



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS

RELAÇÃO ENTRE O PERÍODO DE PÓS-COLHEITA E O
***DEGREE-TIME* NO RESFRIAMENTO DE RÚCULA**

Lineu Losada Pataro
Engenheiro Agrícola

Prof. Dr. Vivaldo Silveira Jr.
Orientador

Dissertação apresentada à
Faculdade de Engenharia de
Alimentos da Universidade Estadual
de Campinas para a obtenção do
grau de Mestre em Engenharia de
Alimentos.

Campinas – SP
Janeiro / 2005

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA F.E.A. – UNICAMP

P27r Pataro, Lineu Losada
Relação entre o período de pós-colheita e o degree-time no resfriamento de rúcula / Lineu Losada Pataro. – Campinas, SP: [s.n.], 2005.

Orientador: Vivaldo Silveira Junior
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas.Faculdade de Engenharia de Alimentos.

1.Resfriamento. 2.Vida de prateleira. 3.Tempo de espera.
4.Rúcula. I.Silveira Junior, Vivaldo. II.Universidade Estadual de Campinas.Faculdade de Engenharia de Alimentos. III.Título.
cars-fea

Banca Examinadora

Prof. Dr. Vivaldo Silveira Jr.
Faculdade de Engenharia de Alimentos – UNICAMP
Orientador

Prof. Dr. Marcos David Ferreira
Faculdade de Engenharia Agrícola – UNICAMP
Membro

Dr. José Maria Monteiro Sigrist
Instituto de Tecnologia de Alimentos – ITAL
Membro

Prof. Dr. Sylvio Luís Honório
Faculdade de Engenharia Agrícola – UNICAMP
Membro

Aos meus pais Luiz e Maria Leonor (*in memoriam*),
pelos ensinamentos, dedicação, absoluto amor e constante incentivo...;

Aos meus queridos e inseparáveis irmãos Lisandra e Leonardo,
também responsáveis pela minha felicidade.

DEDICO.

*“Aprender é a única coisa de que a mente nunca se cansa,
nunca tem medo e nunca se arrepende.”*

Leonardo da Vinci

Agradecimentos

Reservo este espaço para agradecer a algumas pessoas que, de alguma maneira, participaram da elaboração deste trabalho de Mestrado.

Ao Prof. Dr. Vivaldo Silveira Jr., pela orientação e apoio durante o trabalho.

Aos membros da banca examinadora, pelas correções e sugestões na elaboração deste trabalho.

À CAPES, pelo suporte financeiro durante grande parte do trabalho.

À Prof^a. Dr^a. Maria Angela Fagnani, pela amizade e auxílio em diversas etapas da execução deste trabalho.

À Universidade Estadual de Campinas e ao Departamento de Engenharia de Alimentos (DEA) da Faculdade de Engenharia de Alimentos (FEA), por permitir minha participação neste Curso.

Aos colegas do Curso de Pós-Graduação, pela agradável convivência, amizade e mútua colaboração, tão importantes nesta fase acadêmica.

Ao Luthor (*in memoriam*), pela forte amizade e companheirismo.

À minha querida avó Vitalina (*in memoriam*), pelos valiosos conselhos, amizade e apoio constante.

E, finalmente, à Luciana, pela companhia, paciência, compreensão, carinho e amizade em todos esses anos.

SUMÁRIO

RESUMO.....	xxxi
ABSTRACT.....	xxxiii
I. INTRODUÇÃO.....	1
II. OBJETIVOS.....	5
2.1. OBJETIVO GERAL.....	5
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
III. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
3.1. CENÁRIO.....	7
3.2. RÚCULA.....	8
3.2.1. <i>Outras hortaliças</i>	9
3.3. COLHEITA.....	11
3.4. COMERCIALIZAÇÃO.....	12
3.5. EFEITOS DA TEMPERATURA.....	13
3.6. EFEITOS DA UMIDADE RELATIVA.....	14
3.7. RESPIRAÇÃO E TRANSPIRAÇÃO.....	15
3.8. EMBALAGEM.....	16
3.9. RESFRIAMENTO A AR (EM CÂMARA FRIGORÍFICA).....	17
3.10. RESFRIAMENTO RÁPIDO (“PRECOOLING”).....	19
3.10.1. <i>Resfriamento rápido por ar forçado (Túnel Californiano)</i>	21
3.11. ANÁLISE SENSORIAL.....	22
3.12. O PARÂMETRO “DEGREE-DAY”.....	23
IV. MATERIAL E MÉTODOS.....	27
4.1. MONTAGEM EXPERIMENTAL.....	27
4.2. EQUIPAMENTOS E ACESSÓRIOS DA MONTAGEM EXPERIMENTAL.....	27
4.2.1. <i>Câmara acondicionadora</i>	27
4.2.2. <i>Câmara frigorífica</i>	28
4.2.3. <i>Sistema de refrigeração</i>	29
4.2.4. <i>Túnel de ar forçado (Túnel Californiano)</i>	29
4.2.5. <i>Umidificador</i>	30
4.2.6. <i>Embalagem</i>	32
4.3. INSTRUMENTAÇÃO DO SISTEMA.....	33

4.3.1. <i>Balança semi-analítica</i>	33
4.3.2. <i>Microcomputador e aquisição de dados</i>	33
4.3.3. <i>Sensores de temperatura</i>	33
4.3.4. <i>Sensor de umidade</i>	35
4.3.5. <i>Controlador de Umidade</i>	35
4.3.6. <i>Anemômetro</i>	36
4.4. PROCEDIMENTO COM O PRODUTO.....	37
4.5. ANÁLISE SENSORIAL.....	38
4.6. PERDA DE MASSA	40
4.7. PLANEJAMENTO DOS EXPERIMENTOS	40
4.7.1. <i>Planejamento Fatorial Completo (PFCC)</i>	40
4.7.1.1. <i>Determinação das Variáveis Dependentes</i>	44
V. RESULTADOS E DISCUSSÕES	47
5.1. EXPERIMENTOS COM RÚCULA.....	47
5.1.1. <i>Resfriamento por estocagem em câmara frigorífica</i>	47
5.1.2. <i>Resfriamento rápido por ar forçado (Túnel Californiano)</i>	53
5.2. RESFRIAMENTO RÁPIDO (TÚNEL CALIFORNIANO) VERSUS ESTOCAGEM FRIGORIFICADA ...	59
5.3. ANÁLISE SENSORIAL.....	61
5.3.1. <i>Aparência Geral</i>	61
5.3.2. <i>Aceitação</i>	63
5.3.3. <i>Cor e Ocorrência de Danos</i>	64
5.4. PERDA DE MASSA	66
5.5. RELAÇÃO ENTRE DEGREE-TIME/DEGREE-TIME DA TESTEMUNHA E VIDA DE PRATELEIRA..	67
VI. CONCLUSÕES.....	71
VII. SUGESTÕES A TRABALHOS FUTUROS.....	73
VIII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
APÊNDICE A	81
A.1. CALIBRAÇÃO DOS SENSORES DE TEMPERATURA (TERMOPAR TIPO T)	81
APÊNDICE B	87
B.1. FICHA DE ANÁLISE SENSORIAL	87
APÊNDICE C	89

C.1. VALORES PREDITOS PELOS MODELOS LINEAR E QUADRÁTICO E VALORES EXPERIMENTAIS PARA A VARIÁVEL-RESPOSTA DEGREE-TIME/DEGREE-TIME DA TESTEMUNHA, UTILIZANDO RESFRIAMENTO POR ESTOCAGEM EM CÂMARA FRIGORÍFICA	89
C.2. VALORES PREDITOS PELOS MODELOS LINEAR E QUADRÁTICO E VALORES EXPERIMENTAIS PARA A VARIÁVEL-RESPOSTA DEGREE-TIME/DEGREE-TIME DA TESTEMUNHA, UTILIZANDO RESFRIAMENTO RÁPIDO POR AR FORÇADO (TÚNEL CALIFORNIANO)	90
APÊNDICE D	91
D.1. ANÁLISE DE VARIÂNCIA NO ESTUDO DA INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES SOBRE AS VARIÁVEIS-RESPOSTA VIDA DE PRATELEIRA E DEGREE-TIME/DEGREE-TIME DA TESTEMUNHA, UTILIZANDO RESFRIAMENTO POR ESTOCAGEM EM CÂMARA FRIGORÍFICA.	91
D.2. ANÁLISE DE VARIÂNCIA NO ESTUDO DA INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES SOBRE AS VARIÁVEIS-RESPOSTA VIDA DE PRATELEIRA E DEGREE-TIME/DEGREE-TIME DA TESTEMUNHA, UTILIZANDO RESFRIAMENTO RÁPIDO POR AR FORÇADO (TÚNEL CALIFORNIANO).	93
APÊNDICE E.....	95
E.1. ANÁLISE DO ERRO, POR ENSAIO, DOS VALORES PREDITOS PELO MODELO SOBRE OS VALORES EXPERIMENTAIS DAS VARIÁVEIS-RESPOSTA VIDA DE PRATELEIRA E DEGREE-TIME/DEGREE-TIME DA TESTEMUNHA, UTILIZANDO RESFRIAMENTO POR ESTOCAGEM EM CÂMARA FRIGORÍFICA.....	95
E.2. ANÁLISE DO ERRO, POR ENSAIO, DOS VALORES PREDITOS PELO MODELO SOBRE OS VALORES EXPERIMENTAIS DAS VARIÁVEIS-RESPOSTA VIDA DE PRATELEIRA E DEGREE-TIME/DEGREE-TIME DA TESTEMUNHA, UTILIZANDO RESFRIAMENTO RÁPIDO POR AR FORÇADO (TÚNEL CALIFORNIANO).....	97
APÊNDICE F.....	99
F.1. HISTÓRICOS DE TEMPERATURA DOS ENSAIOS	99
APÊNDICE G	105
G.1. RESULTADOS OBTIDOS NA ANÁLISE SENSORIAL DOS ENSAIOS (APARÊNCIA GERAL).....	105
G.2. RESULTADOS OBTIDOS NA ANÁLISE SENSORIAL DOS ENSAIOS (ACEITAÇÃO)	111
APÊNDICE H	117
H.1. CONTROLE DE MASSA DOS ENSAIOS	117

Lista de Figuras

Figura 1. Perda da qualidade de alfaces resfriadas a 2°C - dias de comercialização de alfaces crespa, em função do tempo de espera (0 h, 6 h, 8 h, 12 h e 24 h) para resfriá-las. Colheita: 100%; Limite para a venda: 0% (FOURNIER & VANDIOVET, 1983).....	11
Figura 2. Circulação do ar para um sistema de câmaras frias (LEAL & CORTEZ, 1998).....	18
Figura 3. Gráfico ilustrativo do resfriamento dos produtos hortícolas.....	20
Figura 4. Esquema do rendimento de um plantio em função da temperatura (IFAS, 2001) ...	25
Figura 5. Câmara acondicionadora.....	28
Figura 6. Vista interna da câmara frigorífica com dispositivo para ar forçado.....	29
Figura 7. Túnel de ar forçado com anteparo de madeira (para 1 caixa).	30
Figura 8. Esquema de montagem do sistema de umidificação da câmara frigorífica.	31
Figura 9. Sistema de nebulização.....	32
Figura 10. Ilustração do histórico da temperatura do produto para cálculo do <i>degree-time/degree-time</i> da testemunha, com diferentes tempos de espera e métodos de resfriamento.	45
Figura 11. Valores preditos pelo modelo <i>linear</i> e valores experimentais para a variável-resposta Vida de Prateleira (em dias) com resfriamento por estocagem em câmara frigorífica.	50
Figura 12. Valores preditos pelo modelo <i>quadrático</i> e valores experimentais para a variável-resposta Vida de Prateleira (em dias) com resfriamento por estocagem em câmara frigorífica.	51
Figura 13. Superfície-Resposta para a Vida de Prateleira, em função do tempo de espera e temperatura de estocagem, do modelo empírico <i>quadrático</i> dos ensaios com resfriamento por estocagem em câmara frigorífica.	52
Figura 14. Superfície-Resposta para o <i>Degree-Time/Degree-Time</i> da Testemunha, em função do tempo de espera e temperatura de estocagem, do modelo empírico <i>quadrático</i> dos ensaios com resfriamento por estocagem em câmara frigorífica.	53
Figura 15. Valores preditos pelo modelo <i>linear</i> e valores experimentais para a variável-resposta Vida de Prateleira (em dias) com resfriamento rápido por ar forçado.	56

Figura 16. Valores preditos pelo modelo <i>quadrático</i> e valores experimentais para a variável-resposta Vida de Prateleira (em dias) com resfriamento rápido por ar forçado.....	57
Figura 17. Superfície-Resposta para a Vida de Prateleira, em função do tempo de espera e temperatura de estocagem, do modelo empírico <i>quadrático</i> dos ensaios com resfriamento rápido por ar forçado.	58
Figura 18. Superfície-Resposta para o <i>Degree-Time/Degree-Time</i> da Testemunha, em função do tempo de espera e temperatura de estocagem, do modelo empírico <i>quadrático</i> dos ensaios com resfriamento rápido por ar forçado.	59
Figura 19. Diferença, nos ensaios 1 e 12, entre a curva de resfriamento por estocagem em câmara frigorífica e a curva de resfriamento rápido por ar forçado, apenas durante o período de resfriamento até atingirem a temperatura de 7/8 da diferença entre a temperatura inicial e a final do produto.	60
Figura 20. Históricos de temperatura, referentes aos ensaios 1 e 12.	61
Figura 21. Médias das notas das análises sensoriais, referentes aos ensaios 1 (estocagem em câmara com t_e igual a 6:50h e T_e igual a 8°C) e 12 (resfriamento rápido por ar forçado com t_e igual a 6:50h e T_e igual a 8°C).	62
Figura 22. Porcentagem de aceitação dos provadores, referente aos ensaios 1 (estocagem em câmara com t_e igual a 6:50h e T_e igual a 8°C) e 12 (resfriamento rápido por ar forçado com t_e igual a 6:50h e T_e igual a 8°C).	63
Figura 23. Cor e dano finais, para resfriamento por estocagem em câmara fria. Escala de notas: Cor - 1 = verde, 2 = verde-clara, 3 = verde-amarelada, 4 = amarela-esverdeada, 5 = amarela. Dano - 1 = ausente, 2 = leve, 3 = moderada, 4 = intensa, 5 = muito intensa.	64
Figura 24. Cor e dano finais, para resfriamento rápido por ar forçado. Escala de notas: Cor - 1 = verde, 2 = verde-clara, 3 = verde-amarelada, 4 = amarela-esverdeada, 5 = amarela. Dano - 1 = ausente, 2 = leve, 3 = moderada, 4 = intensa, 5 = muito intensa.	65
Figura 25. Perda de massa e regressão linear para os ensaios 1 (estocagem em câmara com t_e igual a 6:50h e T_e igual a 8°C) e 12 (resfriamento rápido por ar forçado com t_e igual a 6:50h e T_e igual a 8°C).	67

