)$$

Em que, a corresponde ao maior diâmetro (d_1 , d_2 , ou d_3) e d corresponde ao diâmetro equivalente definido pela seguinte equação:

$$d = (d_1 * d_2 * d_3)^{1/3} \quad (47)$$

Onde:

d_1 , d_2 , e d_3 são os três diâmetros mutuamente perpendiculares da fruta (Figura 3) em m.

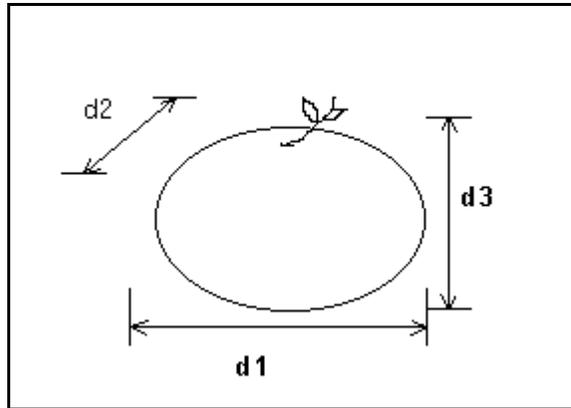


Figura 3. Diâmetros mutuamente perpendiculares da fruta.

Na Tabela 4 **MOHSEIN (1986)**, mostra o valor da esfericidade de algumas frutas.

Tabela 4. Esfericidade de algumas frutas.

Fruta	Esfericidade (%)
Pêra	89
Maça	91
Pêssego	95

3.9.3 Volume

Segundo **THOMPSON e ISSACS (1967)**, o volume ocupado por um produto é mais comumente determinado pelo deslocamento de um líquido de densidade conhecida. Este processo é um princípio simples que requer apenas materiais comumente encontrados em laboratório. **MOHSEIN (1986)**, afirma que pela forma irregular do produto, o volume, é usualmente determinado pelo deslocamento da água.

Tentando estabelecer critérios, **MOHSEIN (1986)**, descreveu a equação para determinar o volume a partir das dimensões axiais do produto. Depois de decidir a forma do corpo, esta característica pode ser calculada utilizando a equação apropriada, segundo a semelhança com um corpo geométrico.

Se a forma do produto é associada com uma esfera alongada, a qual é formada quando uma elipse gira ao redor do eixo maior (a), como o caso do limão, representado pela equação (48).

$$V = \frac{4}{3} \left[\left(\pi \times \frac{a}{2} \times \left(\frac{b}{2} \right)^2 \right) \right] \quad (48)$$

Onde **a** é o comprimento e **b** a espessura.

Atualmente comercializa-se o figo 'Roxo de Valinhos' em estágio maduro e rami, em caixas de madeira quando vendido para a CEASA de Campinas e em caixas de papelão quando vendido diretamente aos supermercados. Cada embalagem contém três gavetas de papelão, sendo colocado primeiramente um papel seda de cor azul e depois acomodadas as frutas. O figo tipo exportação comercializa-se em caixas de papelão, acondicionado-se as frutas em bandejas plásticas de cor azul marinho (tipo bandeja para ovos) dentro das embalagens, e cada embalagem contém 24 frutas. O figo verde comercializa-se a granel em caixas de madeira com capacidade para 15kg.

3.10 Propriedades mecânicas

Segundo **MOHSEIN (1986)**, o conhecimento das propriedades mecânicas dos produtos agrícolas deveria ser constituinte importante e dados essenciais na engenharia para o cálculo de aparelhos, estruturas e processos. As lesões mecânicas, que causam danos físicos, representam uma das mais sérias fontes de perda da qualidade durante o período pós-colheita. Os ferimentos incrementam a taxa respiratória e a produção de etileno, além de criar um lugar propício para o desenvolvimento de fungos e outros patógenos.

A resistência mecânica está relacionada com a textura. A textura é definida como o conjunto de propriedades do alimento, compostas por características físicas perceptíveis pelo tato e que se relacionam com a deformação, desintegração e fluxo do alimento, sob aplicação de uma força. Essas características são avaliadas objetivamente por funções de força, tempo e deformação. As sensações que caracterizam a textura das frutas e hortaliças são múltiplas, na sua maioria induzidas por características mecânicas, embora também possam ser induzidas por características geométricas ou químicas. As principais sensações são de dureza, maciez, fibrosidade, suculência, granulidade, resistência e elasticidade (**CHITARRA e CHITARRA, 1990**). A aparência física está relacionada com a textura, que à sua vez, é condição de firmeza.

O figo 'Roxo de Valinhos' é um produto perecível que oferece pequena resistência aos danos mecânicos, tornando-se importante o conhecimento de propriedades mecânicas do produto como critério de qualidade no amadurecimento, durante a colheita, na projeção de embalagens e no armazenamento. É importante destacar que a propriedade mecânica, como o índice de firmeza, encontra-se relacionado a outras análises de qualidade como sabor, coloração e outros atributos físico-químicos. A classificação e padronização do figo são importantes parâmetros para manter a qualidade da fruta. A classificação simplifica e garante

as operações de compra e venda, o que possibilita que o figo seja comercializado em larga escala e à distância. A padronização facilita o empilhamento e transporte da fruta, sem que ela sofra grandes danos mecânicos, mantendo a sua qualidade. A padronização e classificação do figo fornece a relação de qualidade e preço, fatores que dão seriedade nas transações comerciais.

A textura pode ser avaliada com aparelhos (penetrômetro, maturômetro, texturômetro ou prensas hidráulicas), os quais permitem obter dados sobre a resistência e consistência do tecido por meio da compressão do produto. A medida equivale à força necessária para vencer a resistência dos tecidos da polpa (**CHITARRA e CHITARRA, 1990 e KAYS, 1991**).

Segundo GRIFFIN e KERTESZ citados por **MOHSEIN (1986)**, as mudanças texturais na maçã são definidas em termos de química e mudanças estruturais nos tecidos. De acordo com **MATZ (1962)**, os fatores que influenciam na textura das frutas e hortaliças são a turgidez das células, tipo de tecido, aderência das células e síntese tal como conversão de amido a açúcar. A textura da fruta torna-se macia com o decorrer do amadurecimento, devido à ação de enzimas que atuam na hidrólise do amido, na transformação dos constituintes celulósicos, bem como na conversão da protopectina em pectina solúvel (**MATOO et al., 1975**).

MOHSEIN (1986), afirma que o tipo de carga mais comum a que uma fruta está sujeita é a carga de contato, a qual pode produzir injúria. Forças de contato geralmente ocorrem durante a colheita, o manuseio e o armazenamento. Entre os vários testes mecânicos aplicados para biomateriais sólidos, o mais comum e simples é o teste de compressão. Sólidos com sua forma intacta são sujeitos aos testes de compressão simples axial, empregando o molde cilíndrico rígido, a bola de aço ou pratos rígidos planos. A Figura 4, mostra o caso particular de um corpo esférico quando submetido a uma carga **F** em contato axial com uma superfície plana. Os produtos agrícolas são considerados geralmente viscoelásticos, isso significa que as relações entre tensão/deformação são governadas pelo tempo.

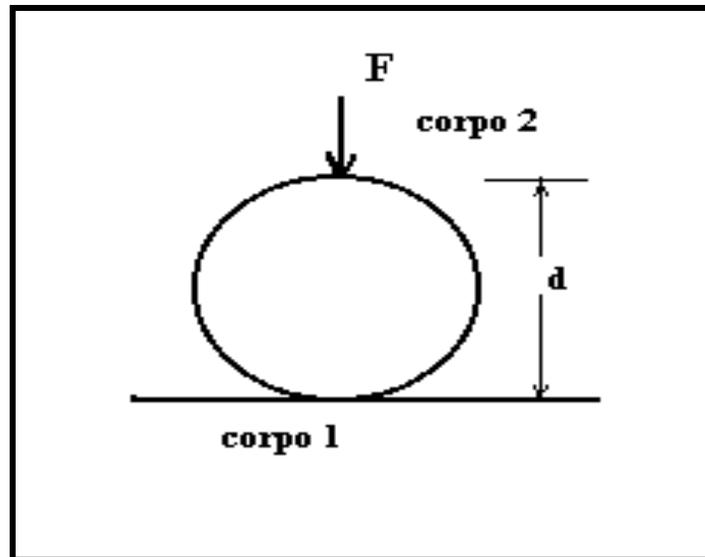


Figura 4: Uma esfera em contato com uma superfície plana.

A medição da firmeza por meio de prensas hidráulicas através de compressão da fruta entre pratos planos e paralelos, que consiste em aplicar uma carga à velocidade constante. Do ensaio resulta uma curva de onde é extraído o módulo de elasticidade aparente ou módulo de Young, que corresponde à inclinação ou tangente da curva força-deformação, que é associado ao índice de firmeza. O módulo de elasticidade é dito aparente por que as determinações são feitas para a fruta inteira, a qual possui diferentes componentes estruturais como a casca, polpa e sementes. O figo é uma infrutescência, cujo interior corresponde à porção comestível, e o mesocarpo se comunica ao exterior por meio do ostíolo. Através deste ensaio, obtém-se medidas mais confiáveis de índice de firmeza em relação aos penetrômetros portáteis. Esses últimos são sempre desaconselhados quando manuseados por diferentes operadores, o que resulta em medidas muito variáveis, particularmente se é feito diariamente, pois dependerá dos estados de humor e saúde de seus operadores, como afirmam **HARKER, MAINDONALD e JACKSON (1996)**.

A técnica destrutiva mais empregada atualmente para medir o índice de firmeza dos produtos hortícolas são os penetrômetros portáteis e o uso de prensas. Os penetrômetros portáteis foram desenvolvidos por Magness e Taylor em 1925 e a partir deles, muitos outros foram produzidos por diferentes empresas como o caso do penetrômetro EFFEGI, com pontas de 8 e 11,1 mm de diâmetro desenvolvido na Universidade de Milão, na Itália.

O cálculo do valor do módulo de elasticidade aparente é baseado na teoria de contato de Hertz, a qual tem sido utilizada por alguns autores para descrever a deformação de frutas (**MOHSEIN, 1986**). O módulo de elasticidade de uma fruta é essencial para se calcular a carga máxima permissível quando se armazena a granel, impondo desta maneira cargas

estáticas ou dinâmicas. A determinação da carga máxima permissível que um material pode resistir sem sofrer danos é um dos maiores objetivos do estudo das propriedades mecânicas.

As considerações assumidas por KOSMA e CUNNINGHAM citados por **MOHSEIN (1986)** para a solução do estresse de contato entre corpos isotrópicos e elásticos na aplicação da teoria de contato de Hertz, são:

- O material dos corpos em contato é homogêneo.
- As cargas aplicadas são estáticas.
- Segurança da Lei de Hooke para níveis baixos de carga.
- A pressão de contato desaparece na ponta oposta do corpo.
- Os raios de curvatura do sólido de contato são maiores quando comparados com os raios da superfície de contato.
- A superfície dos corpos de contato é suficientemente lisa e as forças tangenciais são eliminadas.

Para **MOHSEIN (1986)**, quando uma fruta esférica é comprimida axialmente apoiada sobre um prato de aço plano, como se observa na Figura 3, o módulo elástico aparente (**E**), é estimado com a seguinte equação:

$$E = \frac{0,338 * k^{3/2} * F (1 - \nu^2)}{D^{3/2}} \left(\frac{4}{d} \right)^{1/2} \quad (49)$$

Em que:

E = módulo de elasticidade aparente, kgf/m²;

F = força de compressão aplicada sob o corpo, Kgf;

D = deformação na força F , m;

ν = coeficiente de Poisson. Para materiais biológicos, varia entre 0,3 e 0,5;

d = diâmetro equivalente do corpo, m;

Sendo o ângulo de contato entre o corpo esférico e o plano de 90°, o valor de **k** será de 1,3514 (**MOHSEIN, 1986**). Substituindo o valor de **k** na equação (49), tem-se:

$$E = \frac{0,531 * F (1 - \nu^2)}{D^{3/2}} \left(\frac{4}{d} \right)^{1/2} \quad (50)$$

Se as curvas de força - deformação são usadas como bons definidores dos parâmetros texturais para frutas como as maçãs, então, são essenciais para estabelecer a correlação satisfatória entre certos parâmetros dessas curvas e muitas das propriedades químicas e físicas da fruta, as quais, têm demonstrado ser bons índices de maturidade e senescência. O período ótimo para a colheita mecânica, por exemplo, é o tempo no qual ambos, a qualidade e a resistência ao dano mecânico são elevadas (**MOHSEIN, 1986**).

MOHSEIN (1986), mostra a correlação do módulo de elasticidade (E) obtido das curvas força - deformação para seis cultivares de maçã no período entre a floração e a colheita, em comparação com algumas propriedades avaliadas. Por exemplo, a correlação entre o E e a cor da fruta é negativa, ou seja, é inversamente proporcional; a correlação com o conteúdo de açúcares também é negativa, e, correlacionando a firmeza e o peso específico observa-se uma tendência positiva. A correlação entre a cor da fruta e o conteúdo de açúcares é positiva, e entre os açúcares e a firmeza é; negativa. Este autor definiu o conceito de material sólido alimentício como aquele com rigidez suficientemente alta sob condições normais de manuseio para suportar seu peso próprio sob forças gravitacionais, além disso, fez uma classificação arbitrária, tomando para sólidos moles um módulo de elasticidade menor que 10^7 N/m² ou 10.000 kPa.

VELEZ PASOS (1987) concluiu que o módulo de elasticidade aparente obtido a partir da curva força - deformação para laranja pêra em estado de maturidade comercial, varia entre 2.182 e 2.394 kPa. **FINNEY (1973)**, confirma a utilização do módulo de elasticidade para avaliar a umidade e a firmeza em vegetais. O autor cita que para maçã e batata, o E varia de 6.000 a 14.000 kPa, para banana o módulo de elasticidade aparente varia de 800 a 3.000 e para pêssego de 2.000 a 20.000 kPa.

3.11 Padronização dos produtos hortícolas

A adoção de normas ou padronização dos produtos hortícolas é passo imprescindível para a utilização de métodos de comercialização, para a construção de um sistema confiável de informações de mercado, e para a colocação de cada lote no seu melhor nicho de mercado. É indispensável para a implantação da transparência na comercialização e da promoção comercial do produto.

A classificação de produtos hortícolas consiste na comparação do produto com padrões pré-estabelecidos, tendo-se o julgamento para enquadrar o produto em um determinado grupo, classe ou tipo. Segundo **BLEINROTH (1998)**, as vantagens da classificação ou padronização dos produtos hortícolas são as seguintes:

- Melhora a apresentação do produto;
- Simplifica e facilita a compra e a venda;
- Aumenta a eficiência das etapas na comercialização;
- Facilita a avaliação de preços;
- Permite maior opção ao comprador;
- Evita a comercialização de produtos inadequados;
- Possibilita o uso da mesma terminologia;
- Diminui a possibilidade de perdas;
- Oferece ao comprador garantias de qualidade.

O figo `Roxo de Valinhos`, por ser uma fruta muito perecível, precisa de boa logística e manuseio adequado para evitar perdas após a colheita. Os principais fatores causadores das perdas do figo fresco são a colheita e embalagem inadequadas, falta de padronização do produto na classificação e péssimas condições de transporte e armazenagem (TSUNECHIRU et al., 1994).

3.11.1 Embalagem

Embalagem deve proteger o conteúdo contra dano e injúria durante distribuição e manter o formato e frescor do produto durante a comercialização e armazenamento, se for necessário. A embalagem deve proteger o que vende e vender o que protege. Além disso, a embalagem de produtos hortícolas é uma forte ferramenta de marketing. O figo `Roxo de Valinhos` quando comercializado nos mercados da região de Campinas-SP e São Paulo-SP utilizam-se caixas de madeira, as quais são consideradas inadequadas para a embalagem do produto. Em geral os objetivos da embalagem são:

- *. Proteger o produto contra contaminações e perdas; danos ou deteriorações;
- *. Facilitar o transporte e o manuseio (paletização);
- *. Identificar o conteúdo (tipo e quantidade), o fabricante;
- *. Atrair o consumidor e induzi-lo à compra;
- *. Instruir o consumidor quanto ao uso.

A embalagem para figo é utilizada entre a produção (campo) e a central de embalagem, entre a produção (campo) e o varejista (consumo), e da área de produção ao mercado atacadista.

Na exportação de figo fresco, a embalagem deve apresentar uma completa identificação do produto, a saber:

- * Nome comum do produto;
- * Peso líquido, número de unidades e/ou volume;
- * Nome da marca, endereço do embalador;
- * País de origem;
- * Tamanho e classificação;
- * Temperatura de armazenagem recomendada;
- * Instruções especiais de manuseio;
- * Fungicidas ou bactericidas empregados.

Em geral os principais problemas relacionados à embalagem de produtos hortícolas são:

- * Manuseio severo durante as operações de carga e descarga;
- * Compressão das caixas colocadas sobre as camadas inferiores;
- * Impactos e vibrações durante o transporte;
- * Perda de água para o ambiente;
- * Presença de etileno;
- * Odores de outros produtos ou resíduos;
- * Ventilação inadequada.

Ultimamente tem-se intensificado a utilização das embalagens de papelão devido ao custo mais baixo se comparado com as embalagens de plástico. A embalagem de plástico tem a vantagem de ter maior resistência ao manuseio e empilhamento e pode ser reutilizada após a higienização.

3.11.2 *Packinghouse*

O manuseio adequado do figo inclui a implantação do *packinghouse* de acordo com as necessidades de comercialização. A classificação ou separação do produto por tamanho e qualidade, é unificar a linguagem do mercado. Produtores, atacadistas, varejistas e consumidores devem ter os mesmos padrões para determinar a qualidade do produto. Só assim, será obtido transparência na comercialização, melhores preços para produtores e consumidores, menores perdas e melhor qualidade.

O *packinghouse* ou galpão consiste na infraestrutura necessária para o adequado manuseio pós-colheita dos produtos hortícolas, seja para produtos minimamente

processados ou para consumo a fresco. O equipamento a ser utilizado é função do produto a ser manuseado, do tipo de tratamento que se requer e do destino do produto (mercado). Segundo **BLEINROTH (1998)**, o dimensionamento do *packinghouse* é função da quantidade de produto a ser tratado. Recomenda-se que para cada tonelada de produto precisa-se de 20m² de área. Na escolha do equipamento a ser utilizado deve-se levar em consideração a capacidade de operação requerida, sendo a capacidade prática comercial estimada em 75% da capacidade dimensionada. Também deve-se dar atenção à eficiência de operação e ao grau de injúrias mecânicas que podem ser causadas ao produto.

No dimensionamento e construção do *packinghouse* deve-se levar em conta a localização, próximo do local de produção e com acesso ao transporte. O local deve dispor de água suficiente e com a qualidade adequada. O terreno deve ser viável para a carga e descarga. Recomenda-se colocar cobertura e possuir boa ventilação para evitar temperaturas elevadas dentro do *packinghouse*. Dispor, no possível, de câmaras frias e/ou de climatização para o armazenamento ou tratamento do produto, e a construção de locais para carga e descarga de produtos. Após a colheita do figo 'Roxo de Valinhos', as frutas são levadas para um galpão onde são rapidamente selecionadas e embaladas. Quando se trata da exportação do produto, o manuseio e utilização de um *packinghouse* adequado são necessários.

Em geral, desde a colheita até a venda ao comprador, o produto pode receber diferentes tipos de manuseio, que dependem do tipo de produto e do destino final. Iniciando-se pelo ponto de colheita, o qual pode ser baseado no tempo de cultivo, coloração, dias após a florada, tamanho, etc. A colheita pode ser manual, semi-mecanizada ou mecanizada. A seleção dos produtos consiste em retirar os produtos fora do padrão ou com defeitos (rachaduras, podridões, danos mecânicos), podendo ser realizada durante a colheita ou antes/depois da classificação. A classificação consiste em padronizar o produto seja por cor, tamanho ou peso; poder feita manualmente por pessoas treinadas ou com sistema automatizado utilizando esteiras, roletes e/ou sistema computarizado de identificação. A classificação poder ser definida em grupos, sub-grupos, sabor, classes ou calibres, defeitos ou também tipos ou categorias. O empacotamento pode ser manual ou mecanizado, utilizando caixas plásticas ou de papelão ou sacos, dependendo do produto. As etapas mais comuns e que geralmente aplicam-se aos produtos hortícolas são as seguintes:

1. *Recebimento do produto*: pode ser descarregado em tanque com água ou em plataformas;
2. *Limpeza e lavagem*: para a remoção do solo, folhas e demais sujeira provenientes do campo;

3. *Seleção*: remoção de produtos com defeitos;
4. *Secagem e escovação*: para retirar excesso de água na superfície do produto;
5. *Classificação*: separação do produto com base em uma característica mensurável para obter lotes homogêneos;
6. *Aplicação de cera*: para melhorar a aparência do produto;
7. *Embalagem*: colocar o produto na embalagem que será comercializado;
8. *Resfriar*: resfriamento rápido e/ou armazenamento refrigerado;
9. *Carregamento*: utilizando empilhadeiras para facilitar o carregamento e/ou descarregamento nos veículos;
10. *Transporte*: recomenda-se utilizar transporte refrigerado.

Algumas etapas podem ser adicionadas como a utilização de produtos químicos, cura, climatização, paletização ou aplicação de filmes plásticos.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Figo

As frutas da figueira cultivar Roxo de Valinhos, utilizadas em todas as determinações experimentais, corresponderam ao tipo 8 (8 frutas por caixeta num total de 24 frutas/caixa). As frutas foram adquiridas de produtores da região de Valinhos – SP (safras 1999 a 2002), e foram colhidas no estágio rami. Nesta fase, já completamente desenvolvidas, adquirem a coloração arroxeada. As frutas uma vez colhidas foram selecionadas (tamanho uniforme, coloração característica, livres de defeitos físicos, danos mecânicos ou infecções microbianas visíveis), procurando assim formar uma amostra homogênea para as diversas determinações. No total foram utilizados 1000kg de fruta.

4.2 Câmara fria

O sistema de resfriamento rápido por ar forçado utilizado encontrava-se instalado dentro da câmara fria localizada no Laboratório de termodinâmica da FEAGRI/UNICAMP. Foi necessário adequar uma plataforma de madeira no piso da câmara fria para permitir um melhor posicionamento do túnel de resfriamento. A câmara fria possuía externamente as seguintes dimensões: 4,05m de comprimento, 2,85m de largura e 3,0m de altura. Constituída de painéis pré-fabricados revestidos de chapas metálicas, isoladas termicamente com espuma rígida de poliuretano injetado. A espessura do isolamento era de 0,10m. As demais características técnicas da câmara são apresentadas na Tabela 5. A câmara fria possui um indicador de temperatura digital na parede exterior, ao lado da porta.

Tabela 5. Características da câmara fria.

Unidade Evaporadora		Unidade Condensadora	
Fabricante	McQuay do Brasil	Fabricante	McQuay do Brasil
Refrigerante	R-22	Refrigerante	R-22
Modelo	FBA 190	Modelo	MH*029M2
Capacidade (kcal/h)	4.440	Capacidade (kcal/h)	4.396
T evaporação (°C)	-16	T condensação (°C)	35
ΔT	6	N° ventiladores	2
N° ventiladores	4	Pot. Motor (HP)	3
Comprimento (mm)	2.308		
Largura (mm)	374		
Altura (mm)	364		
Degelo	elétrico		
Potência Total (HP)	1,25		
UR ambiente (%)	85		

4.3 Sistema de resfriamento por ar forçado

As caixas com frutas foram posicionadas em ambos lados do ventilador, succionando o ar frio da câmara e obrigando-o a passar por meio das caixas. As caixas foram cobertas pela parte superior da pilha e na frente com uma lona plástica para permitir que a passagem de ar fosse feita somente pelas laterais. O ar ao passar pelas áreas de abertura das caixas promoveu o resfriamento do produto conforme é mostrado na Figura 5.

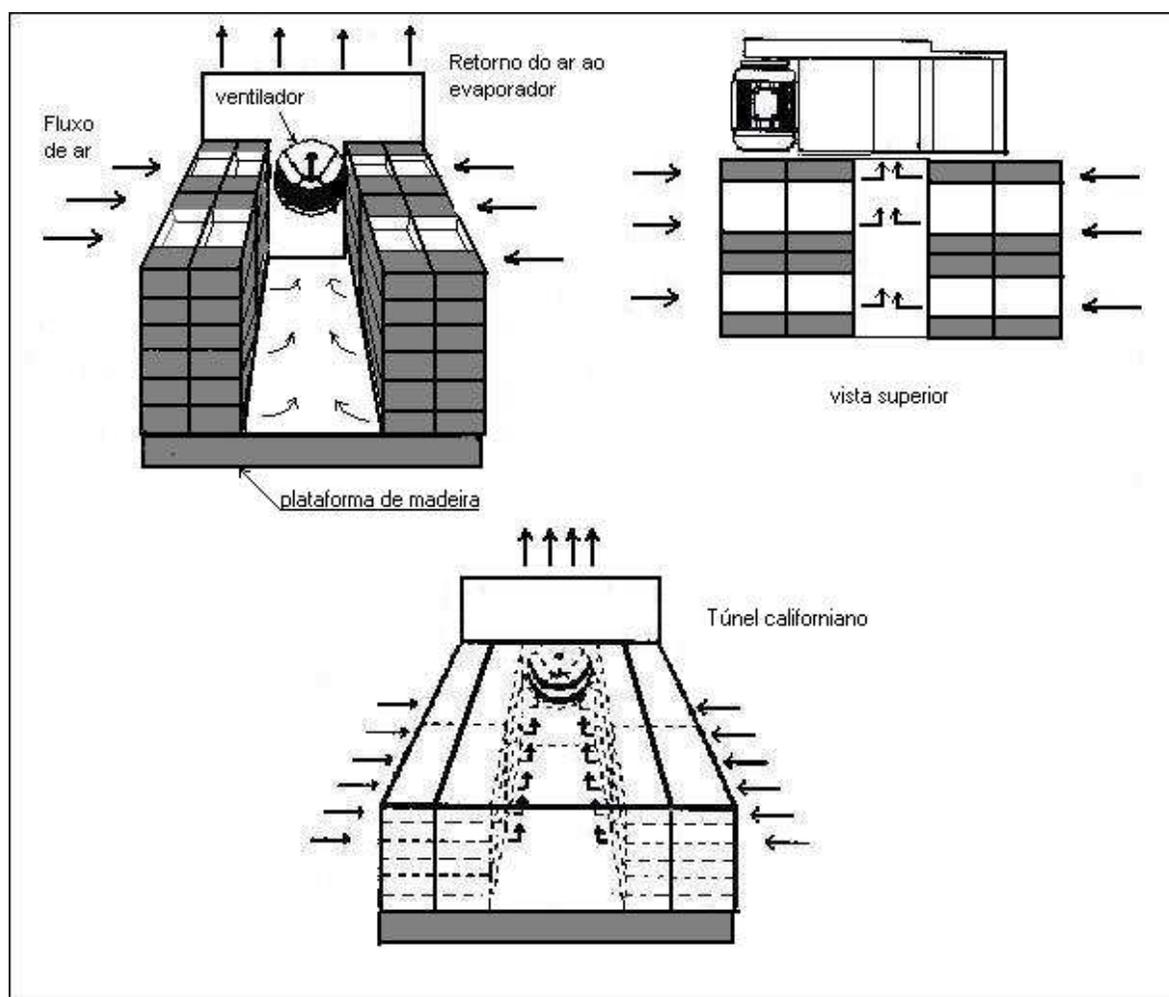


Figura 5. Sistema de resfriamento com ar forçado, tipo túnel californiano.

4.3.1 Ventilador - características

O ventilador já encontrava-se montado e operando. Tratava-se de um ventilador centrífugo marca Torin de pás retas para trás, o qual promove no interior do túnel uma pressão de ar inferior, do que no resto da câmara, pois funciona como exaustor. Realizaram-se trocas de polias para garantir três fluxos de ar diferentes que corresponderam a três regimes de operação. O diâmetro da polia motora não variou (90mm), o número de

revoluções por minuto foi de 1.650rpm, a pressão estática de 65mmca e a vazão de 7.000m³/h. Para o cálculo da velocidade de rotação e fluxo de ar, para cada um dos regimes, foram utilizadas as equações (51), (52) e (53).

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{d_2}{d_1} \quad (51)$$

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (52)$$

$$Q = v * A \quad (53)$$

Baseado nas características do ventilador, fornecidas pelo fabricante, considerando os três regimes de ar que correspondem a três polias transmissoras de diferentes diâmetros, o ventilador operou nas condições observadas na Tabela 6.

Tabela 6. Características de operação do ventilador.

Característica	Regime I	Regime II	Regime III
Diâmetro da polia do ventilador, mm	250	200	150
Velocidade de rotação, rpm	594	742	990
Vazão de ar, m ³ /h	2.520	3.148	4.200

Para permitir que as fileiras de caixas de cada lado do túnel de resfriamento rápido ficassem eqüidistantes do eixo do ventilador, foi construída uma base de madeira de 20 cm de altura, conforme indicado na Figura 5.

4.4 Embalagem

O experimento foi conduzido com frutas de figo acondicionadas em três tipos distintos de embalagens, a saber: 1) caixa de madeira nas quais atualmente se comercializa a fruta na CEASA/Campinas; 2) caixa de papelão utilizada na exportação do produto e; 3) caixa de papelão projetada pela empresa de embalagens RIGESA[®]. No Anexo 3 (Foto 2) observam-se os três tipos de embalagens utilizadas. Durante a operação de colocação das frutas na embalagem foi retirado o papel de seda que os produtores costumam colocar em cada gaveta de papelão e que cobrem as frutas, isto para facilitar a passagem do ar frio através das frutas.

A caixa de madeira possuía as seguintes dimensões externas: comprimento 39cm, largura 29cm e altura 10cm. A área de abertura correspondia a um espaço de forma retangular, no lado do comprimento da caixa, de 24cmx1,5cm(36cm²). A caixa de papelão da

RIGESA[®] tinha as seguintes dimensões externas: comprimento 35,5cm, largura 26cm e altura 7,5cm. A área de abertura correspondia a um espaço de forma retangular, no lado do comprimento da caixa, de 14x2cm(28cm²). A caixa tipo exportação com tampa, apresentava as seguintes dimensões externas: comprimento 37cm, largura 27cm e altura 7,5cm. A área de abertura correspondia a quatro orifícios semi-circulares no lado superior do comprimento da caixa, de 2,6cm de diâmetro, e que correspondia a uma área de abertura de 10,6cm². Sendo assim, as percentagens da área de abertura da caixa de madeira, RIGESA[®] e tipo exportação foram 9,2%, 10,5% e 3,8%, respectivamente. Na caixa tipo exportação em lugar de utilizar as três gavetas de papelão, as frutas foram acondicionadas em bandejas plásticas de cor azul (tipo bandeja para ovos). Em cada uma das embalagens foram acondicionadas 24 frutas que corresponderam a uma massa média de 2kg/caixa.

4.5 Avaliação inicial da câmara fria

Foi monitorada a temperatura, velocidade do ar e a umidade relativa (UR) em alguns pontos dentro da câmara vazia com o ventilador desligado e com o ventilador ligado. O monitoramento da temperatura se deu com termopares tipo T AWG # 24, ligados ao sistema de aquisição de dados; o monitoramento da UR foi feito com termohigrógrafo e a velocidade do ar medida com termoanemômetro digital de fio quente de marca TSI, Modelo830-M. Realizou-se um teste preliminar do resfriamento rápido das frutas colocando algumas caixas com frutas para verificar as dificuldades e possíveis modificações na montagem experimental definitiva. Este ensaio foi importante para a familiarização com o sistema de aquisição de dados, para identificar os pontos de localização dos termopares e para verificar se a localização do termopar na polpa ou na cavidade interna da fruta exibia as mesmas variações de temperatura.

4.6 Determinação das características físicas do figo

Foram determinados os valores das características físicas: diâmetro médio, volume, esfericidade, massa específica real, massa específica aparente e massa individual da fruta e, das propriedades térmicas: condutividade e difusividade térmica e conteúdo de água das frutas.

Para a determinação da área superficial foram utilizadas trinta (30) frutas, cortadas longitudinalmente e em cada uma das metades colocada tinta de carimbo e carimbados em folhas de papel branco. Foi delineada a borda de cada uma das áreas no papel e feita a medição da área com planímetro polar para dez (10) frutas. Uma outra forma utilizada na

determinação da área superficial foi recortando com tesoura as áreas carimbadas no papel destas mesmas 10 frutas, e cada área recortada pesada em balança analítica de sensibilidade 0,1mg. Conhecido o peso/cm² do papel em branco foram determinadas as áreas superficiais destas 10 frutas. Este parâmetro físico poderia ser utilizado na determinação do coeficiente convectivo de transferência de calor (**h**) utilizando a equação (7), onde **A** representa o valor da área superficial em m². Cabe ressaltar que o valor da área superficial da fruta não foi utilizado neste projeto para a determinação do **h** e simplesmente foi determinado como parte complementar no conhecimento das características físicas do figo.

4.7 Resfriamento rápido

Na fase inicial do projeto foram avaliadas nove (9) condições (tratamentos) de resfriamento rápido (RR), três fluxos de ar, e três embalagens. Os fluxos de ar aplicados foram: 1,8; 2,8 e 4,9 L/s por quilograma de produto. A forma como foram calculados os fluxos de ar explica-se no capítulo resultados e discussão (item 5.6). Os nove resfriamentos iniciais foram realizados um de cada vez, realizando-se no máximo dois experimentos (resfriamentos) por dia. As frutas atingiram uma mesma temperatura final (1°C) no resfriamento rápido e a escolha da condição (tratamento) mais adequada de fluxo de ar (fase final) foi feita com base no comportamento da temperatura-tempo de resfriamento rápido e na evolução dos parâmetros envolvidos no amadurecimento da fruta durante o armazenamento refrigerado.

Anteriormente ao início do resfriamento das frutas, a câmara fria permaneceu ligada, por 24 horas à temperatura de $-1\pm 1^{\circ}\text{C}$. Após esse período, as frutas embaladas foram colocadas dentro da câmara, a cada lado da entrada do ar no ventilador, para formar o túnel de resfriamento com ar forçado (túnel californiano). Em seguida, e com a câmara fria fechada, foram instalados rapidamente os termopares nas frutas e cobertas as embalagens com uma lona para evitar que as frutas iniciassem o resfriamento antes do ventilador ser ligado. Nesse intervalo, as frutas, evidentemente, diminuiram a temperatura apesar da pilha de embalagens ter sido coberta com a lona plástica. Uma vez estabilizada a temperatura a $-1\pm 1^{\circ}\text{C}$ dentro da câmara, ligou-se o sistema de ar forçado e iniciou-se a aquisição dos dados.

Para monitorar a temperatura interna das frutas foram localizados 8 pontos em cada lado do túnel. Para a distribuição dos termopares (tipo T AWG # 24) nas fileiras de embalagens a cada lado do túnel, estes foram posicionados em uma diagonal cruzada

unindo os dois extremos de cada coluna do túnel. Em cada um dos resfriamentos rápidos foram utilizadas 48 embalagens do mesmo tipo contendo no total 96kg de produto, 24 de cada lado do túnel, ficando na base 2 caixas com a espessura da parede do túnel e 2 no comprimento, resultando em 4 caixas na base, e na altura 6 caixas. Na Figura 6 observa-se nos itens (a) e (b) a localização dos termopares formando a diagonal cruzada na pilha de embalagens. Cada diagonal cruzada, em cada pilha de embalagens possuía um par de pontos simétricos de localização de termopares. Para obter a temperatura final de resfriamento em cada pilha de embalagens considerou-se a média de cada diagonal de termopares. Fez-se a medição do tempo de resfriamento para cada pilha de embalagens, desta forma obteve-se duas repetições do tempo de resfriamento experimental, cujo valor médio é apresentado na Tabela 11. Para monitorar a temperatura do interior da câmara foram utilizados 4 termopares tipo T AWG # 24. No total, foram utilizados 20 canais do sistema de aquisição de dados (AQDADOS da LINX). A evolução da variação de temperatura foi registrada no computador, até que em média, as frutas atingissem 1°C. Em seguida as frutas foram armazenadas na câmara de conservação ($1\pm 1^\circ\text{C}$ e 85% de umidade relativa). Para efeito de análise estatística, foi considerada com duplicata ou repetição os termopares localizados na mesma posição a cada lado do túnel (pilha de embalagens).

Para inserir os termopares nas frutas localizou-se previamente o ponto e a profundidade na qual o termopar iria ficar. Para isso foram cortados longitudinalmente 30 frutas e medidas as distâncias da superfície ao interior da fruta. A profundidade ideal para inserir o termopar foi de 1cm e localizado a aproximadamente 1cm de distância do pedúnculo, de tal forma que não ficasse no centro da fruta, onde existe o espaço vazio sem polpa.

Para determinar a velocidade do ar que passava na abertura das embalagens e sobre as frutas, foi realizada uma coleta de dados no perfil do túnel, com auxílio do termoanemômetro digital de fio quente (TSI, Modelo830-M). Este tipo de anemômetro possui uma vareta de medição de aproximadamente 30cm de comprimento, que permite grande flexibilidade para a colocação do mesmo nos pontos em que foram feitas as medições. As medições das velocidades do ar foram feitas nas duas fileiras superiores de cada pilha de embalagens, realizando-se duas medições em cada fileira de embalagens, uma medição em cada embalagem (8 medições por cada lado do túnel). Das 8 medições de cada lado do túnel foi obtida uma média e das duas médias de cada lado do túnel obtida uma média geral para cada condição de resfriamento. Este valor foi utilizado no cálculo das taxas de fluxo de ar efetivas e no cálculo dos parâmetros termodinâmicos teóricos. O valor médio das

velocidades de ar sobre as frutas, em cada condição de resfriamento, são apresentados Tabelas 8, 12 e 13. Houve dificuldade técnica para medir a velocidade do ar que passava exatamente sobre as frutas dentro das embalagens, por isso foi necessário colocar uma plataforma de acrílico, substituindo a lona plástica, na qual foram feitos os orifícios necessários para poder inserir o termoanemômetro. O posicionamento do anemômetro nos diferentes pontos de medição são amostrados na Figura 6 nos itens (c) e (d).

Na fase final o RR do figo com ar forçado foi realizado com as frutas acondicionadas na caixa de papelão RIGESA®, utilizando com o fluxo de ar de 2,8L/s por quilograma de produto.

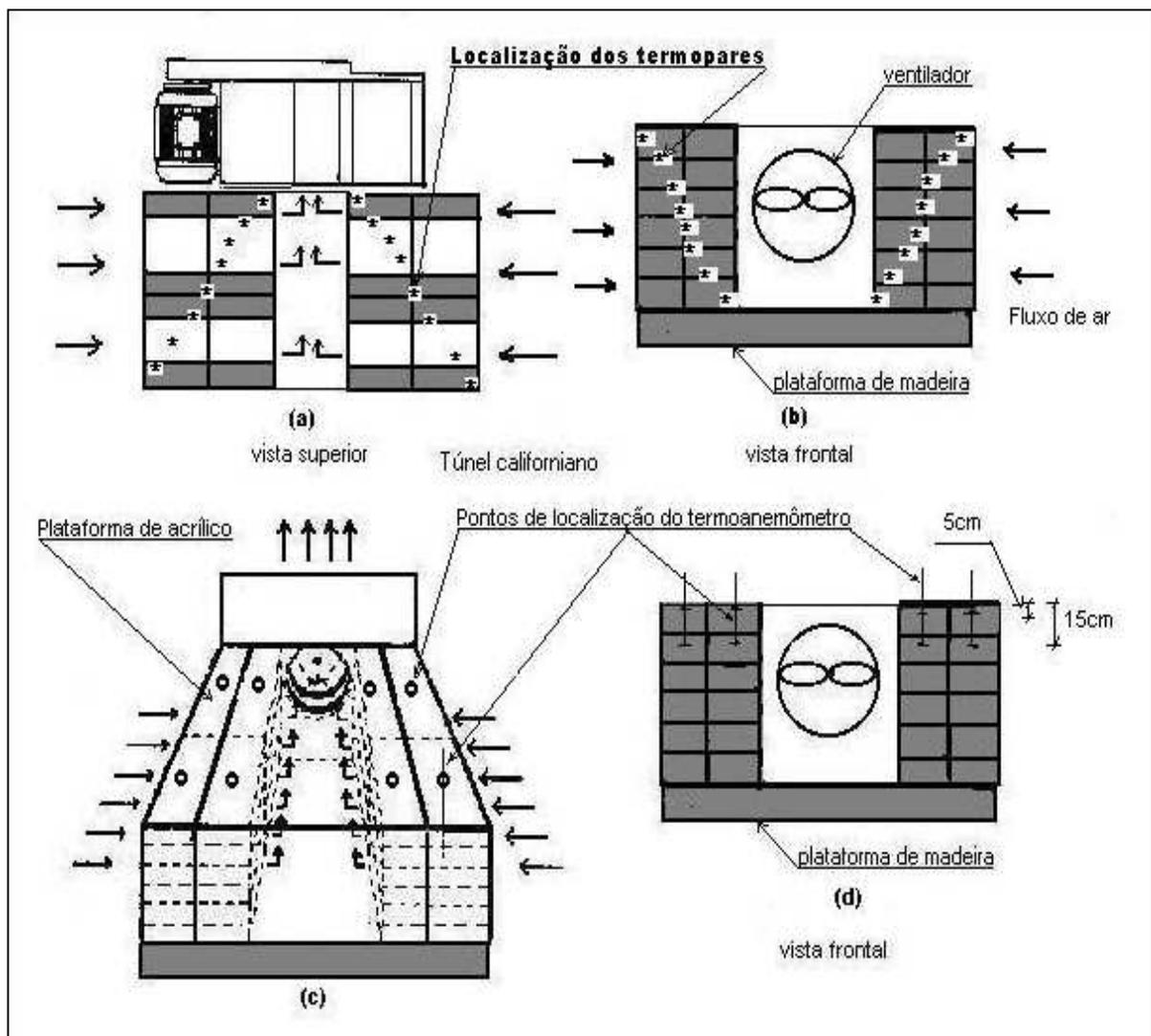


Figura 6. Localização dos termopares (a) e (b) e do termoanemômetro (c) e (d) na pilha de embalagens.

Para a medição da umidade relativa dentro da câmara fria foi utilizado um termohigrógrafo e um psicrômetro. O psicrômetro mede a temperatura de bulbo seco e a temperatura de bulbo úmido. Estas temperaturas foram obtidas através de termopares. O valor da umidade relativa correspondeu à média entre os valores do psicrômetro e do termohigrógrafo. Na etapa final, e como informação adicional, foi medida a pressão estática originada dentro do túnel de resfriamento, com ajuda do micro-manômetro de marca AXD 550 fabricado pela Alnor Company. A medição da pressão estática foi feita no lado superior do túnel, aproveitando um dos orifícios da plataforma de acrílico.

4.8 Resfriamento lento

Na fase final foi também monitorada a temperatura-tempo de resfriamento lento (RL) do figo, ou seja, mantendo as frutas dentro da câmara fria na mesma temperatura de ar do resfriamento rápido (-1°C) sem utilizar o túnel de resfriamento. Foi seguida a mesma metodologia usada nos ensaios no túnel de ar forçado (resfriamento rápido). As frutas foram resfriadas até 1°C . Foi utilizado o mesmo número de caixas RIGESA[®] que o utilizado no resfriamento rápido, ou seja, com a carga térmica semelhante. As caixas foram colocadas nas duas colunas, na mesma posição, das caixas colocadas no túnel de resfriamento rápido e não foi utilizada a lona plástica. Após o RL o figo foi armazenado em câmara fria a $1\pm 1^{\circ}\text{C}$ e 85% de UR e realizado o acompanhamento dos mesmos parâmetros físico-químicos e sensorial. Foi utilizado o mesmo tamanho da amostra de frutas, 48 embalagens que correspondiam a 96kg de produto.

Antes do início dos resfriamentos rápidos, os termopares foram calibrados utilizando-se uma cuba de água com regulador de temperatura. A água foi mantida a três temperaturas diferentes, 5°C , 10°C e 20°C . Foi introduzido na água um termômetro digital calibrado com o fim de se ter maior confiança na leitura de temperatura real da água. As temperaturas foram registradas através do sistema de aquisição de dados mantendo os termopares inseridos na cuba com água, e constatou-se que os termopares tinham uma leitura de aproximadamente 2°C acima da temperatura real. Na temperatura final da fruta durante os resfriamentos foi considerado o desvio na leitura dos termopares.

4.9 Abordagem matemática do resfriamento rápido

O tratamento matemático foi realizado para as nove condições de resfriamento rápido. Em cada um dos resfriamentos foram determinados os principais parâmetros de transferência de calor do figo (número de Biot, coeficiente convectivo de transferência de calor e o

coeficiente de resfriamento). Na Figura 7, observa-se o fluxograma de procedimento de cálculo realizado para o cálculo dos parâmetros teóricos do resfriamento rápido da fruta.

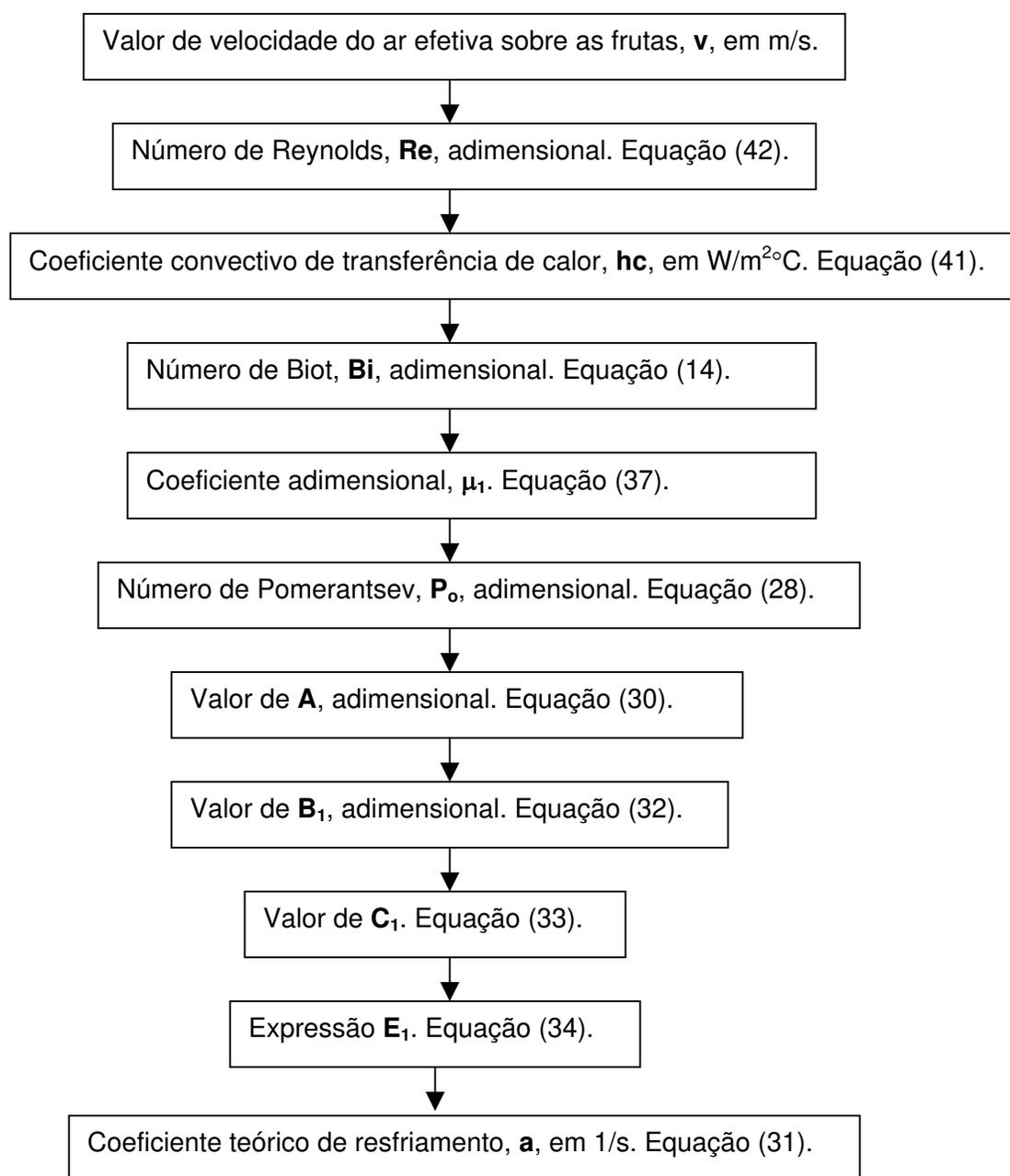


Figura 7. Fluxograma do procedimento de cálculo dos parâmetros teóricos do resfriamento.

Da mesma forma descrita por **DINCER (1995e)**, foram comparados os valores teóricos e os experimentais ou observados com base na maior diferença expressa em porcentagem entre os valores do coeficiente de resfriamento (a_T) calculados teoricamente através da equação (35), e os valores experimentais da temperatura-tempo de resfriamento

representados por a_E , e que representam o valor da pendente no ajuste exponencial de cada curva. Para efeito de cálculo neste projeto, somente foi considerada a transferência de calor por convecção, sendo as transferências de calor devido à radiação e devido à perda de água do produto (evaporativo) consideradas não significativas. No resfriamento do figo em caixa de madeira com a menor velocidade do ar, é mostrado o procedimento de cálculo de cada um dos principais parâmetros de transferência de calor inclusive dos coeficientes de transferência de calor, por radiação e o devido à perda de água. Com base nos dados experimentais obteve-se as curvas de resfriamento e o ajuste ao modelo exponencial para poder prever o tempo de resfriamento nas situações avaliadas. Vale a pena ressaltar que o objetivo deste trabalho não foi desenvolver um modelo matemático que explique o referido fenômeno, e sim, a comparação dos resultados obtidos teoricamente através de modelos matemáticos propostos e os encontrados, através do modelo analítico exponencial.

4.10 Armazenamento

Com o objetivo de avaliar a influência do resfriamento rápido na qualidade pós-colheita do figo durante o armazenamento refrigerado, as frutas foram armazenadas à temperatura de $1 \pm 1^\circ\text{C}$ e 85% de UR, e avaliadas quanto as suas mudanças físico-químicas. Foram avaliadas, a cada quatro dias, as mudanças seguintes: perda de peso, sólidos solúveis (SS), acidez total titulável (ATT), a relação SS/ATT e pH. Na fase final, além de avaliar as mudanças físico-químicas durante o armazenamento foi determinada a taxa respiratória das frutas resfriadas rapidamente.

Considerou-se interessante comparar o resfriamento rápido e o resfriamento lento durante o armazenamento do figo, até que as condições das frutas o permitissem, avaliando-se o efeito do tipo de resfriamento durante o armazenamento refrigerado com base nas observações físico-químicas e na análise sensorial. As medições da UR e a temperatura foram realizadas com termohigrógrafo. Foram feitas três repetições e as avaliações físico-químicas foram as seguintes:

4.10.1 Perda de peso

Para avaliar a perda de água da fruta como perda de peso, foi selecionada uma embalagem/tratamento, cada caixa com três gavetas de frutas, e determinada a percentagem de perda de peso parcial acumulada a partir do peso total inicial de cada embalagem contendo as três gavetas. O cálculo foi feito através da equação (54):

$$\boxed{\%Pp = \frac{(P_i - P_n) \times 100}{P_i}} \quad (54)$$

Em que;

$\%Pp$ corresponde à percentagem de perda de peso parcial acumulada;

P_i o peso total da amostra em um período determinado, g;

P_n o peso total da amostra no período seguinte a P_i , g.

Foi utilizada a balança eletrônica semi-análítica METTLER, modelo PC 4400 de sensibilidade 0,01g. A pesagem das frutas mantidas sob refrigeração foi feita imediatamente após a retirada das embalagens da câmara fria para evitar a condensação de vapor de água.

4.10.2 Relação sólidos solúveis/acidez total titulável

Na determinação deste e demais parâmetros químicos, foram selecionadas 8 frutas/tratamento ao acaso e liquidificadas inteiras com casca.

A acidez total titulável foi determinada segundo método oficial da **AOAC - 37.1.37 (1995)**, metodologia também descrita por **BLEINROTH (1988)**. Para seu cálculo foi utilizada a equação (55).

$$\text{Acidez Total Titulável}^* = \frac{\text{ml de NaOH} \times N \times \text{equivalente grama do ácido ascórbico} \times 100}{\text{peso da amostra}} \quad (55)$$

**mg /100g de peso fresco.*

A normalidade do NaOH foi de 0,11103126 N e o equivalente grama do ácido ascórbico de 88g.

Os sólidos solúveis medidos como °Brix, foram determinados com refratômetro ATAGO N1 (BRIX 0~32%), com precisão de 0,2%. Colocou-se um pouco de amostra na placa do refratômetro. A seguir, se fez a leitura, que é direta e em percentagem e feita a correção dos °Brix pela temperatura da amostra, segundo manual do refratômetro. Conhecendo-se o teor de sólidos solúveis e da acidez total titulável, pode-se estabelecer para a amostra, a relação sólidos solúveis/acidez titulável. Para o cálculo dessa relação, os sólidos solúveis foram expressos °Brix e a acidez total titulável em percentagem (os valores resultantes da equação (55) multiplicados por 1000 para que fique g/100g que é o mesmo que %). Foram feitas três repetições/tratamento tanto na determinação da acidez titulável como dos sólidos solúveis.

4.10.3 pH

O potencial hidrogeniônico foi determinado com o peagâmetro digital de marca HANNA INSTRUMENTS com sensibilidade de 0,01. As medições foram feitas diretamente sobre a massa das amostras homogeneizadas.

4.11 Análise sensorial

A análise sensorial foi feita na etapa final, nas frutas dos tratamentos com RR e RL. Esta análise permitiu definir, junto com as avaliações físico-químicas, o tempo adequado de armazenamento do figo. Os figos foram avaliados por 25 provadores não treinados (juízes) ao longo da armazenagem quanto à apreciação global da aparência externa e aparência interna. Cada provador avaliou quatro bandejas (duas bandejas do tratamento RR e duas bandejas do tratamento RL); as bandejas foram entregues uma de cada vez. As amostras receberam códigos para evitar a identificação dos tratamentos. Neste teste afetivo de aceitabilidade foi utilizada a escala hedônica estruturada de 5 pontos. Na escala a nota 1 corresponde a Gostei muito, a nota 2 corresponde a Gostei, a nota 3 a Não gostei/Nem gostei, a nota 4 a Desgostei e a nota 5 na escala corresponde a Desgostei muito. A ficha de análise sensorial está no ANEXO 1.

4.12 Determinação da taxa respiratória do figo

Com o objetivo de quantificar a taxa respiratória do figo 'Roxo de Valinhos', tipo rami, após a colheita procedeu-se a medição das taxas de dióxido de carbono CO₂. Frutas foram armazenadas em duas temperaturas para a quantificação do CO₂. Um grupo de frutas foi mantido em câmara tipo BOD à temperatura de 25°C e umidade relativa de 80±5%. Uma outra parcela de frutas resfriadas rapidamente até 1°C foi armazenada a 1°C e umidade relativa de 85% em câmara fria. Utilizaram-se três dessecadores contendo cerca de 1kg de fruta cada, correspondendo a três repetições. Para a realização das medições gasosas, os dessecadores foram tampados (tampa adaptada para a retirada de amostra gasosa) durante o período de 60 minutos antes da coleta das amostras (1ml).

As taxas de CO₂ foram quantificadas a cada 6 horas por um período de até 120 horas (5 dias) após a colheita da fruta. A análise do gás foi realizada através de um cromatógrafo para gás, marca Varian, modelo 3400, com detector de condutividade térmica para a medição CO₂. O equipamento possuía duas colunas: A) 10cm de pré-coluna de silicagel para remover água, seguida de uma coluna de 183cm x 0,3cm contendo Chromosorb 106 (60 a 80 mesh) para separar CO₂ e C₂H₄; e B) uma coluna de 350cm x 0,3cm contendo peneira molecular 5A (45 a 60 mesh) para separar O₂ de N₂. Ambas as colunas estavam em paralelo, e a coluna A estava ligada a um "loop" de 1mL, enquanto a coluna B estava ligada a um "loop" de 100µL. O injetor, a coluna e o detector de condutividade térmica foram ajustados nas temperaturas de 70, 40 e 150°C, respectivamente. A taxa de fluxo do gás hélio foi de 21ml/minuto. A taxa de produção de CO₂, foi calculada e graficada em função do tempo,

considerando-se a massa da amostra e a capacidade do dessecador. Os resultados foram expressos em $\text{mgCO}_2/\text{kg.h}$.

4.13 Determinação do módulo de elasticidade aparente

As frutas utilizadas nos ensaios foram colhidas na região de Valinhos em estágio rami no mês de maio de 2002. O figo apresentava o mesmo padrão comercial (tipo 8) e não apresentava ferimentos, amassamentos ou cortes. Foram utilizadas trinta frutas durante os ensaios mecânicos.

As trinta frutas, antes de serem submetidas aos ensaios de compressão, foram medidas nos três diâmetros mutuamente perpendiculares (d_1 , d_2 , e d_3) com ajuda de um paquímetro digital e por meio da equação (47) foi determinado o diâmetro equivalente para cada uma das frutas. O valor do diâmetro equivalente encontrado para cada fruta foi utilizado no cálculo do módulo de elasticidade de cada fruta nos ensaios de compressão. A esfericidade foi calculada por meio da equação (46), e o valor do diâmetro equivalente foi calculado com os valores médios dos três diâmetros perpendiculares das trinta frutas.

Nos ensaios de compressão mecânica foi utilizada a prensa Texture Analyser modelo TA500 fabricada pela Lloyd Instruments e o registro de carga-deformação de cada fruta foi feito por meio do programa Nexygen 3.0. Não foi necessário atingir o ponto de ruptura da fruta, pois o que interessava era identificar as diferentes deformações para cada carga. Foi feita a compressão uniaxial aplicada na direção axial do fruto (no sentido das fibras estruturais do produto), entre pratos planos e paralelos com uma célula de carga de 50 kgf. A velocidade de descida do cabeçote da prensa foi de 10mm/min. Foram registrados 500 pares de dados em cada ensaio, mas para o cálculo do módulo E, foram considerados em média 480 pares de dados por ensaio, sendo desconsiderados os valores iniciais de cargas negativas. Foi determinado o módulo de elasticidade com cada par de dados (força-deformação) de cada ensaio para cada fruta com seu respectivo diâmetro equivalente, e assim, obteve-se um valor médio do módulo para cada figo e no final obteve-se o valor médio do módulo dos trinta valores correspondentes aos trinta ensaios de compressão. No cálculo do módulo de elasticidade aparente foi utilizada a equação (50). No EXCEL do WINDOWS MILENIUM, foi feita a regressão estatística linear para cada ensaio, observando o coeficiente de determinação (R^2) para cada ajuste. Foi feita a estatística descritiva simples e determinada a média, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV).

4.14 Planejamento experimental

Para a coleta dos dados experimentais foi aplicado o delineamento inteiramente casualizado (DIC), organizado como esquema fatorial 3x3 nos resfriamentos rápidos que correspondem a 3 regimes de fluxo de ar e três tipos de embalagens, e simplesmente como delineamento inteiramente casualizado (DIC) quando comparado o RL e o RR com a caixa RIGESA®. Foram consideradas como repetições cada pilha de embalagens a cada lado do túnel de resfriamento, ou seja, duas repetições para cada resfriamento. Considera-se cada pilha de embalagens como uma repetição devido a localização simétrica dos termopares a cada lado do túnel obtendo-se dessa forma os tempos de resposta. A variável de resposta foi o tempo de resfriamento e a análise estatística feita através da análise de variância (ANOVA) com um intervalo de confiança de 95%, utilizando o programa ESTAT versão 2.0. Os tratamentos avaliados foram os seguintes:

F1E1: regime de fluxo de ar de 1,8L/s.kg embalado na caixa de madeira,

F1E2: regime de fluxo de ar de 1,8L/s.kg embalado na caixa RIGESA®,

F1E3: regime de fluxo de ar de 1,8L/s.kg embalado na caixa Exportação,

F2E1: regime de fluxo de ar de 2,8L/s.kg embalado na caixa de madeira,

F2E2: regime de fluxo de ar de 2,8L/s.kg embalado na caixa RIGESA®,

F2E3: regime de fluxo de ar de 2,8L/s.kg embalado na caixa Exportação,

F3E1: regime de fluxo de ar de 4,9L/s.kg embalado na caixa de madeira,

F3E2: regime de fluxo de ar de 4,9L/s.kg embalado na caixa RIGESA®,

F3E3: regime de fluxo de ar de 4,9L/s.kg embalado na caixa Exportação.

Os experimentos correspondentes a cada condição de resfriamento foram realizados em momentos diferentes. A casualização dos experimentos foi realizada por sorteio das nove parcelas (tratamentos). Desta forma a ordem na realização dos resfriamentos foi a seguinte: F1E3, F2E3, F1E1, F2E1, F2E2, F3E2, F1E1, F1E2 e F3E3.

A esquematização dos resfriamentos finais quando comparado o RR e o RL ficou da seguinte forma:

F0E2: regime de fluxo de ar de 0,28L/s.kg embalado na caixa RIGESA®, (RR), com $v = 0,1\text{m/s}$.

F2E2: regime de fluxo de ar de 2,9L/s.kg embalado na caixa RIGESA®, (RL).

Na análise estatística dos dados seguindo o planejamento proposto, foi aplicado o teste **F** a feita a análise de variância (ANOVA), para um nível de significância do 5%, sendo assim, as hipóteses avaliadas foram:

Ho: $t_1=t_2=t_3=t_4=t_5=t_6=t_7=t_8=t_9$

H1: $t_1 \neq t_2 \neq t_3 \neq t_4 \neq t_5 \neq t_6 \neq t_7 \neq t_8 \neq t_9$

Sendo t_1 a variável de resposta (tempo de resfriamento em minutos) que corresponde ao tratamento F1E1, assim respectivamente até t_9 que corresponde ao tratamento F3E3. A condição de rejeição (CR) da hipótese nula (Ho) ($\alpha=5\%$) foi $F_c > F_{t(9,8,5\%)}$.

No caso de rejeitar a hipótese nula significa que os tratamentos são diferentes e, que existe interação entre os fatores (regime de fluxo de ar e as embalagens) exercendo influência sobre a variável de resposta (tempo de resfriamento), sendo preciso fazer o desdobramento da interação para avaliar a influência de cada fator na variável de resposta.

As hipóteses avaliadas para o desdobramento do fator fluxo de ar (F) foram:

Ho: o fator F tem influencia na variável de resposta,

H1: o fator F não tem influência na variável de resposta.

A condição de rejeição (CR) da hipótese nula Ho seria $F_c > F_{t(9,2,5\%)}$.

As hipóteses avaliadas para o desdobramento do fator embalagem (E) foram:

Ho: o fator E tem influencia na variável de resposta,

H1: o fator E não tem influência na variável de resposta.

A condição de rejeição (CR) da hipótese nula Ho seria $F_c > F_{t(9,2,5\%)}$.

As hipóteses avaliadas para o desdobramento da iteração de fatores fluxo de ar e embalagem (Fx E) foram:

Ho: a interação entre o fator F e o fator E tem influência na variável de resposta,

H1: a interação entre o fator F e o fator E não tem influência na variável de resposta.

A condição de rejeição (CR) da hipótese nula Ho seria $F_c > F_{t(9,2,5\%)}$.