Figura 26. Relação do <i>degree-time/degree-time</i> da testemunha (DT/DT_{test}) com o logaritmo neperiano da vida de prateleira da rúcula ($\ln VP$), para os dois métodos de resfriamento.	69
Figura 27. Superfície-Resposta para a Vida de Prateleira, em função do tempo de espera e temperatura de estocagem, gerada a partir da equação (5): $VP = \exp(2,5337 - 0,039981t_e + 0,001629t_e^2 - 0,146742T_e + 0,003838T_e^2 - 0,007133t_eT_e)$	70
Figura A.1. Curva de calibração do sensor de temperatura número 0.	82
Figura A.2. Curva de calibração do sensor de temperatura número 1.	82
Figura A.3. Curva de calibração do sensor de temperatura número 2.	83
Figura A.4. Curva de calibração do sensor de temperatura número 3.	83
Figura A.5. Curva de calibração do sensor de temperatura número 4.	84
Figura A.6. Curva de calibração do sensor de temperatura número 5.	84
Figura A.7. Curva de calibração do sensor de temperatura número 6.	85
Figura A.8. Curva de calibração do sensor de temperatura número 7.	85
Figura C.1. Valores preditos pelo modelo <i>linear</i> e valores experimentais para a variável-resposta <i>Degree-Time/Degree-Time</i> da Testemunha, com resfriamento por estocagem em câmara frigorífica.	89
Figura C.2. Valores preditos pelo modelo <i>quadrático</i> e valores experimentais para a variável-resposta <i>Degree-Time/Degree-Time</i> da Testemunha, com resfriamento por estocagem em câmara frigorífica.	89
Figura C.3. Valores preditos pelo modelo <i>linear</i> e valores experimentais para a variável-resposta <i>Degree-Time/Degree-Time</i> da Testemunha com resfriamento rápido por ar forçado.	90
Figura C.4. Valores preditos pelo modelo <i>quadrático</i> e valores experimentais para a variável-resposta <i>Degree-Time/Degree-Time</i> da Testemunha com resfriamento rápido por ar forçado.	90
Figura F.1. Históricos de temperatura referentes aos ensaios 2 e 13.	99

Figura F.2. Históricos de temperatura referentes aos ensaios 3 e 14.....	99
Figura F.3. Históricos de temperatura referentes aos ensaios 4 e 15.....	100
Figura F.4. Históricos de temperatura referentes aos ensaios 5 e 16.....	100
Figura F.5. Históricos de temperatura referentes aos ensaios 6 e 17.....	101
Figura F.6. Históricos de temperatura referentes aos ensaios 7 e 18.....	101
Figura F.7. Históricos de temperatura referentes aos ensaios 8 e 19.....	102
Figura F.8. Históricos de temperatura referentes aos ensaios 9 e 20.....	102
Figura F.9. Históricos de temperatura referentes aos ensaios 10 e 21.....	103
Figura F.10. Históricos de temperatura referentes aos ensaios 11 e 22.....	103
Figura G.1. Médias das notas obtidas nas análises sensoriais (ensaios 2 e 13).....	107
Figura G.2. Médias das notas obtidas nas análises sensoriais (ensaios 3 e 14).....	107
Figura G.3. Médias das notas obtidas nas análises sensoriais (ensaios 4 e 15).....	107
Figura G.4. Médias das notas obtidas nas análises sensoriais (ensaios 5 e 16).....	108
Figura G.5. Médias das notas obtidas nas análises sensoriais (ensaios 6 e 17).....	108
Figura G.6. Médias das notas obtidas nas análises sensoriais (ensaios 7 e 18).....	108
Figura G.7. Médias das notas obtidas nas análises sensoriais (ensaios 8 e 19).....	109
Figura G.8. Médias das notas obtidas nas análises sensoriais (ensaios 9 e 20).....	109
Figura G.9. Médias das notas obtidas nas análises sensoriais (ensaios 10 e 21).....	109
Figura G.10. Médias das notas obtidas nas análises sensoriais (ensaios 11 e 22).....	110
Figura G.11. Porcentagem de aceitação dos provadores (ensaios 2 e 13).	113
Figura G.12. Porcentagem de aceitação dos provadores (ensaios 3 e 14).	113

Figura G.13. Porcentagem de aceitação dos provadores (ensaios 4 e 15).	113
Figura G.14. Porcentagem de aceitação dos provadores (ensaios 5 e 16).	114
Figura G.15. Porcentagem de aceitação dos provadores (ensaios 6 e 17).	114
Figura G.16. Porcentagem de aceitação dos provadores (ensaios 7 e 18).	114
Figura G.17. Porcentagem de aceitação dos provadores (ensaios 8 e 19).	115
Figura G.18. Porcentagem de aceitação dos provadores (ensaios 9 e 20).	115
Figura G.19. Porcentagem de aceitação dos provadores (ensaios 10 e 21).	115
Figura G.20. Porcentagem de aceitação dos provadores (ensaios 11 e 22).	116
Figura H.1. Perda de massa e regressão linear para os ensaios 2 e 13.....	119
Figura H.2. Perda de massa e regressão linear para os ensaios 3 e 14.....	119
Figura H.3. Perda de massa e regressão linear para os ensaios 4 e 15.....	119
Figura H.4. Perda de massa e regressão linear para os ensaios 5 e 16.....	120
Figura H.5. Perda de massa e regressão linear para os ensaios 6 e 17.....	120
Figura H.6. Perda de massa e regressão linear para os ensaios 7 e 18.....	120
Figura H.7. Perda de massa e regressão linear para os ensaios 8 e 19.....	121
Figura H.8. Perda de massa e regressão linear para os ensaios 9 e 20.....	121
Figura H.9. Perda de massa e regressão linear para os ensaios 10 e 21.....	121
Figura H.10. Perda de massa e regressão linear para os ensaios 11 e 22.....	122

Lista de Tabelas

Tabela 1. Legenda para cor e ocorrência de danos nas folhas.....	39
Tabela 2. Níveis do PFCC a ser realizado pelos 2 métodos de resfriamento ^x	42
Tabela 3. Esquema do planejamento de ensaios para cada método de resfriamento ^x	43
Tabela 4. Resultados dos ensaios com resfriamento por estocagem em câmara fria ^x	48
Tabela 5. Modelos empíricos das variáveis-resposta dos ensaios com resfriamento por estocagem em câmara frigorífica ^x	49
Tabela 6. Resultados dos ensaios com resfriamento rápido por ar forçado ^x	54
Tabela 7. Modelos empíricos das variáveis-resposta dos ensaios com resfriamento rápido por ar forçado.....	55
Tabela 8. Perda de massa para os 22 ensaios ^x	66
Tabela A.1. Funções de calibração dos sensores de temperatura e respectivos erros ^x	81
Tabela D.1. Análise de variância no estudo da influência das variáveis independentes sobre a Vida de Prateleira (Modelo <i>Linear</i>), utilizando resfriamento por estocagem em câmara frigorífica.	91
Tabela D.2. Análise de variância no estudo da influência das variáveis independentes sobre a Vida de Prateleira (Modelo <i>Quadrático</i>), utilizando resfriamento por estocagem em câmara frigorífica.	91
Tabela D.3. Análise de variância no estudo da influência das variáveis independentes sobre o <i>Degree-Time/Degree-Time</i> da Testemunha (Modelo <i>Linear</i>), utilizando resfriamento por estocagem em câmara frigorífica.	92
Tabela D.4. Análise de variância no estudo da influência das variáveis independentes sobre o <i>Degree-Time/Degree-Time</i> da Testemunha (Modelo <i>Quadrático</i>), utilizando resfriamento por estocagem em câmara frigorífica.	92
Tabela D.5. Análise de variância no estudo da influência das variáveis independentes sobre a Vida de Prateleira (Modelo <i>Linear</i>), utilizando resfriamento rápido por ar forçado.....	93
Tabela D.6. Análise de variância no estudo da influência das variáveis independentes sobre a Vida de Prateleira (Modelo <i>Quadrático</i>), utilizando resfriamento rápido por ar forçado.	93

Tabela D.7. Análise de variância no estudo da influência das variáveis independentes sobre o <i>Degree-Time/Degree-Time</i> da Testemunha (Modelo <i>Linear</i>), utilizando resfriamento rápido por ar forçado.	94
Tabela D.8. Análise de variância no estudo da influência das variáveis independentes sobre o <i>Degree-Time/Degree-Time</i> da Testemunha (Modelo <i>Quadrático</i>), utilizando resfriamento rápido por ar forçado.	94
Tabela E.1. Análise do erro, por ensaio, dos valores preditos sobre os valores experimentais da Vida de Prateleira (Modelo <i>Linear</i>), utilizando resfriamento por estocagem em câmara frigorífica.	95
Tabela E.2. Análise do erro, por ensaio, dos valores preditos sobre os valores experimentais da Vida de Prateleira (Modelo <i>Quadrático</i>), utilizando resfriamento por estocagem em câmara frigorífica.	95
Tabela E.3. Análise do erro, por ensaio, dos valores preditos sobre os valores experimentais da <i>Degree-Time/Degree-Time</i> da Testemunha (Modelo <i>Linear</i>), utilizando resfriamento por estocagem em câmara frigorífica.	96
Tabela E.4. Análise do erro, por ensaio, dos valores preditos sobre os valores experimentais da <i>Degree-Time/Degree-Time</i> da Testemunha (Modelo <i>Quadrático</i>), utilizando resfriamento por estocagem em câmara frigorífica.	96
Tabela E.5. Análise do erro, por ensaio, dos valores preditos sobre os valores experimentais da Vida de Prateleira (Modelo <i>Linear</i>), utilizando resfriamento rápido por ar forçado.	97
Tabela E.6. Análise do erro, por ensaio, dos valores preditos sobre os valores experimentais da Vida de Prateleira (Modelo <i>Quadrático</i>), utilizando resfriamento rápido por ar forçado.	97
Tabela E.7. Análise do erro, por ensaio, dos valores preditos sobre os valores experimentais da <i>Degree-Time/Degree-Time</i> da Testemunha (Modelo <i>Linear</i>), utilizando resfriamento rápido por ar forçado.	98
Tabela E.8. Análise do erro, por ensaio, dos valores preditos sobre os valores experimentais da <i>Degree-Time/Degree-Time</i> da Testemunha (Modelo <i>Quadrático</i>), utilizando resfriamento rápido por ar forçado.	98

Tabela G.1. Médias das notas das análises sensoriais (Aparência Geral) para resfriamento por estocagem em câmara frigorífica.	105
Tabela G.2. Médias das notas das análises sensoriais (Aparência Geral) para resfriamento rápido por ar forçado.	106
Tabela G.3. Porcentagem de aceitação dos provadores nas análises sensoriais para resfriamento por estocagem em câmara frigorífica.	111
Tabela G.4. Porcentagem de aceitação dos provadores nas análises sensoriais para resfriamento rápido por ar forçado.	112
Tabela H.1. Controle de Massa, em gramas, para resfriamento por estocagem em câmara frigorífica.	117
Tabela H.2. Controle de Massa, em gramas, para resfriamento rápido por ar forçado.	118

RESUMO

O aumento da vida de prateleira de produtos perecíveis, como as hortaliças, está intimamente relacionado com o tratamento pós-colheita ao qual foram submetidos. O resfriamento e estocagem destes alimentos são métodos que proporcionam o prolongamento desta vida útil, minimizando as perdas das características sensoriais e nutricionais, relativas ao produto fresco. O parâmetro *degree-time* (DT), que representa a energia recebida e gerada pelo produto após a colheita durante um determinado tempo, é calculado como a integral da temperatura do produto em função do tempo pós-colheita, até um tempo de referência.

Este trabalho consiste na determinação de uma metodologia para cálculo do DT de hortaliças através do monitoramento, após a colheita, da temperatura do alimento submetido a dois diferentes métodos de resfriamento: rápido (com ar forçado) e lento (em câmara frigorífica), e posterior estocagem. Os ensaios permitiram avaliar a influência dos tempos de espera (de 0 a 8 h), métodos de resfriamento e temperaturas de estocagem (de 0 a 10°C), definindo a relação do indicador DT com a vida de prateleira do produto.

Devido à sua perecibilidade, à característica de seu consumo “in natura”, ao custo para o consumidor em relação às outras hortaliças (gerando maior exigência de qualidade) e à importância econômica, a rúcula (*Eruca sativa* Miller) foi a hortaliça selecionada para o desenvolvimento deste projeto.

Palavras-chave: resfriamento, vida de prateleira, tempo de espera e rúcula.

ABSTRACT

The shelf life of perishable products, like vegetables, is truly connected with the post harvest processes to which they were submitted. The refrigeration and post harvest storage of those products are processes that can increase their life time, minimizing the loss of the sensorial and nutritional characteristics, compared to the fresh-cut product. The degree-time parameter (DT), which represents the energy received and generated by the post harvest product during a certain period of time, is calculated by the integral of the product temperature over the post harvest time.

This work consists on the determination of a methodology to calculate the DT of vegetables, by monitoring the product temperature, after harvest, submitted to two different refrigeration processes: fast (with forced air) and slow (inside a refrigeration chamber), and subsequent storage. The proposed experimental plan allowed us to evaluate the influence of the delay time (from 0 to 8 h), refrigeration methods and storage temperatures (from 0 to 10°C), describing the connection between the DT indicator and the product shelf life time.

Due to its perishability, to its characteristic of “in natura” consumption, to its cost for customers when compared to the other vegetables (generating high quality demand), and to its economic significance, the arugula (*Eruca sativa* Miller) was the chosen vegetable for the development of this project.

Key words: refrigeration, shelf life, delay time, arugula.

I. INTRODUÇÃO

Uma dificuldade que ainda pode ser constatada nesta área é o menor avanço das técnicas de comercialização de hortaliças frescas. As perdas destes produtos em supermercados brasileiros são significativas, acarretando o desperdício de alimento. Segundo a reportagem ANON (2001a), mais de 60% das famílias da capital do Estado de São Paulo estão em situação alimentar abaixo da média recomendável, se não passando fome diariamente, alimentando-se mal. A origem do problema não é a produção insuficiente, mas sim as perdas na cadeia de produção até a distribuição. Considerando apenas as feiras livres, constata-se que mais de 1000 toneladas de alimentos são perdidos todos os dias. Destes, 80% poderiam ser reaproveitados.

Segundo SALGADO (2001), o Brasil é o país das perdas. Só no ano de 2000, bilhões de dólares foram perdidos. Só na agricultura, cerca de 30% de tudo o que é produzido não chega à mesa do consumidor. As perdas de alimentos ocorrem na colheita, transporte, comercialização, estocagem e preparo do alimento.

Além do aspecto das perdas perante à população não alimentada, há o prejuízo dos próprios produtores de alimentos. Segundo ANON (2001b), o Brasil é um dos países que mais produzem frutas tropicais e hortaliças, mas as grandes perdas têm contribuído para reduzir a rentabilidade do setor. Nos últimos anos, porém, a conscientização de produtores, processadores e distribuidores, tem aumentado sobre a necessidade de suporte tecnológico, visando ao melhor aproveitamento de vegetais que não alcançam padrão para mesa.

Segundo TURK & CELIK (1999), o fator que mais afeta a vida pós-colheita de hortaliças é a temperatura. TANABE & CORTEZ (1998) citam a importância da “Cadeia do Frio”, isto é, o resfriamento e conservação à baixa temperatura de frutas e hortaliças desde a colheita até o consumo final. A comercialização de frutas e hortaliças não refrigeradas nos pontos de venda acarreta uma diminuição

na vida útil do alimento, modificando as características físicas, visuais e até nutricionais. Normalmente vista como uma encarecedora do custo de alimentos, a utilização desta técnica deve ser repensada e avaliada como uma alternativa efetiva contra as perdas, a favor do aumento da vida de prateleira dos alimentos e conseqüente satisfação do consumidor, atualmente mais exigente.

O estudo da aplicação de técnicas que prolonguem a vida de prateleira e qualidade dos alimentos, principalmente de frutas e hortaliças, é o primeiro passo para o aperfeiçoamento das técnicas de comercialização e venda de alimentos *in natura*.

A implantação da cadeia do frio na conservação destes alimentos é uma alternativa cuja aplicação vem sendo constatada através do crescente número de pontos de venda de frutas e hortaliças refrigeradas. Contudo, somente com a adequada aplicação deste processo, serão obtidas a vida de prateleira estendida e a qualidade do alimento conservada, conforme as expectativas.

O resfriamento rápido (“*precooling*”) de frutas e hortaliças vem sendo uma técnica amplamente aplicada com o objetivo de estender a vida de prateleira de alimentos *in natura*. Esta técnica consiste no resfriamento aplicado ao alimento antes do transporte ou estocagem refrigerados. Segundo TURK & CELIK (1999), a perda de qualidade pós-colheita ocorre como resultante de processos fisiológicos causados principalmente pela respiração. Neste caso, não é apenas necessário que se resfrie o produto, mas que se resfrie *imediatamente após* a colheita, pois esta operação proporciona a retirada do calor recebido pela exposição ao ambiente. Um curto tempo de espera entre a colheita e o tratamento de resfriamento do alimento é fundamental para que um produto reduza as perdas de suas qualidades sensoriais, visuais e nutricionais. A validade do produto pós-colheita está diretamente relacionada a quão imediato o resfriamento é aplicado ao alimento.

Segundo FOURNIER & VANDIOVET (1983), o resfriamento rápido de hortaliças pode proporcionar a diminuição na multiplicação das bactérias, a

manutenção da integridade do produto devido à menor perda de água por transpiração e o aumento da durabilidade comercial deste vegetal.

De acordo com FOURNIER & VANDIOVET (1983), quanto maior o tempo de espera para a aplicação do método de resfriamento, menor será a vida de prateleira do alimento. Este fato é claramente constatado no caso de hortaliças e frutas mais sensíveis ao calor. Além disso, quanto maior este tempo de espera, mais será requerido do sistema de refrigeração para retirar o calor do produto. Neste caso, o parâmetro *degree-time* (DT), que representa a energia recebida e gerada pelo produto após a colheita em função do tempo, pode ser utilizado como um indicador quantitativo.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho consiste no desenvolvimento de uma metodologia que possibilite calcular o parâmetro *degree-time* (DT), determinando sua relação com a vida de prateleira da rúcula.

2.2. Objetivos Específicos

Avaliar a influência do método de resfriamento, tempo de espera e temperatura de estocagem no parâmetro DT e, conseqüentemente, na vida de prateleira da rúcula.

Determinar a vida de prateleira da rúcula “*in natura*”, através de análises sensoriais de cor, danos e aparência geral.

Monitorar a perda de massa do produto, com a quantificação do limite de vapor d’água liberado.

Avaliar a sensibilidade das variáveis independentes de maior efeito na vida de prateleira da rúcula.

III. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Cenário

De acordo com TONET (2002), vislumbra-se para o futuro, o auto-atendimento na compra de frutas e hortaliças, com os produtos devidamente selecionados e embalados, seja em sacos plásticos, em bandejas de poliuretano expandido, em cumbucas plásticas transparentes ou qualquer outro tipo de embalagem adequada, com o preço e o peso devidamente marcados, evitando-se, sempre que possível, a pesagem dos produtos na hora da compra. Em todos os casos, o consumidor está cada vez mais exigente e sabedor dos seus direitos como cidadão. Desta forma, a qualidade dos produtos hortifrutícolas será fundamental para o atendimento do mercado. Neste sentido, faz-se necessário a classificação dos produtos, e abre-se toda uma possibilidade para o desenvolvimento e implementação da tecnologia pós-colheita de frutas e hortaliças como, por exemplo, a utilização de ceras, fitohormônios, desenvolvimento de embalagens, sistemas de conservação, etc.

Além das perdas ocorridas em feiras, supermercados, restaurantes e casas, ocorre a perda do alimento em decorrência de danos causados por embalagens, transporte, armazenamento, carga e descarga e manuseio inadequado. Dados da Empresa Metropolitana de Planejamento da Grande São Paulo (EMPLASA, 2002) revelam que só na Ceagesp são vendidas 10 mil toneladas de alimentos todos os dias, que movimentam US\$ 5 milhões e abastecem 60% da região metropolitana. Desse total, cerca de 100 toneladas acabam sendo "danificadas" e desta parte apenas 20% é aproveitável sendo levada para 300 entidades cadastradas e o restante destinado ao lixo ou transformado em ração. Nas 950 feiras livres da cidade, 1.032 toneladas são desperdiçadas diariamente. Desse total, 80% poderiam ser reaproveitadas. Nos supermercados, as perdas chegam a 13 mil toneladas por ano. Em restaurantes, o desperdício é de 7 a 8 toneladas diárias. Somam-se a isso a quantidade perdida

nos “sacolões”, que atingiram 156.566 kg em fevereiro de 2001. Nos mercados municipais, de 1.810 toneladas de alimentos, 7,5% são desperdiçadas por mês.

A aplicação da cadeia do frio para hortaliças e frutas é uma alternativa viável no sentido de diminuir esta perda, prolongando a vida útil destes alimentos. HONORIO (1992) cita que não existe temperatura ideal padrão para o armazenamento de todas as frutas e hortaliças, sendo um estudo específico necessário para cada caso. No caso em que a fruta ou hortaliça não sofre injúria pelo frio, obtém-se vida de prateleira máxima quando armazenadas próximas à temperatura de congelamento do tecido vegetal. O controle da temperatura de armazenamento do alimento é fundamental para sua conservação, pois está diretamente relacionada à taxa de todos os processos fisiológicos e bioquímicos que ocorrem no período pós-colheita. Segundo o conceito clássico e simplificado do efeito da temperatura sobre processos bioquímicos, cada acréscimo de 10°C acarreta a duplicação na velocidade das reações.

3.2. Rúcula

A rúcula ou pinhão é uma hortaliça da família *Cruciferae* que recebe o nome científico *Eruca sativa* Miller. Ela possui vários nomes em diferentes línguas, como por exemplo: “euzomom” em grego e “gargir” em hebraico. Em francês é “roquette” e “rocket” ou “arugula” em inglês. Segundo YANIV et al. (1998), a rúcula foi mencionada na Bíblia como “oroth”.

De acordo com MURAYAMA (1977), a rúcula é uma hortaliça cujas folhas tenras são consumidas como salada. É uma planta anual, baixa, com folhas relativamente espessas e muito recortadas. O limbo é verde-claro e as nervuras, verde-arrouxeado-claras.

Ainda conforme MURAYAMA (1977), em boas condições culturais e no máximo desenvolvimento, antes de iniciar a formação da haste floral, a planta tem em média 12 centímetros de altura e 25 centímetros de diâmetro da projeção

horizontal. O número médio de folhas por planta é 28. No planalto do Estado de São Paulo, pode ser semeada de março a setembro, período mais fresco do ano. O ciclo desta cultura varia de 40 a 60 dias.

Originária do sul da Europa e da parte ocidental da Ásia, no Brasil a rúcula é um vegetal bastante consumido especialmente nas regiões Sul e Sudeste. É utilizada principalmente na forma crua (salada) e ultimamente é notado o crescimento do seu consumo em alguns pratos específicos, como em pizzas, molhos para macarrão e acompanhamento de churrascos.

De acordo com SAVIO & MYERS (1990), atualmente a rúcula é muito popular na Itália, Espanha, Grécia e Egito, e começa a conquistar mercado nos Estados Unidos. Na Índia, a rúcula é cultivada objetivando a extração do óleo das sementes e, curiosamente, as folhas não são utilizadas.

Conforme ORST (2002), a rúcula é extremamente perecível e necessita ser manuseada delicadamente e comercializada rapidamente. É recomendável resfriar imediatamente este produto, preferencialmente através do método com água gelada (“*hydrocooling*”) ou a vácuo (“*vacuum cooling*”), mantendo-o, posteriormente, à temperatura de 0°C em ambiente com umidade relativa em torno de 93%.

3.2.1. Outras hortaliças

Como há uma grande carência de trabalhos científicos sobre esta hortaliça, optou-se por citar estudos envolvendo culturas com características morfológicas semelhantes à da rúcula, como a alface (*Lactuca sativa* L.). Desta forma, espera-se obter fundamentos visando ao desenvolvimento do presente projeto.

HARDENBURG et al. (1986) citam que alfaces devem ser resfriadas prontamente após a colheita até a temperatura de 1°C e estocadas a 0°C em 98 a 100% de umidade relativa. Alfaces são muito perecíveis e se deterioram

rapidamente com a temperatura. A taxa de respiração aumenta vertiginosamente enquanto seu tempo de vida diminui drasticamente, quando a temperatura de estocagem aumenta de 0 para 25°C. A 0°C, a alface pode manter boas características por 2 a 3 semanas, tempo este dependente da maturidade, qualidade e condições do plantio e da colheita. A vida de estocagem pode diminuir pela metade quando a temperatura aumenta de 0 para 3°C.

LÓPEZ et al. (1996) estudaram a qualidade visual de diversas variedades de alface (*capitata* L., *longifolia* Lam. e *crispa* L.) processadas minimamente, estocadas em atmosfera controlada e a 5°C por 16 dias. Constataram que a combinação da baixa temperatura à atmosfera controlada contribuiu para a manutenção da qualidade das alfaces durante este período. O aparecimento de manchas avermelhadas foi observado, porém, na maioria dos experimentos, o fator que mais contribuiu para a queda da qualidade visual foi o escurecimento ("*browning*"), tanto da superfície como das extremidades das folhas. As características visuais acompanhadas foram classificadas com conceitos variando de 1 (inaceitável) a 9 (excelente).

DELAQUIS et al. (1999) estudaram o tratamento de folhas de alfaces picadas, lavadas com água quente e clorada, seguido de embalagem e resfriamento até $1 \pm 1^\circ\text{C}$. Seus estudos indicaram que o crescimento bacteriano foi retardado por vários dias em alfaces lavadas por 3 minutos com água a 47°C contendo 100 µg/ml de cloro. Além disso, o escurecimento foi retardado até o final do tempo de estocagem estudado, que foi de 7 dias.

FOURNIER & VANDIOVET (1983) citam a importância da temperatura de estocagem na vida de prateleira de alfaces. Estocadas a 1°C podem durar até 10 dias, enquanto que a 20°C seu tempo de vida é reduzido para apenas 1 dia. Outro dado importante é o tempo de espera para o resfriamento pós-colheita. Aumentando-se a agilidade de aplicação de um processo de resfriamento de alface à temperatura ambiente de 2°C, de 12 para 0 horas após a colheita, pode-se prolongar a qualidade aceitável para venda de 2 para 8 dias (**Figura 1**).

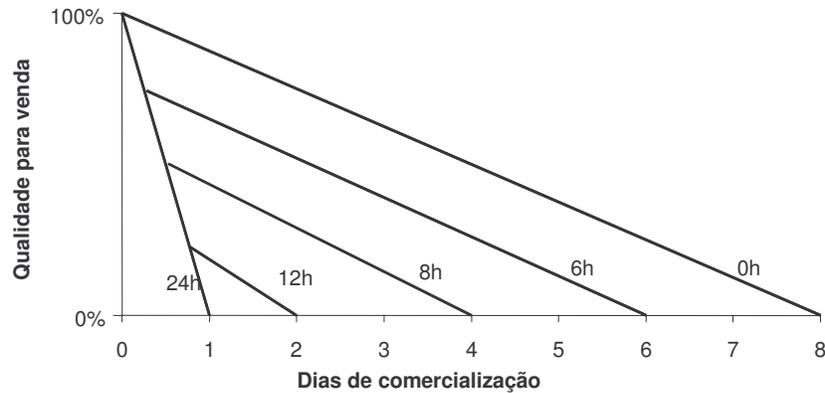


Figura 1. Perda da qualidade de alfaces resfriadas a 2°C - dias de comercialização de alfaces crespa, em função do tempo de espera (0 h, 6 h, 8 h, 12 h e 24 h) para resfriá-las. Colheita: 100%; Limite para a venda: 0% (FOURNIER & VANDIOVET, 1983).

3.3. Colheita

Segundo THOMPSON et al. (1986), o objetivo da colheita é retirar um produto agrícola do seu local de produção com a qualidade necessária para atender o mercado, com um mínimo de danos, tão rápido quanto possível e a um custo mínimo.

De acordo com SIGRIST (1998), no momento da colheita de produtos hortícolas perecíveis, a maturidade destes desempenha um importante papel no modo em que são manuseados, transportados e comercializados, bem como em seus períodos de armazenamento.

Conforme HARDENBURG et al. (1986), todo produto hortícola colhido deve ser removido do campo, de maneira rápida e cuidadosa, para um local coberto e protegido, de preferência uma unidade de beneficiamento (fixa ou móvel), onde poderá ser manuseado e tratado em suas diversas etapas, de acordo com as características de cada produto, todavia longe dos raios solares diretos e altas temperaturas existentes no campo de colheita.

CHITARRA & CHITARRA (1990) afirmam que os cuidados devem ser iniciados no campo ou no local de produção, prolongando-se até a etapa final do consumo. Durante a colheita, muitas perdas podem ser consideravelmente reduzidas pela correta aplicação de práticas recomendadas e de manuseio. Diferentes fatores devem ser considerados, tais como o estágio de maturação do produto, o período do dia para realização da colheita, o manuseio adequado de utensílios, tipos e cuidados necessários com recipientes sanitizados, bem como o uso de técnicas adequadas para o resfriamento do produto, classificação e armazenamento.

3.4. Comercialização

CHITARRA & CHITARRA (1990) afirmam que a qualidade de frutos e hortaliças na fase pós-colheita depende grandemente da tecnologia utilizada na cadeia da comercialização. A seleção da tecnologia é função do tipo de destino do produto. A comercialização e a produção não podem ser consideradas isoladamente. A proteção do produto deve começar no campo, isto é, imediatamente após a colheita, e continuar até que os produtos sejam consumidos através da aplicação correta de práticas recomendadas para a colheita e manuseio.