Na análise sensorial foi feita também a análise de variância (ANOVA) comparando a aparência externa entre os dois tratamentos (RR e RL); da mesma forma foi feito para a aparência interna.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Avaliação inicial da câmara fria

Durante a operação do evaporador da câmara fria, sem ligar o ventilador do túnel californiano, o valor médio de velocidade do ar em cada um dos ventiladores do evaporador foi 3,64; 4,07; 3,96 e 4,47m/s, dos quais o primeiro e último valor correspondem aos ventiladores dos extremos do evaporador. Assim a vazão aproximada do evaporador foi de 3.380 m³/h. A UR também se manteve uniforme sendo de aproximadamente 75%. Quando ligado o ventilador do túnel de resfriamento com a câmara vazia, as velocidades do ar nos ventiladores do evaporador mantiveram-se constantes e a temperatura e a umidade relativa se mantiveram uniformes. No teste preliminar de resfriamento rápido das frutas encontraram-se variações de temperatura em diferentes pontos da câmara fria, sendo as variações maiores quando utilizada a polia de menor diâmetro ou maior fluxo de ar (Regime III); neste caso encontrou-se variações de até 5°C. A resposta da temperatura no interior das frutas foi mais lenta quando o termopar foi colocado na cavidade interna da fruta em comparação à localização do termopar na polpa da fruta. Portanto, que a posição correta do termopar para avaliação da temperatura-tempo de resfriamento do figo deve ser no meio da polpa e não no centro do produto onde existe uma cavidade com ar que fornece dados irreais do fenômeno. Esta avaliação inicial da câmara fria vazia permitiu conhecer a vazão de ar efetiva fornecida pelo evaporador, saber que a temperatura e umidade relativa do ar no interior da câmara são uniformes e que, nestas condições, a câmara fria foi considerada adequada para a realização dos resfriamentos da fruta.

5.2 Área superficial

Foi calculada a relação entre os valores de cada um dos métodos e obtido o fator de correção, que correspondeu ao valor médio de 0,9637. Este valor médio multiplicado por cada uma das áreas determinadas pelo planímetro polar corresponde à área superficial real, que, em média, correspondeu a $7,43 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ (Tabela 7). Por área superficial entende-se como toda a área externa da fruta e que teoricamente, no caso do resfriamento de frutas com ar forçado, estaria em contato direto com o ar de resfriamento. Mas na realidade, as frutas acomodam-se dentro das embalagens, e somente em uma parte desta área superficial acontece a transferência de calor por convecção. Nas regiões da fruta que ficam em contato direto com a embalagem e com as outras frutas acontece principalmente a transferência de calor por condução.

Tabela 7. Valores da área superficial real do figo

Área por pesagem (10 ⁻³ m ²)	Área Superficial Real (10 ⁻³ m ²)
7,61	7,34
8,00	7,71
8,48	8,18
8,77	8,45
9,07	8,74
8,19	7,90
8,38	8,08
7,57	7,29
7,83	7,55
7,74	7,46
8,08	7,79
7,70	7,42
7,01	6,76
7,12	6,86
7,34	7,07
6,98	6,72
7,53	7,26
7,38	7,11
7,42	7,15
7,84	7,55
6,71	6,46
6,66	6,41
7,71	7,43
6,75	6,50
7,75	7,47
7,44	7,17
7,72	7,44
8,17	7,87
7,39	7,12
8,81	8,49
MÉDIA	7,43

5.3 Esfericidade

A esfericidade foi estimada em 96% (equação 46), o que indica ser frutas de forma arredondada próxima de uma esfera. Nos cálculos realizados neste trabalho considerou-se o figo uma fruta esférica.

5.4 Volume

O volume do figo determinado pelo deslocamento de água resultou em 101,5x10⁻⁶m³ e utilizando a equação (48) para o comprimento do fruto de 58,9mm e diâmetro de 55,8mm,

segundo dados publicados para figo rami (**DUSSÁN e HONÓRIO, 2000**), o volume da fruta resultou ser de $96,0 \times 10^{-6} \text{m}^3$. Por serem valores próximos, demonstra-se a confiabilidade do resultado.

5.5 Variação da temperatura antes do resfriamento rápido

A maioria dos experimentos foram realizados em épocas de temperaturas altas (no período da tarde temperatura ambiente em média de 28°C) e foi monitorada a temperatura interna das frutas com um termômetro digital portátil desde o galpão até a chegada no laboratório, antes de entrar na câmara de resfriamento rápido. Entre as 8 e as 8:30 horas da manhã as frutas apresentavam uma temperatura média de 22°C e a temperatura ambiente se mantinha em 23°C . Uma hora depois as frutas apresentavam em média uma temperatura de $22,7^\circ\text{C}$ e a temperatura ambiente estava em $26,5^\circ\text{C}$. As frutas na embalagem foram transportadas em camioneta F-1000 cobertas com uma lona plástica e transportadas após o meio dia, com uma duração no transporte de 35 minutos até o laboratório. Na chegada ao laboratório, as frutas já estavam com uma temperatura de $26,8^\circ\text{C}$. Após a descarga das embalagens com as frutas, acomodamento para formar o túnel californiano e a instalação dos termopares dentro da câmara, com a câmara já operando desde o dia anterior a -1°C , as frutas diminuíram sua temperatura e na hora do início do resfriamento a temperatura oscilou entre 18 e 20°C . A inserção dos termopares nas frutas formando a diagonal cruzada nas pilhas de embalagens e acomodação da lona plástica para formar o túnel de resfriamento foi realizada dentro da câmara fria, pois encontrou-se dificuldade no deslocamento das pilhas de embalagens (48 caixas) quando tentou-se realizar esta operação do lado de fora da câmara fria. Para o resfriamento rápido em nível de campo (galpão ou *packinghouse*), as condições do produto seriam outras, a temperatura inicial seria menor, a carga térmica a retirar seria menor e o tempo entre a colheita e o resfriamento seria menor, resultando em melhores efeitos na conservação do produto. Na Figura 8 observa-se a variação da temperatura no interior da câmara fria e no interior das frutas.

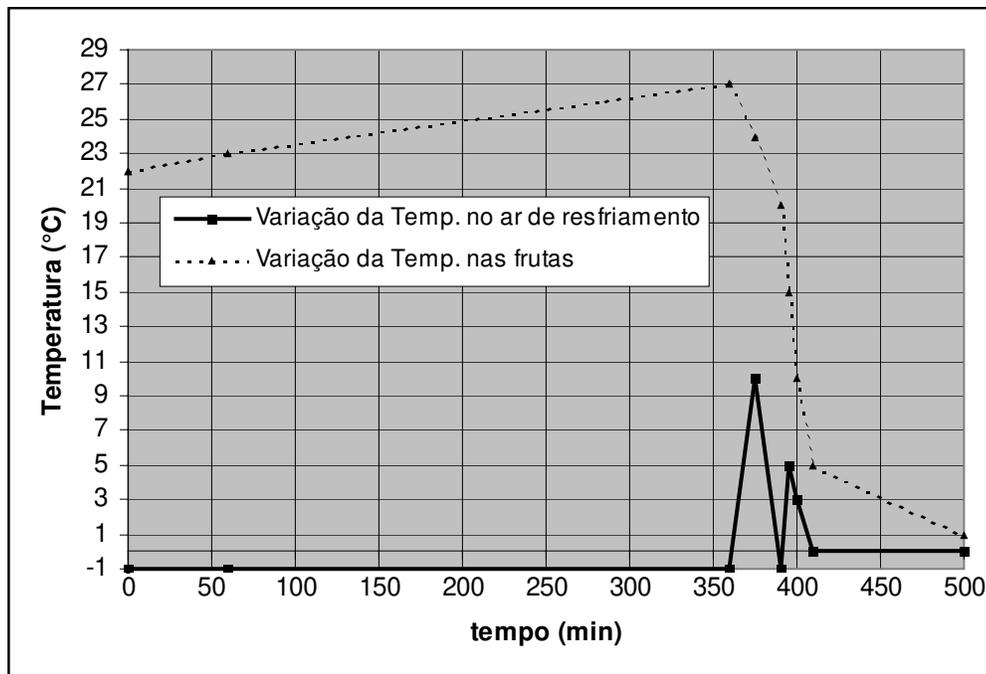


Figura 8. Variação da temperatura do ar de resfriamento e no interior das frutas antes e após o resfriamento rápido.

Na Figura 8, referente à variação da temperatura do ar de resfriamento, observa-se o seguinte:

De 0 a 360min, operação da câmara vazia 6h antes de colocar as frutas dentro da câmara;

De 360min a 375min, montagem do túnel localização dos termopares dentro da câmara fria;

De 375min a 390min, estabilização da temperatura interior da câmara sem ligar o sistema de ar forçado;

De 390min a 395min, início do resfriamento das frutas com ar forçado;

De 395min a 410min decréscimo da temperatura do ar de resfriamento;

De 410min a 500min estabilização da temperatura do ar de resfriamento a 0°C.

Referente à variação da temperatura no interior das frutas tem-se:

De 0 a 360min, variação da temperatura da fruta desde a colheita até a colocação das frutas no interior da câmara fria;

De 360min a 375min, colocação dos termopares dentro da câmara fria;

De 375min a 390min, diminuição da temperatura até a estabilização da temperatura da câmara fria;

De 390min a 500min, resfriamento rápido das frutas. Considerando-se um tempo de resfriamento rápido de 110min.

As curvas de resfriamento observadas nos resultados foram graficadas a partir da operação do sistema de ar forçado.

5.6 Resfriamento rápido com ar forçado do figo acondicionado em diferentes embalagens e diferentes fluxos de ar

Durante o resfriamento rápido, embora a câmara fria estivesse estabilizada à temperatura de -1°C , uma vez ligado o sistema de ar forçado, a temperatura do ar de resfriamento aumentava para depois se estabilizar. Este aumento da temperatura do ar de resfriamento foi devido a retirada de maior quantidade de calor das frutas, provocando aumento da temperatura do ar. O valor médio da temperatura ao redor das frutas durante o resfriamento rápido foi 0°C . Desta forma, para efeito de cálculo considerou-se que a temperatura do ar de resfriamento foi de 0°C . A UR durante o resfriamento da fruta também apresentou oscilações, cuja média dentro da câmara foi de 74%, antes de iniciar o resfriamento. Após cinco minutos de iniciado o resfriamento apresentou um acréscimo chegando até 80%. No início do resfriamento o ar de resfriamento além de receber o calor proveniente das frutas também recebe destas vapor de água. Naquele momento a temperatura também aumentou até chegar a 4°C . Durante o resfriamento a UR tinha decrescido para 65% e a temperatura para 2°C . Esta redução na UR do ar originou-se pela condensação da umidade do ar nas serpentinas do evaporador, retirando a umidade do ar. Logo depois, a UR e a temperatura mantiveram-se constantes até o final do resfriamento. Na comparação de médias de temperatura com base no teste Tukey ao nível de significância de 5%, não existiu diferença significativa entre os pares de termopares colocados em cada lado do túnel de resfriamento, na mesma altura ou localização na pilha de embalagens.

Durante o resfriamento rápido existiu dificuldade na medição das velocidades de ar sobre o figo devido à própria montagem do túnel de resfriamento. A vazão de ar que passa através das caixas próximas do ventilador que succiona o ar é maior que a vazão que passa nas caixas mais afastadas do ventilador. O perfil de velocidade do ar é heterogêneo, e considerou-se a velocidade média obtida em toda a pilha de embalagens.

Quando medidas as velocidades do ar dentro das embalagens exatamente sobre as frutas, observou-se que a velocidade do ar era aproximadamente três vezes menor que a velocidade registrada exatamente na entrada das caixas. A velocidade do ar sobre as frutas, ou seja, dentro das embalagens (v) foi considerada para efeito da abordagem matemática, pois era a velocidade que interessava experimentalmente e não aquela medida na entrada das embalagens. Vale a pena ressaltar que este fato foi comprovado somente nas

embalagens que estavam localizadas na parte superior da pilha que formou o túnel de resfriamento, porque só nesta camada de embalagens foi possível inserir o anemômetro.

Para o cálculo da taxa de ar efetiva que circulava sobre as frutas dentro de cada embalagem (**F1**, **F2** e **F3**) considerou-se a área efetiva de abertura da embalagem e a velocidade do ar sobre as frutas. Na prática, costuma-se calcular a taxa de ar que circula dentro das embalagens sobre as frutas com base na vazão de ar na saída do ventilador. Entretanto, esse fluxo de ar, apresentou valores maiores que os fluxos de ar considerados neste projeto. Por exemplo no resfriamento do figo na caixa de madeira utilizando a menor velocidade do ar (polia maior do ventilador, Regime I), a velocidade média medida sobre as frutas foi de 1m/s, a área efetiva de abertura da caixa de 0,0036m² (24cmx1,5cm), a vazão de ar dentro da embalagem de 0,0036m³/s ou 3,6L/s, considerando a massa de 2kg de produto por embalagem. Portanto, a taxa de ar que circulou através dos produtos foi de 1,8L/s por quilograma de produto. Agora, com base na velocidade do ar na saída do ventilador de 5m/s, para uma área na saída do ventilador de 0,105m² (30cmx35cm), nestas condições, considerando um total de 48 caixas com 2kg de produto cada caixa, a taxa de ar que circularia através dos produtos seria de aproximadamente 5,5L/s por quilograma de produto, fluxo bem maior que o considerado para efeito da análise de resultados. Com base na velocidade do ar medida experimentalmente foram calculados os fluxos de ar dentro das embalagens de papelão, considerando para a caixa RIGESA® a área efetiva de abertura de 0,0028m² (14cmx2cm) e para a caixa tipo exportação de 0,00106m². Na Tabela 8, observa-se as características dos regimes de fluxos de ar durante o resfriamento rápido de figo com base nas velocidades médias experimentais medidas sobre as frutas.

As velocidades de ar sobre as frutas observadas na Tabela 8 referem-se à velocidade média obtida em cada condição de resfriamento, a forma como foi determinado este valor médio é explicado no item 4.7 do material e métodos.

Tabela 8 Fluxos de ar no resfriamento rápido do figo para diferentes regimes de operação do ventilador.

Regime I (F1). Diâmetro da polia do ventilador, 250mm				
Tipo de embalagem	Velocidades do ar sobre as frutas (m/s)	Área de abertura (m ²)	Fluxo de ar por caixa, L/s	Fluxo de ar por caixa com 2kg, L/s.kg
Caixa de madeira (E1)	1,0	0,00360	3,6	1,8
Caixa RIGESA® (E2)	1,3	0,00280	3,6	1,8
Caixa Exportação (E3)	3,4	0,00106	3,6	1,8
			Média	1,8
Regime II (F2). Diâmetro da polia do ventilador, 200mm				
Caixa de madeira (E1)	1,5	0,00360	5,4	2,7
Caixa RIGESA® (E2)	2,0	0,00280	5,6	2,8
Caixa Exportação (E3)	5,2	0,00106	5,5	2,8
			Média	2,8
Regime III (F3). Diâmetro da polia do ventilador, 150mm				
Caixa de madeira (E1)	2,7	0,00360	9,7	4,9
Caixa RIGESA® (E2)	3,5	0,00280	9,8	4,9
Caixa Exportação (E3)	9,0	0,00106	9,5	4,8
			Média	4,9

Os dados de entrada comuns em todos os resfriamentos foram os seguintes:

Dados do ventilador:

Número de revoluções por minuto do eixo do motor: 1.650rpm;

Diâmetro da polia motora: 90mm;

Diâmetro da polia transmissora maior: 250mm;

Diâmetro da polia transmissora mediana: 200mm;

Diâmetro da polia transmissora menor: 150mm.

Dados do ar de resfriamento a 0°C:

Condutividade térmica, $k_a = 0,0243 \text{ W/m}^\circ\text{C}$;

Viscosidade dinâmica, $\nu = 1,33 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$;

Numero de Prandtl, $Pr = 0,715$.

Dados do produto:

Figo 'Roxo de Valinhos', estágio rami;

Temperatura final do produto, $T_f = 1^\circ\text{C}$;

Diâmetro do produto, $D = 0,057\text{m}$. Segundo **DUSSAN e HONÓRIO (2000)**;

Raio do produto, $R = 0,0285\text{m}$;

Massa do produto, $m = 0,083\text{kg}$;

Esfericidade do produto = 96%;

Condutividade térmica experimental, $k = 0,52 \text{ W/m}^\circ\text{C}$;

Difusividade térmica experimental, $\alpha=0,156 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$;

Calor específico experimental, $C_p=4,07 \text{kJ/kg}^\circ\text{C}$;

Calor interno (respiração) a 1°C , $q=0,08612 \text{W/kg}$. De uma fruta é de $0,00715 \text{W}$;

Conteúdo de água ao início do resfriamento, $W_i=84,3\%$;

Conteúdo de água no final do resfriamento, $W_f=83,3\%$.

Em todas as condições a perda de peso após o resfriamento rápido foi menor que 1%.

Tanto **CHAU (2001)** como **DINCER (1995a até 1995h)** e **DINCER (1996a e 1996b)** especulam sobre a abordagem teórica matemática do resfriamento rápido de produtos hortícolas. Por isso neste trabalho foi feita a abordagem teórica do resfriamento do figo com base nas equações descritas no procedimento de cálculo observado na Figura 7, confrontando com os resultados experimentais através do modelo analítico exponencial enunciado pelos referidos autores.

As nove condições diferentes de resfriamento do figo, definindo a velocidade experimental do ar e a temperatura inicial do figo, foram as seguintes:

F1E1: Resfriamento rápido do figo embalado em caixa de madeira, fluxo de ar de $1,8 \text{L/s.kg}$, velocidade média do ar de $1,0 \text{m/s}$ e temperatura inicial do produto $T_f=19^\circ\text{C}$;

F1E2: Resfriamento rápido do figo embalado na caixa RIGESA[®], fluxo de ar de $1,8 \text{L/s.kg}$, velocidade média do ar de $1,3 \text{m/s}$ e temperatura inicial do produto $T_f=18^\circ\text{C}$;

F1E3: Resfriamento rápido do figo embalado na caixa tipo exportação, fluxo de ar de $1,8 \text{L/s.kg}$, velocidade média do ar de $3,4 \text{m/s}$ e temperatura inicial do produto $T_f=20,1^\circ\text{C}$;

F2E1: Resfriamento rápido do figo embalado em caixa de madeira, fluxo de ar de $2,8 \text{L/s.kg}$, velocidade média do ar de $1,5 \text{m/s}$ e temperatura inicial do produto $T_f=19^\circ\text{C}$;

F2E2: Resfriamento rápido do figo embalado na caixa RIGESA[®], fluxo de ar de $2,8 \text{L/s.kg}$, velocidade média do ar de $2,0 \text{m/s}$ e temperatura inicial do produto $T_f=20^\circ\text{C}$;

F2E3: Resfriamento rápido do figo embalado na caixa tipo exportação, fluxo de ar de $2,8 \text{L/s.kg}$, velocidade média do ar de $5,2 \text{m/s}$ e temperatura inicial do produto $T_f=19^\circ\text{C}$;

F3E1: Resfriamento rápido do figo embalado em caixa de madeira, fluxo de ar de $4,9 \text{L/s.kg}$, velocidade média do ar de $2,7 \text{m/s}$ e temperatura inicial do produto $T_f=19^\circ\text{C}$;

F3E2: Resfriamento rápido do figo embalado na caixa RIGESA[®], fluxo de ar de $4,9 \text{L/s.kg}$, velocidade média do ar de $3,5 \text{m/s}$ e temperatura inicial do produto $T_f=19,1^\circ\text{C}$;

F3E3: Resfriamento rápido do figo embalado na caixa tipo exportação, fluxo de ar de $4,9 \text{L/s.kg}$, velocidade média do ar de $9,0 \text{m/s}$ e temperatura inicial do produto $T_f=19^\circ\text{C}$.

Como exemplo de procedimento de cálculo dos principais parâmetros teóricos de transferência de calor do figo, e seguindo o procedimento de cálculo observado na Figura 7, mostra-se a continuação o cálculo para a condição F1E1 (resfriamento rápido do figo embalado em caixa de madeira, fluxo de ar de 1,8L/s.kg).

O número de Reynolds, calculado através da equação (42) foi igual a 4.286. Com base no valor do número de Reynolds e utilizando a equação (41) calculou-se o coeficiente convectivo teórico de transferência de calor, que foi de 18,6 W/m²°C. Embora neste caso não foram consideradas a geração de calor por radiação e por evaporação, o coeficiente de transferência de calor radiativo calculado através da equação (44), seria igual a 4,16 W/m²°C e, na transferência de calor devido à perda de água da fruta o respectivo coeficiente seria igual a 1,07 W/m²°C (equação 45). Observa-se que neste caso a soma dos calores por radiação e por evaporação representam, aproximadamente, 23% do calor total.

Continuando os cálculos com base no coeficiente convectivo de transferência de calor calculou-se o Número de Biot, utilizando a equação (14), que resultou ser de aproximadamente 1,02. Substituindo este valor na equação (37) obteve-se o valor de μ_1 igual a 1,5768. Determinou-se o valor de Po com a equação (28) igual a $5,88 \times 10^{-7}$. O valor de A segundo a equação (30) foi de $2,9 \times 10^{-7}$. Com a equação (32) calculou-se o valor de B_1 igual a 1,0. Através da equação (33) determinou-se o valor de C_1 igual a 1,2866. A expressão E_1 representada na equação (34) fica em termos do tempo, e a calcula-se com base na equação (35); o valor de a resultou ser de 0,0004775. Substituindo esta última expressão na equação (31) obteve-se a relação adimensional de temperaturas (θ_T) em termos do tempo (t) em segundos. Foram representados graficamente os valores teóricos do resfriamento substituindo t pelos mesmos períodos de tempo considerados no experimento. Pode-se observar que o valor de A pode ser desconsiderado e o valor de B_1 , por ser igual à unidade, não altera o resultado. Por isso, a expressão final fica da seguinte forma:

$$\theta = 1,2866e^{-0,0004775 t} \quad (56)$$

A curva dos valores experimentais foi representada graficamente em função da taxa adimensional de temperatura com base na equação (5) e confrontada em uma mesma figura com a curva teórica. Nas Figuras 9 a 17 observa-se as curvas de resfriamento teórica (equação 56) e experimental e o ajuste exponencial dos dados experimentais com sua respectiva equação de ajuste e coeficiente de determinação, referentes a esta condição de resfriamento. A variação da temperatura experimental através do tempo e mostrada nas

Figuras 9 a 17, refere-se ao valor médio da média da temperatura em cada pilha de embalagens. As curvas e ajustes foram realizados usando o EXCEL.

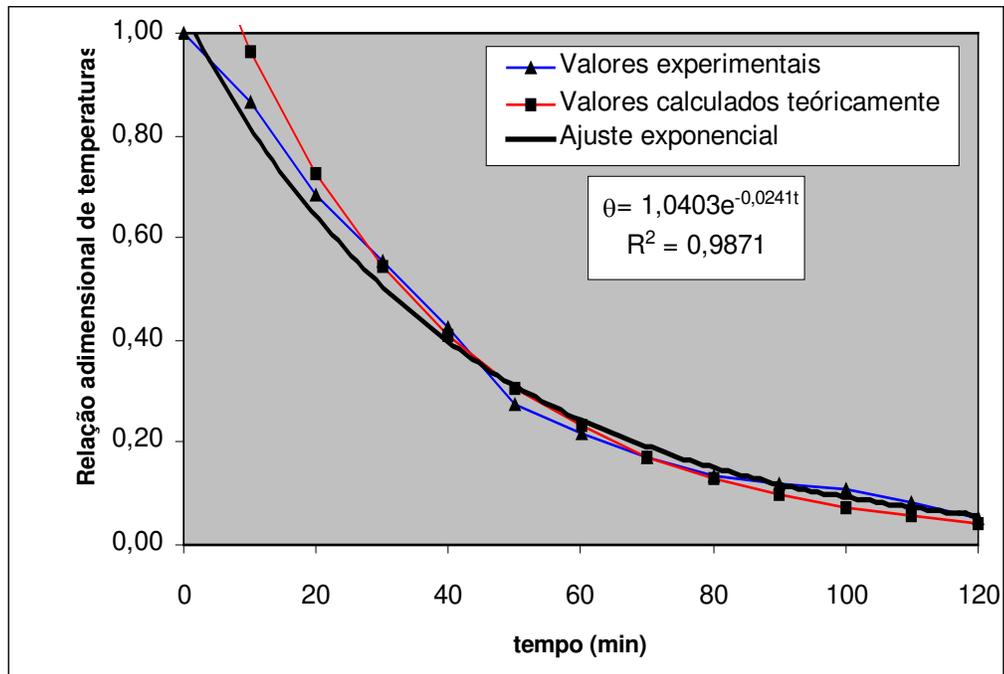


Figura 9. Distribuição de temperatura experimental e teórica no resfriamento rápido de figo, embalado em caixa de madeira ($v=1,0\text{m/s}$).

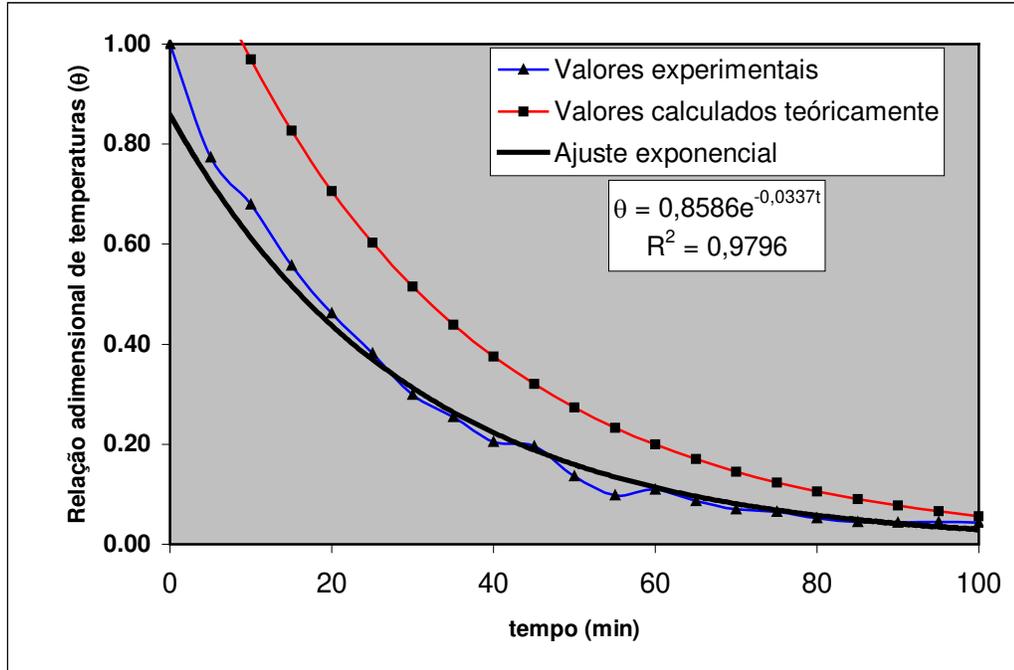


Figura 10. Distribuição de temperatura experimental e teórica no resfriamento rápido de figo, embalado em caixa RIGESA® ($v=1,3\text{m/s}$).

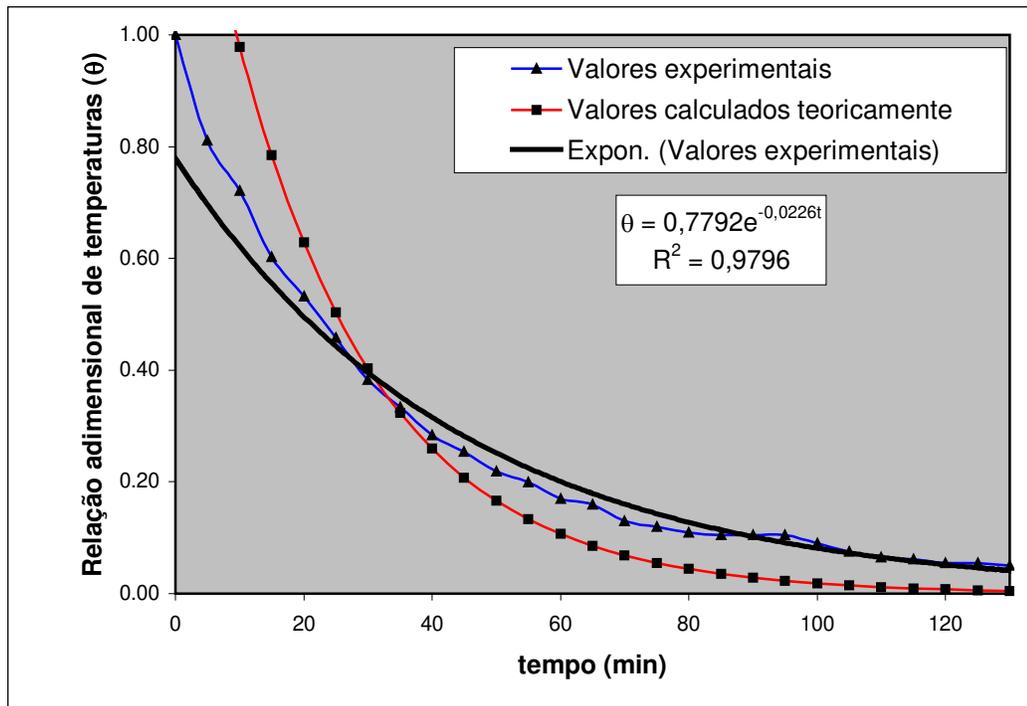


Figura 11. Distribuição de temperatura experimental e teórica no resfriamento rápido de figo, embalado em caixa tipo exportação ($v=3,4\text{m/s}$).

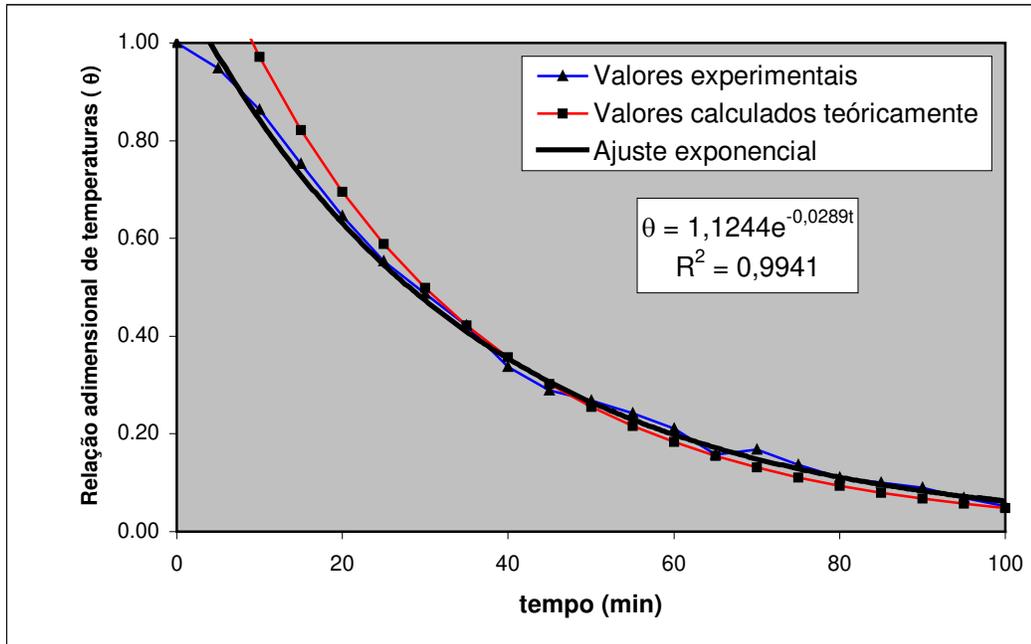


Figura 12. Distribuição de temperatura experimental e teórica no resfriamento rápido de figo, embalado em caixa de madeira ($v=1,5\text{m/s}$).

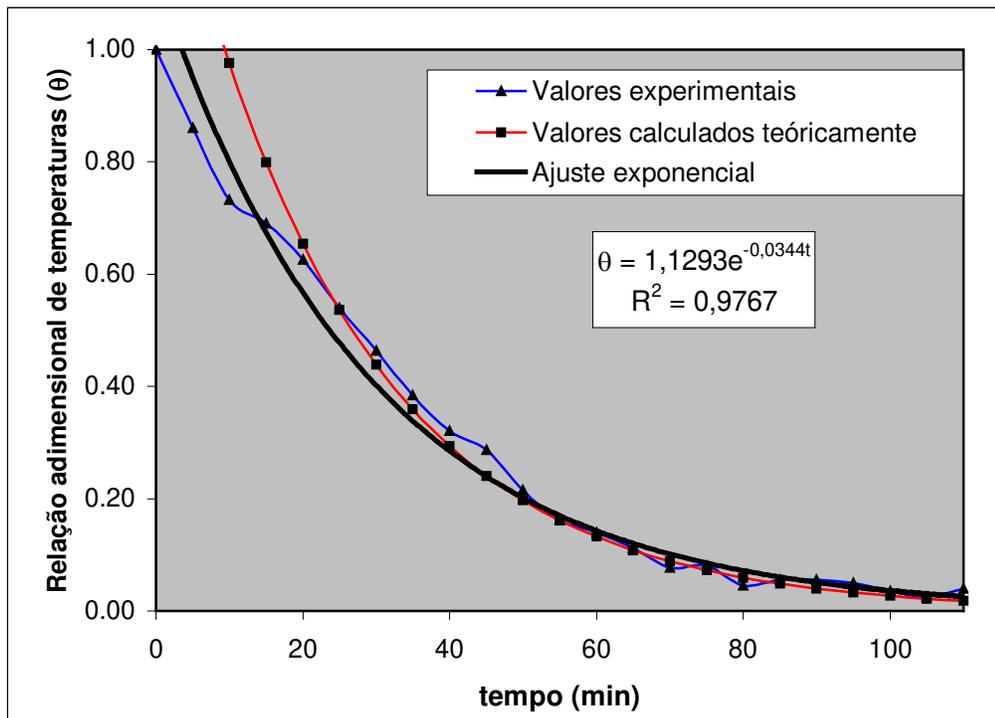


Figura 13. Distribuição de temperatura experimental e teórica no resfriamento rápido de figo, embalado em caixa RIGESA[®] ($v=2,0\text{m/s}$).

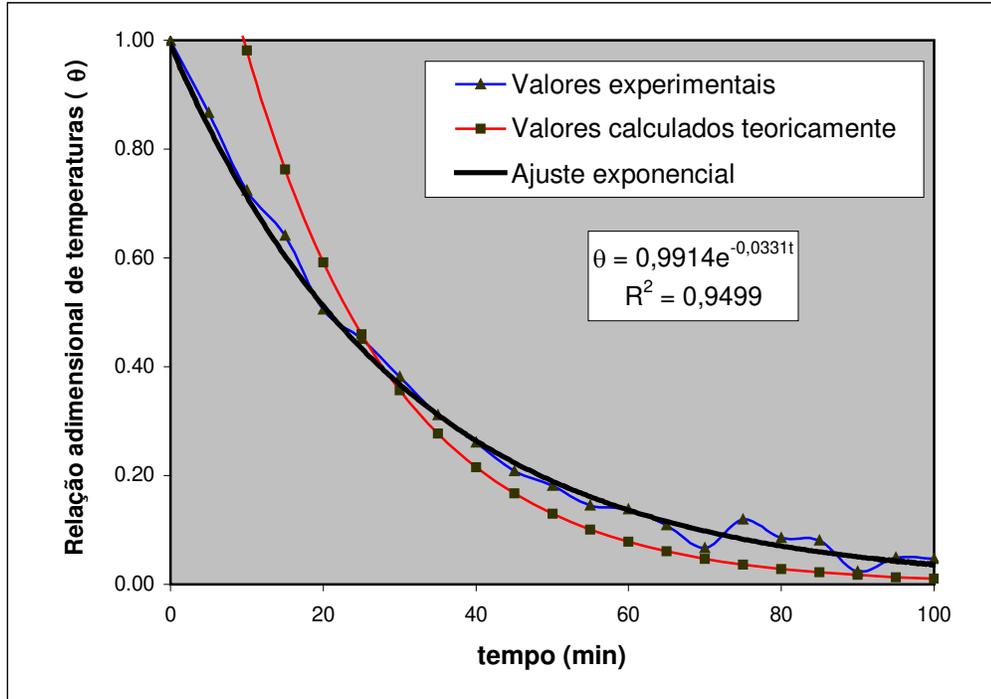


Figura 14. Distribuição de temperatura experimental e teórica no resfriamento rápido de figo, embalado em caixa tipo exportação ($v=5,2\text{m/s}$).

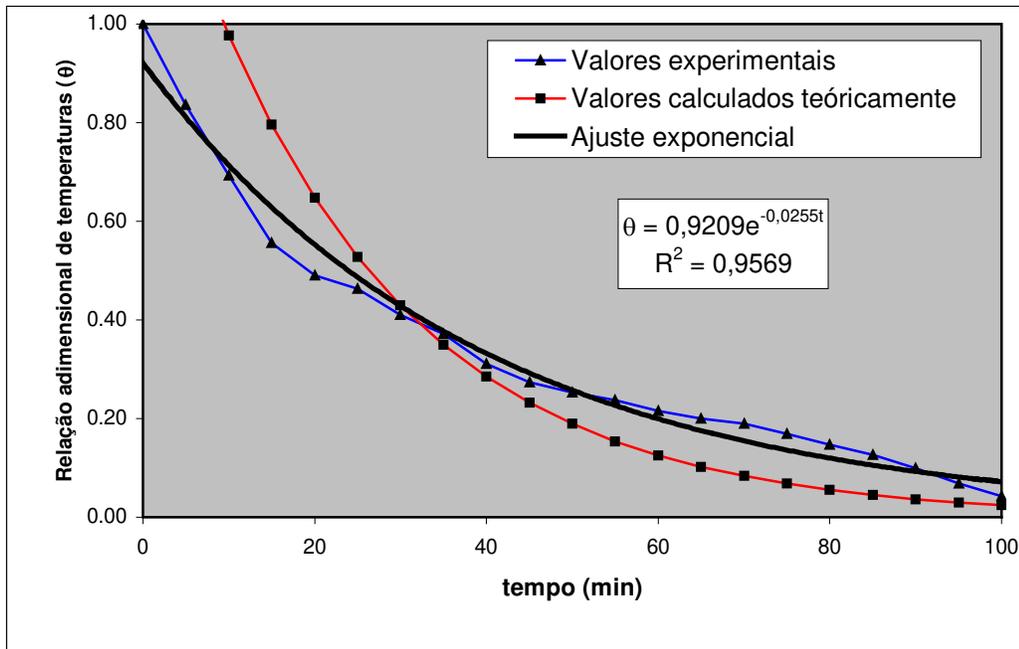


Figura 15. Distribuição de temperatura experimental e teórica no resfriamento rápido de figo, embalado em caixa de madeira ($v=2,7\text{m/s}$).

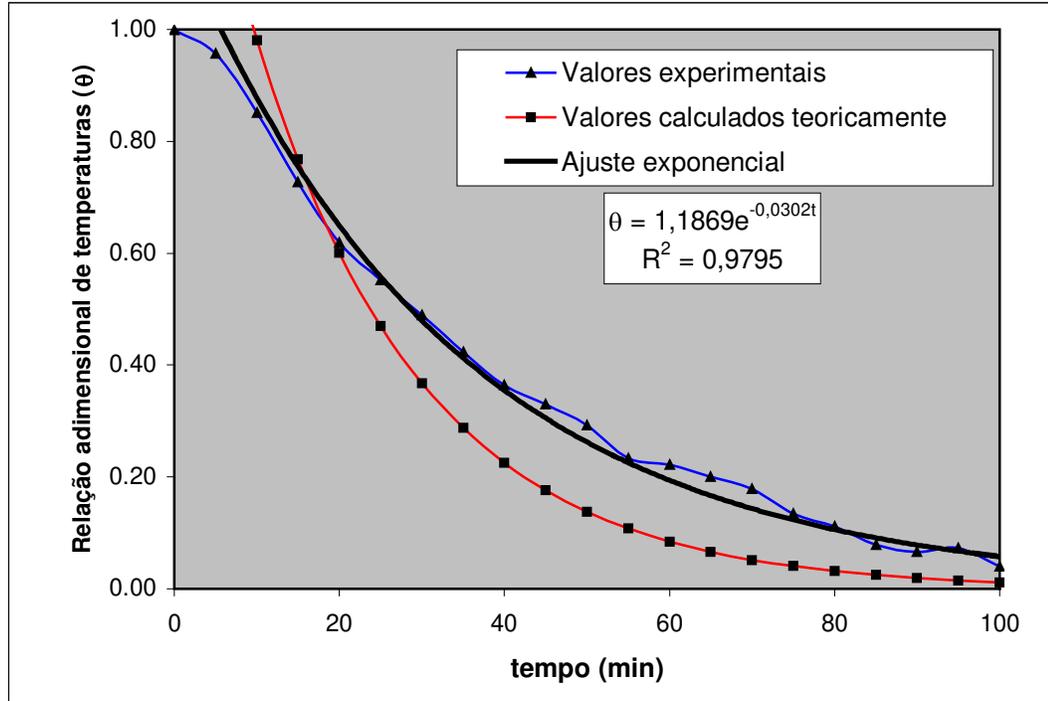


Figura 16. Distribuição de temperatura experimental e teórica no resfriamento rápido de figo, embalado em caixa RIGESA[®] ($v=3,5\text{m/s}$).

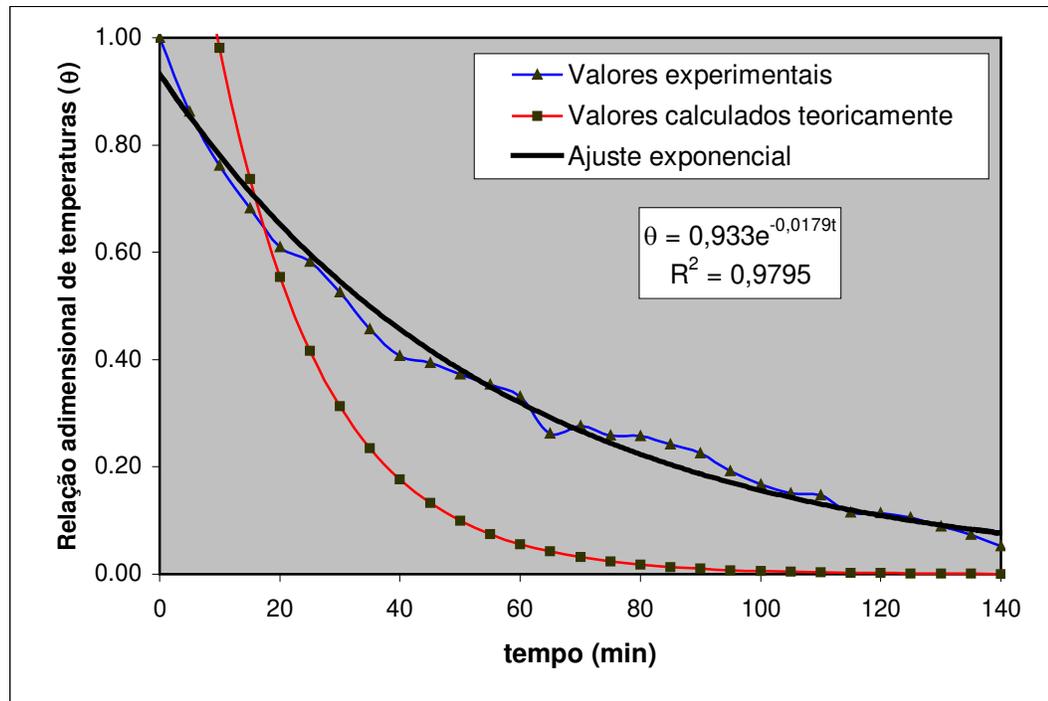


Figura 17. Distribuição de temperatura experimental e teórica no resfriamento rápido de figo, embalado em caixa tipo exportação ($v=9,0\text{m/s}$).

A variação da temperatura no interior das frutas observado na Figura 14 foi provocado por uma rápida queda de energia elétrica.

Na Tabela 9 observam-se as equações exponenciais teóricas derivadas das equações propostas por **DINCER (1995e)** e que foram utilizadas para representar graficamente as curvas de resfriamento teóricas.

Tabela 9. Equações teóricas para cada condição de resfriamento.

Tipo de embalagem	Velocidade do ar sobre as frutas (m/s)	Equação teórica, tempo em segundos.
Regime I. F1=1,8L/s.kg		
Caixa de madeira (E1)	1,0	$\theta = 1,2866e^{-0,0004775t}$
Caixa RIGESA® (E2)	1,3	$\theta = 1,3298e^{-0,0005273t}$
Caixa Exportação (E3)	3,4	$\theta = 1,5244e^{-0,0007382t}$
Regime II. F2=2,8L/s.kg		
Caixa de madeira (E1)	1,5	$\theta = 1,3551e^{-0,0005560t}$
Caixa RIGESA® (E2)	2,0	$\theta = 1,4100e^{-0,0006167t}$
Caixa Exportação (E3)	5,2	$\theta = 1,6268e^{-0,0008426t}$
Regime III. F3=4,9L/s.kg		
Caixa de madeira (E1)	2,7	$\theta = 1,4727e^{-0,0006840t}$
Caixa RIGESA® (E2)	3,5	$\theta = 1,5311e^{-0,0007451t}$
Caixa Exportação (E3)	9,0	$\theta = 1,7681e^{-0,0009828t}$

Nas curvas experimentais de resfriamento observa-se o comportamento exponencial. Assim, observa-se que a temperatura média do produto durante o resfriamento rápido apresenta uma queda rápida no início do resfriamento rápido e lenta quando está próxima da temperatura final.

Nos ajustes exponenciais dos valores experimentais de resfriamento encontrou-se valores altos do coeficiente de determinação, sendo o menor valor de aproximadamente 95%, o que significa que o modelo exponencial representa adequadamente o comportamento do resfriamento do figo 'Roxo de Valinhos', e os coeficientes de resfriamento representados pelo termo exponencial do ajuste podem ser considerados confiáveis. Através da transformação linear das equações exponenciais de ajuste apresentadas em cada figura (equação 14), é possível determinar o tempo de meio resfriamento e o tempo de 7/8 de resfriamento, bastando substituir o termo θ por 0,5 no caso do tempo de meio resfriamento e por 0,125 no caso dos 7/8 de resfriamento, para se conhecer o tempo de resfriamento. Este procedimento sem dúvida é de grande ajuda quando se trata da comercialização de figo, no qual seja adotado a cadeia do frio com a

aplicação do resfriamento rápido com ar forçado. Na Tabela 10 são apresentados o tempo de meio resfriamento e o tempo de 7/8 de resfriamento com base nos ajustes exponenciais.

Tabela 10. Tempo de 1/2 resfriamento e 7/8 de resfriamento calculado do figo com temperatura do ar de resfriamento a 0°C.

Tipo de embalagem	u (m/s)	T _i (°C)	R ²	Equação linear de ajuste (Equação 9).	t _{1/2} (min)	t _{7/8} (min)
Regime I. F1=1,8L/s.kg						
Caixa de madeira (E1)	1,0	19,0	0,99	Ln(θ)=-0,0241t + Ln(1,0403)	30	88
Caixa RIGESA® (E2)	1,3	18,0	0,98	Ln(θ)=-0,0337t + Ln(0,8586)	16	57
Caixa Exportação (E3)	3,4	20,1	0,99	Ln(θ)=-0,0226t + Ln(0,7792)	20	81
Regime II. F2=2,8L/s.kg						
Caixa de madeira (E1)	1,5	19,0	0,98	Ln(θ)=-0,0289t + Ln(1,1244)	28	76
Caixa RIGESA® (E2)	2,0	20,0	0,95	Ln(θ)=-0,0344t + Ln(1,1293)	24	64
Caixa Exportação (E3)	5,2	19,0	0,96	Ln(θ)=-0,0331t + Ln(0,9914)	21	63
Regime III. F3=4,9L/s.kg						
Caixa de madeira (E1)	2,7	19,0	0,96	Ln(θ)=-0,0255t + Ln(0,9209)	24	78
Caixa RIGESA® (E2)	3,5	19,1	0,98	Ln(θ)=-0,0302t + Ln(1,1869)	29	75
Caixa Exportação (E3)	9,0	19,0	0,98	Ln(θ)=-0,0179t + Ln(0,933)	35	112

v = velocidade do ar de resfriamento

T_i = temperatura inicial do produto

t = tempo de resfriamento

Os tempos experimentais de resfriamento do figo para atingir a temperatura final de 1°C, para cada uma das nove condições de resfriamento rápido avaliadas, e os tempos de resfriamento calculados através do ajuste para atingir a mesma temperatura final são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11. Tempos experimentais e de ajuste do resfriamento do figo para T_f=1°C.

Fluxo de ar	Tipo de Embalagem	u(m/s)	T _i (°C)	J	a _E (min ⁻¹)	t _{ajuste} (min)	t _{experimental} (min)
F1E1	Madeira	1,0	19,0	1,0403	0,0241	124	120
F1E2	RIGESA®	1,3	18,0	0,8586	0,0337	81	100
F1E3	Exportação	3,4	20,1	0,7792	0,0226	122	100
F2E1	Madeira	1,5	19,0	1,1244	0,0289	106	100
F2E2	RIGESA®	2,0	20,0	1,1293	0,0344	91	110
F2E3	Exportação	5,2	19,0	0,9914	0,0331	89	100
F3E1	Madeira	2,7	19,0	0,9209	0,0255	112	130
F3E2	RIGESA®	3,5	19,1	1,1869	0,0302	103	100
F3E3	Exportação	9,0	19,0	0,9330	0,0179	161	140

v = velocidade do ar de resfriamento

J = coeficiente de atraso, adimensional

T_i = temperatura inicial do produto

t = tempo de resfriamento

T_f = temperatura final do produto

a_E = coeficiente de resfriamento experimental

O tempo de resfriamento experimental apresentado na Tabela 11, refere-se ao valor médio dos valores experimentais obtidos em cada pilha de embalagem que formava o túnel de resfriamento.

Segundo os valores apresentados na Tabela 11, embora os tempos de resfriamento por ajuste tenham sido calculados através da equação de ajuste dos dados experimentais, na prática (tempo experimental) obteve-se tempos maiores tendo-se em conta que quando o termopar inserido na fruta atinge temperaturas próximas de 1°C, exibe oscilações de temperatura e algumas vezes registra repetidamente temperaturas de 1°C. Além disso, a curva de ajuste não representa 100% dos dados, existindo uma percentagem de erro, embora seja pequena. Os valores tempo de meio resfriamento e tempo dos 7/8 de resfriamento indicam que com base no ajuste, o resfriamento nestas condições (no tempo de meio resfriamento a temperatura da fruta seria de 10°C, e no tempo dos 7/8 seria de 2,3°C), nestes casos, o produto precisaria um menor tempo de resfriamento o que implica maior agilidade na comercialização do produto e menores custos de operação.

No resfriamento rápido do figo na caixa RIGESA[®] encontrou-se que à maior velocidade do ar de resfriamento, o tempo de resfriamento aumenta, fato que deveria acontecer ao inverso, ou seja, a maior velocidade do ar, menor seria o tempo de resfriamento. Na caixa RIGESA[®] quando utilizada a velocidade do ar de 1,3m/s, o tempo de resfriamento da fruta é 10 minutos menor que o tempo de resfriamento utilizando-se a velocidade do ar de 2,0m/s, porém, estatisticamente ao nível de significância de 5%, os tempos podem ser considerados iguais (ANEXO 2a). Essa diferença de 10 minutos pode ser devida ao erro na introdução dos dados experimentais de temperatura e tempo, pois como tinha-se dito anteriormente observou-se oscilações da temperatura quando esta estava próximo da temperatura final. Além disso, a temperatura inicial de fruta quando resfriada com velocidade do ar de 1,3m/s foi 2°C menor que a temperatura inicial quando resfriada com velocidade do ar de 2,0m/s. Encontrou-se que através da análise estatística não existe diferença significativa com um intervalo de confiança do 95% entre os tempos de resfriamento nas nove condições avaliadas, ou seja, aceita-se a Hipótese nula (H₀).

Na Tabela 12 e Tabela 13 estão discriminados os principais parâmetros de transferência de calor do figo e as diferenças entre os valores teóricos e experimentais, respectivamente.

Tabela 12. Parâmetros de resfriamento do figo, diferença entre h_T e h_E

Fluxo de ar	Tipo de Embalagem	v(m/s)	Re	Bi teórico	Bi exper.	h teórico (h_T) (W/m ² °C)	h experimental (h_E) (W/m ² °C)
F1E1	Madeira	1,0	4.286	1,0	0,8	18,6	14,9
F1E2	RIGESA®	1,3	5.571	1,2	1,3	21,2	23,2
F1E3	Exportação	3,4	14.571	1,9	0,8	34,8	13,7
F2E1	Madeira	1,5	6.429	1,3	1,0	22,8	18,8
F2E2	RIGESA®	2,0	8.571	1,5	1,3	26,4	23,8
F2E3	Exportação	5,2	22.286	2,4	1,2	43,3	22,6
F3E1	Madeira	2,7	11.571	1,7	0,9	30,9	16,0
F3E2	RIGESA®	3,5	15.000	2,3	1,1	35,3	19,9
F3E3	Exportação	9,0	38.571	3,0	0,6	57,6	10,4

Re = Número de Reynolds

Bi = Número de Biot

v = velocidade do ar de resfriamento

h = coef. convectivo de transf. de calor

Tabela 13. Parâmetros de resfriamento do figo, diferença entre os coeficientes de resfriamento.

Fluxo de ar	Tipo de Embalagem	u (m/s)	μ_1	Po ($\times 10^{-7}$)	A ($\times 10^{-7}$)	B ₁	C ₁	a _T (s ⁻¹)	a _E (s ⁻¹)	a _T -a _E (%)
F1E1	Madeira	1,0	1,5768	5,88	2,90	1,0	1,2866	0,0004775	0,0004017	15,9
F1E2	RIGESA®	1,3	1,6570	6,20	2,81	1,0	1,3298	0,0005273	0,0005617	6,5
F1E3	Exportação	3,4	1,9605	5,58	1,91	1,0	1,5244	0,0007382	0,0003767	49,0
F2E1	Madeira	1,5	1,7015	5,88	2,55	1,0	1,3551	0,0005560	0,0004817	13,4
F2E2	RIGESA®	2,0	1,7919	5,58	2,21	1,0	1,4100	0,0006167	0,0005733	7,0
F2E3	Exportação	5,2	2,0945	5,88	1,80	1,0	1,6268	0,0008426	0,0005517	34,5
F3E1	Madeira	2,7	1,8872	5,88	2,14	1,0	1,4727	0,0006840	0,0004250	37,9
F3E2	RIGESA®	3,5	1,9697	5,88	1,99	1,0	1,5311	0,0007451	0,0005033	32,4
F3E3	Exportação	9,0	2,2621	5,88	1,60	1,0	1,7681	0,0009828	0,0002983	69,6

a_E = coeficiente de resfriamento experimental

a_T = coeficiente de resfriamento teórico

v = velocidade do ar de resfriamento.

Quando utilizada a polia de menor diâmetro (Regime III ou F3) que gera maiores velocidades do ar, o resfriamento rápido foi menos eficiente, resultando menores coeficientes convectivos de transferência de calor experimentais e menores taxas de resfriamento experimentais, uma vez que a taxa de resfriamento é função direta do tempo de resfriamento das frutas.

Considerando os três fluxos diferentes de ar para uma mesma embalagem, tem-se que a embalagem tipo exportação e a caixa de madeira exibiram em média os maiores tempos de resfriamento (113 e 117 minutos, respectivamente) e o menor tempo foi

apresentado pela caixa RIGESA® (103 minutos). Embora estatisticamente os tempos sejam iguais, verifica-se desta forma a tendência da influência da área de abertura na embalagem durante o resfriamento rápido da frutas “in natura” discutida por diferentes autores como: **MITCHELL et al. (1972)**, **BAIRD e GAFFNEY (1976)**, **BAIRD, et al.(1988)**, **ASHRAE (1993)** e **CHAU (2001)**.

A embalagem RIGESA® apresenta a maior área de abertura (10,5%), mas poderia estar melhor localizada para permitir o fluxo de ar mais eficiente,;a caixa de madeira apresenta uma área de abertura de 9,2%; já a embalagem de papelão tipo exportação apresenta uma área de abertura pequena (3,8%), considerada inadequada para realizar o resfriamento rápido com ar forçado. **TALBOT e BAIRD (1990)**, diziam que de nada adianta projetar um sistema de resfriamento de ar forçado com parâmetros eficientes, se as embalagens são inadequadas para este tipo de sistema.

Em todas as condições de resfriamento, o ar apresentou regime de fluxo turbulento com valores de número de Reynolds maiores que 4.000 (**HANDERSON e PERRY, 1982**). Na medida que a velocidade do ar aumenta o número de Biot e o coeficiente convectivo de transferência de calor teóricos aumentam.

O fluxo de ar ou taxa de ar que passa através das frutas (F1, F2 e F3) significa que, para maiores taxas de ar, espera-se menor tempo de resfriamento, o que se traduz em maior eficiência do sistema. Mesmo assim, essa taxa de ar não pode ser aumentada de forma arbitrária, pois velocidades muito altas podem provocar ressecamento da superfície das frutas e como conseqüência perdas de peso. Como na prática os fatores inerentes ao produto não podem ser alterados, a diminuição das taxas de resfriamento têm que ser conseguida manipulando as demais variáveis ou fatores que influenciam no processo de resfriamento. A literatura referente ao resfriamento com ar forçado propõe que a taxa de ar deve estar entre 0,001 e 0,006m³/s por quilograma de produto que corresponde a valores de 1 a 6L/s por quilograma de produto a ser resfriado (**TERUEL, 2000**).

Considerando uma mesma embalagem, observou-se que as maiores diferenças entre os valores teóricos e experimentais de a foram encontradas quando utilizado o maior fluxo do ar (F3), como observado na Tabela 13. Considera-se que uma velocidade de ar de resfriamento demasiado alta cria dentro da câmara fria fluxos altamente turbulentos que não permitem o resfriamento adequado das frutas, impedindo uma transferência de calor eficiente. Este fato foi evidenciado quando se utilizou a menor polia do ventilador para gerar maiores velocidades do ar, obtendo-se coeficientes convectivos experimentais (h_E) inferiores aos encontrados com velocidades menores.

Uma observação importante é que durante o resfriamento do figo utilizando o maior fluxo de ar (4,9L/s.kg), a vazão de ar do evaporador é inferior a vazão de ar do ventilador de ar forçado no túnel de resfriamento. Segundo a avaliação inicial da câmara fria, a vazão de ar dos ventiladores do evaporador é de 3.380m³/h e no Regime III (F3), teoricamente, o fluxo de ar alcançado seria de 4.200m³/h (Tabela 5). Isto significa que é maior a quantidade de ar que o ventilador succiona que aquela que efetivamente o evaporador pode resfriar. Isto indica que o ar de resfriamento que retorna das frutas não é resfriado totalmente pelo evaporador e neste caso o ar de resfriamento teria uma temperatura superior a 0°C, sendo uma das causas da baixa eficiência no resfriamento do figo quando utilizado este regime de fluxo. Nos outros regimes, o fluxo de ar do ventilador foi inferior ao fluxo de ar do evaporador. Este fato aliado com a área de abertura inadequada na embalagem tipo exportação foram os que geraram a maior diferença entre os coeficientes de resfriamento teórico e experimental e, por conseqüência, a menor eficiência de resfriamento.

Na embalagem tipo exportação, a velocidade do ar foi evidentemente maior por apresentar a menor área de abertura, e com base nesta velocidade os coeficientes convectivos de transferência de calor (**h**) teóricos foram maiores que os encontrados nas outras duas embalagens. Entretanto, experimentalmente não aconteceu o mesmo, encontrando-se coeficientes convectivos de transferência de calor bem menores se comparados com os teóricos, e apresentando as maiores diferenças entre os valores observados ou experimentais (**a_T**) e os teóricos (**a_E**). Já na embalagem RIGESA[®] e caixa de madeira, as diferenças foram consideravelmente menores. Embora a velocidade do ar na entrada da caixa de exportação seja maior que nas outras embalagens, não significa que as frutas dentro desta embalagem recebam efetivamente o fluxo de ar. O desenho da caixa tipo exportação não é apropriado para o resfriamento rápido com ar forçado, apresentando orifícios semi-circulares localizados na borda superior do comprimento da caixa, ou seja, o fluxo de ar passa bem acima das frutas, fato que acontece com menor efeito na embalagem de madeira e RIGESA[®].

A maior eficiência do resfriamento está na menor diferença entre os valores teóricos e práticos dos coeficientes de resfriamento. Segundo **DINCER (1995e)**, no resfriamento de figo com velocidade do ar de 1,5m/s, a maior diferença entre os resultados calculados e os experimentais foi de aproximadamente 20%. No caso do figo 'Roxo de Valinhos', nos fluxos 1,8L/s.kg e 2,8L/s.kg nas caixas de madeira e RIGESA[®], respectivamente, obtiveram-se as menores diferenças do coeficiente de resfriamento, entre 6,5% e 16% (Tabela 13).

Nas curvas dos resfriamentos (Figuras 9 a 17) a curva dos valores experimentais da distribuição de temperaturas, no geral tenderam a ficar acima das curvas calculadas teoricamente, com exceção do resfriamento na caixa RIGESA® e velocidade do ar de 1,3m/s. No geral, em todas as condições as curvas dos valores experimentais estiveram acima ou no mesmo nível dos valores teóricos, ou seja, para o mesmo tempo, em média, encontraram-se valores maiores de θ experimental, o que significa que, no mesmo intervalo de tempo a temperatura medida experimentalmente no centro da fruta foi maior que a suposta temperatura teórica, o que resultaria em um a_E menor, como mostrado na Tabela 13.

Teoricamente, o resfriamento do figo deveria ser mais eficiente, mas experimentalmente, a taxa de transferência de calor do figo é função das condições reais de resfriamento. Fatores tais como a embalagem, que atua como barreira à passagem do fluxo de ar, as oscilações na velocidade do ar, as oscilações na temperatura e UR do ar de resfriamento e o calor gerado por outras fontes como as embalagens e equipamentos, impedem a transferência de calor adequada. Por outro lado, no modelo teórico a taxa calculada para uma fruta individual assume condições ideais e constantes de temperatura de resfriamento e sem barreiras ao fluxo de ar. Um mesmo intervalo de tempo significa um mesmo número de Fourier, pois o único parâmetro variável nesta propriedade térmica adimensional é o tempo, sendo a difusividade térmica e o raio da fruta, intrínsecos ao produto.

DINCER (1995a), DINCER (1995b), DINCER (1995d) e DINCER (1995e), apresentam resultados dos parâmetros de resfriamento do figo turco. O figo turco apresenta diferentes condições de tamanho (diâmetro 0,047m), massa individual (0,058kg) e conteúdo de água (78%), comparativamente ao figo `Roxo de Valinhos`. Os resultados foram apresentados para a fruta individual. Os valores do coeficiente convectivo de transferência de calor foram superiores (para velocidade do ar variando entre 1,1m/s até 2,5m/s encontrou valores de h entre 24 e 33W/m²°C) aos encontrados neste projeto (para velocidade do ar variando entre 1,0m/s até 9,0m/s encontrou valores de h entre 10,4 e 23,8W/m²°C, Tabela 12) mas existe lógica, pois embora as condições de resfriamento tenham sido similares, na montagem experimental de **DINCER (1995e)** a fruta foi pendurada para permitir a passagem plena de ar ao redor do produto, e no caso do figo `Roxo de Valinhos` o resfriamento foi realizado nas condições reais de manuseio do produto. Além disso, o figo `Roxo de Valinhos` apresenta propriedades físicas diferentes, que incidem nos parâmetros de transferência de calor. Frutas de tamanho e forma diferentes respondem de forma diferente ao resfriamento com ar forçado quando submetidas a temperatura e fluxos de ar

semelhantes (BAIRD e GAFFNEY, 1976). Isto porque o tempo de resfriamento é proporcional ao número de Biot (equação 14) para sistemas de resfriamento com condição convectiva (TERUEL, 2000).

O número de Biot representa a relação entre a transferência de calor por convecção (entre o produto e meio de resfriamento) e a transferência de calor por condução (no interior do produto). Os números de Biot experimentais encontrados estiveram entre 0,6 e 1,3 considerados valores baixos, o que significa que existe pouca resistência interna do produto à transferência de calor e maior resistência externa, fenômeno que normalmente acontece na transferência de calor de frutas e hortaliças. Analisando a equação (14) observa-se que h representa a transferência de calor por convecção e k a transferência de calor por condução. Matematicamente significa que para valores maiores da condutividade térmica (k) o número de Biot diminui e para valores menores o B_i aumenta. Condutividades térmicas altas significam menor resistência interna à transferência de calor.

Os valores maiores do número de Biot foram encontrados para o fluxo F2 (2,8L/s.kg), e a embalagem RIGESA® apresentou o valor maior. O maior valor do coeficiente de resfriamento (a_E) foi também encontrado no resfriamento do figo na embalagem RIGESA®, quando utilizado o fluxo de 2,8L/s.kg (F2E2).