Ainda de acordo com CHITARRA & CHITARRA (1990), as manipulações pós-colheita podem afetar as transformações metabólicas e os compostos químicos já presentes no produto, portanto qualquer dano no produto irá gerar qualidade pós-colheita insatisfatória, afetando, assim, sua comercialização.

Conforme BLEINROTH (1992), o produto agrícola, seja qual for, é caracterizado por uma série de atributos quantitativos e/ou qualitativos. Os quantitativos se referem a tamanho e massa. Os qualitativos dizem respeito à forma, turbidez, coloração natural, grau de maturação, sinais de danos mecânicos, fisiológicos, de pragas, presença de resíduos de produtos químicos e sujidades.

3.5. Efeitos da Temperatura

HARDENBURG et al. (1986) afirmam que a deterioração de frutas somente pode ser retardada por baixa temperatura durante o armazenamento, assegurada também no transporte e durante a comercialização.

De acordo com GAST & FLORES (1991), as atividades metabólicas dos produtos hortícolas produzem calor e o objetivo das condições ótimas de estocagem é reduzir estas atividades. A diferença entre a temperatura do produto recentemente colhido e a temperatura ótima de estocagem é o indicador de calor sensível, e a quantidade de calor produzido pelo produto é governada pela temperatura à qual ele está exposto.

Segundo LEAL & CORTEZ (1998), a temperatura é considerada o fator ambiental mais importante na conservação de frutas e hortaliças, uma vez que afeta diretamente os processos naturais de respiração (que gera carga térmica proporcionalmente), transpiração e outros aspectos fisiológicos dos produtos hortícolas. A cada 10°C de aumento na temperatura do produto provoca um acréscimo de duas a três vezes na velocidade de deterioração dos produtos e, conseqüentemente, na redução da vida útil. Por ser um fator controlável, a maioria dos métodos de conservação está vinculada à utilização de baixas temperaturas.

HARDENBURG et al. (1986) relataram que a alface respira 3 vezes mais rápido a 10°C do que a 0°C, e de 2 a 3 vezes mais rápido a 20°C do que a 10°C. Quanto maior a taxa de respiração, maior será a quantidade de calor gerado, pois, durante o processo de respiração, é liberada energia na forma de calor e esta incrementa com o aumento da temperatura, sendo que o retardamento deste processo se torna de extrema importância e pode ser obtido através da refrigeração. Este calor faz parte da carga de refrigeração e deve ser considerado no manuseio de frutas, hortaliças e flores de corte, destinadas à armazenagem frigorificada.

A baixa temperatura também é importante para inibir o desenvolvimento de microrganismos que possam comprometer a qualidade do produto após a colheita. De acordo com CANTWELL (1992), temperaturas superiores a 5°C, associadas a altas umidades relativas e baixos níveis de O₂, no interior da embalagem, favorecem o risco de bactérias patogênicas ao homem, principalmente as dos gêneros *Clostridium*, *Yersinia* e *Listeria*.

3.6. Efeitos da Umidade Relativa

Segundo HARDENBURG et al. (1986), como a maioria das frutas e hortaliças possui entre 80 e 95% de água (em relação à massa) e a umidade relativa dos espaços intercelulares é muito próxima de 100%, a tendência é quase sempre do vapor d'água escapar destes espaços, através do processo de transpiração. Este processo ocorre porque a umidade relativa do ambiente externo onde se encontram é freqüentemente menor que 100%. E, quanto maior a relação superfície/volume, maior a taxa de transpiração da fruta ou hortaliça.

Considerando que a perda de água do produto é proporcional à diferença da pressão de vapor de água entre o produto e o meio (ar), e o tempo de exposição do produto, de acordo com LEAL & CORTEZ (1998), o elemento tempo pode ser reduzido se o resfriamento for rápido ou tão rápido quanto possível. A evaporação após o resfriamento pode ser reduzida usando-se uma baixa velocidade de ar que irá prevenir o aumento de temperatura e evaporação de água do produto para o ar imediatamente próximo ao mesmo. Por isso, é necessário controlar a umidade do ar na câmara em níveis elevados.

NEVES FILHO (2002) explica que, do ponto de vista da perda de massa, a umidade relativa deveria ser alta, porém próxima à saturação poderia permitir a presença de fungos, mofo e bactérias. Já baixas temperaturas reduzem a atividade metabólica de frutas e hortaliças assim como a ação de tais agentes.

Evidentemente, cada variedade exige uma temperatura ótima, levando-se em conta a ocorrência de desordens patológicas e fisiológicas.

3.7. Respiração e Transpiração

CHITARRA & CHITARRA (1990) afirmam que, após a colheita das frutas, a respiração se torna o principal processo fisiológico, uma vez que esse não depende mais da absorção de água e minerais realizados pelas raízes, da condução de nutrientes pelo sistema vascular, nem da atividade fotossintética das folhas da planta mãe. Portanto, depois da colheita as frutas têm vida independente e utilizam, para tal, suas próprias reservas de substratos, acumuladas durante o seu crescimento e maturação, com conseqüente depressão progressiva nas reservas de matéria seca acumulada. A respiração resulta em modificações profundas, podendo ser indesejáveis sob o ponto de vista da qualidade. Em condições não controladas, essas mudanças podem levar rapidamente à senescência, o que torna os tecidos muito suscetíveis ao ataque de microrganismos e à perda de água. Assim, o controle da respiração passa a ser condição essencial para a obtenção de condições adequadas de armazenamento de produtos perecíveis.

Segundo NEVES FILHO et al. (1997), frutas e hortaliças são organismos vivos que continuam com processos metabólicos mesmo após a colheita e, dependendo do estágio de desenvolvimento do produto, ocorrem variações metabólicas, bem como alterações físicas e químicas na estrutura dos vegetais. Um fator crítico que afeta a estocagem frigorificada é a temperatura, e sua redução implica na diminuição da respiração, prolongando seu tempo de estocagem.

Conforme CHITARRA & CHITARRA (1990), o processo da respiração está associado ao da transpiração, principal fator responsável pela perda de massa. A perda de água por transpiração é relativamente alta, afetando a aparência e a

aceitabilidade do produto como alimento, podendo ter substancial importância na comercialização, onde usualmente são referidas como murchamento. Perdas na ordem de 3 a 6 % são suficientes para causar um declínio marcante na qualidade, porém, alguns produtos são ainda comerciáveis com 10 % de perda de água. Quanto mais seco o ambiente de estocagem, maior será a perda de massa do produto. Os produtos perecíveis, mesmo quando colocados em condições ideais, sofrem alguma perda de massa durante a estocagem, devido ao efeito combinado da respiração e da transpiração.

De acordo com HONORIO (1998), a perda de água pelo produto também aumenta à medida que a temperatura do ar ambiente aumenta. Assim, na maioria das vezes, a perda de água do produto acontecerá sempre que houver diferença de pressão de vapor entre o produto e o ar ambiente. Para se reduzir a perda de água do produto, recomenda-se elevar a umidade do ar do ambiente, reduzir a temperatura do produto, adequar a velocidade do ar ambiente e utilizar embalagem adequada e coberturas sintéticas ou naturais sobre o produto.

EDEOGU et al. (1997) verificaram que, para a alface, a perda de massa durante o resfriamento rápido com ar forçado é maior do que com resfriamento lento em câmara frigorífica.

GAFFNEY et al. (1985) confirmam que a taxa de perda d'água é um dos fatores que mais afetam a qualidade do produto e, quando excessiva, interfere na aparência e na textura dos mesmos.

3.8. Embalagem

MITCHELL (1992) explica que as embalagens para produtos hortícolas devem ter algumas características, como proteção contra danos mecânicos, dimensões adequadas para movimentação com paletes e devem ser resistentes a ambientes úmidos (próximos à saturação ou até molhados). Devem também permitir um resfriamento rápido do produto, facilidade de visualização das frutas,

além de constituírem mais um atrativo para o consumidor a se interessar pelo produto.

De acordo com BAIRD et al. (1988), um dos critérios mais importantes para se obter um resfriamento rápido é a utilização de aberturas para a ventilação, adequadamente dimensionadas e localizadas. Se uma abertura, superior a 10%, for fornecida à caixa de papelão, de forma a se obter uma boa circulação de ar através dos interstícios do produto, as taxas de resfriamento se aproximam daquelas obtidas quando o produto está à granel.

Segundo LEAL & CORTEZ (1998), é importante usar embalagens que tenham como mínimo entre 5 a 10% de sua área externa com aberturas para ventilação e que esta esteja corretamente distribuída para garantir a uniformidade do resfriamento. O ar frio deve incidir perpendicularmente na área de maior porcentagem de aberturas.

3.9. Resfriamento a Ar (Em Câmara Frigorífica)

Segundo CORTEZ et al. (2002), a principal vantagem deste sistema é que o produto pode ser resfriado e armazenado na mesma câmara, sem necessidade de ser transferido. Isto reduz o manuseio do produto, o que é benéfico.

Ainda conforme CORTEZ et al. (2002), há algumas desvantagens nesse sistema. A primeira é que o processo de resfriamento é muito lento para a maioria dos produtos hortícolas e isso também traz como consequência um aumento da deterioração, particularmente grave para produtos perecíveis. Segunda, este método requer mais espaço que o usualmente requerido para uma boa armazenagem e, terceira, pode resultar numa perda de água excessiva do produto.

De acordo com LEAL & CORTEZ (1998), neste processo, uma câmara frigorífica de estocagem é utilizada para o resfriamento do produto alimentício. O

produto é disposto em seu interior, de modo a permitir a circulação de ar entre as caixas e paletes. Apesar de apresentar menor manipulação do produto em relação à utilização do túnel californiano (resfriamento rápido por ar forçado), permite baixa taxa de resfriamento mesmo quando utilizadas velocidades mais altas do ar, desta forma, para grandes cargas pode haver uma parte do produto fria e outra quente, podendo ocorrer condensação. Produtos altamente perecíveis podem deteriorar-se sensivelmente durante o período requerido para resfriá-los, portanto devem ser empregados métodos de resfriamento mais rápidos. Segundo HARDENBURG et al. (1986), os melhores resultados foram obtidos na presença de ar frio suficiente para suprir todo o espaço da câmara, numa velocidade de 60 a 120 m/min entre os contentores. Este método pode requerer um tempo de 18 a 24 horas, ou até mais.

LEAL & CORTEZ (1998) afirmam que neste sistema, o ar frio que sai do evaporador entra pela parte superior do ambiente, sob o teto, e move-se horizontalmente sobre o produto, embalado ou não, retornando ao evaporador através do produto, por um caminho que lhe cause a menor resistência possível (**Figura 2**).

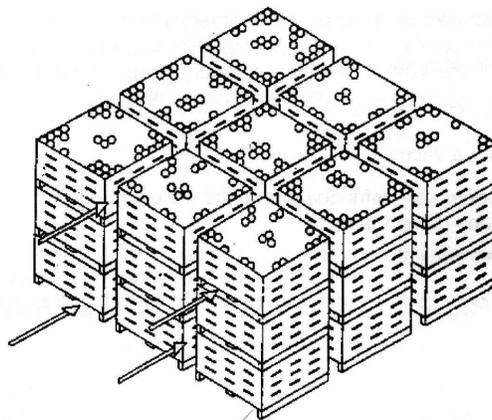


Figura 2. Circulação do ar para um sistema de câmaras frias (LEAL & CORTEZ, 1998).

Segundo SPAGNOL & SIGRIST (1992), a utilização de câmaras é o método mais antigo e convencional para o resfriamento de produtos perecíveis, entretanto, com o desenvolvimento de meios mais rápidos e eficientes, está se tornando obsoleto para a maioria das aplicações.

3.10. Resfriamento Rápido (“Precooling”)

AFONSO (2000), utilizou o termo “resfriamento rápido” ao invés de pré-resfriamento, tradução direta de “*precooling*”, pelo fato de que o objetivo principal do seu processo foi a remoção rápida do calor do produto até a temperatura de estocagem para a distribuição.

Segundo HARDENBURG et al. (1986), o resfriamento rápido refere-se à remoção imediata do calor de campo de produtos agrícolas após a colheita, antes do transporte, da estocagem ou do processamento. Este processo é considerado essencial para a grande maioria das hortaliças perecíveis. Devidamente realizado, reduz o crescimento microbiano e retarda a perda de qualidade do produto após a colheita. O resfriamento imediato é o primeiro passo para o controle de temperatura do produto, e o atraso na aplicação desta tecnologia leva a um processo acelerado de deterioração do alimento.

Alguns parâmetros são comumente utilizados nestes estudos, como o termo *tempo de meio-resfriamento*, que é o tempo necessário para reduzir pela metade a diferença de temperatura entre o produto e o meio. De maneira prática, conforme LEAL & CORTEZ (1998), se uma carga de pêssago leva 4 horas para ser resfriada de 20 a 10°C, levará outras 4 horas para chegar a 5°C, outras 4 horas para chegar a 2,5°C e assim por diante. Essa redução ocorre de forma inversa e logarítmica, isto é, há uma queda acentuada da temperatura inicial até a metade desta diferença e bem menos acentuada à medida que a temperatura do produto se aproxima da temperatura do meio de refrigeração (**Figura 3**).

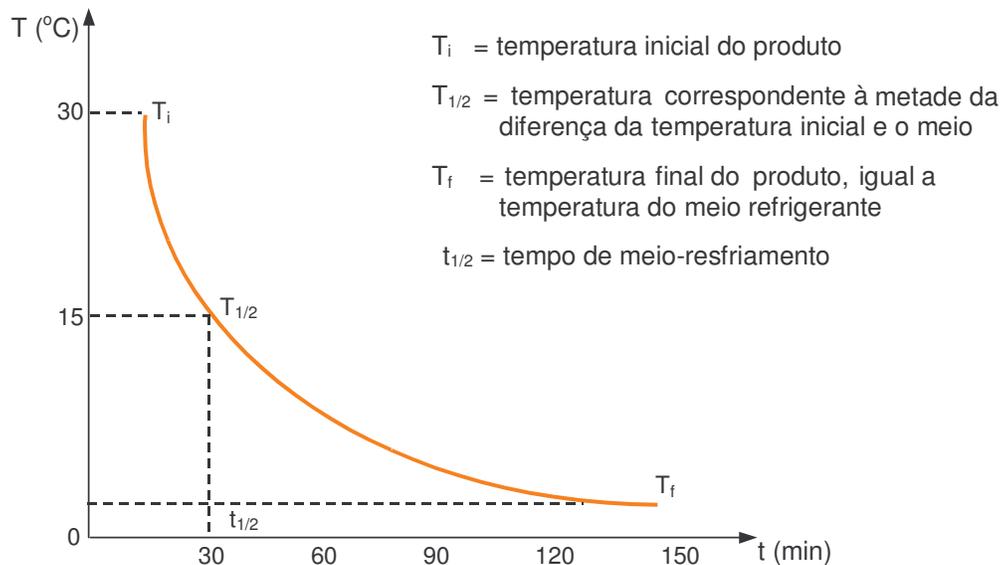


Figura 3. Gráfico ilustrativo do resfriamento dos produtos hortícolas.