5.7 Armazenamento refrigerado do figo após diferentes condições de resfriamento rápido

A análise destes resultados corresponde aos dados experimentais dos parâmetros físico-químicos determinados durante o armazenamento do figo cultivar Roxo de Valinhos em estágio rami após as nove (9) condições diferentes de resfriamento rápido. As frutas foram armazenadas à temperatura de $1 \pm 1^\circ\text{C}$ e 85% de umidade relativa (UR).

Avaliou-se o efeito da embalagem durante o armazenamento refrigerado do figo, pois embora o resfriamento rápido com ar forçado tenha apresentado diferentes velocidades de ar, o tempo de resfriamento para as frutas atingir 1°C , foi similar em todas as condições.

5.7.1 Perda de peso

Na Figura 18 observa-se a perda de peso acumulada do figo durante o armazenamento, para as nove (9) condições iniciais de resfriamento.

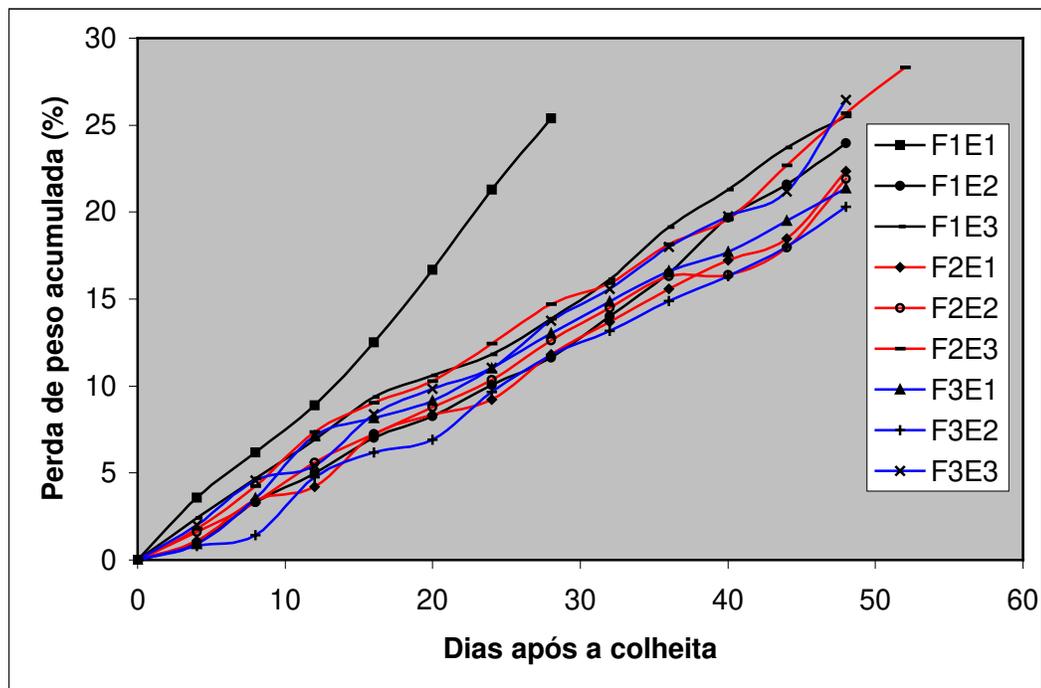


Figura 18. Perda de peso acumulada do figo durante o armazenamento refrigerado a $1\pm 1^{\circ}\text{C}$ e 85% de UR, para diferentes condições de resfriamento rápido.

Todas as frutas exibiram a tendência linear crescente de perda de peso, considerada como perda de água. Até o 48º dia de armazenamento, com exceção do figo na condição de resfriamento F1E1, as frutas apresentaram uma taxa de perda de água similar, entre 0,42 e 0,55%/dia, que em média seria 0,49%/dia. Existiu diferença significativa entre as médias de alguns destes tratamentos ao nível de 5%, segundo o teste de Tukey. Entre o tratamento F1E1 e todos os demais tratamentos existiu diferença significativa ao nível de 1% (ANEXO 2c). Na condição F1E1, até o 48º dia de armazenamento, a taxa de perda de água foi quase duas vezes maior (0,91%/dia) em comparação com a taxa média dos outros tratamentos. O fato deve ter sido influenciado pela embalagem de madeira, que permite a maior perda de água das frutas. Pode-se observar no ANEXO 2c, que sem considerar o fluxo, as médias de perda de peso das embalagens RIGESA® e tipo exportação não são significativas. Após trinta dias de armazenamento o figo nas condições de resfriamento rápido, com exceção do tratamento F1E1, apresentou em média, aproximadamente, 15% de perda de peso, e os figos na condição F1E1 de resfriamento rápido no 28º dia, apresentaram uma perda de peso de 25,4%.

Considerando o 28° dia de armazenamento, observa-se no ANEXO 2f, que não existiu diferença significativa, ao nível de 5% de significância, na perda de peso acumulada nas diferentes embalagens, ou seja, a embalagem não influenciou na perda de peso do figo durante o armazenamento. O teste de Tukey confirma que não existe diferença entre as médias da percentagem perda de peso acumulada. Apesar da caixa de madeira apresentar a maior percentagem de perda no 28° dia de armazenamento, este valor estatisticamente não difere das outras percentagens de perdas nas outras duas embalagens. Embora só em uma das três condições do figo armazenado na caixa de madeira tenha apresentado a maior perda de água, comparando com os outros dois tipos de embalagens, pode-se dizer que a caixa de madeira é a que permite maior perda de água. Após trinta dias de armazenamento o figo embalado na caixa RIGESA[®], considerando as três condições de resfriamento rápido, apresentou em média uma perda de peso de 13%, e o figo embalado na caixa tipo exportação no mesmo período foi um pouco maior, sendo de 15%. Estas diferenças na perda de água traduzida como perda de peso das frutas considera-se que são devidas ao tipo de embalagem. Em embalagens mais fechadas com menor área de abertura, a migração de vapor de água da fruta é menor devido principalmente ao fenômeno físico de transpiração, no qual existe transferência de massa devido à diferença de pressão de vapor entre o ar e o produto que está sendo resfriado e também devido, em parte, ao fato do processo metabólico respiratório ser diminuído (a embalagem como é o caso da caixa tipo exportação atua como uma espécie de atmosfera modificada).

De acordo com **GRIERSON e WARDOWSKI (1978)**, a perda de água durante o armazenamento de frutas e hortaliças depende da diferença de pressão de vapor entre o produto e o ar circundante e segue um comportamento linear. A diferença de pressão de vapor pode ser reduzida diminuindo a diferença de temperatura entre o produto e o ar, incrementando a UR do ar ou colocando barreiras para evitar a perda de água.

Durante o armazenamento refrigerado em câmara fria, espera-se que as frutas se conservem à mesma temperatura do ar frio. Por isso a importância de que o sistema de refrigeração da câmara opere eficiente e homogêneo, inclusive mantendo a UR igual ou superior a 85%. Entende-se que primeiramente as frutas atingem na superfície a temperatura do ar frio da câmara, mas comumente encontram-se temperaturas um pouco superiores nos produtos armazenados além de UR do ar baixas que geram perda de peso e de aparência dos produtos através da perda da água.

5.7.2 Relação sólidos solúveis/acidez total titulável

No que diz respeito à relação sólidos solúveis/acidez total titulável (SS/ATT), observa-se a tendência de crescer através do tempo (Figura 19). Segundo **WILLS et al. (1982)** e **SALUNKE e DESAI (1984)**, o crescimento da relação SS/ATT é evidenciado pelo aumento dos sólidos solúveis e a diminuição da acidez total titulável (Tabelas 14 e 15).

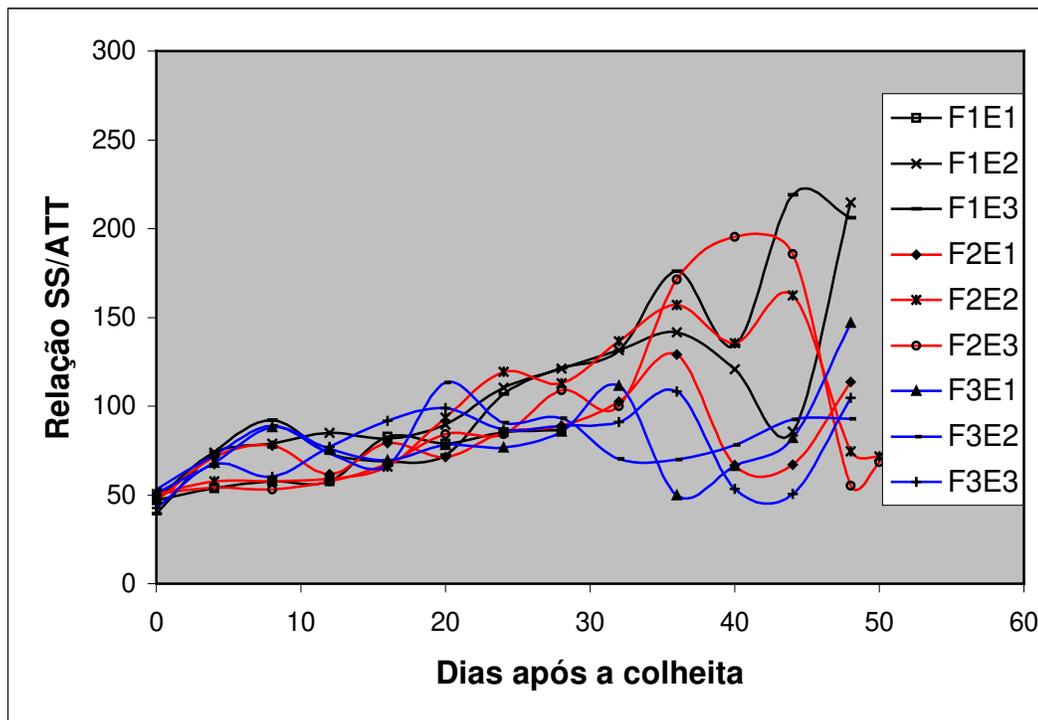


Figura 19. Relação Sólidos Solúveis/Acidez Total Titulável do figo durante o armazenamento refrigerado a $1\pm 1^{\circ}\text{C}$ e 85% de UR, para diferentes condições de resfriamento rápido.

Na Figura 19, em todas as condições de resfriamento nos primeiros 32 dias de armazenamento refrigerado observa-se uma tendência similar de crescimento, podendo-se dizer que a relação SS/ATT exibe uma taxa de crescimento similar, em média um valor de aproximadamente 105. Do 32º dia até o período final de avaliações no armazenamento observam-se oscilações. Estas oscilações foram originadas pelas variações nos valores dos sólidos solúveis ou da acidez total titulável no período de senscência da fruta. A relação SS/ATT é indicador de sabor e aroma, pois relaciona o doce com a acidez, ou seja, para a maior relação SS/ATT o fruto seria mais saboroso.

Na medida que as frutas vão amadurecendo, o amido é hidrolisado à açúcares mais simples. Em conseqüência, com o amadurecimento da fruta, o seu teor de sólidos solúveis vai se elevando.

Segundo **WHITING (1970)** no caso do figo (sem especificar o cultivar), o conteúdo de açúcares aumenta gradativamente durante os primeiros estádios do desenvolvimento e rapidamente nos últimos estádios de maturação.

O teor de sólidos solúveis do figo aumenta durante o armazenamento refrigerado e depois exibe uma queda. Os valores médios máximos para o mesmo tipo de embalagem, considerando os valores máximos antes de apresentar uma queda repentina e que são destacados na Tabela 14. Para o figo na caixa de madeira foi de 17,3°Brix, que corresponde ao 24° dia de armazenamento para a condição F1E1 de resfriamento; para a condição F2E1 de resfriamento ao 36° dia e para a condição F3E1 ao 32° dia de armazenamento.

Tabela 14. Teores de sólidos solúveis do figo rami (°Brix) durante o armazenamento sob diferentes condições de resfriamento.

Dias após a colheita	F1E1	F1E2	F1E3	F2E1	F2E2	F2E3	F3E1	F3E2	F3E3
0	13,5	10,0	10,0	12,5	13,5	12,5	12,0	12,5	12,0
4	13,6	13,5	13,5	12,5	15,5	12,8	12,5	12,5	12,0
8	14,4	14,5	13,5	13,5	14,5	13,0	12,7	13,0	12,0
12	15,1	15,5	14,0	12,0	15,0	13,0	12,5	12,3	12,0
16	15,2	15,7	14,5	13,8	15,5	15,0	13,4	13,3	13,3
20	16,4	16,5	14,7	13,6	16,0	16,0	13,9	13,2	14,2
24	17,8	17,0	15,0	14,6	16,0	15,0	14,6	12,5	15,0
28	17,6	17,5	15,3	15,3	15,5	15,2	15,7	13,5	15,4
32		17,8	15,0	16,1	15,5	15,0	16,8	14,5	15,6
36		18,1	18,0	17,2	17,0	16,5	13,6	15,5	16,8
40		17,5	18,0	15,6	17,5	18,0	14,5	16,4	14,5
44		17,5	17,0	16,8	17,7	17,3	15,8	17,8	15,0
48		17,6	25,0	15,0	17,3	17,0	17,0	17,1	14,0
50					17,5	17,0			

Para o figo embalado na caixa RIGESA[®], o teor de sólidos solúveis foi de 17,9°, média que corresponde aos valores do 36° dia de armazenamento para a condição F1E2 de resfriamento, ao 44° dia na condição F2E2 de resfriamento e ao 44° dia após a colheita na condição F3E2 de resfriamento.

As frutas embaladas na caixa tipo exportação apresentaram em média o teor de sólidos solúveis de 17,6°Brix, que corresponde ao 36° dia de armazenamento na condição F1E3 de resfriamento; na condição F2E3 de resfriamento ao 40° dia e na condição F3E3 de resfriamento ao 36° dia de armazenamento refrigerado. Não existe diferença significativa entre as médias, segundo o teste de Tukey, ao nível de significância de 5%.

Tabela 15. Acidez Total Titulável do figo rami (%) durante o armazenamento sob diferentes condições de resfriamento.

Dias após a colheita	F1E1	F1E2	F1E3	F2E1	F2E2	F2E3	F3E1	F3E2	F3E3
0	0,2876	0,2091	0,2529	0,2675	0,2670	0,2479	0,2364	0,2364	0,2819
4	0,2535	0,1828	0,1823	0,1756	0,2686	0,2371	0,1832	0,1728	0,1783
8	0,2502	0,1835	0,1463	0,1733	0,2511	0,2451	0,1439	0,1461	0,1999
12	0,2619	0,1826	0,1907	0,1947	0,2539	0,2248	0,1645	0,1675	0,1556
16	0,1837	0,1920	0,2108	0,1746	0,2348	0,2230	0,1922	0,1998	0,1449
20	0,2078	0,1843	0,2032	0,1905	0,1713	0,1902	0,1780	0,1167	0,1435
24	0,2088	0,1541	0,1406	0,1713	0,1339	0,1780	0,1907	0,1377	0,1732
28	0,2038	0,1445	0,1261	0,1720	0,1373	0,1395	0,1833	0,1446	0,1735
32		0,1355	0,1143	0,1570	0,1136	0,1498	0,1508	0,2068	0,1711
36		0,1279	0,1022	0,1332	0,1083	0,0963	0,2735	0,2219	0,1550
40		0,1447	0,1346	0,2334	0,1291	0,0922	0,2191	0,2100	0,2714
44		0,2047	0,0777	0,2509	0,1089	0,0946	0,1922	0,1922	0,2965
48		0,0819	0,1212	0,1318	0,2321	0,3082	0,1158	0,0969	0,1336
50					0,2439	0,2485			

Neste caso foi fixo o fluxo de ar das nove condições de resfriamento e considerados os três fluxos como repetições para cada tipo de embalagem. Desta forma, os valores dos SS correspondem aos valores máximos durante o armazenamento, antes de apresentar uma queda repentina, independente do número de dias de armazenamento. Isto significa que estatisticamente os valores dos SS nestes períodos foram semelhantes (ANEXO 2d).

A acidez total titulável apresentou um decréscimo de valores durante o armazenamento do figo para depois exibir um aumento. Da mesma forma que o teor de SS, a ATT apresenta os valores mínimos nos mesmos períodos nos quais os SS exibem os valores máximos, ou seja, tem-se relações máximas de SS/ATT nos mesmos períodos. Nos mesmos períodos referidos para os SS, obteve-se a média dos valores máximos. O figo na caixa de madeira apresentou um valor médio da relação ATT de 0,1643; na caixa RIGESA[®] de 0,1430 e na caixa tipo exportação uma média de 0,1165. Calculando-se a média dos três valores máximos do teor de SS obtidos em cada embalagem, tem-se uma média geral de teor de SS de 17,6°Brix, e a média dos valores máximos da relação ATT de 0,1413. Esses valores são considerados como boa referência para indicar o período máximo adequado para o armazenamento do figo. Não foi encontrada diferença significativa entre as médias ao nível de significância de 5 % (ANEXO 2e).

Considerando uma mesma embalagem, até o 28° dia de armazenamento em todas as condições de resfriamento rápido não foram observadas grandes diferenças entre os valores da relação SS/ATT (a diferença de valores máxima apresentada foi devido a caixa tipo exportação, sendo de 32,6). Pode-se dizer que as diferentes velocidades de ar no

resfriamento rápido com ar forçado não tiveram efeito considerável no comportamento pós-colheita do figo, sendo importante avaliar o possível efeito do resfriamento rápido quando comparado com frutas resfriadas lentamente.

Durante o armazenamento a fruta continua o processo de amadurecimento e existe uma relação entre o conteúdo de SS e seu uso no processo metabólico, por isso observa-se uma diminuição do conteúdo de SS no final do período de armazenamento. Desde o início do armazenamento até os períodos limites considerados adequados para o consumo do figo, o conteúdo da ATT diminui devido o uso dos ácidos orgânicos no processo metabólico, seguido de uma tendência de aumentar, provavelmente devido ao acúmulo de ácidos originados pelo processo de degradação da fruta. Segundo **SALUNKE e DESAI (1984)**, o ácido ascórbico é o ácido orgânico presente em maior quantidade nas frutas.

5.7.3 Mudanças no pH

Na Figura 20, observa-se a tendência do pH a aumentar até o final do período de armazenamento.

Percebe-se que, de modo geral, os valores de pH tendem a aumentar com o amadurecimento da fruta. O decréscimo ao final do período de armazenamento é influenciado pelo aumento da acidez titulável. Estes decréscimos ocorreram em períodos similares nos quais obteve-se os valores limites de teor de SS e ATT. Considerando a mesma embalagem, os valores máximos de pH que correspondem ao período limite, referem-se aos mesmos números de dias descritos para os sólidos solúveis. Os valores médios para os períodos limites são os seguintes: para a caixa de madeira foi de 5,44, para a caixa RIGESA[®] de 5,88 e para a caixa tipo exportação de 5,68.

Também não foi observada uma diferença considerável no comportamento do pH durante ao armazenamento devido às diferentes velocidades do ar de resfriamento rápido. O aumento dos valores do pH foi devido em parte à diminuição no conteúdo dos ácidos orgânicos da fruta

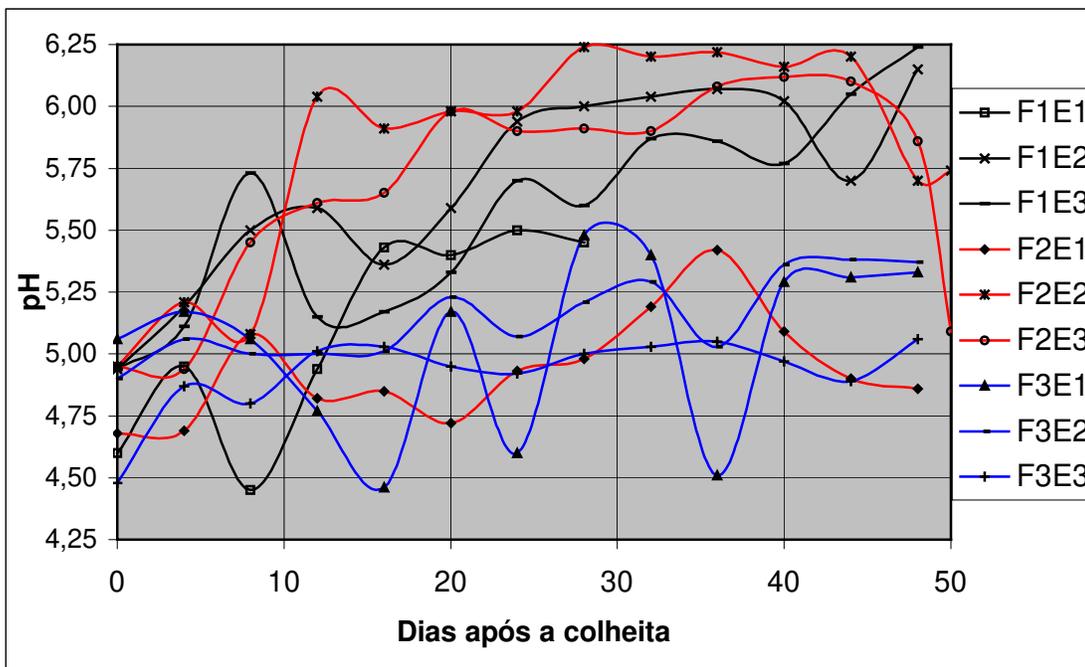


Figura 20. Mudanças do pH do figo durante o armazenamento refrigerado a $1\pm 1^{\circ}\text{C}$ e 85% de UR, para diferentes condições de resfriamento rápido.

Durante o armazenamento, a perda de vitamina C é maior em frutas com pH neutro e menor em frutas mais ácidas. O figo 'Roxo de Valinhos' no estágio rami tinha em média um pH de 4,83 no dia 0 de armazenamento e foi se aproximando do pH neutro (7,0), durante o armazenamento.

Embora a tendência do pH seja aumentar através do período de armazenamento, observa-se contínuas oscilações dos valores devido à variabilidade das frutas, classificadas visualmente, assumindo-se o mesmo ponto de colheita, porém não se garantindo que tenham condições idênticas de grau de maturidade inicial, ou que continuem com o metabolismo similar. No dia 0 de armazenamento as frutas não apresentavam o mesmo grau de maturidade, pois observa-se na Tabela 14, Tabela 15 e na Figura 20 valores diferentes do teor de sólidos solúveis totais, da acidez total titulável e do pH, respectivamente.

Para verificar a influência da embalagem no armazenamento, foi fixado o período de 28 dias e analisado através na análise de variância com o teste F, para os resultados das avaliações físico-químicas, considerando somente os efeitos das embalagens e não dos fluxos.

Também não foram encontradas diferenças significativas ao nível de 5% de significância entre os valores da relação SS/ATT no 28º dia de armazenamento (ANEXO 2g),

nem nas médias dos valores do pH, considerando a não influência do fluxo de ar no resfriamento rápido (ANEXO 2h). Pode-se afirmar que os diferentes tipos de embalagens não influenciam nas mudanças físico-químicas do figo durante o armazenamento. Também foi analisado o efeito da embalagem na vida útil do figo, e não foi encontrada diferença significativa (ANEXO 2i).

Embora as diferenças nos valores não sejam significativas, existem mudanças no metabolismo das frutas. Estas mudanças (SS, ATT e pH) indicam que o figo 'Roxo de Valinhos' continua com o processo de amadurecimento durante o armazenamento e verifica-se que a refrigeração retarda os processos metabólicos aumentando a vida de prateleira e possibilitando maior tempo de comercialização. O tempo de conservação a $1\pm 1^{\circ}\text{C}$ e 85% de UR do figo rami, para as diferentes condições de resfriamento rápido e embalagem são observados na Tabela 16. Segundo **RIGITANO (1964)**, os figos maduros são rapidamente perecíveis e não se conservam satisfatoriamente, mesmo em baixa temperatura, por períodos prolongados. **BLEINROTH (1988)**, observou que mesmo mantendo o figo maduro na temperatura ideal de $-0,5$ a 0°C e 85 a 90% de UR, as frutas não se conservam por mais de 10 dias.

Tabela 16. Resultado das análises realizadas no período de conservação máximo de figo 'Roxo de Valinhos', tipo rami, submetido a diferentes condições de resfriamento rápido e armazenados a 1°C .

Tipo de Embalagem	Fluxo de Ar (L/s.kg produto)	Nº de dias após a colheita	Perda de peso (%)	SS (°Brix)	ATT (%)	Relação SS/ATT	pH
Madeira	1,8	24	21,3	17,8	0,2088	85,3	5,50
	2,8	36	15,6	17,2	0,1332	129,1	5,42
	4,9	32	14,9	16,8	0,1508	111,4	5,40
RIGESA®	1,8	36	16,5	18,1	0,1279	141,5	6,07
	2,8	44	18,0	17,7	0,1089	162,5	6,20
	4,9	44	18,0	17,8	0,1922	92,6	5,38
Exportação	1,8	36	19,1	18,0	0,1022	176,1	5,86
	2,8	40	19,6	18,0	0,0922	195,2	6,12
	4,9	36	18,0	16,8	0,1550	108,4	5,05

Considerando-se a média dos períodos adequados para cada tipo de embalagem, tem-se que na caixa de madeira o armazenamento seria de aproximadamente 31 dias, na caixa RIGESA® de aproximadamente 41 dias e na caixa tipo exportação de aproximadamente 37 dias. O armazenamento na caixa RIGESA® e na caixa tipo exportação possuem períodos

próximos, já com a caixa de madeira a diferença (10 dias) é considerável do ponto de vista comercial. Cabe ressaltar que além dessas análises, deve-se considerar os resultados da análise sensorial com base na aparência (grau de enrugamento, perda de maciez e aparecimento de fungos), que indicam efetivamente o período no qual a fruta possui ainda condições de comercialização.

Outro fator que acelera o envelhecimento das frutas após a colheita é o ataque microbiológico. Os principais patógenos responsáveis pela deterioração pós-colheita do figo são: *Alternaria spp*, *Aspergillus niger*, *Fusarium moniliforme*, *Cladosporium spp*, *Penicillium spp*, *Rhizopus spp* e *Botrytis cinerea* (SALUNKE e DESAI, 1984; RICCI, 1972; BEWAJI et al., 1977 e CAMPOS, 1994).

A caixa RIGESA® foi a embalagem que conservou por maior tempo o figo durante o armazenamento refrigerado. O grau de maturidade da fruta, devido as variações na composição bioquímica, pode influenciar nos parâmetros de transferência de calor. DUSSAN SARRIA e HONÓRIO (2002) determinaram os parâmetros de transferência de calor do resfriamento rápido do figo em estágio verde tipo exportação, embalado nas caixas tipo exportação e RIGESA®.

5.8 Resfriamento rápido com ar forçado do figo acondicionado na caixa de papelão RIGESA®, com fluxo de ar 2,8L/s.kg

A velocidade média do ar sobre as frutas foi de 2,1m/s, valor próximo do encontrado durante o resfriamento rápido realizado anteriormente (2,0m/s) sob as mesmas condições de embalagem e regime de fluxo anterior (F2E2) do ventilador, denominado RR.

Durante o resfriamento rápido, embora a câmara fria estivesse à temperatura de -1°C, uma vez ligado o sistema de ar forçado, a temperatura do ar de resfriamento aumenta para depois se estabilizar. Para efeito dos cálculos considerou-se a temperatura do ar de resfriamento de 0°C. A pressão estática dentro do túnel de resfriamento foi de 340Pa. A umidade relativa do ar também apresentou oscilações, mas em média, foi de 74%. Na comparação de médias de temperatura com base no teste Tukey ao nível de significância de 5%, não existiu diferença significativa entre os pares de termopares colocados a cada lado do túnel de resfriamento, na mesma altura ou localização na pilha de embalagens.

Durante a realização do resfriamento rápido, conforme referido nos demais resfriamentos, existiu dificuldade na medição das velocidades de ar sobre o figo devido à própria montagem do túnel de resfriamento. O perfil de velocidade do ar é heterogêneo, e considerou-se a velocidade média obtida em toda a pilha de embalagens.

A velocidade média do ar sobre as frutas dentro das embalagens (u) foi considerada para efeito da abordagem matemática, pois é a velocidade que interessa experimentalmente. Vale ressaltar que à semelhança dos demais resfriamentos, este fato foi comprovado somente nas embalagens que estavam localizadas na parte superior da pilha que formou o túnel de resfriamento.

Para o cálculo da taxa de ar efetiva que circulava sobre as frutas dentro da caixa RIGESA® considerou-se a área de abertura de 0,0028m² (14cmx2cm), e assim obteve-se um fluxo de ar de 2,94L/s.kg de produto. Para efeito de notação, este fluxo seguirá sendo denominado F2.

A perda de peso após o resfriamento foi inferior a 1%.

A equação teórica de distribuição de temperaturas conforme o desdobramento matemático descrito anteriormente, foi a seguinte:

$$\theta = 1,4198e^{-0,0006274 t} \dots\dots\dots(57)$$

Na Figura 21 observa-se a curva de resfriamento teórica e experimental e o ajuste exponencial dos dados experimentais referentes a esta condição de resfriamento. Na Tabela 17 observam-se os tempos experimentais e de ajuste do resfriamento do figo embalado na caixa RIGESA®.

No ajuste exponencial dos valores experimentais de resfriamento rápido, o valor do coeficiente de determinação foi alto, sendo de aproximadamente 98%, o que significa que o modelo exponencial representa adequadamente o comportamento do resfriamento de figo e os coeficientes de resfriamento representados pelo termo exponencial do ajuste podem ser considerados confiáveis. Na Tabela 18 e Tabela 19, observam-se os principais parâmetros de transferência de calor do figo nesta condição de resfriamento.

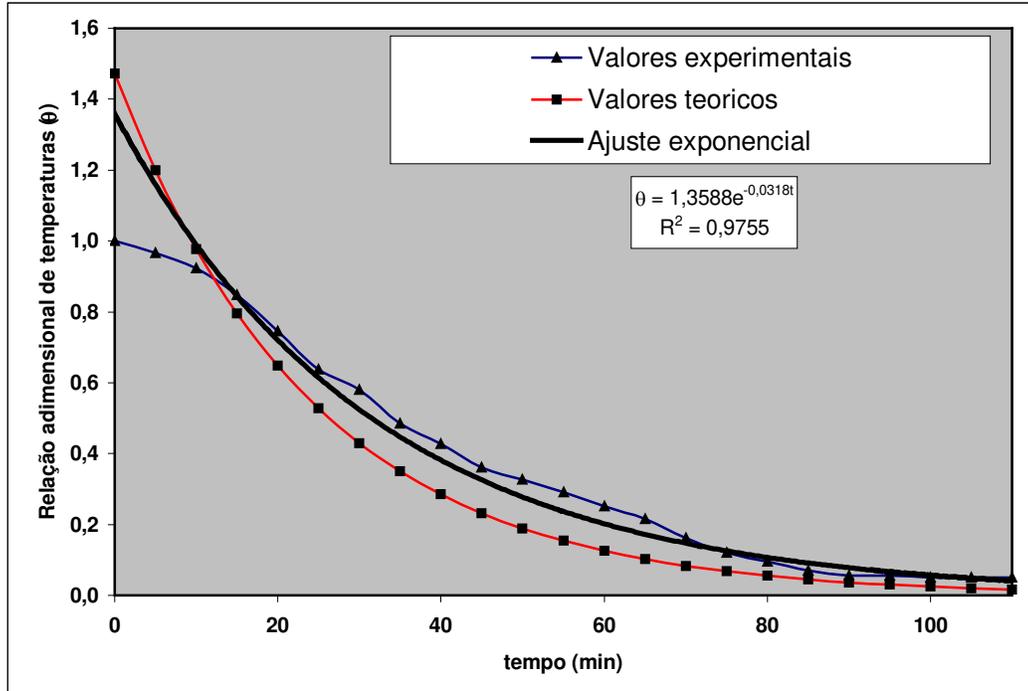


Figura 21. Distribuição de temperatura experimental e teórica no figo, resfriado em caixa RIGESA[®] (u=2,1m/s).

Tabela 17. Tempos experimentais e de ajuste do resfriamento do figo embalado na caixa RIGESA[®] para $T_i=1^{\circ}\text{C}$, com fluxo de ar de 2,94L/s.kg.

$u(\text{m/s})$	$T_i(^{\circ}\text{C})$	J	$a_E(\text{min}^{-1})$	$t_{\text{ajuste}}(\text{min})$	$t_{\text{experimental}}(\text{min})$
2,1	19,9	1,3588	0,0318	104	110

v = velocidade do ar de resfriamento a_E = coeficiente de resfriamento experimental

t = tempos de resfriamento T_i = temperatura inicial do produto

Tabela 18. Parâmetros de resfriamento rápido do figo acondicionado em caixa RIGESA[®] diferença entre h_T e h_E , com fluxo de ar de 2,94L/s.kg.

$u(\text{m/s})$	Re	Bi teórico	Bi experimental	h teórico (h_T) ($\text{W/m}^2\text{C}$)	h experimental (h_E) ($\text{W/m}^2\text{C}$)
2,1	9.000	1,5	1,2	27,1	21,4

v = velocidade do ar de resfriamento Bi = Número de Biot

Re = Número de Reynolds h = coeficiente convectivo de transferência de calor

Tabela 19. Parâmetros de resfriamento rápido do figo acondicionado em caixa RIGESA[®].

u(m/s)	μ_1	Po	A	B ₁	C ₁	a _T (s ⁻¹)	a _E (s ⁻¹)	a _T -a _E (%)
2,1	1,8073	5,61E-07	2,19E-07	1,0	1,4198	0,0006274	0,0005300	15,5

a_T = coeficiente de resfriamento teórico, a_E = coeficiente de resfriamento experimental,

A taxa de ar que passa através das frutas (**F2**) resultou ser um pouco maior que a taxa encontrada no resfriamento rápido realizado anteriormente, sob as mesmas condições de embalagem e tamanho da polia do ventilador. Anteriormente tinha-se encontrado uma taxa de 2,80L/s.kg e desta vez foi de 2,94 L/s.kg. Este fato pode ser explicado pela diferença das velocidades de ar de resfriamento. O tempo de resfriamento gasto foi igual ao tempo encontrado anteriormente, e correspondeu a 110 minutos. Esperava-se um tempo de resfriamento menor, mas a taxa de resfriamento encontrada desta vez foi menor que a encontrada anteriormente. A temperatura inicial do produto desta vez foi praticamente a mesma, de 19,9°C e no resfriamento anterior foi de 20°C. A taxa de resfriamento é resultado da distribuição das temperaturas através do tempo no interior da fruta.

Os valores teóricos do coeficiente convectivo de transferência de calor e o coeficiente de resfriamento foram maiores que os valores experimentais da distribuição de temperaturas. A diferença entre os coeficientes de resfriamento (a_T-a_E) foi de 15,5%, já no resfriamento realizado anteriormente, sob as mesmas condições, foi de 7%. Segundo **DINCER (1995a)**, no resfriamento de figo com velocidade do ar de 1,5m/s a maior diferença entre os resultados calculados e os experimentais foi de aproximadamente 20%.

O números de Biot encontrado foi de 1,2, o que significa que existe pouca resistência interna do produto à transferência de calor e maior resistência externa.

5.9 Resfriamento lento do figo acondicionado na caixa de papelão RIGESA[®]

Durante o resfriamento lento na câmara fria, a temperatura e a umidade relativa do ar de resfriamento dentro da câmara fria foram estáveis. Através dos termopares localizados na superfície de algumas frutas, verificou-se que a temperatura ao redor destas manteve-se em 0°C. A umidade relativa do ar, em média, foi de 74%. Na comparação de médias de temperatura com base no teste Tukey ao nível de significância de 5%, não existiu diferença significativa entre os pares de termopares colocados a cada lado do túnel de resfriamento, na mesma altura ou localização na diagonal cruzada de termopares na pilha de embalagens.

Na Figura 22 observa-se a curva de resfriamento experimental e o ajuste exponencial dos dados experimentais referentes a esta condição de resfriamento.

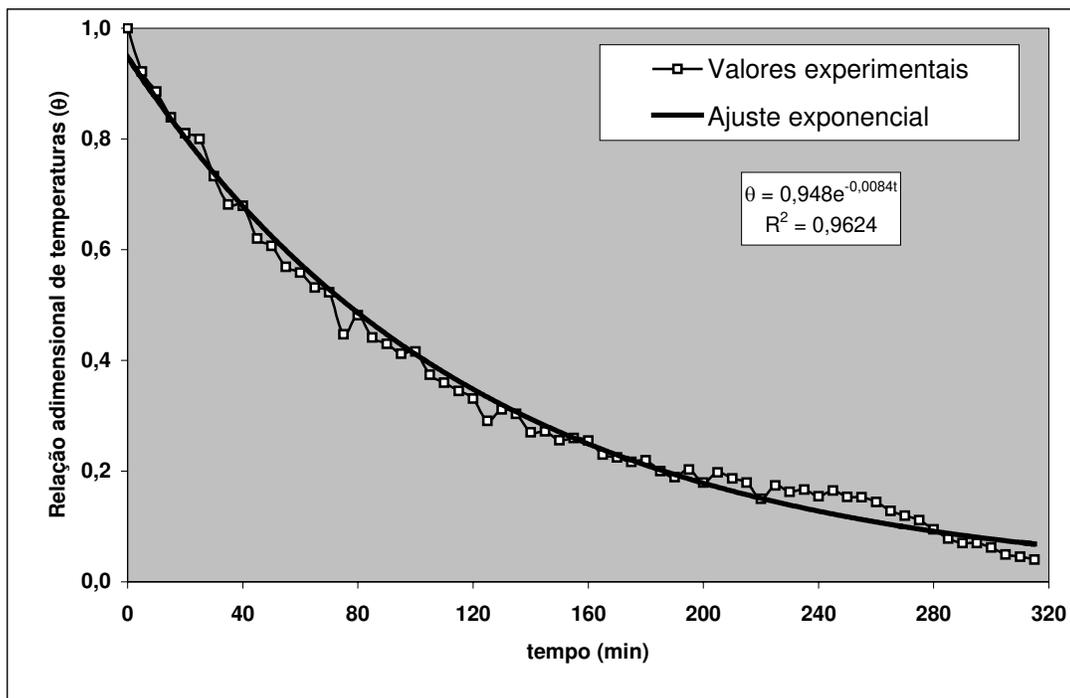


Figura 22. Distribuição da temperatura durante o resfriamento lento do figo, embalado na caixa RIGESA[®]. Temperatura do ar 0°C. Temperatura inicial da fruta 24,2°C.

No ajuste exponencial dos valores experimentais do resfriamento lento, o valor do coeficiente de determinação foi de aproximadamente 96%, o que significa que o modelo exponencial representa adequadamente o comportamento do resfriamento de figo e os coeficientes de resfriamento, representados pelo termo exponencial do ajuste podem ser considerados confiáveis.

Apesar das frutas no resfriamento lento terem iniciado o resfriamento com uma temperatura maior (em média 24,2°C) em comparação com a temperatura inicial das frutas no resfriamento rápido (em média 19,9), foi feita a comparação dos resultados. Considerou-se interessante observar o comportamento do resfriamento lento com as condições iniciais reais que o produtor realiza o manuseio da fruta. O tempo de resfriamento gasto para o figo diminuir a temperatura de 24,2°C a 1°C foi de 315 minutos, ou seja, aproximadamente 3 vezes maior que o tempo gasto durante o resfriamento rápido. Estatisticamente, existiu diferença significativa, ao nível de 5%, entre os tempos experimentais encontrados entre todos os tratamentos ou condições de resfriamentos realizados (ANEXO 2b). A análise

experimental mostrou que existe diferença significativa, com um intervalo de confiança do 95%, entre os tempos de resfriamento. Desse modo considera-se que o tempo de resfriamento possui uma grande dependência do tipo de resfriamento aplicado (RL ou RR). Também existe diferença significativa ao nível de 5% entre as médias, segundo o teste Tukey.

Observa-se a incidência positiva do resfriamento rápido quando pretende-se diminuir rapidamente a temperatura das frutas. A transferência de calor por convecção na superfície das frutas devido ao fluxo de ar, permite que as frutas se resfriem mais rapidamente. Durante o resfriamento lento, o coeficiente de resfriamento resultou ser de $0,0084\text{min}^{-1}$, por outro lado no resfriamento rápido o coeficiente de resfriamento foi bem maior, $0,0318\text{min}^{-1}$. Considerando no resfriamento lento a área de abertura da caixa RIGESA[®], e a média da velocidade do ar sobre as frutas de $0,1\text{m/s}$, o fluxo de ar foi de $0,28\text{L/s}$. Devido a velocidade do ar ser muito baixa não foi feito para o RL o cálculo teórico para comparar com a curva de resfriamento experimental.

5.10 Armazenamento refrigerado do figo resfriado rapidamente e lentamente na caixa RIGESA[®]

A análise destes resultados corresponde aos dados experimentais dos parâmetros físico-químicos determinados durante o armazenamento do figo cultivar Roxo de Valinhos, no estádio rami, após resfriamento rápido e resfriamento lento. Após os resfriamentos rápido e lento, as frutas foram armazenadas em outra câmara fria à temperatura de $1\pm 1^{\circ}\text{C}$ e 85% de UR.

Avaliou-se o efeito do tipo de resfriamento durante o armazenamento refrigerado do figo.

5.10.1 Perda de peso

A Figura 23 mostra a perda de peso acumulada do figo, durante o período de armazenamento, após RR e RL.

Nas duas condições de resfriamento as frutas exibiram a tendência linear crescente de perda de peso, considerada como perda de água. Na Figura 23 são apresentados os dados até o 41º dia de armazenamento, período no qual as frutas apresentaram uma taxa de perda de água de $0,47\%/dia$ no RR e de $0,62\%/dia$ no RL. No 41º dia de armazenamento existiu diferença estatística significativa, ao nível de 1%, entre os tratamentos (RR e RL), ou

seja, a taxa de perda de água durante o armazenamento depende do tipo de resfriamento aplicado.

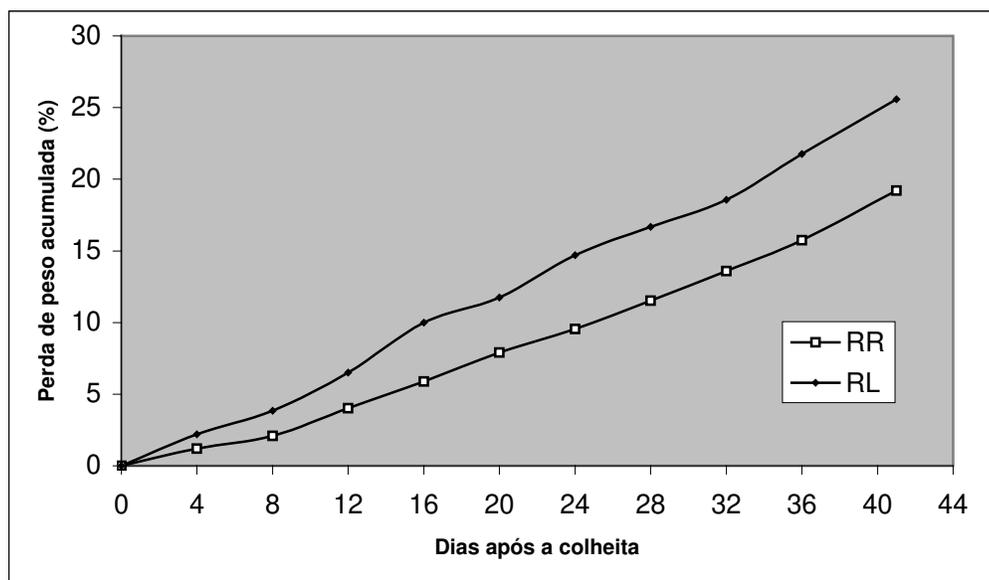


Figura 23. Perda de peso acumulada do figo armazenado $1\pm 1^{\circ}\text{C}$ e 85% de (UR), após RR e RL.

No 41º dia de armazenamento existiu diferença significativa, ao nível de 5%, entre as médias dos tratamentos, segundo o teste de Tukey (ANEXO 2j). Após trinta e dois dias de armazenamento, o figo nas condição de RR apresentou, em média, 13,6% de perda de peso, e o figo na condição RL, 18,6%. No resfriamento rápido anterior, com o mesmo fluxo de ar para o figo embalado na caixa RIGESA[®], a perda de peso no 30º dia de armazenamento foi de 13%.

5.10.2 Relação sólidos solúveis/acidez total titulável

No que diz respeito à relação sólidos solúveis/acidez total titulável (SS/ATT), observa-se a tendência de crescimento através do tempo (Figura 24). Também são exibidas as figuras do comportamento do conteúdo de sólidos solúveis (Figura 25) e da acidez total titulável (Figura 26).

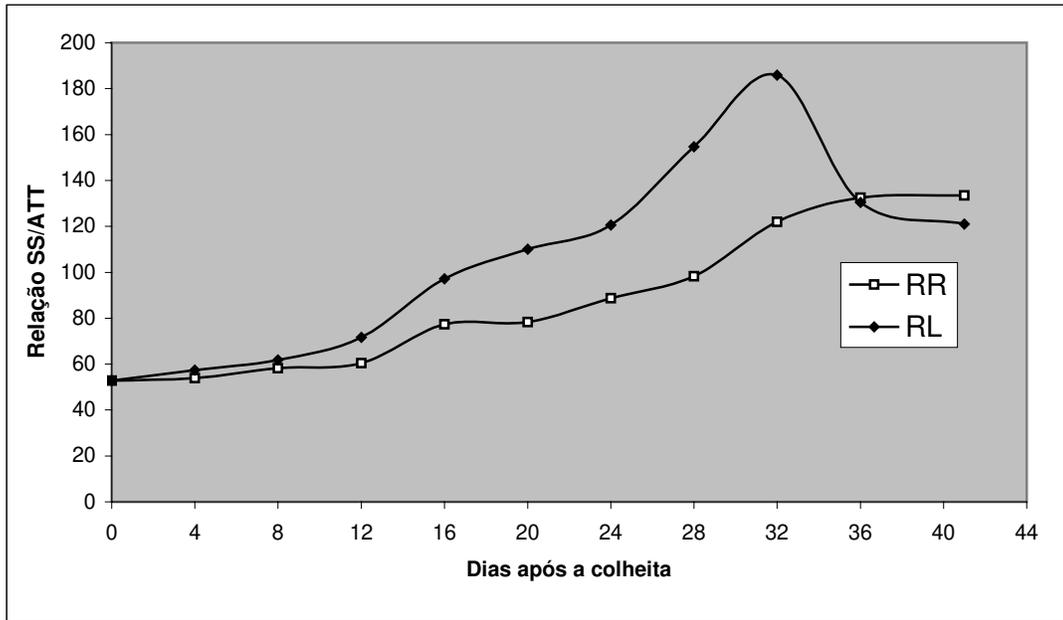


Figura 24. Mudanças na relação SS/ATT do figo armazenado $1\pm 1^{\circ}\text{C}$ e 85% de UR, após RR e RL.

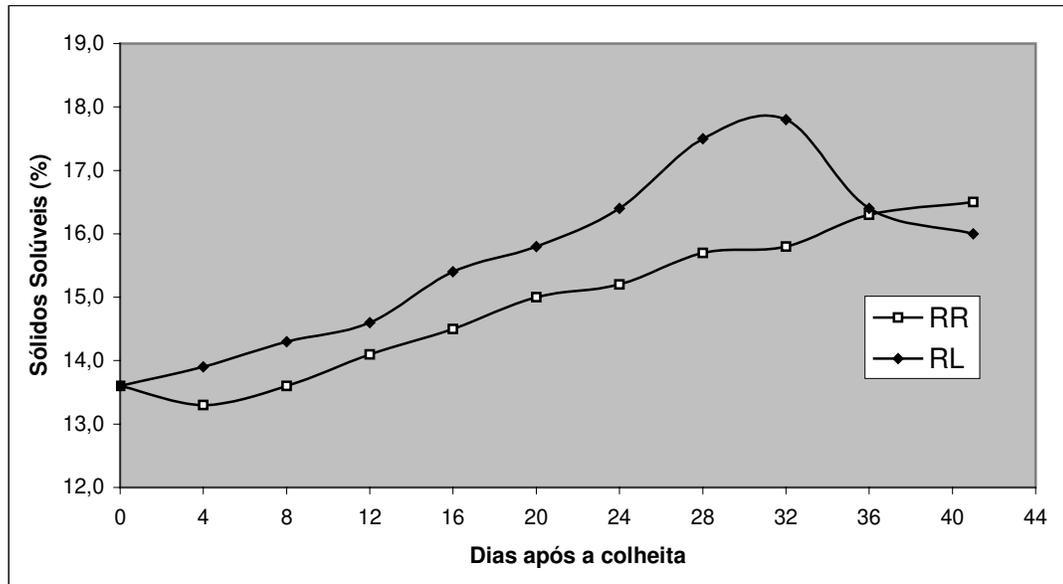


Figura 25. Mudanças no teor de Sólidos Solúveis (SS) do figo armazenado a $1\pm 1^{\circ}\text{C}$ e 85% de UR, após RR e RL.

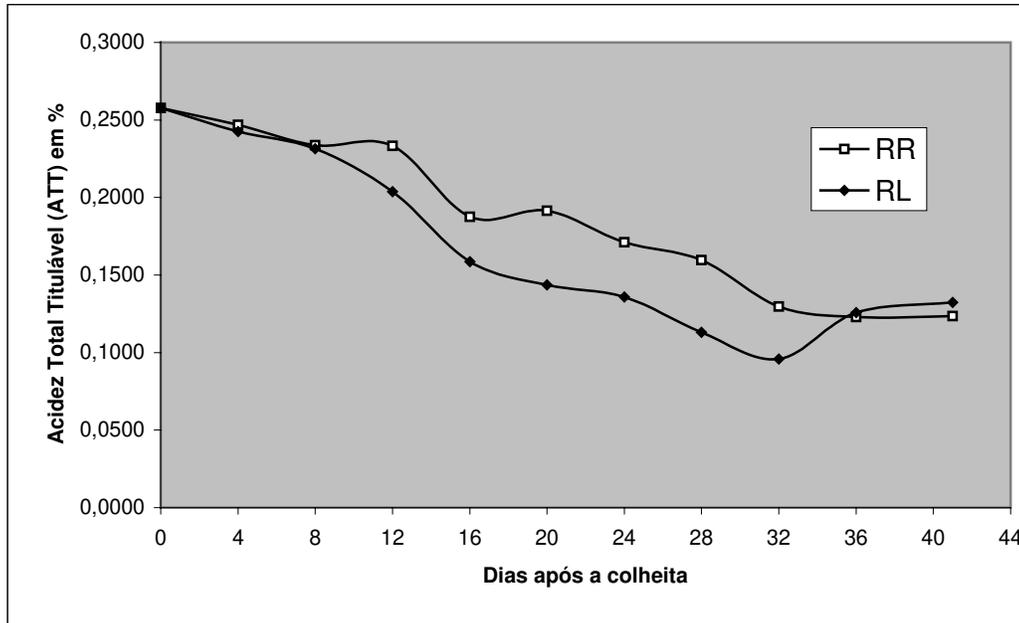


Figura 26. Mudanças na Acidez Total Titulável do figo armazenado a $1\pm 1^{\circ}\text{C}$ e 85% de UR, após RR e RL.

Na Figura 24, em todas as condições de resfriamento, nos primeiros 41 dias de armazenamento refrigerado observa-se uma tendência similar de crescimento. Observaram-se valores superiores no tratamento RL, ou seja, nesta condição as frutas apresentaram maior conteúdo de SS (Figura 25) e menores valores da ATT (Figura 26). Este fato indica que as frutas RL amadureceram mais rapidamente. A partir do 32º dia de armazenamento a relação SS/ATT das frutas no tratamento RL exhibe uma queda brusca dos valores, já o tratamento RR a partir do 32º dia de armazenamento a relação SS/ATT tende a se manter constante. A relação SS/ATT é indicador de sabor e aroma, pois relaciona o doce com a acidez, ou seja, com maior relação SS/ATT o fruto seria mais saboroso.

O teor de sólidos solúveis do figo aumentou durante o armazenamento refrigerado e no final do armazenamento exibiu uma queda no tratamento RL (Figura 26). No 32º dia de armazenamento as frutas apresentaram, em média, um conteúdo de sólidos solúveis de $15,8^{\circ}\text{Brix}$ na condição RR, e de $17,8^{\circ}\text{Brix}$ na condição RL. No resfriamento rápido inicial, apresentado anteriormente, o tratamento F2E2 que neste caso corresponde ao tratamento RR apresentou um conteúdo de sólidos solúveis de $17,7^{\circ}\text{Brix}$. No 32º dia de armazenamento existiu diferença significativa, ao nível de 1%, entre os tratamentos em relação aos valores de RR e RL, ou seja, existe influência do tipo de resfriamento no teor de sólidos solúveis do figo durante o armazenamento refrigerado. Existe diferença significativa entre as médias

segundo o teste de Tukey ao nível de significância de 5% (ANEXO 2k). No mesmo período de análise, os valores da ATT também apresentaram diferenças significativas ao nível de 1% entre os tratamentos em relação aos valores de RR e RL. Existe diferença significativa entre as médias segundo o teste de Tukey ao nível de significância de 1% (ANEXO 2l). O mesmo aconteceu com as médias dos valores da relação SS/ATT (ANEXO 2m).

A acidez total titulável apresenta os valores mínimos nos mesmos períodos nos quais os sólidos solúveis exibem os valores máximos, ou seja, tem-se relações máximas de SS/ATT nos mesmos períodos. Estes valores máximos da relação SS/ATT consideram-se como boa referência para indicar o período máximo considerado adequado para o armazenamento do figo.

5.10.3 Mudanças no pH

Na Figura 27, observa-se a tendência do pH a aumentar até o final do período de armazenamento, nas duas condições avaliadas.

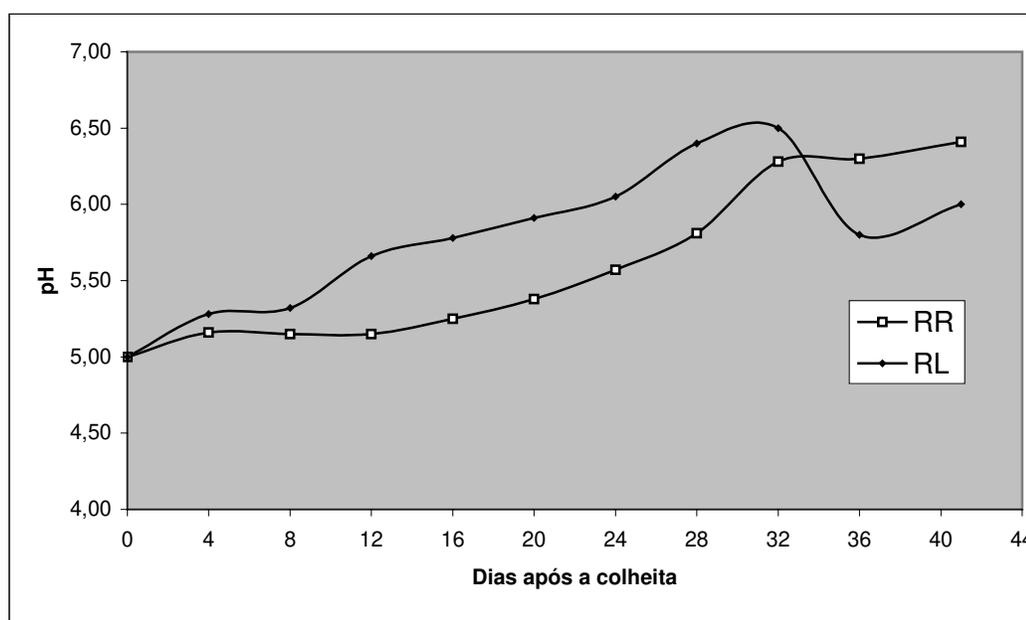


Figura 27. Mudanças do pH no figo armazenado a $1\pm 1^{\circ}\text{C}$ e 85% de UR, após RR e RL.

Percebe-se que, de modo geral, os valores de pH tendem a aumentar com o amadurecimento da fruta. A condição de RL apresentou valores superiores em comparação com a condição RR. O decréscimo ao final do período de armazenamento é influenciado pelo aumento da acidez titulável, aumento devido ao acúmulo de ácidos provenientes da

decomposição da fruta na etapa de senescência. Estes decréscimos ocorreram em períodos similares nos quais obteve-se os valores limites de teor de SS, ATT e da relação SS/ATT.

No 32° dia de armazenamento existiu diferença significativa, ao nível de 5%, entre os valores dos tratamentos RR e RL, ou seja, existe influência do tipo de resfriamento nos valores médios do pH do figo durante o armazenamento refrigerado. Existe diferença significativa entre as médias, segundo o teste de Tukey a um nível de significância de 5% (ANEXO 2n).

5.10.4 Análise sensorial

No primeiro dia de avaliação sensorial (dia 0), comparando as médias das notas dadas pelos provadores, verificou-se que as pessoas gostaram mais da aparência externa que da aparência interna. Segundo as notas definidas na escala estruturada, a nota 1 seria Gostei muito e anota 5 Desgostei muito. Neste dia de avaliação, a média dada para a aparência externa foi de 1,7 e para a aparência interna de 2,1 e segundo o teste Tukey existiu diferença significativa entre os valores médios, ao nível de 5% de significância (ANEXO 2o).

No 28° dia de armazenamento, com base nos valores médios das notas dadas pelos julgadores (ANEXO 2p), existiu diferença significativa, ao nível de 1%, na aparência externa entre os tratamentos (RR e RL) e existiu diferença significativa, ao nível de 5%, na aparência externa entre os tratamentos avaliados. Isso indica que existe influência do tipo de resfriamento na aparência externa do figo durante o armazenamento refrigerado. Também foi encontrada diferença significativa, ao nível de 5% de significância, entre a aparência interna do figo RR e o figo RL. Segundo o teste Tukey existe diferença ao nível de 5% de significância entre as medias das notas da aparência interna do figo RR e RL. As médias encontradas no 28° dia de armazenamento, para a aparência externa do figo RR foi de 1,85 e do figo RL de 2,8. A nota de valor 2,0, na escala estruturada corresponde a alternativa Gostei, notas inferiores de 3,0 considera-se que a fruta ainda apresenta condições adequadas para consumo. Por isso os figos RL, neste período de armazenamento, foram considerados ainda adequados para consumo. Neste período de análise, as médias das notas da aparência interna foi de 1,95 para o figo RR e de 2,8 para o figo RL.

No 32° dia de armazenamento, conforme a análise de variância no ANEXO 2r, os figos já apresentavam notas superiores a 3,0; relativo a aparência externa e interna e existia diferenças significativas entre os tratamentos RR e RL. A aparência externa no tratamento

RR apresentou uma média de 2,4 e no tratamento RL de 3,6. Na aparência interna o tratamento RR apresentou uma média de 2,0, e o tratamento RL de 3,4.

No 36° dia de armazenamento, conforme a ANOVA (ANEXO 2s), os figos apresentaram em média uma nota de 3,0 na aparência externa para o tratamento RR e de 3,7 para o tratamento RL. A aparência interna no tratamento RR foi de 2,5 e no tratamento RL de 3,8. Segundo a análise estatística existiu diferença significativa entre os tratamentos RR e RL. Portanto, segundo a avaliação dos julgadores, no 36° dia de armazenamento as frutas na condição RR ainda possuíam condições adequadas para consumo em fresco.

5.10.5 Taxa respiratória

Na Figura 28 observa-se a produção de CO₂ do figo 'Roxo de Valinhos' conservado a 25±1°C e 85% de UR. A produção de CO₂ inicia-se com um valor elevado (aproximadamente 248mgCO₂/kg.h) e decresce nas primeiras 24 horas de armazenamento até aproximadamente 102mgCO₂/kg.h. Nas 18 horas seguintes, apresentou uma variação crescente até atingir uma taxa de aproximadamente 142mgCO₂/kg.h. Posteriormente, a tendência foi a de se manter constante até o final do experimento a uma taxa média de 144mgCO₂/kg.h. Considerou-se este período ser a etapa da senescência do produto. No final do experimento (após 4 dias) as frutas não possuíam mais condições comerciais. Os resultados obtidos indicam que o figo 'Roxo de Valinhos' exibe um comportamento climatérico no qual o pico climatérico coincidiu com as primeiras horas de avaliação para depois tender a decrescer. Este fato pode ser devido ao estágio de maturidade da fruta no início das determinações e considerando-se que as frutas estavam em um período de mudança entre o estágio rami e o estágio maduro, período no qual as frutas classificadas como climatéricas exibem as maiores taxas respiratórias.

Na Figura 29 observa-se a produção média de CO₂ de figo armazenado a 1±1°C e 85% de UR. Nos primeiros 24 dias de armazenamento refrigerado, o figo exibe taxas respiratórias similares, quase constantes, em média de 24,81mgCO₂/kg.h, após o dia 24, exibe uma acréscimo bastante acentuado para depois continuar caindo até o final do armazenamento. O ascenso caracterizou o comportamento climatérico da fruta, observado no 32° dia de armazenamento e exibiu um valor de 58,17mgCO₂/kg.h.

A fruta armazenada a 25°C durante 96 horas, apresentou em média uma taxa respiratória de 146,46mgCO₂/kg.h, que correspondeu a uma produção de calor de 0,39W/kg e, quando armazenada a 1°C durante 41 dias (Figura 29), a produção média foi de 29,88mgCO₂/kg.h, que correspondeu a uma produção de calor de 0,0803W/kg. Segundo

(ASHRAE, 1993), o figo 'Mission'; à temperatura de 20°C, apresenta uma produção média de CO₂ de 0,08612W/kg. Pode-se observar que o figo 'Roxo de Valinhos' apresenta uma taxa respiratória bem mais alta se comparada com o cultivar Mission, fato que evidencia a sua maior perecibilidade.

A temperatura de conservação é o fator ambiental mais importante, não só do ponto de vista comercial, como também por controlar a senescência, uma vez que regula as taxas e processos físicos, fisiológicos e bioquímicos associados. Havendo redução da respiração, há redução nas perdas de aroma, sabor, textura, aparência e valor nutritivo.

A evolução das taxas respiratórias do figo armazenado a temperaturas baixas, por exemplo a 1°C, permitem acompanhar melhor as mudanças devido à redução do seu metabolismo.

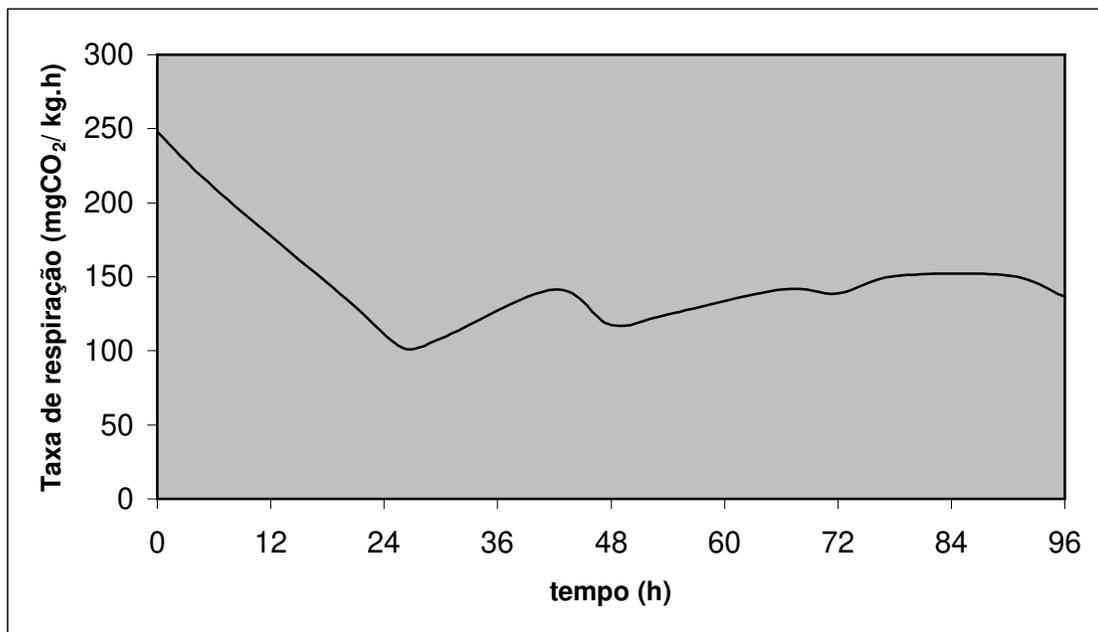


Figura 28. Produção de CO₂ do figo 'Roxo de Valinhos', no estágio rami, armazenado a 25±1°C e 85% de UR.