Nos dados apresentados por HALL (1972), citados por NEVES FILHO et al. (1993), foi constatado que o tempo de meio-resfriamento pelo método de produtos soltos imersos em água, chega a ser 30 vezes menor quando comparado ao método de ar em câmara (3m/s) e 4 vezes menor quando comparado ao método de ar forçado (6m/s).

De acordo com LEAL & CORTEZ (1998), existem, atualmente desenvolvidos, quatro métodos de remoção rápida do calor dos produtos hortícolas, dependendo do meio refrigerante utilizado no resfriamento rápido, além do sistema de salas ou câmaras refrigeradas (*“room cooling”*), que não é um método tão rápido de resfriamento quanto os demais, que são: resfriamento a vácuo, resfriamento com água gelada, resfriamento com ar forçado (túnel californiano) e resfriamento com gelo.

Algumas das principais características dos processos que serão utilizados neste trabalho (resfriamento a ar em câmara e túnel com ar forçado) e exemplos de suas aplicações são citadas a seguir.

3.10.1. Resfriamento rápido por ar forçado (Túnel Californiano)

Segundo SPAGNOL & SIGRIST (1992), este método de resfriamento rápido pode ser realizado em câmaras frigoríficas adaptadas para que se tenha alta circulação de ar ou através de túneis de resfriamento especialmente construídos para este fim. Este método geralmente resfria o produto com 1/4 a 1/10 do tempo necessário para o resfriamento em câmaras.

Segundo HALÁSZ et al. (1982), este método apresenta as seguintes vantagens:

- ✓ Resfriamento mais rápido, melhorando a conservação da qualidade do produto;
- ✓ Baixo investimento inicial (aproveita-se equipamento frigorífico das câmaras de estocagem);
- ✓ Evita-se o aumento da temperatura da câmara de estocagem e a condensação sobre o produto estocado.

Segundo KADER (1992) o túnel de resfriamento, também conhecido como túnel californiano, é o sistema de resfriamento com ar forçado mais utilizado. Neste método, as caixas são acondicionadas em ambos os lados do ventilador, que funciona como um exaustor, pois cria uma “pressão negativa” de ar neste corredor. Assim, o ar frio movimenta-se na câmara através das aberturas das caixas, resfriando o produto e dirigindo-se à região de menor pressão.

CORTEZ et al. (2002) afirmam que o resfriamento por ar forçado ou resfriamento sob pressão envolve um padrão definido de distribuição do produto e das embalagens de tal modo que o ar frio é forçado através do produto e das embalagens individuais, em vez de passar ao redor deles. O sucesso do uso deste método requer aberturas nas embalagens colocadas na direção de movimentação do ar frio e, conseqüentemente, uma quantidade mínima de material de

embalagem que sustente a si mesma e a quantidade de produto especificada, sem prejudicar a livre movimentação do ar através da embalagem.

Conforme HARDENBURG et al. (1986), nos métodos de resfriamento a ar pode ocorrer grande perda de água do produto, porém este problema pode ser praticamente solucionado promovendo-se umidificação do ar para a obtenção de uma umidade relativa do ar de, no mínimo, 95%.

O túnel californiano foi utilizado por ANTONIALI (2000) para o estudo do resfriamento rápido de alfaces “crespas”, que duraram 23 dias após a colheita em boas condições de comercialização. Foi concluído que este tipo de resfriamento acoplado à utilização de caixas plásticas e filmes plásticos, como forma de proteção ao produto, reduz as perdas pós-colheita desta hortaliça, minimizando as perdas dos parâmetros de qualidade e aumentando sua vida de prateleira.

3.11. Análise Sensorial

De acordo com SARANTÓPOULOS (2002), quatro tipos de hortaliças foram avaliados em embalagens com atmosfera modificada: alface americana, agrião, rúcula e escarola. A alface americana perdeu valor comercial devido ao escurecimento das nervuras e a escarola teve o fim de sua vida útil como consequência do escurecimento das bordas, já na rúcula e no agrião o fator limitante para o final da vida de prateleira foi a perda de turgescência (murchamento).

SIGRIST (2002) estudou física e tecnologicamente rúculas minimamente processadas e realizou análise sensorial com uma equipe de 10 provadores não treinados, avaliando os seguintes atributos de qualidade do produto: aparência geral (conjunto embalagem mais folhas), odor estranho (ao se abrir as embalagens), qualidade geral das folhas, murchamento, deterioração e cor. Para todos estes atributos, foi utilizada uma escala de notas de 1 a 5, podendo, o provador, utilizar notas intermediárias. De modo geral, as embalagens de sacos

plásticos de filme de polietileno de baixa densidade e sacos plásticos de filme laminado de polipropileno/polietileno foram as melhores em termos de manutenção da qualidade das rúculas minimamente processadas, até o 10º dia, quando a contagem de coliformes totais atingiu níveis bastante elevados.

No trabalho de BRENNAN & SHEWFELT (1989), entre todas as características acompanhadas: florescimento, firmeza, compactação, aroma e cor, o fator limitante para o final da vida de prateleira dos brócolis foi o florescimento.

3.12. O Parâmetro “Degree-Day”

Segundo IFAS (2001), *Degree-Day* (DD) representa o acúmulo ou soma de temperaturas acima e abaixo de uma temperatura de referência. O termo “*Degree-Day*” (DD) é mais conhecido como sendo um parâmetro das condições climáticas e está relacionado, nesta área, a um método prático para determinar temperaturas acumulativas durante uma estação. Neste caso, o DD é baseado na diferença de temperatura entre o ambiente (T_a) e a temperatura considerada confortável ao corpo humano (T_b). Segundo WEATHER (2000) a temperatura confortável ao corpo humano é 65°F (18,34°C). Cada grau acima desta temperatura de referência é contado como “*Cooling Degree Day*” ($CDD = T_a - 65^\circ\text{F}$) enquanto que cada grau abaixo define o “*Hot Degree Day*” ($HDD = 65^\circ\text{F} - T_a$). Assim sendo, num dia no qual a temperatura ambiente é 30°C, o CDD vale 11,66°C. Este cálculo é feito normalmente com a temperatura média do dia e o DD acumulativo de um período se refere ao número de graus acumulados durante um certo número de dias $\{DD = \sum_{\text{dias}} (T_b - T_a)\}$, sendo proporcional ao calor que deve ser adicionado ou removido para se atingir a temperatura de conforto humano.

O conceito de DD cumulativo tem sido também utilizado como estudo para requerimentos energéticos aplicados a indústrias e residências como nos trabalhos de BÜYÜKALACA et al. (2001) e de DURMAYAZ et al. (2000). Segundo BÜYÜKALACA et al. (2001), este método é considerado simples, porém muito

preciso para a análise energética quanto à eficiência dos equipamentos de aquecimento, ventilação e ar condicionado. Neste caso, DD cumulativo é uma medida utilizada para indicar a demanda energética para aquecer ou resfriar uma determinada edificação.

O DD também é utilizado na área de ciências biológicas, como mostra SHAROV (1998). Sendo a temperatura efetiva (T_{ef}) a diferença entre a temperatura ambiente e a temperatura mínima para o desenvolvimento de um organismo ($T_a - T_{min}$), tem-se que o termo DD é a temperatura efetiva multiplicada pelo número de dias necessários para o desenvolvimento de um organismo ($DD = T_{ef} \cdot \text{dias}$). Esta teoria parte do pressuposto de que a taxa de desenvolvimento de um organismo, o inverso do tempo de desenvolvimento ($t_d = 1/\text{tempo}$), é uma função linear da temperatura ($t_d = a + bT$), assim tem-se que $DD = 1/b$. Deste modo, sabendo-se a temperatura mínima de desenvolvimento do organismo e a função linear do desenvolvimento em função da temperatura, obtém-se o termo DD, o que faz possível o cálculo de quantos dias seria necessário para o término do desenvolvimento do organismo estudado, conforme o histórico da temperatura ambiente.

Segundo IFAS (2001), os vegetais e os animais são distintamente afetados quando a temperatura está muito alta ou muito baixa. A **Figura 4** mostra esquematicamente como seria o rendimento de uma plantação em relação às variações de temperatura durante as estações do ano. Além das lavouras possuírem temperaturas ótimas de desenvolvimento distintas, o histórico da temperatura afeta na taxa dos processos biológicos, na floração e no período de colheita. Assim sendo, o DD pode auxiliar no estudo do efeito da temperatura sobre os parâmetros de desenvolvimento e colheita da cultura.

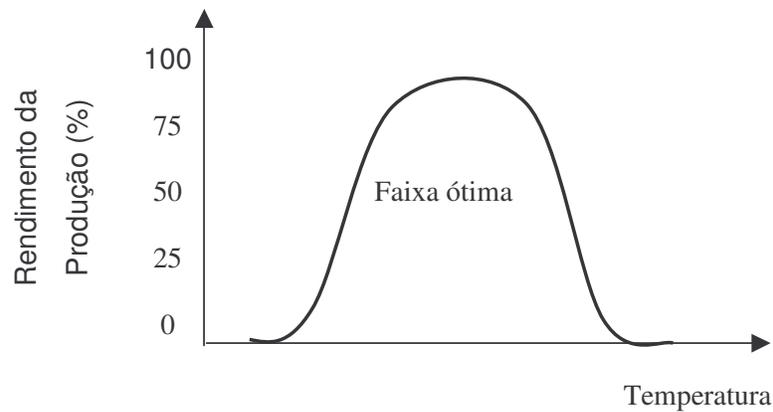


Figura 4. Esquema do rendimento de um plantio em função da temperatura (IFAS, 2001).

A aplicação do conceito DD na área de fisiologia pós-colheita ainda é pouco explorada e escassos estudos são encontrados na literatura sobre este assunto. Neste caso, o DD ou *degree-hour* (DH), denominado como unidades de calor acumuladas, vem sendo aplicado para determinar a vida de prateleira após a colheita de alimentos mais perecíveis, como frutas e hortaliças. HURST et al. (1998) relacionaram o DD com a vida de prateleira de aspargos. Neste trabalho foi constatado que a primeira parte da leguminosa a afetar o frescor do alimento é o caule, verificado visualmente por sua deterioração. Seus estudos mostraram que a formação de aspargina na extremidade do caule apresenta um aumento quadrático com o decorrer dos dias após a colheita, portanto relacionaram a quantidade de aspargina com o DH pós-colheita. Para determinar o DH necessitaram do histórico de temperatura do caule. Segundo suas pesquisas, um DH acumulado de 650°C.h não pode ser excedido para este produto correspondente a uma concentração limitante de aspargina de 400 µmol/g.

IV. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Montagem Experimental

Para a realização deste trabalho foi necessário, a partir da câmara frigorífica, construir o sistema de resfriamento rápido por ar forçado (túnel californiano) e o sistema de umidificação da câmara a fim de manter o ambiente interno com umidade controlada e elevada (em torno de 98%). Além disso, os sensores de temperatura foram calibrados e dispostos na parte interna e externa à câmara e nas folhas internas dos maços de rúcula.

4.2. Equipamentos e Acessórios da Montagem Experimental

4.2.1. Câmara acondicionadora

A câmara acondicionadora é um equipamento construído por RESENDE (2001), composto de um resistor e um pequeno sistema de resfriamento acoplados a um gabinete, possuindo como finalidade a manutenção da temperatura constante, sendo esta inferior ou superior à temperatura ambiente. Este sistema é controlado por um termostato eletrônico fabricado pela Full Gauge, modelo FG-05, com a capacidade de controlar a temperatura interna ao gabinete com amplitude de -40°C a $+40^{\circ}\text{C}$, com variação de temperatura de 1 a 5°C .

A câmara acondicionadora (**Figura 5**) utilizada foi feita em madeira compensada e revestida externamente com poliuretano expandido de 50 mm de espessura. Em relação à forma, o gabinete possui as dimensões internas de 1,05 m de comprimento, 0,60 m de largura e 0,50 m de altura, podendo comportar duas caixas de PE-AD (polietileno de alta densidade) fabricada pela Pisani, modelo CN 48, cujas medidas internas são 588 x 380 x 221 mm. O acesso ao interior é realizado por meio de duas portas e os sensores de temperatura foram

instalados através de um orifício localizado na parte superior do equipamento, corretamente vedado.



Figura 5. Câmara acondicionadora.

4.2.2. Câmara frigorífica

A câmara frigorífica utilizada para a estocagem dos maços de rúcula foi a mesma, onde o túnel californiano (túnel de ar forçado) foi instalado. Situada no Laboratório de Automação e Controle (LACPA), localizado na Faculdade de Engenharia de Alimentos/UNICAMP, em local coberto e fechado, possui dimensões aproximadas de 2,0 x 2,5 x 1,5 m, com capacidade total de 7,5 m³ (**Figura 6**). Essa câmara possui paredes revestidas de chapas metálicas isoladas termicamente com espuma rígida de poliuretano injetado. A espessura do isolante é de 100 mm. A densidade da espuma é de 38 kg/m, o coeficiente de condutividade térmica $K = 0,018 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$. A velocidade do ar próxima ao produto foi de 0,5 m/s.

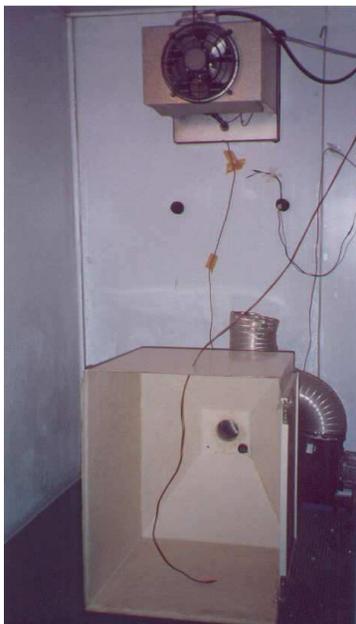


Figura 6. Vista interna da câmara frigorífica com dispositivo para ar forçado.

A iluminação da câmara é obtida por meio de uma luminária tipo tartaruga contendo uma lâmpada incandescente de 60 W de potência.

4.2.3. Sistema de refrigeração

O sistema de refrigeração da câmara frigorífica é do tipo *plug-in* da marca Kit Frigor, modelo KFN.100, com potência consumida de 1200 W, o gás refrigerante utilizado é o R22 e a tensão é de 220 V / 60 Hz. O *plug-in* possui um controlador de temperatura com precisão de $\pm 1^{\circ}\text{C}$ e o sensor de temperatura é fixado na entrada do evaporador, a fim de medir a temperatura do ar de retorno.

4.2.4. Túnel de ar forçado (Túnel Californiano)

O túnel de ar forçado utilizado no experimento foi confeccionado utilizando-se um difusor de ar fabricado em fibra de vidro e um ventilador centrífugo acoplado a um motor de indução trifásico da marca WEG, modelo 71-

586, com potência de 0,5 cv, rotação de 1710 rpm, tensão de 220 V / 60 Hz (ligado em Δ) e corrente de 2,1 A.