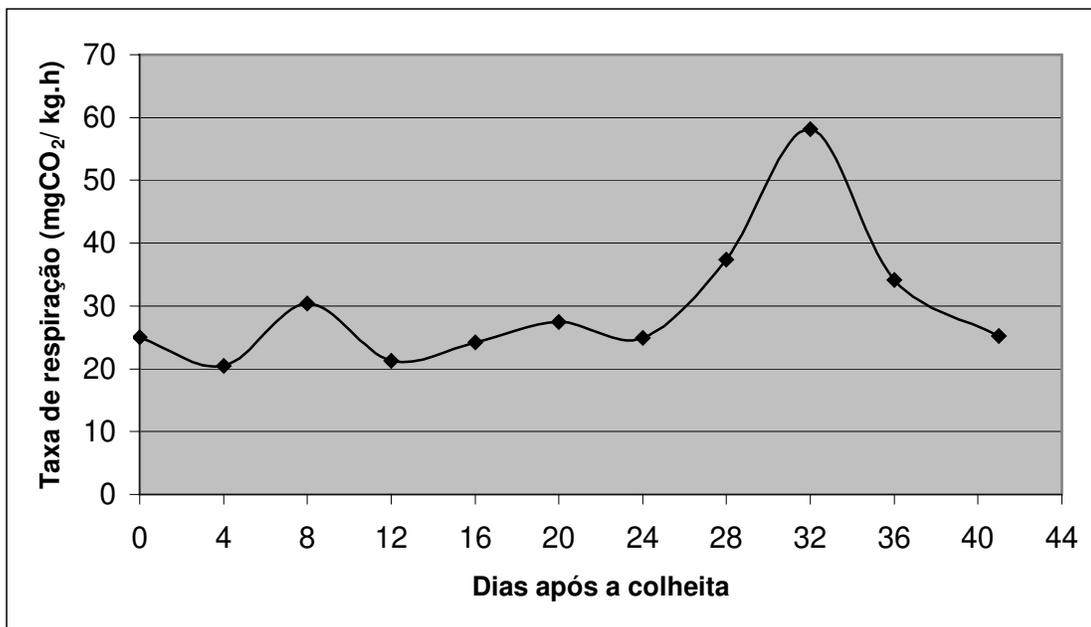


Figura 29. Produção de CO₂ do figo 'Roxo de Valinhos', armazenado a 1±1°C e 85% de UR.

Com todas as observações feitas sobre a evolução dos parâmetros físico-químicos, sensoriais e da taxa respiratória do figo, pode-se afirmar que a fruta fresca, para consumo, conserva-se bem até o 36º dia de armazenamento refrigerado a 1±1°C e 85% de UR, acondicionada na caixa RIGESA® sempre que resfriada rapidamente até a temperatura final de 1°C. Embora, a fruta nesta condição, o pico climatérico tinha acontecido no 32º dia de armazenamento, segundo a análise sensorial, no dia 36 ainda tinha condições adequadas de consumo. Quando o figo é resfriado lentamente, a fruta conserva-se bem até o 28º dia de armazenamento refrigerado a 1±1°C e 85% de UR, também embalado na caixa RIGESA®. Os valores dos parâmetros analisados nos períodos mencionados são apresentados na Tabela 20.

Tabela 20. Valores de parâmetros físicos, químicos e fisiológicos do figo 'Roxo de Valinhos' nos períodos considerados adequados para o armazenamento a 1±1°C e 85% de UR.

Parâmetro	Com resfriamento rápido	Sem resfriamento rápido
Perda de peso acumulada (%)	15,8	16,7
Conteúdo de sólidos solúveis (Brix)	16,3	17,5
Acidez total titulável (%)	0,1230	0,1131
Relação SS/ATT	132,6	154,7
pH	6,3	6,4
Produção média de CO ₂ (mgCO ₂ /kg.h)	29,9	-
Período máximo de conservação (dias)	36	28

- valor não determinado.

Existem diversas tabelas nas quais estima-se o tempo de vida de prateleira na conservação de frutas e hortaliças “in natura”, à temperatura e umidade relativa adequada, porém, essa estimativa se fundamenta em experiências de laboratório com base no critério da aparência dos produtos e não com base em perda de outros atributos de qualidade como textura, valor nutritivo e sabor e aroma. A variabilidade de informação de vida de prateleira das frutas e hortaliças para consumo “in natura” deveriam proporcionar diferentes alternativas de mercado conforme as condições de manuseio (transporte, armazenamento, preço).

5.10.6 Módulo de elasticidade aparente

Na Tabela 21 observa-se os valores médios dos diâmetros mutuamente perpendiculares, do diâmetro equivalente e do módulo de elasticidade aparente para o figo. O valor médio do diâmetro equivalente do figo resultou ser de 48,4mm e a esfericidade de 96%. O valor da esfericidade indica que as frutas apresentaram uma forma arredondada próxima de uma esfera e que para efeito de cálculos que não exijam muita precisão, como é o caso deste trabalho, a fruta foi considerada esférica.

No geral, os valores do módulo de elasticidade aparente (E) encontrados, estiveram próximos das faixas de valores publicadas por alguns autores. O valor médio do módulo de elasticidade foi de 1.351,8kPa, e variou aproximadamente entre 500 e 3.000 kPa. Segundo **VELEZ PASOS (1987)**, o módulo de elasticidade aparente para laranja pêra, em estado de maturidade comercial, varia entre 2.182,31 e 2.394 kPa. Observou-se uma alta dispersão dos valores, apresentando um coeficiente de variação de aproximadamente 50%, pois, embora tenha-se assumido o mesmo estágio de maturidade da matéria prima existe a variabilidade das frutas, classificadas visualmente, não se garantindo que tenham condições idênticas de grau de maturidade. Os ensaios foram feitos com figo com 3/4 de maturidade (rami) e a compressão mecânica foi feita no mesmo sentido das fibras estruturais do produto, sendo assim, deveria se esperar valores menores do módulo de elasticidade do produto se a compressão fosse feita com o figo rami, mas no sentido diametral. Esperava-se também, encontrar valores menores do módulo de elasticidade, se feitos os ensaios com figo maduro, embora a compressão tenha sido feita no sentido axial do produto.

Em todos os ensaios mecânicos, os valores carga-deformação exibiram um comportamento linear crescente, com coeficientes de determinação (R^2) próximos de 1. Este comportamento é explicado pela teoria de estresse contato de Hertz para corpos isotrópicos elásticos, embora quando se trata de produtos biológicos, denomina-se comportamento

visco-elástico, no qual o retorno à forma inicial da região de contato do produto, uma vez retirada a carga, e função do tempo. Na Figura 30 observam-se os valores obtidos no ensaio de compressão da fruta número 19.

Tabela 21. Valores do diâmetro equivalente e módulo de elasticidade do figo.

Fruta N°	d₁(mm)	d₂(mm)	d₃(mm)	d(mm)	Modulo E (kPa)
1	51,55	49,71	46,36	49,16	768,7
2	64,45	50,55	48,43	54,04	1.204,1
3	46,83	46,18	44,97	45,99	1.350,9
4	49,17	51,16	48,91	49,74	444,6
5	40,84	53,62	48,81	47,46	1.680,7
6	53,11	50,81	47,93	50,57	1.788,4
7	51,42	48,06	43,50	47,55	370,9
8	57,51	45,62	43,20	48,39	604,7
9	47,12	48,75	45,10	46,97	738,6
10	51,76	45,42	43,08	46,61	643,6
11	49,93	46,69	47,02	47,86	1.123,6
12	48,95	50,85	46,67	48,79	1.290,2
13	51,48	47,09	47,17	48,54	1.795,3
14	50,42	50,54	46,70	49,19	1.351,6
15	49,23	49,12	48,16	48,83	678,7
16	47,67	47,60	45,44	46,89	497,4
17	46,93	46,14	43,88	45,63	1.774,4
18	47,48	49,59	45,33	47,43	1.580,3
19	50,22	44,86	40,72	45,10	1.311,0
20	45,07	46,85	41,09	44,27	951,5
21	54,41	49,92	48,76	50,97	1.612,4
22	51,02	51,69	46,92	49,83	2.505,7
23	51,69	48,16	43,22	47,56	3.108,8
24	49,08	51,29	48,10	49,47	1.406,8
25	54,42	49,19	46,00	49,75	1.659,6
26	53,64	51,96	47,46	50,95	1.549,7
27	55,01	46,56	44,86	48,62	1.570,6
28	50,29	44,82	41,44	45,37	955,6
29	47,98	50,23	45,64	47,91	1.256,5
30	58,32	51,33	47,71	52,27	2.977,9
Média(mm)	50,90	48,81	45,75	48,39	1.351,8
DP(mm)				2,16	674,4
CV(%)				4,50	49,9

d = diâmetro equivalente E = Módulo de elasticidade aparente

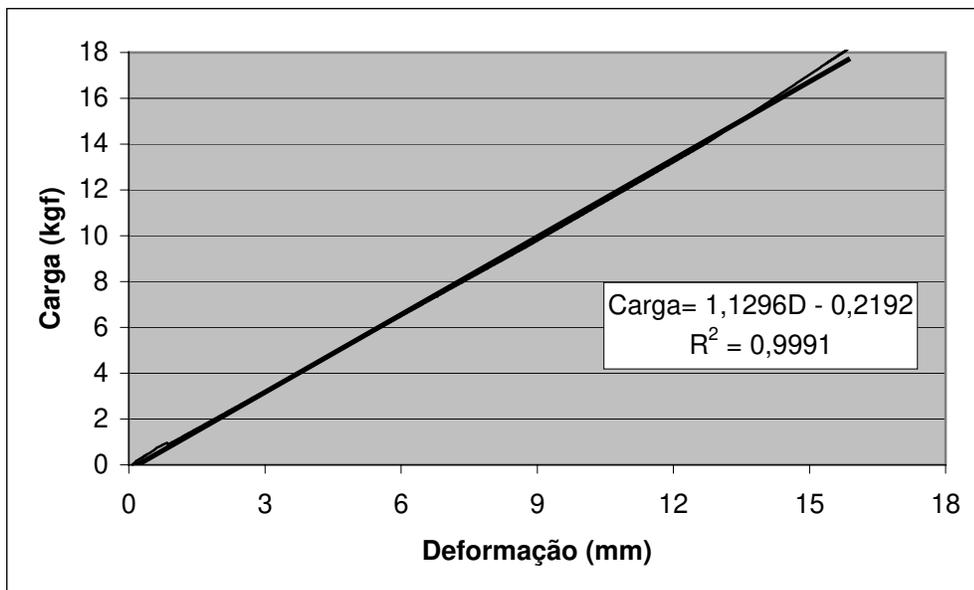


Figura 30. Compressão axial do figo, carga – deformação.

Pode-se afirmar que o figo ‘Roxo de Valinhos’, durante os ensaios de compressão mecânica axial, exibiu um comportamento típico descrito pela teoria de Hertz. Comportamento linear dos valores carga – deformação. Os valores do módulo de elasticidade do figo, como indicadores de índice de firmeza, encontram-se próximos dos valores publicados por diversos autores para outros produtos. O valor médio do módulo de elasticidade aparente do figo no estágio rami foi de 1.351,8kPa, e variou aproximadamente entre 500 e 3.000 kPa. Estes dados servem para o melhor conhecimento da fruta e possíveis aplicações dos valores na determinação de outros parâmetros mecânicos como é o caso de firmeza e como referência em possíveis pesquisas quando se considerar a fruta embalada em diferentes condições.

6. CONCLUSÕES

Com o desenvolvimento deste trabalho pode-se concluir que:

- I. O perfil de velocidade do ar na pilha de embalagens é heterogêneo.
- II. No resfriamento rápido do figo aplicando diferentes fluxos de ar (1,8L/s.kg, 2,8L/s.kg e 4,9L/s.kg) e tipos de embalagens (caixa de madeira, caixa RIGESA[®] e caixa tipo exportação), os tempos de resfriamento do produto, foram estatisticamente iguais. Os tempos de resfriamento variaram entre 100 e 140 minutos.
- III O resfriamento rápido com ar forçado do figo acondicionado na embalagem RIGESA[®] apresentou a melhor eficiência de resfriamento, utilizado o fluxo de ar de 2,8L/s.kg. Nestas condições, o valor do número de Biot foi 1,3, o coeficiente de resfriamento $0,0344\text{min}^{-1}$ e o coeficiente convectivo de transferência de calor $23,8\text{W/m}^2\text{°C}$. O tempo de resfriamento do figo nestas condições com temperatura inicial de 20°C , temperatura final de 1°C e temperatura do ar de resfriamento de 0°C , foi de 110 minutos.
- IV. O desenho da caixa tipo exportação não é apropriado para o resfriamento rápido do figo com ar forçado. A caixa de madeira também não é apropriada para o resfriamento rápido e para a conservação do figo.
- V. Os diferentes tipos de embalagens testadas (caixa de madeira, caixa RIGESA[®] e caixa tipo exportação) não influenciam nas mudanças físico-químicas do figo resfriado rapidamente durante o armazenamento refrigerado.
- VI. O resfriamento rápido com ar forçado do figo 'Roxo de Valinhos' acondicionado na caixa RIGESA[®], utilizado o fluxo de ar de 2,8L/s.kg e seguido de armazenamento refrigerado a $1\pm 1\text{°C}$ e 85% de umidade relativa, conservou-o por oito dias a mais, se comparado com o figo resfriado lentamente.
- VII. O figo 'Roxo de Valinhos' apresenta um padrão respiratório climatérico. Quando armazenado a $25\pm 1\text{°C}$ e 85% de umidade relativa apresenta uma taxa média de produção de CO_2 de $146,46\text{mgCO}_2/\text{kg.h}$ e quando armazenado a $1\pm 1\text{°C}$ e 85% de umidade relativa a taxa respiratória média é de $30,90\text{mgCO}_2/\text{kg.h}$.

X. O valor do módulo de elasticidade aparente do figo 'Roxo de Valinhos' é de 1.351,8 kPa.

VIII. As variações das características químicas (SS, ATT, SS/ATT, pH) durante o armazenamento refrigerado, apresentaram um comportamento similar às das frutas climatéricas.

IX. Na melhor condição de resfriamento rápido do figo, acondicionado na embalagem RIGESA® e utilizando o fluxo de ar de 2,8L/s.kg, a diferença entre os coeficientes de resfriamento aplicando o equacionamento teórico e o coeficiente determinado por ajuste dos dados experimentais foi de 15,5%. Considera-se que o equacionamento matemático teórico é adequado.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBOTT, J. A. Quality measurement of fruits and vegetables. **Postharvest Biology and Technology**. v. 15, p. 207-225. 1999.
- AOAC: Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. Arlington, Virginia, USA. 16 ed. v. II. 1995.
- ARIFIN, B. B. e CHAU, K. V. Cooling of strawberries in cartons with new vent hole designs. **ASHRAE Transactions**. v. 94, n.1, p. 1415-1426. 1988.
- ASHRAE. Methods of precooling fruits, vegetables and ornamentals. In: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. **Refrigeration Systems and Applications Handbook**. Inc. Atlanta, Georgia: Cap. 11. 1986.
- ASHRAE. Thermal properties of foods. In: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. **Fundamentals Handbook**. Inc. Atlanta, Georgia. Cap. 30. Pág 30.1 – 30.26. 1993.
- ASHRAE. Methods of precooling fruits, vegetables and ornamentals. In: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. **Refrigeration handbook**. Inc. Atlanta, Georgia. Cap. 14. Pág 14.1 – 14.10. 1998.
- AWAD, M. **Fisiologia pós-colheita de frutos**. Nobel, São Paulo, p. 84-87, 1993.
- BAIRD, C. D., GAFFNEY, J. J. e TALBOT, M. T. Design criteria for efficient and cost effective forced-air coolings systems for fruits and vegetables. **ASHRAE Transactions**. v. 94, p. 1434-1453. 1988.
- BEWAJI, O., ENGLISH, H., SCHICK, F. J. Control of Alternaria surface rot of Kadota figs. In: **Plant Disease Reporter**. Davis, California: v.61, n.5, p. 351-355. 1977.
- BIALE, J.B. **The postharvest biochemistry of tropical and subtropical fruits**. Advances in Food Research, New York, Jan., 10: 293-354,1960.
- BLEINROTH, E. W. **Fisiologia de pós-colheita das frutas de clima temperado**. Curso Básico de Fruticultura de Clima Temperado. Campinas: CATI/SAA, 1988. 40p.
- BLEINROTH, E.W. Tecnologia de pós-colheita de frutas tropicais. ITAL, Campinas-SP, p. 1-200, 1998. (Manual Técnico)
- BENNET, A. A. H., SOULE, J. e YOST, G. E. Temperature response of citrus to forced-air precooling. **ASHRAE Journal** 8(4):48. Atlanta, USA: 1966.
- BOURNE, M. C. Texture evaluation of horticultural crops. **HortScience**. V. 15, p. 51-56. 1980.
- CAMPOS, D. C. Aspectos pós-colheita do Figo. In: **Informe Agropecuário**. Belo Horizonte. v. 17, n. 180, p. 19-21. 1994.

- CHAU, K. V. **Aspectos de engenharia de resfriamento de frutas e hortaliças**. Grupo de Tecnologia Pós-Colheita. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas-SP. 235p. 2000.
- CHAU, K. V. **Mathematical modeling of postharvest processes**. Grupo de Tecnologia Pós-Colheita. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas-SP. Apostila. 2001.
- CHITARRA, M.I.F., CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Lavras: ESAL/FAEPE. 320p. 1990.
- CLELAND, D. J., CLELAND, A. C. e JONES, R.S. Collection of accurate experimental data for testing the performance of simple methods for food freezing time prediction. **Journal of Food Process Engineering**. v. 17, p. 93-119. 1994.
- DINCER, I. Thermal cooling data for figs exposed to air cooling. **International Communications Heat Mass Transfer**. v.22, n.4. p. 559-566. 1995(a).
- DINCER, I. Transient heat transfer analysis in air cooling of individual spherical products. **Journal of Food Engineering**. v.26, p. 453-467. 1995(b).
- DINCER, I. Estimation of dimensionless temperature distributions in spherical products during hydrocooling. **International Communications Heat Mass Transfer**. v.22, n.1. p. 123-131. 1995(c).
- DINCER, I. Cooling parameters and film conductances of spherical products cooled in an air flow. **Applied Energy**. v.50. p. 269-280. 1995(d).
- DINCER, I. Simplified solution for temperature distributions of spherical and cylindrical products during rapid aircooling. **Energy Conversion Management**. v.36, n. 12. p. 1175-1184. 1995(e).
- DINCER, I. New effective Nusselt-Reynolds correlations for food-cooling applications. **Journal of Food Engineering**. v.31, p. 59-67. 1995(f).
- DINCER, I. Thermal diffusivities of geometrical objects subject to cooling. **Applied Energy**. v.51. p. 111-118. 1995(g).
- DINCER, I. Development of Fourier-Reynolds correlations for cooling parameters. **Applied Energy**. v.51. p. 125-138. 1995(h).
- DINCER, I. A model to determine film coefficients for spherical objects during cooling. **Energy Conversion Management**. v.37, n. 11. p. 1601-1607. 1996(a).
- DINCER, I. Determination of thermal diffusivities of cylindrical bodies being cooled. **International Communications Heat Mass Transfer**. v.23, n.5. p. 713-720. 1996(b).
- DINCER, I., GENÇELI, F. Cooling process and heat transfer parameters of cylindrical products cooled both in water and air. **International Journal Heat and Mass Transfer**. v. 37, n. 4. p. 625-633. 1994.

- DUSSÁN SARRIA, S., HONÓRIO S. L. Caracterização física do figo (*Ficus carica* L.) `Roxo de Valinhos` com diferentes graus de maturidade. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola (CONBEA)**, Fortaleza-CE. 2000.
- DUSSÁN SARRIA, S., HONÓRIO, S. L. Resfriamento rápido e armazenamento refrigerado do figo `Roxo de Valinhos` acondicionado em caixas de papelão. In: **V Congreso de la Asociación Latinoamericana de Ingeniería Agrícola (CLIA 2002)**. La Habana - Cuba. Anais em CD ROM. 2002.
- EDEGOU, I., FEDDES, J. e LEONARD, J. Comparison between vertical and horizontal air flow for fruit and vegetable precooling. **Canadian Agricultural Engineering**. v. 39, n.2, p. 107-112. 1997.
- FERGUSON, I.; VOLZ, R; WOOLF, A. Preharvest factors affecting physiological disorders of fruit. **Postharvest Biology and Technology**. v. 15, p. 255-262. 1999.
- FINNEY, E.E., Jr. Elementary concepts of rheology relevant to food texture studies. In: Kramer A. and Szczesniak A.S. **Texture Measurement of Foods**. Dordrecht: D. Reidel, 1973.
- FRASER, H.W. **Forced-air cooling of fresh Ontario fruits and vegetables**. Toronto, Ontario: Ministry of Agriculture and Food. 1991.
- GAFFNEY , J. J.; BOWMAN, E. K. An Engineering-economic evaluation of different concepts for precooling citrus fruits. IN: Symposium on Precooling Fruits and Vegetables. San Francisco-USA. **ASHRAE**. 1970.
- GOYETTE, B. e VIGNEAULT, C. **Method to evaluate the cooling uniformity during liquid ice precooling process**. Department of Agricultural and Biosystems Engineering. Sainte-Anne-de-bellevue. Quebec, Canadá. 1995.
- GOYETTE, B., VIGNEAULT, C., PANNETON, B. e RAGHAVAN, G. S. V. Method to evaluate temperature at the surface of horticultural crops. **Canadian Agriculture Engeneering**. 1997. V. 38, n.4, p. 292-295.
- GRIERSON, W.; WARDOWSKI, W. F. Relative humidity effects on the postharvest life of fruits and vegetables. **HortScience**. v. 13, p. 570-574. 1978.
- HENDERSON, S. M.; PERRY, R. L. **Agricultural Process Engineering**. The Avi Publishing Company. Westport – Connecticut, USA. 3ª edição, 1982.
- HARKER, F. R., MAINDONALD, J. H., JACKSON, P. J. Penetrometer measurement of apple and kiwifruit firmness: operator and instrument differences. **Journal of the American Society for Horticultural Science**. v. 121,n. 5. p. 927-936. 1996.
- HIRAI, J. **Anatomical, physiological and biochemical studies of the fig fruit**. Osaka: University de Osaka, n.18, p.169-171.1966.
- HOLMAN,J. P. **Heat transfer**. Toronto: Mc. Graw-Hill Book Company. 675p. 1986.
- IBRAF: Instituto Brasileiro de Frutas**. <http://www.ibraf.org.br/>. 2002.

- INGERSOLL, L. R.; J. ZOBEL; INGERSOLL, A. C. **Heat conduction for engineering, geological, and other applications**. University of Wisconsin Press. p. 284-289. 1954.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Anuário estatístico do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2000.
- ISHIBASHI, S., KOJIMA, R., KANEKO, T. Studies on the forced-air cooler. **JSAM 31(2)**. JAPAN. 1969.
- ITO, H., SATO, E. Studies on the transport of figs - Effect of low temperature on quality fig fruits. **Research Bulletin of the Aichi-ken Agricultural**. Japan: Research Center. v.19, p. 286-295. 1987.
- KADER, A.A. Postharvest biology and technology: an overview. **Postharvest Technology of Horticultural Crops**. University of California. California, USA. 2 ed. Publication 3311, 269 p. 1992.
- KAYS, S.J. **Postharvest physiology of perishable plant products**. New York: University of Georgia, Athens, AVI Book, Cap. 3-5, p. 75-333. 1991.
- KAYS, S. J. Preharvest factors affecting appearance. **Postharvest Biology and Technology**. v. 15, p. 249-254. 1999.
- KLUGE, R. A., NACHTIGAL, J. C., FACHINELLO, J. C., BILHALVA, A. B. **Fisiologia e manejo pós-colheita de frutas de clima temperado**. Livraria e Editora Rural Ltda. Campinas-SP, Brasil. 2ª edição. 214p. 2002.
- LEAL, P. A. M., CORTEZ, L. A. B. Métodos de Pré-Resfriamento de Frutas e Hortaliças. In: **II Curso de Atualização em Tecnologia de Resfriamento de Frutas e Hortaliças**. Campinas: Faculdade de Engenharia Agrícola (UNICAMP). p. 81-91. 1998.
- LIMA, A. G. B., NEBRA, S. A., ALTEMANI, C. A. Influência de parâmetros geométricos na cinética de secagem de elipsóides sólidos. In: **Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados (ENEMP)**, São Carlos-SP. v.1, p.195-202. 1997
- LIMA, A. G. B., NEBRA, S. A. Simulation of the drying kinetics of the silkworm cocoon considering diffusive mechanism in elliptical coordinate. In: **Inter-American Drying Conference (IADC)**. Itu-SP. v. B, p. 317-324. 1997.
- MASCHERONI, R. H. e CALVELO, A. A.. Simplified model for freezing time calculations in foods. **Journal of Foods Science**. v. 47. p. 1201. 1982.
- MATHOOKO, F.M.; SOTOKAWA, T.; KUBO, Y.; INABA, A.; NAKAMURA, R. Retention of freshness in fig fruit by CO₂ enriched atmosphere. Okayama: **Japan Soc. Hort.Sci.** v.62, n.3, p.661-667.1975.
- MATOO, A. K., MURATA, T., PANTASTICO, Er. B., CHACHIN, K., OGATA, K., PHAN, C. T. Chemical changes during ripening and senescence. In: PANTASTICO, Er. B. **Postharvest Physiology, Handling, and Utilization of Tropical and Subtropical Fruits and Vegetables**. Westport: AVI, Cap. 7, p. 103-127. 1975.

- MATTHEIS, J. P; FELLMAN, J. K. Preharvest factors influencing flavor of fresh fruit and vegetables. **Postharvest Biology and Technology**. v. 15, p. 227-232. 1999.
- MATZ, S.A. **Food texture**. London, England: Stationer's Hall, 286p. 1962.
- MITCHELL, F. G., GUILLOU, R., PARSONS, R. A. **Comercial cooling of fruits and vegetables**. Berkely. Division of Agricultural Sciences. University of California. 1972.
- MOHSENIN, N.N. **Thermal properties of foods and agricultural materials**. New York: Gordon and Breach. p. 198-224. 1980.
- MOHSENIN, N.N. **Physical properties of plant and animal materials: structure, physical characteristics and mechanical properties**. New York. 2.ed. 1986.
- NIX, G. H.; LOWERY, G. W.; VACHON, R. I.; TANGER, G. E. Direct determination of thermal diffusivity and conductivity with a refined line source technique. Progress in aeronautics and astronautics. **Thermophysics of Spacecraft and Planetary Bodies**. v. 20. p. 365-878, 1967.
- NOVY, M., KIECKBUSH, T. G. equações para o cálculo do tempo de resfriamento em leitos de frutas esféricas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos N°6**. p. 1-16. 1986.
- OGATA, T. **Instruções para o cultivo de figueira**. Goiânia: EMGOPA, C.T. n.3., 13p. 1981.
- PAULL, R. E. Effect of temperature and relative humidity on fresh commodity quality. **Postharvest Biology and Technology**. v. 15, p. 263-277. 1999.
- PEARSON, D. **Técnicas de laboratorio para el análisis de alimentos**. Acribia S.A, Zaragoza-España, 331p. 1986.
- PFLUG, I. J.;BLAISDELL, J. L.;KOPELMAN, I. J. Developing temperature-times curves for objects that can be approximated by a sphere, infinite plate, or infinite cylinder. **ASHRAE Transactions**. v. 71, n. 1. p. 238-248. 1965.
- PLANK, R. **El empleo del frio en la Industria de la alimentación**. Barcelon, España. 805p. 1963.
- RICCI, P. Studies on the rotting of fresh figs after harvest. **Annakes of Phytopathologie**. V.4, n.2, p.109-117. 1972.
- RIGITANO, O. A figueira cultivada no Estado de São Paulo. In: **Boletim Técnico do Instituto Agrônômico**. Campinas: Instituto Agrônômico, n.146, 30p. 1964.
- RYALL, A.L., PENTZER, W.T. Handling transportation and storage of fruits and vegetables. **Wesport AVI Publishing**. Connecticut. v.2, 575p. 1974.
- SALUNKE, D.K., DESAI, B.B. **Postharvest biotechnology of fruits**. Florida. v.II, p.105-109. 1984.
- SAMS, C. E. Preharvest factors affecting postharvest texture. **Postharvest Biology and Technology**. v. 15, p. 233-247. 1999.

- SECRETARIA DA AGRICULTURA E ABASTECIMENTO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Plano de desenvolvimento rural do município de Valinhos**. Valinhos, SP: SAA, 2000.
- SHEWFELT, R. L. What is quality?. **Postharvest Biology and Technology**. v. 15, p. 197-200. 1999.
- SWEAT, V. E. Experimental values of thermal conductivities of selected fruits and vegetables. **Journal Food Science**. n.39. p. 1081-1083. 1974.
- TALBOT, M. T., BAIRD, C. D. Evaluating commercial forced-air precoolers. American Society of Agricultural Engineers, **ASAE**. Paper n. 91-6021. 1990.
- TALBOT, M. T., CHAU, K. V. **Precooling strawberries**. Institute of Food and Agricultural Sciences. University of Florida. Circular 942. 8p. 1991.
- TERUEL, M. B. **Estudo teórico – experimental do resfriamento de laranja e banana com ar forçado**. Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica/UNICAMP, 2000. 300p. (Tese de Doutorado).
- TERUEL, M. B., CORTEZ, L. A. B., LEAL, P. A. M., LIMA, A. G. B. Estudo teórico do resfriamento com ar forçado de frutas de geometrias diferentes. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas-SP. v. 21, n. 2, p. 229-235. 2001
- THOMPSON, R. A. ISSACS, G. W. **Porosity determination of grains and seeds with an air. Comparison Pycnometer**. Transactions of the ASAE St. Joseph, Michigan. v.10, n. 5, p. 693 – 696. 1967.
- THOMPSON, J. F., MITCHELL, F. G., RUMSEY, T. R., KASMIRE, R. F., CRISOSTO, C. H. **Commercial cooling of fruits, vegetables and flowers**. Oakland, California: University of California. Publication 21567, 59p. 1998.
- TSUNECHIRU, A., UENO, L.H., PONTARELLI, C.T.G. **Avaliação econômica das perdas de frutas e hortaliças no mercado varejista de São Paulo - 1991/92**. São Paulo: Agricultura em São Paulo. v..41, n.2, p.1-15. 1994.
- TURK, R. Effects of harvest time and pre-cooling on fruit quality and cold storage Ficus carica L. Cv. 'Bursa syahjiu'. In: **ACTA Horticulturae**. Netherlands. v.258, p.279-285. 1989.
- VÉLEZ PASOS, C.A. **Análise do comportamento mecânico de laranjas à granel mediante modelo de elementos finitos**. Campinas-SP: FEAGRI/UNICAMP, 1987. 89p. (Dissertação de Mestrado).
- WETSWOOD, N.H. **Fruticultura de zonas templadas**. Madrid: 461p. 1982.
- WHITING, G. Sugars. In: HULME, A. A. **The biochemistry of fruits and their products**. London: Academic Press. v.1, p.1-31. 1970.
- WILLS, R.B.H., LEE ,T. H., GRAHAM, D., McGLASSON, W. B. e HALL, E. G. **Posharvest: an introduction to the physiology and handling of fruits and vegetables**. Kensington, Austrália. p.17-37. 1982.

WILLS, R. B. H., McGLASSON, W. B., GRAHAM, D. et al. **Postharvest: an introduction to the physiology and handling of fruit and vegetables**. New York: Avi Book, 3 ed, p. 39-52. 1989.

ZAUBERMAN, G.; JOBIN-DECOR, M. P. Avocado (*Persea Americana Mill*) quality changes in response to low temperature storage. **Postharvest Biology Technology**. V. 5, p. 235-243. 1995.

ANEXOS

ANEXO 1

Análise sensorial do figo 'Roxo de Valinhos'.