Funcionando como um exaustor, o ventilador promove, no interior do túnel, uma pressão inferior à pressão do ar na câmara.

O túnel de ar forçado possui a capacidade de, no máximo, três caixas plásticas, havendo a possibilidade de resfriar uma ou duas caixas com a utilização de um anteparo de madeira compensada, sendo o ar frio obrigado a incidir horizontalmente na área de maior porcentagem de aberturas. Neste experimento, foi utilizada apenas uma caixa de cada vez para resfriamento rápido (**Figura 7**).

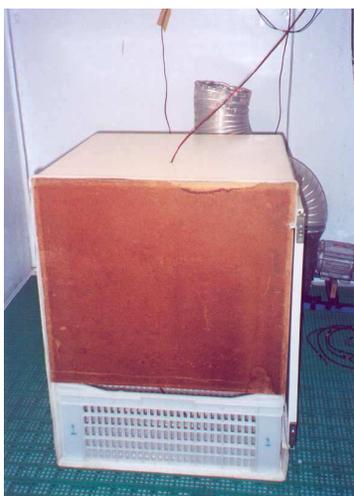


Figura 7. Túnel de ar forçado com anteparo de madeira (para 1 caixa).

Com o auxílio de um anemômetro de fio quente, foi mensurada a velocidade de aproximação do ar, sendo de 1,8 m/s quando é utilizada apenas uma caixa contendo 15 maços de rúcula.

4.2.5. Umidificador

Montou-se um dispositivo que mantivesse a umidade relativa do ambiente interno à câmara em aproximadamente 98%.

Este sistema de umidificação foi estruturado conforme a **Figura 8**.

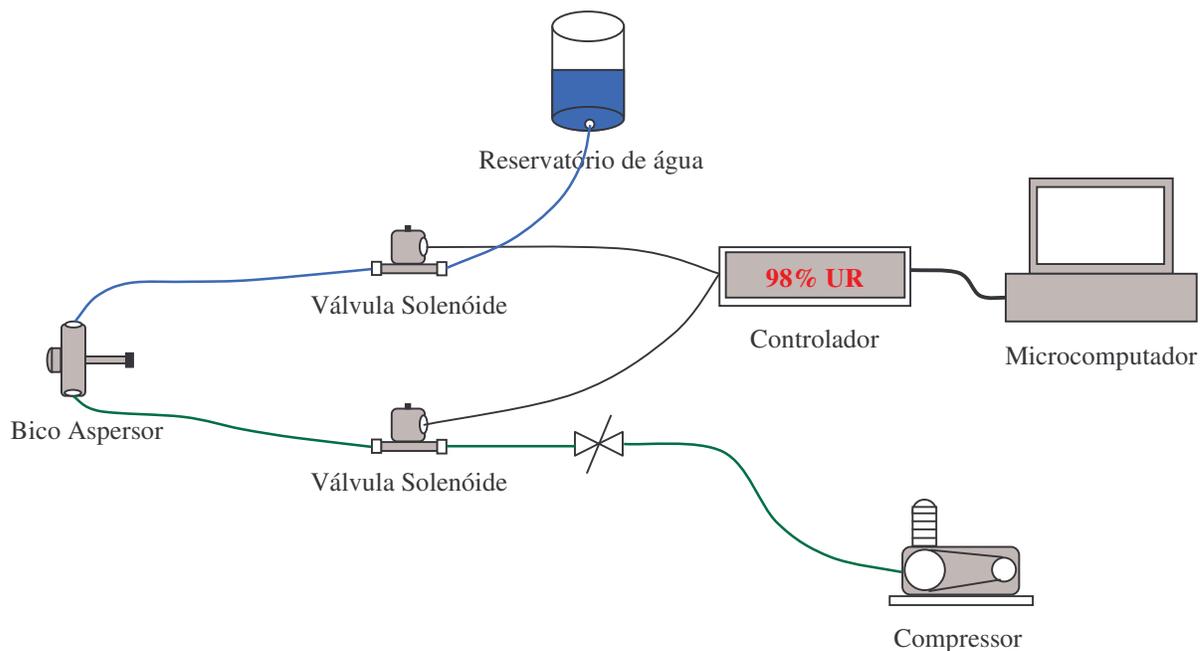


Figura 8. Esquema de montagem do sistema de umidificação da câmara frigorífica.

Um microcomputador, com o *software* “Sitrad” (Sistema Integrado de Tratamento de Dados) da Full Gauge, foi ligado ao controlador de umidade da marca Full Gauge, modelo MT- 530 plus, com a finalidade de armazenar os dados e gerar relatórios sobre o comportamento da umidade durante todo o tempo de estocagem do produto. O controlador, por sua vez, foi conectado a duas válvulas solenóides tipo agulha da marca DDR, cuja corrente é de 0,05 A, tensão 220 V / 60 Hz e capacidade de pressão igual a 2,5 MPa. Uma válvula foi ligada à linha de água, composta por um reservatório com capacidade para aproximadamente 6 litros, e a outra à linha de ar comprimido, estruturada com mangueiras blindadas. Estas duas válvulas foram ligadas em um mesmo relé do controlador, desta forma são abertas e fechadas simultaneamente. Após passar pelas válvulas, as duas linhas, de ar e água, convergem-se no bico aspersor, formando o sistema de nebulização (**Figura 9**), que deve ser minuciosamente ajustado a fim de que as

gotículas evaporem-se e não atinjam o piso e/ou as paredes da câmara frigorífica, produzindo uma névoa.

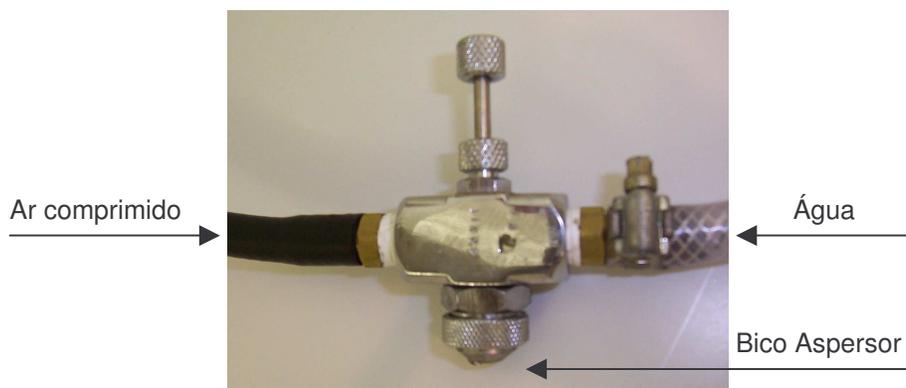


Figura 9. Sistema de nebulização.

A quantidade de água que entra no bico aspersor pode ser regulada por meio de uma válvula (agulha) localizada na parte posterior. Outra regulação que pode ser efetuada é a pressão de ar, porém isto deve ser feito ao longo da linha, através de um registro. O bico utilizado é da marca Bikos, modelo B-122, fabricado em aço inoxidável.

4.2.6. Embalagem

Na seleção da embalagem a ser utilizada nos experimentos, foi levantada a importância de se trabalhar com caixas que representassem a realidade dos produtores de hortaliças folhosas no Brasil. Além desta consideração, foram analisados outros dois aspectos relevantes no que se refere à embalagem: deve oferecer pouca resistência à passagem do ar e suporte físico adequado aos produtos acondicionados.

Baseando-se nestes fatores, foi selecionada a caixa de PE-AD (polietileno de alta densidade) fabricada pela Pisani, modelo CN 48, cujas medidas internas são 588 x 380 x 221 mm, com massa igual a 2,024 kg, apresentando aberturas no fundo e nas laterais.

4.3. Instrumentação do Sistema

4.3.1. Balança semi-analítica

Para o monitoramento diário da massa da amostra, foi utilizada uma balança semi-analítica da marca Marte, modelo AS 1000C, apresentando capacidade de carga de 1000 g, carga mínima de 0,5 g e precisão de 0,01 g.

4.3.2. Microcomputador e aquisição de dados

O microcomputador utilizado, remoto à aquisição de dados, foi um 486 com 66MHz de frequência.

A aquisição utilizada foi a HP-3852A da Hewlett-Packard. A HP possui uma comunicação com o computador através de linguagem HP-Basic e placa específica instalada no computador. A aquisição possui 8 “*slots*” para leituras de sinais, com capacidade para leitura de termopares, termorresistores, voltagem, corrente, frequência e outros. A HP-3852A possui comunicação com o microcomputador através de cabo para porta GPIB (comunicação IEEE-488).

4.3.3. Sensores de temperatura

Neste trabalho foram utilizados termopares como sensores de temperatura. Um termopar consiste de dois condutores metálicos de naturezas distintas, na forma de metais puros ou ligas homogêneas. Os fios são soldados em um extremo ao qual se dá o nome de junta quente ou junta de medição. A outra extremidade dos fios é levada ao instrumento de medição de f.e.m. (força eletromotriz), fechando um circuito elétrico por onde flui a corrente. O principal fenômeno envolvido na termoeletricidade consiste na geração de um sinal de f.e.m. devido à diferença de temperatura existente entre as duas extremidades do termopar, esse é o conhecido efeito Seebeck. Outros efeitos termoelétricos são conhecidos e aplicados na utilização dos termopares.

Foram utilizados 8 termopares tipo T (Cobre-Constantan), que têm como principais características o fornecimento de leituras com boa precisão (cerca de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$) na faixa de temperatura estudada, além de ser, dentre os diversos tipos de termopares, o mais utilizado na indústria de alimentos. Sua faixa de aplicação vai desde -184°C até 370°C .

Para a obtenção de uma curva de calibração que reproduza com maior fidelidade o comportamento dos termopares, cada termopar foi calibrado em 7 temperaturas, na faixa de $-4,2^{\circ}\text{C}$ a $50,0^{\circ}\text{C}$. Para a calibração dos termopares, foi utilizado um termômetro-padrão de mercúrio, com precisão de $0,05^{\circ}\text{C}$.

Com a finalidade de atingir e manter as temperaturas desejadas na calibração, foi utilizado um banho de circulação Ultra-Termostato Criostato, da marca Opherm.

Todos os sensores foram calibrados utilizando-se o mesmo arranjo de fios, o mesmo microcomputador e a mesma aquisição de dados que foram utilizados na câmara frigorífica durante os experimentos. Esse procedimento foi feito a fim de evitar erros de leitura das temperaturas.

Dos 8 termopares utilizados, 6 foram dispostos no interior da câmara frigorífica, dedicados a medir as temperaturas das folhas internas a um maço aleatoriamente selecionado em cada caixa. Um dos termopares foi colocado no acondicionador, para monitorar a temperatura da Testemunha (maço de rúcula não submetido ao resfriamento) e um outro termopar foi colocado no centro geométrico da câmara frigorífica, a fim de fornecer a temperatura ambiente de estocagem. O termopar dedicado a medir as temperaturas das folhas foi instalado no centro do maço de rúcula, posicionado muito próximo às superfícies das folhas, onde ocorre seu maior adensamento e a remoção do calor é dificultada. Houve o cuidado para que as folhas não fossem danificadas com a instalação do sensor de temperatura, o que causaria aumento na deterioração e, conseqüentemente, erros nas medidas das temperaturas.

A aquisição dos dados de temperatura emitidos pelos termopares foi realizada em intervalos de 2 minutos (120 segundos).

Os gráficos do ajuste linear para cada termopar estão no **Apêndice A**. Pôde-se verificar, estatisticamente, através do erro de cada regressão, a boa consistência e ajuste dos dados, com uma boa confiabilidade de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$.

4.3.4. Sensor de umidade

O sensor de umidade utilizado é do tipo eletrônico da marca Full Gauge, fornecido em conjunto com o controlador MT-530 plus.

Este sensor é um condensador cujo dielétrico é um polímero higroscópico conectado. As vantagens particulares desse tipo de sensor são uma boa linearidade de insensibilidade às variações de temperatura, respostas breves e vida longa. O sensor possui uma ausência temporária de precisão se a condensação se forma na sua superfície.

O circuito eletrônico é desenhado de tal forma que exista um aumento linear da corrente absorvida à medida que a umidade aumenta. A resistência dos fios de conexão não influencia a precisão, desde que o sinal transmitido seja uma corrente e não uma voltagem. Na presença de cabos que transmitam fortes correntes ou máquinas que provocam distúrbios eletromagnéticos, os cabos de conexão do transmissor devem ser colocados em um canal separado ou a uma certa distância de forma que os distúrbios sejam neutralizados.

A faixa de medição vai de 5% a 98% U.R., possui uma precisão de $\pm 2\%$ U.R., a influência da temperatura é negligenciável e a temperatura de operação do sensor é de -30°C a $+130^{\circ}\text{C}$.

4.3.5. Controlador de Umidade

Foi utilizado o controlador miniprocessado de temperatura e umidade da marca Full Gauge, modelo MT-530 plus, cuja tensão é de 220 VCA, corrente

máxima de 5 A por saída, possuindo uma faixa de controle de umidade relativa de 10,0 a 99,9%, com resolução de 0,1%. Este controlador apenas pode ser aplicado em ambientes onde não ocorre condensação de água.

A umidade relativa do ar interno à câmara frigorífica manteve-se em $98 \pm 2\%$, o que é considerado adequado no que se refere à conservação de hortaliças folhosas.

4.3.6. Anemômetro

Para mensurar a velocidade de aproximação do ar nas caixas plásticas contendo o produto, foi utilizado um anemômetro de fio quente, da marca Cole-Parmer, modelo 37000-64. Acoplado a este sensor, há um decodificador da mesma marca, modelo Tri-Sense 37000-00, alimentado por uma bateria de 9 V. Pode servir não apenas para medir a velocidade do ar, mas também umidade e temperatura. É constituído por um filamento metálico, de níquel, aquecido por uma corrente elétrica. Colocado numa corrente de ar, o fio vai resfriando, tanto mais quanto mais intenso e mais rápido for o fluxo de escoamento.

Sua resistência varia segundo a corrente elétrica que o percorre. A medida do valor dessa corrente dá a velocidade de escoamento do ar. Como a temperatura do fio pode variar muito rapidamente, esse tipo de anemômetro é bastante sensível, e pode acompanhar rápidas variações da velocidade de escoamento. O anemômetro de fio quente é utilizado, inclusive, para o estudo de certos fenômenos de turbulência.

O instrumento utilizado neste trabalho efetua medições de velocidade na faixa de 0,2 a 20,0 m/s, apresentando uma precisão de 0,1 m/s.