Data: _____

Amostra: _____

APARÊNCIA EXTERNA

Observe as frutas na gaveta e expresse o quanto você gostou das mesmas, marcando um **X** na escala abaixo. Faça seus comentários ao respeito:

- Gostei muito
- Gostei
- Não gostei/nem desgostei
- Desgostei
- Desgostei muito.

Comentários: _____

APARÊNCIA INTERNA

Observe as amostras de figo e expresse o quanto você gostou das mesmas, marcando um **X** na escala abaixo. Faça seus comentários ao respeito:

- Gostei muito
- Gostei
- Não gostei/nem desgostei
- Desgostei
- Desgostei muito.

Comentários: _____

b. VARIÁVEL TEMPO DE RESPOSTA PARA OS TRATAMENTOS RESFRIAMENTO RÁPIDO (RR) E RESFRIAMENTO LENTO (RL) DO FIGO. DELINEAMENTO ESTATÍSTICO INTEIRAMENTE CASUALIZADO (DIC).

TRATAMENTO 1: RL.....TRATAMENTO 2: RR

TRATAMENTOS	REPETICOES	
	1	2
1	320.0000	310.0000
2	105.0000	115.0000

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO EXPERIMENTO (ANOVA)

C. VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Fcalculado
TRATAMENTOS	1.	42025.0000	42025.0000	840.50 **
RESIDUO	2.	100.0000	50.0000	
TOTAL	3.	42125.0000		

** = Significativo ao nível de 5% e 1%.

DESVIO PADRAO = 7.0711
MÉDIA GERAL = 212.5000

ERRO PADRAO DA MÉDIA = 5.0000
COEFICIENTE DE VARIACAO = 3.33

TESTE DE TUKEY

DMS(TUKEY) = 30.4500
TRAT. MÉDIA

1	315.0000	A
2	110.0000	B

Existe diferença significativa entre as MÉDIAS ao nível de 5% de significância.

c. TAXA DE PERDA DE PESO (%) PARA AS NOVE CONDIÇÕES INICIAIS DE RESFRIAMENTO RÁPIDO DURANTE O ARMAZENAMENTO REFRIGERADO.

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO EXPERIMENTO

C. VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
TRATAMENTOS	8.	.3448	.0431	215.50 **
RESIDUO	9.	.0018	.0002	
TOTAL	17.	.3466		

** = diferença significativa ao nível 1%.

DESVIO PADRAO = .0141 MÉDIA GERAL = .5367 COEF. DE VARIACAO = 2.6352

MÉDIAS DOS TRATAMENTOS

F1E1(1) =	.9100
F1E2(2) =	.5000
F1E3(3) =	.5300
F2E1(4) =	.4700
F2E2(5) =	.4600
F2E3(6) =	.5400
F3E1(7) =	.4500
F3E2(8) =	.4200
F3E3(9) =	.5500

COMP. DAS MÉDIAS 1 COM 2,	DELTA=	.0560,	M(1) - M(2) =	.4100 *
COMP. DAS MÉDIAS 1 COM 3,	DELTA=	.0560,	M(1) - M(3) =	.3800 *
COMP. DAS MÉDIAS 1 COM 4,	DELTA=	.0560,	M(1) - M(4) =	.4400 *
COMP. DAS MÉDIAS 1 COM 5,	DELTA=	.0560,	M(1) - M(5) =	.4500 *
COMP. DAS MÉDIAS 1 COM 6,	DELTA=	.0560,	M(1) - M(6) =	.3700 *
COMP. DAS MÉDIAS 1 COM 7,	DELTA=	.0560,	M(1) - M(7) =	.4600 *
COMP. DAS MÉDIAS 1 COM 8,	DELTA=	.0560,	M(1) - M(8) =	.4900 *
COMP. DAS MÉDIAS 1 COM 9,	DELTA=	.0560,	M(1) - M(9) =	.3600 *
COMP. DAS MÉDIAS 2 COM 3,	DELTA=	.0560,	M(2) - M(3) =	-.0300 NS
COMP. DAS MÉDIAS 2 COM 4,	DELTA=	.0560,	M(2) - M(4) =	.0300 NS
COMP. DAS MÉDIAS 2 COM 5,	DELTA=	.0560,	M(2) - M(5) =	.0400 NS
COMP. DAS MÉDIAS 2 COM 6,	DELTA=	.0560,	M(2) - M(6) =	-.0400 NS
COMP. DAS MÉDIAS 2 COM 7,	DELTA=	.0560,	M(2) - M(7) =	.0500 NS
COMP. DAS MÉDIAS 2 COM 8,	DELTA=	.0560,	M(2) - M(8) =	.0800 NS
COMP. DAS MÉDIAS 2 COM 9,	DELTA=	.0560,	M(2) - M(9) =	-.0500 NS
COMP. DAS MÉDIAS 3 COM 4,	DELTA=	.0560,	M(3) - M(4) =	.0600 *
COMP. DAS MÉDIAS 3 COM 5,	DELTA=	.0560,	M(3) - M(5) =	.0700 *
COMP. DAS MÉDIAS 3 COM 6,	DELTA=	.0560,	M(3) - M(6) =	-.0100 NS
COMP. DAS MÉDIAS 3 COM 7,	DELTA=	.0560,	M(3) - M(7) =	.0800 *
COMP. DAS MÉDIAS 3 COM 8,	DELTA=	.0560,	M(3) - M(8) =	.1100 *
COMP. DAS MÉDIAS 3 COM 9,	DELTA=	.0560,	M(3) - M(9) =	-.0200 NS

COMP. DAS MÉDIAS 4 COM 5,	DELTA=	.0560,	M(4) - M(5) =	.0100 NS
COMP. DAS MÉDIAS 4 COM 6,	DELTA=	.0560,	M(4) - M(6) =	-.0700 *
COMP. DAS MÉDIAS 4 COM 7,	DELTA=	.0560,	M(4) - M(7) =	.0200 NS
COMP. DAS MÉDIAS 4 COM 8,	DELTA=	.0560,	M(4) - M(8) =	.0500 NS
COMP. DAS MÉDIAS 4 COM 9,	DELTA=	.0560,	M(4) - M(9) =	-.0800 *
COMP. DAS MÉDIAS 5 COM 6,	DELTA=	.0560,	M(5) - M(6) =	-.0800 *
COMP. DAS MÉDIAS 5 COM 7,	DELTA=	.0560,	M(5) - M(7) =	.0100 NS
COMP. DAS MÉDIAS 5 COM 8,	DELTA=	.0560,	M(5) - M(8) =	.0400 NS
COMP. DAS MÉDIAS 5 COM 9,	DELTA=	.0560,	M(5) - M(9) =	-.0900 *
COMP. DAS MÉDIAS 6 COM 7,	DELTA=	.0560,	M(6) - M(7) =	.0900 *
COMP. DAS MÉDIAS 6 COM 8,	DELTA=	.0560,	M(6) - M(8) =	.1200 *
COMP. DAS MÉDIAS 6 COM 9,	DELTA=	.0560,	M(6) - M(9) =	-.0100 NS
COMP. DAS MÉDIAS 7 COM 8,	DELTA=	.0560,	M(7) - M(8) =	.0300 NS
COMP. DAS MÉDIAS 7 COM 9,	DELTA=	.0560,	M(7) - M(9) =	-.1000 *
COMP. DAS MÉDIAS 8 COM 9,	DELTA=	.0560,	M(8) - M(9) =	-.1300 *

* = diferença significativa ao nível 5%.

d. ANÁLISE DO CONTEÚDO DE SS DO FIGO, FIXANDO O FLUXO DE AR DAS NOVE CONDIÇÕES DE RESFRIAMENTO E CONSIDERANDO OS TRÊS FLUXOS COMO REPETIÇÕES PARA CADA TIPO DE EMBALAGEM. OS VALORES DOS SS CORRESPONDEM AOS VALORES MÁXIMOS DURANTE O ARMAZENAMENTO, ANTES DE APRESENTAR UMA QUEDA REPENTINA, INDEPENDENTE DO NÚMERO DE DIAS DE ARMAZENAMENTO.

REPETICOES			
TRATAMENTOS	-----		
1	17.8000	17.2000	16.8000
2	18.1000	17.7000	17.8000
3	18.0000	18.0000	16.8000

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO EXPERIMENTO

C. VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
TRATAMENTOS	2.	.5422	.2711	1.05 NS
RESIDUO	6.	1.5533	.2589	
TOTAL	8.	2.0956		

DESVIO PADRAO = .5088 MÉDIA GERAL = 17.5778 COEF. DE VARIACAO = 2.8946

MÉDIAS DOS TRATAMENTOS

F1E1, F2E1, F3E1(1) = 17.2667

F1E2, F2E2, F3E2(2) = 17.8667

F1E3, F2E3, F3E3(3) = 17.6000

TESTE TUKEY

COMP. DAS MÉDIAS 1 COM 2, DELTA= 1.2749, M(1) - M(2) = -.6000 NS

COMP. DAS MÉDIAS 1 COM 3, DELTA= 1.2749, M(1) - M(3) = -.3333 NS

COMP. DAS MÉDIAS 2 COM 3, DELTA= 1.2749, M(2) - M(3) = .2667 NS

e. ANÁLISE DO CONTEÚDO DE ATT DO FIGO, FIXANDO O FLUXO DE AR DAS NOVE CONDIÇÕES DE RESFRIAMENTO E CONSIDERANDO COMO REPETIÇÕES. OS VALORES DOS ATT CORRESPONDEM AOS VALORES MÁXIMOS DURANTE O ARMAZENAMENTO, ANTES DE APRESENTAR UMA QUEDA REPENTINA, INDEPENDENTE DO NÚMERO DE DIAS DE ARMAZENAMENTO.

REPETICOES				
TRATAMENTOS	-----			
1	.	2088	.1332	.1508
2		.1279	.1089	.1992
3		.1022	.0922	.1550

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO EXPERIMENTO

C. VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F

TRATAMENTOS	2.	.0035	.0017	1.05 NS
RESIDUO	6.	.0099	.0017	

TOTAL	8.	.0134		

DESVIO PADRAO = .0407 MÉDIA GERAL = .1420 COEF. DE VARIACAO = 28.6588

MÉDIAS DOS TRATAMENTOS

F1E1, F2E1, F3E1(1) = .1643
 F1E2, F2E2, F3E2(2) = .1453
 F1E3, F2E3, F3E3(3)= .1165

TESE TUKEY

COMP. DAS MÉDIAS 1 COM 2, DELTA= .1020, M(1) - M(2) = .0189 NS
 COMP. DAS MÉDIAS 1 COM 3, DELTA= .1020, M(1) - M(3) = .0478 NS
 COMP. DAS MÉDIAS 2 COM 3, DELTA= .1020, M(2) - M(3) = .0289 NS

f. ANÁLISE DA INCIDÊNCIA DA EMBALAGEM NO ARMAZENAMENTO. PARA ISSO FOI FIXADO O PERÍODO DE 28 DIAS E VERIFICADO ATRAVÉS DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA COM O TESTE F PARA OS VALORES DE **PERDA DE PESO ACUMULADA** OBTIDOS NESTE MESMO PERÍODO, CONSIDERANDO SOMENTE A INCIDÊNCIA DA EMBALAGEM E NÃO DO FLUXO.

TRATAMENTOS	REPETICOES		
1	25.4000	11.8000	13.0000
2	11.6000	12.6000	11.8000
3	13.9000	14.7000	13.8000

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO EXPERIMENTO

C. VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
TRATAMENTOS	2.	33.7156	16.8578	.88 NS
RESIDUO	6.	114.4333	19.0722	
TOTAL	8.	148.1489		

DESV. PADRAO = 4.3672 MÉDIA GERAL = 14.2889 COEF. DE VARIACAO = 30.5634

MÉDIAS DOS TRATAMENTOS

F1E1, F2E1, F3E1(1) = 16.7333

F1E2, F2E2, F3E2(2) = 12.0000

F1E3, F2E3, F3E3(3) = 14.1333

COMP. DAS MÉDIAS 1 COM 2, DELTA= 10.9428, M(1) - M(2) = 4.7333 NS

COMP. DAS MÉDIAS 1 COM 3, DELTA= 10.9428, M(1) - M(3) = 2.6000 NS

COMP. DAS MÉDIAS 2 COM 3, DELTA= 10.9428, M(2) - M(3) = -2.1333 NS

g. ANÁLISE DA INCIDÊNCIA DA EMBALAGEM NO ARMAZENAMENTO. PARA ISSO FOI FIXADO O PERÍODO DE 28 DIAS E VERIFICADO ATRAVÉS DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA COM O TESTE F PARA OS VALORES DA RELAÇÃO **SS/ATT** OBTIDOS NESTE MESMO PERÍODO, CONSIDERANDO SOMENTE A INCIDÊNCIA DA EMBALAGEM E NÃO DO FLUXO.

	REPETICOES		
TRATAMENTOS	-----		
1	86.3000	89.0000	85.6000
2	121.1000	112.9000	93.4000
3	121.4000	109.0000	88.8000

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO EXPERIMENTO

C. VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F

TRATAMENTOS	2.	876.4867	438.2433	2.76 NS
RESIDUO	6.	952.8933	158.8156	

TOTAL	8.	1829.3800		

DESV. PADRAO = 12.60 MÉDIA GERAL = 100.83 COEF. DE VARIACAO = 12.49

MÉDIAS DOS TRATAMENTOS

F1E1, F2E1, F3E1(1) = 86.9667
 F1E2, F2E2, F3E2(2)= 109.1333
 F1E3, F2E3, F3E3(3)= 106.4000

COMP. DAS MÉDIAS 1 COM 2, DELTA= 31.5773, M(1) - M(2) = -22.1667 NS
 COMP. DAS MÉDIAS 1 COM 3, DELTA= 31.5773, M(1) - M(3) = -19.4333 NS
 COMP. DAS MÉDIAS 2 COM 3, DELTA= 31.5773, M(2) - M(3) = 2.7333 NS.

h. ANÁLISE DA INCIDÊNCIA DA EMBALAGEM NO ARMAZENAMENTO. PARA ISSO FOI FIXADO O PERÍODO DE 28 DIAS E VERIFICADO ATRAVÉS DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA COM O TESTE F PARA OS VALORES DO **pH** OBTIDOS NESTE MESMO PERÍODO, CONSIDERANDO SOMENTE A INCIDÊNCIA DA EMBALAGEM E NÃO DO FLUXO.

TRATAMENTOS	R E P E T I C O E S		

1	5.4500	4.9800	5.4800
2	6.0000	6.2400	5.2100
3	5.6000	5.9100	5.0000

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO EXPERIMENTO

C. VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F

TRATAMENTOS	2.	.4017	.2008	1.03 NS
RESIDUO	6.	1.1662	.1944	

TOTAL	8.	1.5679		

DESVIO PADRAO = .4409 MÉDIA GERAL = 5.5411 COEF. DE VARIACAO = 7.9564

MÉDIAS DOS TRATAMENTOS

F1E1, F2E1, F3E1(1) = 5.3033

F1E2, F2E2, F3E2(2)= 5.8167

F1E3, F2E3, F3E3(3)= 5.5033

COMP. DAS MÉDIAS 1 COM 2, DELTA= 1.1047, M(1) - M(2) = -.5133 NS

COMP. DAS MÉDIAS 1 COM 3, DELTA= 1.1047, M(1) - M(3) = -.2000 NS

COMP. DAS MÉDIAS 2 COM 3, DELTA= 1.1047, M(2) - M(3) = .3133 NS.

i. ANÁLISE DA INCIDÊNCIA DA EMBALAGEM NO ARMAZENAMENTO, VERIFICANDO ATRAVÉS DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA COM O TESTE F PARA OS VALORES DO **PERÍODO (DIAS)** CONSIDERADO ADEQUADO PARA CONSUMO DO FIGO, CONSIDERANDO SOMENTE A INCIDÊNCIA DA EMBALAGEM E NÃO DO FLUXO.

TRATAMENTOS	R E P E T I C O E S		

1	24.0000	36.0000	32.0000
2	36.0000	44.0000	44.0000
3	36.0000	40.0000	36.0000

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO EXPERIMENTO

C. VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F

TRATAMENTOS	2.	174.2222	87.1111	4.08 NS
RESIDUO	6.	128.0000	21.3333	

TOTAL	8.	302.2222		

DESV. PADRAO = 4.61 MÉDIA GERAL = 36.44 COEF. DE VARIACAO = 12.67

MÉDIAS DOS TRATAMENTOS

F1E1, F2E1, F3E1(1) = 30.6667
 F1E2, F2E2, F3E2(2)= 41.3333
 F1E3, F2E3, F3E3(3)= 37.3333

COMP. DAS MÉDIAS 1 COM 2, DELTA= 11.5733, M(1) - M(2) = -10.6667 NS
 COMP. DAS MÉDIAS 1 COM 3, DELTA= 11.5733, M(1) - M(3) = -6.6667 NS
 COMP. DAS MÉDIAS 2 COM 3, DELTA= 11.5733, M(2) - M(3) = 4.0000 NS.

j. ANÁLISE DA INCIDÊNCIA DO RR E RL NA **TAXA DE PERDA DE PESO** DO FIGO NO 41° DIA DE ARMAZENAMENTO REFRIGERADO, ACONDICIONADO NA CAIXA RIGESA®. VERIFICADO ATRAVÉS DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA COM O TESTE F.

TRATAMENTOS	REPETICOES	
1	.4600	.4800
2	.6100	.6300

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO EXPERIMENTO

C. VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
TRATAMENTOS	1.	.0225	.0225	112.50 **
RESIDUO	2.	.0004	.0002	
TOTAL	3.	.0229		

** = DIFERENÇA SIGNIFICATIVA AO NIVEL DE 1%.

DESVIO PADRAO = .0141 MÉDIA GERAL = .5450 COEF. DE VARIACAO = 2.5949

MÉDIAS DOS TRATAMENTOS

RR(1) = .4700

RL(2) = .6200

COMP. DAS MÉDIAS 1 COM 2, DELTA= .0609, M(1) - M(2) = -.1500 *

* = DIFERENÇA SIGNIFICATIVA AO NIVEL DE 5%.

k. ANÁLISE DA INCIDÊNCIA DO RR E RL NO **CONTEÚDO DE SS** DO FIGO NO ARMAZENAMENTO REFRIGERADO, ACONDICIONADO NA CAIXA RIGESA®. VERIFICADO ATRAVÉS DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA COM O TESTE F.

TRATAMENTOS	REPETICOES		
1	15.5000	15.9000	16.0000
2	17.5000	18.0000	18.0000

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO EXPERIMENTO

C. VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
TRATAMENTOS	1.	6.2017	6.2017	80.89 **
RESIDUO	4.	.3067	.0767	
TOTAL	5.	6.5083		

** = existe diferença significativa ao nível de 1%.

DESVIO PADRAO = .27 MÉDIA GERAL = 16.81 COEF. DE VARIACAO = 1.64

MÉDIAS DOS TRATAMENTOS

RR(1) = 15.8000

RL(2) = 17.8333

COMP. DAS MÉDIAS 1 COM 2, DELTA= .6283, M(1) - M(2) = -2.0333 *

* = existe diferença significativa ao nível de 5%.

I. ANÁLISE DA INCIDÊNCIA DO RR E RL NA **ACIDEZ TOTAL TITULÁVEL** DO FIGO NO ARMAZENAMENTO REFRIGERADO, ACONDICIONADO NA CAIXA RIGESA®. VERIFICADO ATRAVÉS NA ANÁLISE DE VARIÂNCIA COM O TESTE F.

TRATAMENTOS	REPETICOES		
	-----	-----	-----
1	.1250	.1300	.1340
2	.0954	.0960	.0961

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO EXPERIMENTO

C. VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
-----	-----	-----	-----	-----
TRATAMENTOS	1.	.0017	.0017	167.71 **
RESIDUO	4.	.0000	.0000	

TOTAL	5.	.0018		

** = existe diferença significativa ao nível de 1%.

DESVIO PADRAO = .0032 MÉDIA GERAL = .1128 COEF. DE VARIACAO = 2.8379

MÉDIAS DOS TRATAMENTOS

RR(1) = .1297

RL(2) = .0958

COMP. DAS MÉDIAS 1 COM 2, DELTA= .0073, M(1) - M(2) = .0338 *

** = existe diferença significativa ao nível de 1%.

m. ANÁLISE DA INCIDÊNCIA DO RR E RL NA **RELAÇÃO SS/ATT** DO FIGO NO ARMAZENAMENTO REFRIGERADO, ACONDICIONADO NA CAIXA RIGESA®. VERIFICADO ATRAVÉS DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA COM O TESTE F.

TRATAMENTOS	REPETICOES		
1	121.4000	122.0000	122.3000
2	186.0000	187.0000	184.7000

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO EXPERIMENTO

C. VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
TRATAMENTOS	1.	6144.0000	6144.0000	7979.22 **
RESIDUO	4.	3.0800	.7700	
TOTAL	5.	6147.0800		

** = existe diferença significativa ao nível de 1%.

DESVIO PADRAO = .8775 MÉDIA GERAL =153.90 COEF. DE VARIACAO = .5702

MÉDIAS DOS TRATAMENTOS

RR(1) = 121.9000

RL(2) = 185.9000

COMP. DAS MÉDIAS 1 COM 2, DELTA= 1.9910, M(1) - M(2) = -64.0000 *

** = existe diferença significativa ao nível de 1%.

n. ANÁLISE DA INCIDÊNCIA DO RR E RL NOS VALORES MÉDIOS DO pH DO FIGO NO ARMAZENAMENTO REFRIGERADO, ACONDICIONADO NA CAIXA RIGESA®. VERIFICADO ATRAVÉS DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA COM O TESTE F.

TRATAMENTOS	REPETICOES		
1	6.2000	6.3000	6.3400
2	6.4500	6.4500	6.6000

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO EXPERIMENTO

C. VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
TRATAMENTOS	1.	.0726	.0726	11.43 *
RESIDUO	4.	.0254	.0063	
TOTAL	5.	.0980		

* = existe diferença significativa ao nível de 5%*

ESVIO PADRAO = .0797 MÉDIA GERAL =6.3900 COEF. DE VARIACAO = 1.2471

MÉDIAS DOS TRATAMENTOS

RR(1) = 6.2800

RL(2) = 6.5000

COMP. DAS MÉDIAS 1 COM 2, DELTA= .1808, M(1) - M(2) = -.2200 *

* = existe diferença significativa ao nível de 5%*

o. ANÁLISE DA **AVALIAÇÃO SENSORIAL** DO FIGO NO ARMAZENAMENTO REFRIGERADO COM BASE NAS NOTAS MÉDIAS DA APARÊNCIA EXTERNA E INTERNA NO PRIMEIRO DIA DE AVALIAÇÃO (**DIA 0**). O FIGO FOI ACONDICIONADO NA CAIXA RIGESA®. VERIFICADA ATRAVÉS DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA COM O TESTE F.

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO EXPERIMENTO

C. VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
TRATAMENTOS	1.	2.8824	2.8824	4.65 *
RESIDUO	66.	40.8824	.6194	
TOTAL	67.	43.7647		

* = existe diferença significativa ao nível de 5%*

DESVIO PADRAO = .78 MÉDIA GERAL = 1.94 COEF. DE VARIACAO = 40.5444

MÉDIAS DOS TRATAMENTOS

APARENCIA EXTERNA(1) = 1.7353

APARENCIA INTERNA(2) = 2.1471

COMP. DAS MÉDIAS 1 COM 2, DELTA= .3812, M(1) - M(2) = -.4118 *

* = existe diferença significativa ao nível de 5%*

p. ANÁLISE DA **APARÊNCIA EXTERNA**. AVALIAÇÃO SENSORIAL DO FIGO NO ARMAZENAMENTO REFRIGERADO COM BASE NAS NOTAS MÉDIAS DA APARÊNCIA EXTERNA E INTERNA NO **28° DIA DE ARMAZENAMENTO**. O FIGO FOI ACONDICIONADO NA CAIXA RIGESA®. FOI VERIFICADA ATRAVÉS DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA COM O TESTE F.

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO EXPERIMENTO

C. VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
TRATAMENTOS	1.	9.0250	9.0250	12.36 **
RESIDUO	38.	27.7500	.7303	
TOTAL	39.	36.7750		

** = existe diferença significativa ao nível de 1%.

DESVIO PADRAO = .8546 MÉDIA GERAL = 2.3250 COEF. DE VARIA = 36.7550

MÉDIAS DOS TRATAMENTOS

RR(1) = 1.8500

RL(2) = 2.8000

COMP. DAS MÉDIAS 1 COM 2, DELTA= .5474, M(1) - M(2) = -.9500 *

* = existe diferença significativa ao nível de 5%

q. ANÁLISE DA **APARÊNCIA INTERNA** AVALIAÇÃO SENSORIAL DO FIGO NO ARMAZENAMENTO REFRIGERADO COM BASE NAS NOTAS MÉDIAS DA APARÊNCIA EXTERNA E INTERNA NO **28 ° DIA DE ARMAZENAMENTO**. O FIGO FOI ACONDICIONADO NA CAIXA RIGESA®. VERIFICADA ATRAVÉS DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA COM O TESTE F.

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO EXPERIMENTO

C. VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
TRATAMENTOS	1.	7.2250	7.2250	6.84 *
RESIDUO	38.	40.1500	1.0566	
TOTAL	39.	47.3750		

* = existe diferença significativa ao nível de 5%*

DESVIO PADRAO = 1.02 MÉDIA GERAL = 2.37 COEF. DE VARIACAO = 43.28

MÉDIAS DOS TRATAMENTOS

RR(1) = 1.9500

RL(2) = 2.8000

COMP. DAS MÉDIAS 1 COM 2, DELTA= .6584, M(1) - M(2) = -.8500 *

* = existe diferença significativa ao nível de 5%*

r. ANÁLISE DA **APARÊNCIA EXTERNA** AVALIAÇÃO SENSORIAL DO FIGO NO ARMAZENAMENTO REFRIGERADO COM BASE NAS NOTAS MÉDIAS DA APARÊNCIA EXTERNA E INTERNA NO **32° DIA DE ARMAZENAMENTO**. O FIGO FOI ACONDICIONADO NA CAIXA RIGESA®. VERIFICADA ATRAVÉS DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA COM O TESTE F.

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO EXPERIMENTO

C. VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
TRATAMENTOS	1.	3.0250	3.0250	4.84 *
RESIDUO	38.	23.7500	.6250	
TOTAL	39.	26.7750		

* = existe diferença significativa ao nível de 5%.

DESVIO PADRAO = .79 MÉDIA GERAL = 3.00 COEF. DE VARIACAO = 29.5540

MÉDIAS DOS TRATAMENTOS

RR(1) = 2.4000

RL(2) = 3.6000

COMP. DAS MÉDIAS 1 COM 2, DELTA= .5064, M(1) - M(2) = -.5500 *

* = existe diferença significativa ao nível de 5%.

s. ANÁLISE DA **APARÊNCIA INTERNA** AVALIAÇÃO SENSORIAL DO FIGO NO ARMAZENAMENTO REFRIGERADO COM BASE NAS NOTAS MÉDIAS DA APARÊNCIA EXTERNA E INTERNA NO **32° DIA DE ARMAZENAMENTO**. O FIGO FOI ACONDICIONADO NA CAIXA RIGESA®. VERIFICADA ATRAVÉS DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA COM O TESTE F.

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO EXPERIMENTO

C. VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
TRATAMENTOS	1.	7.2250	7.2250	7.95 **
RESIDUO	38.	34.5500	.9092	
TOTAL	39.	41.7750		

** = existe diferença significativa ao nível de 1%.

DESVIO PADRAO = .95 MÉDIA GERAL = 2.70 COEF. DE VARIACAO = 39.3206

MÉDIAS DOS TRATAMENTOS

RR(1) = 2.0000

RL(2) = 3.4000

COMP. DAS MÉDIAS 1 COM 2, DELTA= .6108, M(1) - M(2) = -.8500 *

* = existe diferença significativa ao nível de 5%.

t. ANÁLISE DA **APARÊNCIA EXTERNA** AVALIAÇÃO SENSORIAL DO FIGO NO ARMAZENAMENTO REFRIGERADO COM BASE NAS NOTAS MÉDIAS DA APARÊNCIA EXTERNA E INTERNA NO **36° DIA DE ARMAZENAMENTO**. O FIGO FOI ACONDICIONADO NA CAIXA RIGESA®. VERIFICADA ATRAVÉS DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA COM O TESTE F.

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO EXPERIMENTO

C. VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
TRATAMENTOS	1.	4.9000	4.9000	6.17 *
RESIDUO	38.	30.2000	.7947	
TOTAL	39.	35.1000		

DESVIO PADRAO = .8915 MÉDIA GERAL = 3.3500 COEF. DE VARIACAO = 26.6113

MÉDIAS DOS TRATAMENTOS

M(1) = 3.0000

M(2) = 3.7000

COMP. DAS MÉDIAS 1 COM 2, DELTA= .5711, M(1) - M(2) = -.7000 *

ANEXO 3

Fotos



Foto 1. Fruto (1) figo verde tipo exportação, fruto (2) figo rami e fruto (3) figo maduro.



Foto 2. De esquerda para direita: caixa de madeira, caixa tipo exportação e caixa RIGESA®.



Foto 3. Câmara fria e ventilador utilizados no resfriamento rápido com ar forçado.

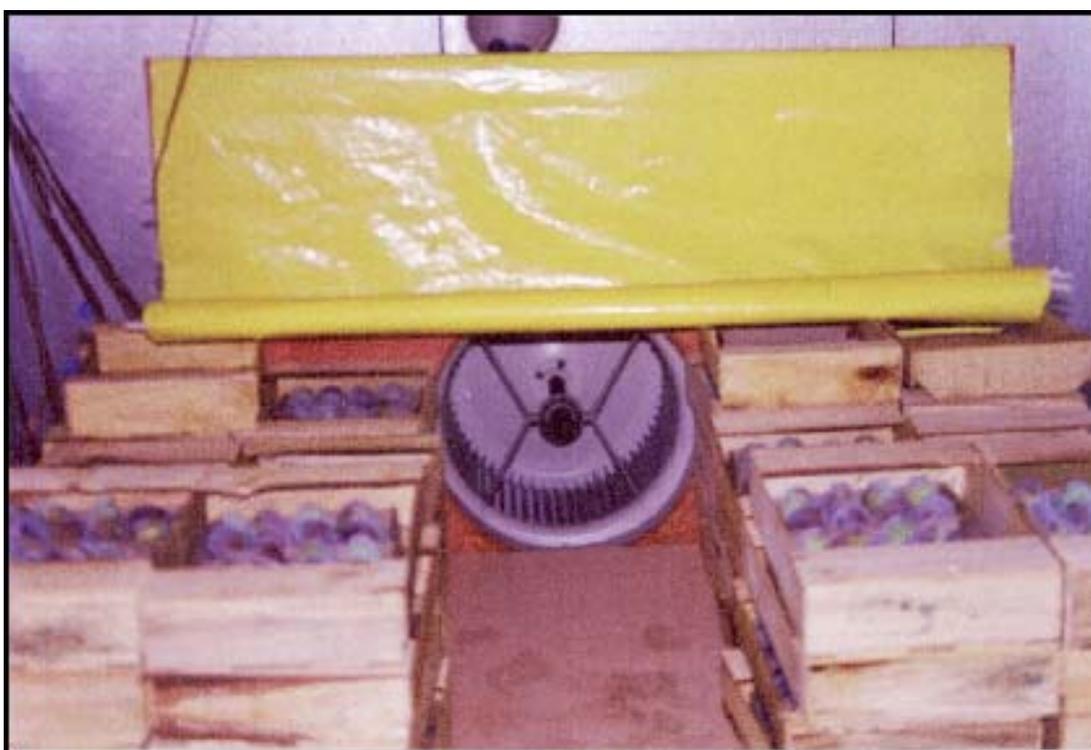


Foto 4. Resfriamento rápido do figo embalado na caixa de madeira.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS/UNICAMP
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA/FEAGRI**

**RESFRIAMENTO RÁPIDO E ARMAZENAMENTO
REFRIGERADO DO FIGO (*Ficus carica* L.) `ROXO DE
VALINHOS´ E SEUS EFEITOS NA QUALIDADE DA FRUTA**

SAUL DUSSÁN SARRIA

**CAMPINAS, SP
ABRIL DE 2003**