4.4. Procedimento com o Produto

Os maços de rúcula foram cuidadosamente colhidos nas primeiras horas do dia, quando as temperaturas apresentam-se mais amenas (por volta das 7 horas da manhã) com a finalidade de representar a realidade da produção de hortaliças. Os maços foram provenientes de um mesmo campo de produção, localizado no bairro Guará em Campinas, a apenas 10 km de distância da UNICAMP, a fim de se obter a maior homogeneidade possível das amostras. As rúculas foram produzidas em estufas, cultivadas em canteiros e sem sistema de irrigação. Os pés de rúcula foram colhidos e acondicionados em caixas plásticas entre 40 e 45 dias de desenvolvimento. Encaminhados ao *packing house*, foram lavados com água subterrânea (poço semi-artesiano) e agrupados em maços contendo de 3 a 5 pés. A embalagem utilizada para o acondicionamento dos maços foi um saco plástico sem fundo com pequenos orifícios, deixando as raízes e as extremidades das folhas expostas. O transporte e a estocagem foram efetuados em caixas plásticas contendo 15 maços cada, da mesma forma como é praticado no mercado.

No início dos ensaios, os maços apresentavam as seguintes características:

- ✓ Folhas inteiras e sem ferimentos;
- ✓ Ausência de danos ocasionados por microrganismos;
- ✓ Limpos, praticamente isentos de materiais estranhos visíveis;
- ✓ Desprovidos de odores estranhos;
- ✓ Coloração verde, sem indícios de amarelamento.

Foram utilizados 330 maços de rúcula (22 caixas com 15 maços cada). Como o experimento dispunha de apenas uma câmara frigorífica, os ensaios foram agrupados de acordo com a temperatura de estocagem. Tendo em vista a capacidade da câmara acondicionadora, eram recebidas, diariamente, 2 caixas do

produto. Terminados os ensaios com a mesma temperatura de estocagem, este parâmetro era reajustado e iniciava-se o recebimento de novas caixas do produto.

Imediatamente após a chegada dos maços de rúcula ao laboratório, estes eram dispostos na câmara acondicionadora, onde permaneciam a 17 – 20°C e 65 – 75% de umidade relativa, durante o tempo de espera pré-determinado para cada ensaio. Transcorrido este período, o produto era transferido para a câmara frigorífica; ou no Túnel Californiano, para o resfriamento rápido, ou diretamente em uma estante, para a estocagem frigorificada.

No centro da câmara frigorífica foi instalado o Túnel Californiano (ar forçado). Após o tempo sete-oitavos de resfriamento, tempo necessário para resfriar o produto $7/8$ da diferença entre a temperatura inicial e a temperatura média do meio de resfriamento, as caixas contendo o produto eram retiradas do túnel e posicionadas em uma estante a fim de uniformizar a circulação de ar entre elas.

No dia do recebimento do produto, eram realizadas amostragens para avaliação da qualidade, para isso eram efetuadas análises sensoriais de cor, danos (físicos, microbiológicos e causados pelo frio) e aparência geral.

4.5. Análise Sensorial

Foram realizadas amostragens de produto a cada ensaio para as avaliações sensoriais com a periodicidade diária, a partir do segundo dia de estocagem, para a determinação da vida de prateleira do produto.

Desta forma, era amostrado, aleatoriamente, um maço de rúcula por ensaio para ser submetido à análise sensorial, que era realizada sempre às 13:30 h, com duração de 30 minutos, a fim de determinar o período exato de 24 h (1 dia) entre as análises e aproveitar a maior disponibilidade dos provadores (após o almoço e antes do expediente vespertino). Uma equipe de 20 provadores (STONE

& SIDEL, 1985) não-treinados avaliou a aparência geral e opinou sobre a possibilidade de compra do produto (aceitação do consumidor).

No momento da análise sensorial, as amostras, codificadas com três dígitos aleatórios, eram dispostas sobre uma superfície branca e em ambiente com boa iluminação do tipo fluorescente (luz do dia).

Na Ficha de Análise Sensorial (**Apêndice B**), o provador atribuía notas de 1 a 9 para aparência geral (PERYAM & GIRARDOT, 1952) e indicava a possibilidade de compra (5 opções). A perda de qualidade do produto para a venda ocorria no momento em que a média das notas de aparência geral fosse inferior a 5, ou a maioria dos provadores declarasse que possivelmente ou certamente não compraria o produto.

Tendo em vista a grande quantidade de análises sensoriais exigidas para o desenvolvimento deste trabalho (aproximadamente 42 análises) e, por conseqüência, a necessidade da assiduidade de um considerável número de provadores (20 por dia), julgou-se adequada a confecção de uma Ficha de Análise Sensorial simples e objetiva, possuindo a finalidade de determinar a perda de qualidade do produto para a comercialização. Portanto, atributos de qualidade que demandam pessoas com determinado nível de treinamento, como ocorrência de danos (físicos, microbiológicos e causados pelo frio) e modificação na coloração das folhas, foram realizados por um provador portador de conhecimentos na área de fisiologia vegetal.

A ocorrência de danos e a coloração das folhas eram avaliadas por um escala de 1 a 5, conforme **Tabela 1**.

Tabela 1. Legenda para cor e ocorrência de danos nas folhas.

Nota	Cor da Folha	Ocorrência de Danos
1	Verde	Ausente
2	Verde-clara	Leve
3	Verde-amarelada	Moderada
4	Amarela-esverdeada	Intensa
5	Amarela	Muito intensa

4.6. Perda de Massa

No início de cada ensaio, era selecionado um maço de rúcula para efetuar o controle de massa, sendo a pesagem realizada sempre às 13:30h, imediatamente antes ao início da análise sensorial, a fim de determinar o período exato de 24h (1 dia) entre as análises e aproveitar a abertura da porta da câmara frigorífica para a retirada dos maços destinados à análise sensorial.

4.7. Planejamento dos Experimentos

Em processos multivariáveis é importante determinar as influências de cada variável do processo sobre as respostas de interesse. Dentre os métodos de planejamento experimental tem-se o planejamento fatorial com a análise de superfície de resposta. Este planejamento permite a realização de vários experimentos ao mesmo tempo, combinando as diferentes variáveis operacionais passíveis de modificações. As modificações são feitas dentro das faixas de operação pré-selecionadas para a realização de um número de ensaios, estatisticamente suficientes, a fim de que os efeitos (individuais e de interações entre as variáveis) sobre as variáveis-resposta em observação sejam avaliados.

Foram efetuados planejamentos experimentais fatoriais completos e análise por superfície de resposta, com a finalidade de analisar e quantificar as influências de cada variável sobre o processo. Para a análise estatística dos resultados experimentais foi utilizado o *software* Statistica, versão 5.0.

4.7.1. Planejamento Fatorial Completo (PFCC)

O planejamento de ensaios foi realizado baseado na metodologia do planejamento fatorial composto central (PFCC) de BARROS NETO et al. (1996). O planejamento de ensaios consiste em combinar as diferentes variáveis operacionais, passíveis de alterações, dentro das faixas pré-selecionadas (entre o nível inferior [-1] e o nível superior [+1]), para a realização de um número de

ensaios, estatisticamente suficiente para que os efeitos, tanto os individuais quanto os de interações entre as variáveis operacionais (independentes), sobre as variáveis-resposta (dependentes) em observação, sejam avaliados. A seleção dos níveis (-1 e +1) de cada variável independente é realizada de acordo com as possíveis condições de processos e dos parâmetros estudados. A quantidade de ensaios de um PFCC de dois níveis é estimada em $2^E + 2E + C$ ensaios, que gera uma função objetivo de segunda ordem, onde “E” é a quantidade de variáveis independentes. Para análise das interações de primeira ordem realiza-se a quantidade de ensaios 2^E nos quais as variáveis valem -1 ou +1. A quantidade $2E$ de ensaios refere-se aos pontos axiais, com uma amplitude de $-\alpha$ ou $+\alpha$, as quais valem $\pm 2^{E/4}$ e que complementa o planejamento para obter uma função de 2ª ordem. A quantidade “C” refere-se aos ensaios na condição central, ou nível “0”. É aconselhável um mínimo de 3 ensaios na condição central. Os níveis -1 e +1 são os valores intermediários, enquanto “ $-\alpha$ ” e “ $+\alpha$ ”, que neste caso valem, respectivamente, -1,41 e +1,41, são os mínimo e máximo assumidos por estas variáveis.

Como os métodos de resfriamento (estocagem em câmara e ar forçado) são variáveis discretas, foram realizados dois planejamentos experimentais completos com pontos centrais para cada método. Foram realizados 11 ensaios ($2^E + 2E + C$) para cada método de resfriamento, e obtidas duas funções objetivo, uma de 1ª ordem e outra de 2ª ordem. Através de uma Tabela de Análise de Variância (ANOVA) e do teste F, foi verificado se os modelos, de 1ª e 2ª ordem têm boa predição dos resultados. Os critérios para uma boa predição são: R^2 próximo de 1, a relação $F_{\text{calc}}/F_{\text{tab}} > 4$ e boa dispersão dos resíduos.

Assim, realizaram-se 11 ensaios para cada método de resfriamento, totalizando 22 ensaios.

A temperatura inicial dos maços de rúcula foi fixada entre 17 e 20°C, obtida por meio de uma câmara condicionadora disposta ao lado da câmara frigorífica.

A faixa da temperatura de estocagem foi entre 0 e 10°C, de acordo com a literatura (HARDENBURG *et al.*, 1986; THOMPSON *et al.*, 1986) e, observando que alguns produtores não dispõem de diversas câmaras frigoríficas, deve-se considerar a possibilidade de estocar a rúcula juntamente com outros produtos que exigem temperaturas mais elevadas de conservação. O tempo de espera, que é o tempo desde a colheita até a aplicação do método de resfriamento, variou de 0 a 8 horas. O detalhamento dos valores dos níveis utilizados no planejamento experimental é mostrado na **Tabela 2**.

Tabela 2. Níveis do PFCC a ser realizado pelos 2 métodos de resfriamento ^x.

<i>Variável independente</i>	-α	-1	0	+1	+α
<i>Temperatura de estocagem - T_e (°C)</i>	0	2	5	8	10
<i>Tempo de espera - t_e (h)</i>	0,00 (0:00 h)	1,17 (1:10 h)	4,00 (4:00 h)	6,83 (6:50 h)	8,00 (8:00 h)

^x $-\alpha$ e $+\alpha$ representam os pontos axiais e valem $-1,41$ e $+1,41$, respectivamente. $+1$ e -1 são os níveis de cada variável independente. 0 (zero) é o ponto central.

Os métodos de resfriamento promoveram a diminuição da temperatura do produto até os níveis de temperatura de estocagem propostos na **Tabela 2**, quando os produtos foram armazenados a esta mesma condição.

Uma vez que a temperatura do produto foi monitorada pela aquisição de dados, desde o acondicionamento até o final de sua vida útil, o histórico da temperatura do produto auxiliou nas avaliações das variáveis dependentes. Estas variáveis respostas do PFCC são, especificamente, o DT/DT_{test} (*degree-time/degree-time* da testemunha) e o tempo de vida de prateleira. O esquema do planejamento de ensaios, para cada método de resfriamento, foi feito de acordo com a **Tabela 3**.

Tabela 3. Esquema do planejamento de ensaios para cada método de resfriamento ^x.

Nº Ensaio		Variáveis independentes		Variáveis dependentes	
Resf. em Câmara	Resf. Túnel Californiano	X₁ t_e	X₂ T_e	Y₁ VP	Y₂ DT/DT_{test.}
1	12	+1	+1		
2	13	-1	+1		
3	14	+1	-1		
4	15	-1	-1		
5	16	0	0		
6	17	0	0		
7	18	0	0		
8	19	+ α	0		
9	20	- α	0		
10	21	0	+ α		
11	22	0	- α		

^x t_e é o tempo de espera para o resfriamento, T_e é a temperatura de estocagem, VP é a vida de prateleira e DT/DT_{test} é o *degree-time/degree-time* da testemunha.

O lote do produto foi adquirido de apenas um produtor, nas manhãs de cada dia, com cultivo protegido e mesma técnica de plantio e colheita. Inicialmente foi realizada a análise sensorial do produto recém colhido a fim de se obter as notas dos parâmetros de avaliação, como caracterização da matéria-prima.

Paralelamente aos ensaios dos lotes resfriados e estocados, foi realizado o acompanhamento de um lote de produtos como testemunha, armazenados em uma câmara acondicionadora à temperatura de 17 a 20°C. As avaliações deste lote foram análogas aos dos lotes resfriados.

4.7.1.1. DETERMINAÇÃO DAS VARIÁVEIS DEPENDENTES

✓ *Vida de Prateleira (VP)*

A vida de prateleira é determinada a partir da colheita até a perda da qualidade comercial do produto. No presente trabalho, esta variável dependente foi mensurada em “dias”.

Desta forma, a vida de prateleira foi determinada por meio da análise sensorial, quanto aos parâmetros: aparência geral e aceitação de compra.

✓ *Degree-Time (DT)*

Aplicando o conceito para a área de fisiologia pós-colheita, o DT pode ser calculado a partir do comportamento da diferença da temperatura do produto em relação à temperatura de referência em função do tempo, sendo esta temperatura de referência inferior, ou igual, à menor temperatura de estocagem pré-determinada no planejamento, desde o momento da colheita até o tempo final do processo, de acordo com a **Equação (1)**.

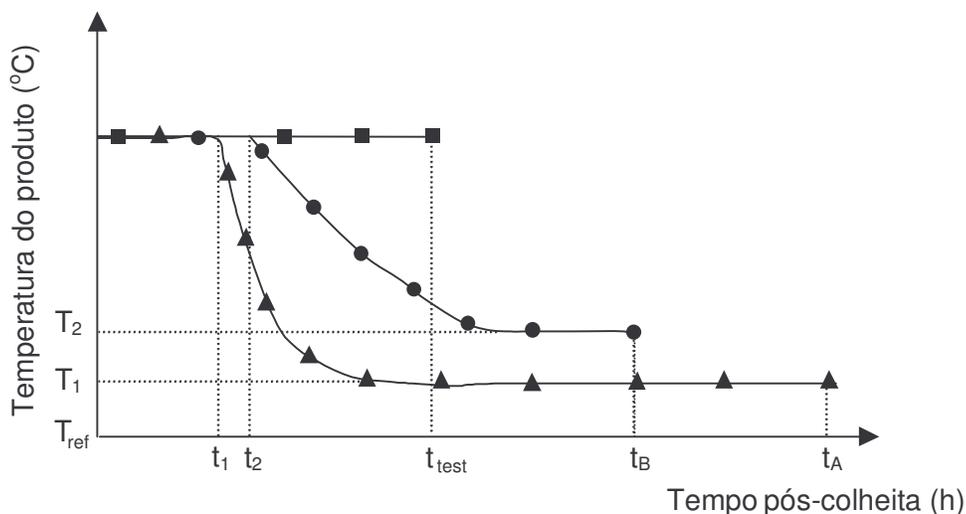
$$DT = \int_0^{t_f} (T_p - T_{ref}) dt \quad (1)$$

onde: t_f é o tempo de vida útil da testemunha (vida de prateleira da testemunha).

Para se efetuar o cálculo do parâmetro DT considerou-se a temperatura de referência igual a 0°C, ou seja, inferior à menor temperatura de estocagem (**Figura 10**). Porém, a fim de tornar esta variável dependente um índice (adimensional) e comparável à testemunha, foi considerado apenas o histórico de temperatura relativo ao tempo de vida de prateleira da testemunha (24 h) (**Equação 2**). Desta forma, quando se reduz o tempo de espera para a aplicação do método de resfriamento e o tempo de resfriamento (no caso do resfriamento rápido), o valor do DT/DT_{test} diminui e, conseqüentemente, a vida de prateleira aumenta.

$$\frac{DT}{DT_{test}} = \frac{\int_0^{t_f} (T_p - T_{ref}) dt}{\int_0^{t_f} (T_{test} - T_{ref}) dt} \quad (2)$$

onde: t_f é o tempo de vida útil da testemunha (vida de prateleira da testemunha).



- Testemunha. t_{test} (vida de prateleira).
- ▲ Resfriamento A. t_A (vida de prateleira), t_1 (tempo de espera) e T_1 (temperatura de estocagem).
- Resfriamento B. t_B (vida de prateleira), t_2 (tempo de espera) e T_2 (temperatura de estocagem).

Figura 10. Ilustração do histórico da temperatura do produto para cálculo do *degree-time/degree-time* da testemunha, com diferentes tempos de espera e métodos de resfriamento.

Como o DT_{test} será a referência para o cálculo desta variável-resposta, o valor do DT/Dt_{test} será sempre entre 0 e 1 ($0 < DT/Dt_{test} < 1$).

V. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Experimentos com Rúcula

Foi verificado, durante o experimento, que a temperatura das folhas das rúculas foi sempre ligeiramente menor que a do caule (de 0,5 a 1°C). Desta forma, decidiu-se adotar como valores de temperatura de estocagem, a temperatura das folhas. Esse critério foi adotado como segurança, a fim de evitar danos causados pelo frio aos maços de rúcula, decorrentes dos ensaios realizados a baixas temperaturas.

5.1.1. Resfriamento por estocagem em câmara frigorífica

Os resultados do planejamento proposto no **Item 4.7.1** estão dispostos na **Tabela 4**. A temperatura inicial dos maços de rúcula foi de 17 a 20°C, obtida com a utilização da câmara condicionadora.

Tabela 4. Resultados dos ensaios com resfriamento por estocagem em câmara fria ^x.

Ensaio	Variáveis independentes		Variáveis dependentes	
	Nº	t _e (h)	T _e (°C)	VP (dias)
1	6,83	8	3	0,605
2	1,17	8	4	0,458
3	6,83	2	8	0,229
4	1,17	2	9	0,173
5	4	5	5	0,402
6	4	5	5	0,402
7	4	5	5	0,402
8	8	5	4	0,521
9	0	5	6	0,288
10	4	10	3	0,618
11	4	0	11	0,130

^x t_e é o tempo de espera para o resfriamento, T_e é a temperatura de estocagem, VP é a vida de prateleira e DT/DT_{test} é o *degree-time/degree-time* da testemunha.

A **Tabela 5** apresenta os modelos empíricos obtidos, juntamente com os coeficientes de regressão e o teste F dos modelos.

No **Apêndice D, Item D.1**, pode-se visualizar a análise de variância no estudo da influência das variáveis independentes sobre as variáveis-resposta vida de prateleira e DT/DT_{test}.

Tabela 5. Modelos empíricos das variáveis-resposta dos ensaios com resfriamento por estocagem em câmara frigorífica ^x.

Modelos	Coef. de correlação (R ²)	Teste F (95%)	
		F _{calc}	F _{tab}
Vida de Prateleira (dias)			
Linear: VP = 10,44481 – 0,17668t _e – 0,88883T _e	0,93814	30,33	6,94
Quadrático: VP = 12,16369 – 0,27721t _e + 0,00799t _e ² – 1,64744T _e + 0,08335T _e ²	0,99570	346,97	4,53
DT/DT_{test}			
Linear: DT/DT _{test} = 0,034423 + 0,017933t _e + 0,055083T _e	0,96558	28,05	6,94
Quadrático: DT/DT _{test} = 0,0557 + 0,015021t _e – 0,000612t _e ² + 0,055131T _e – 0,001442T _e ² + 0,00268t _e T _e	0,98357	59,85	5,05

^x t_e é o tempo de espera para o resfriamento, T_e é a temperatura de estocagem, VP é a vida de prateleira e DT/DT_{test} é o *degree-time/degree-time* da testemunha. F_{calc} é o valor de F calculado e o F_{tab} indica o valor de F tabelado a 95% de confiança.

A análise do erro, por ensaio, dos valores preditos pelo modelo sobre os valores experimentais das variáveis-resposta, vida de prateleira e DT/DT_{test}, encontra-se no **Apêndice E, Item E.1**.

Para as duas variáveis-resposta, os modelos quadráticos apresentaram valores de correlação maiores que os lineares. Os valores dos testes F foram maiores nos modelos quadráticos, porém, tendo em vista que o valor de F calculado deve ser 4 vezes maior do que o tabelado para se obter uma boa predição dos resultados, o modelo linear também se apresentou adequado para as duas variáveis dependentes.

Além disso, é possível observar nas **Figuras 11 e 12** as relações de valores preditos pelos modelos *versus* os valores obtidos experimentalmente para os modelos linear e quadrático, para a vida de prateleira, os quais apresentam boa distribuição das dispersões. Estas curvas para a variável-resposta DT/DT_{test} podem ser visualizadas no **Apêndice C, Item C.1**. Através destas figuras pode-se verificar a melhor predição dos modelos quadráticos.

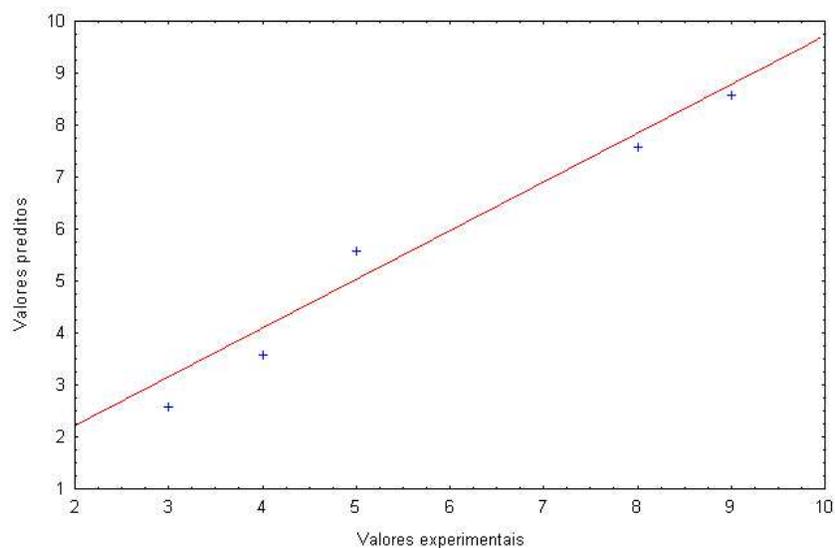


Figura 11. Valores preditos pelo modelo *linear* e valores experimentais para a variável-resposta Vida de Prateleira (em dias) com resfriamento por estocagem em câmara frigorífica.

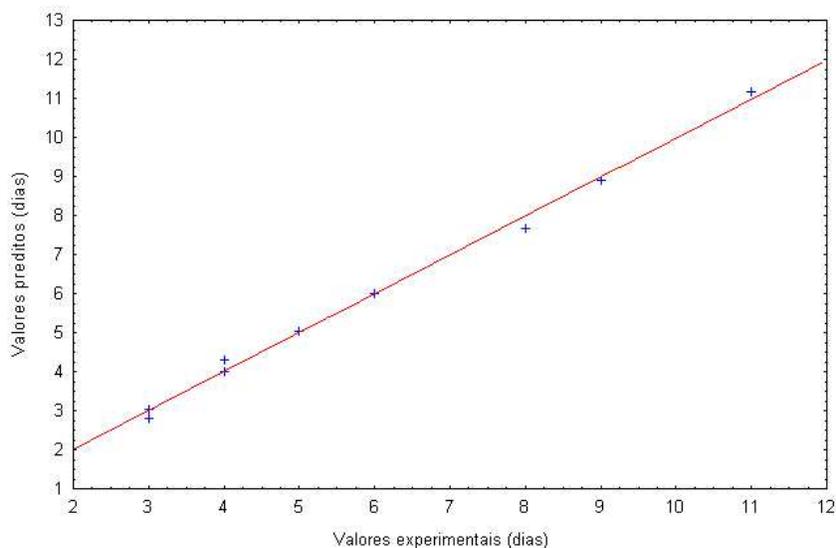


Figura 12. Valores preditos pelo modelo *quadrático* e valores experimentais para a variável-resposta Vida de Prateleira (em dias) com resfriamento por estocagem em câmara frigorífica.

Através da **Figura 13**, pode-se observar que a vida de prateleira teve maior influência da temperatura de estocagem, verificando-se que quanto menores os valores desta variável independente, maiores foram as vidas de prateleira do produto. O tempo de espera para o resfriamento também influenciou a vida de prateleira, porém em menor proporção quando comparado com a influência da temperatura de estocagem.

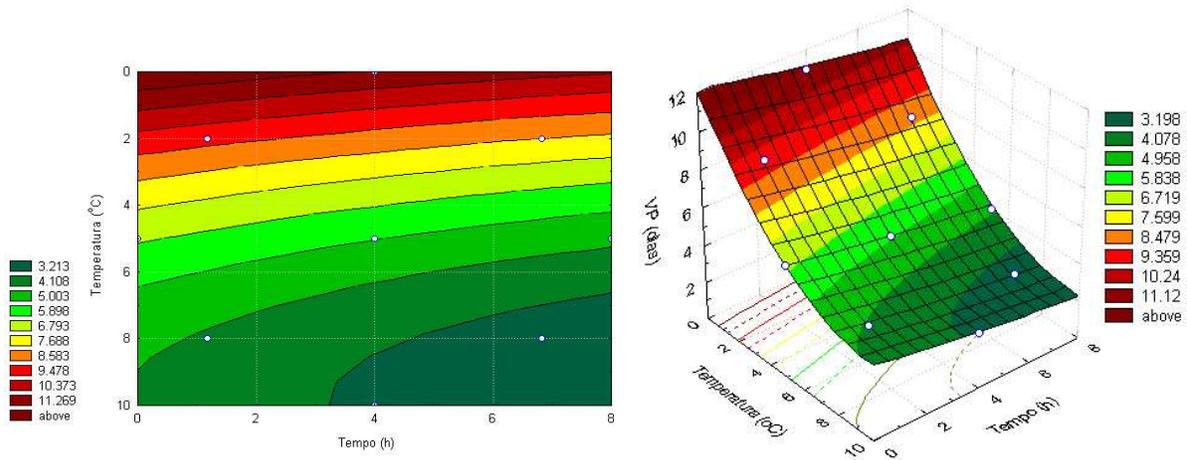


Figura 13. Superfície-Resposta para a Vida de Prateleira, em função do tempo de espera e temperatura de estocagem, do modelo empírico *quadrático* dos ensaios com resfriamento por estocagem em câmara frigorífica.

A testemunha apresentou vida de prateleira igual a 1 dia (24 h) com DT de 445°Ch.

Através da **Figura 14**, pode-se observar que o DT/DT_{test} teve maior influência da temperatura de estocagem, verificando-se que quanto maiores os valores desta variável independente, maiores foram os valores de DT/DT_{test} do produto. O tempo de espera para o resfriamento também influenciou direta e proporcionalmente os valores de DT/DT_{test} , porém em menor proporção quando comparado com a influência da temperatura de estocagem.

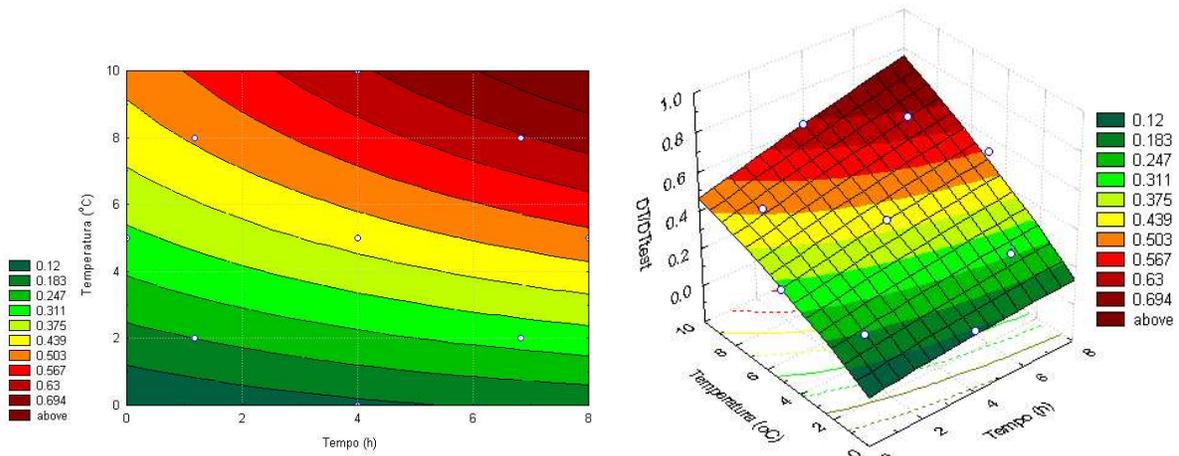


Figura 14. Superfície-Resposta para o *Degree-Time/Degree-Time* da Testemunha, em função do tempo de espera e temperatura de estocagem, do modelo empírico *quadrático* dos ensaios com resfriamento por estocagem em câmara frigorífica.

5.1.2. Resfriamento rápido por ar forçado (Túnel Californiano)

Os resultados do planejamento proposto no **Item 4.7.1** estão dispostos na **Tabela 6**. A temperatura inicial dos maços de rúcula foi de 17 a 20°C, obtida com a utilização de uma câmara condicionadora.

Tabela 6. Resultados dos ensaios com resfriamento rápido por ar forçado ^x.

Ensaio	Variáveis independentes		Variáveis dependentes	
	Nº	t _e (h)	T _e (°C)	VP (dias)
12	6,83	8	3	0,593
13	1,17	8	4	0,456
14	6,83	2	8	0,225
15	1,17	2	9	0,153
16	4	5	5	0,389
17	4	5	5	0,387
18	4	5	5	0,387
19	8	5	4	0,510
20	0	5	6	0,276
21	4	10	3	0,613
22	4	0	11	0,124

^x t_e é o tempo de espera para o resfriamento, T_e é a temperatura de estocagem, VP é a vida de prateleira e DT/DT_{test} é o *degree-time/degree-time* da testemunha.

A **Tabela 7** apresenta os modelos empíricos obtidos, juntamente com os coeficientes de regressão e o teste F dos modelos.

No **Apêndice D, Item D.2**, pode-se visualizar a análise de variância no estudo da influência das variáveis independentes sobre as variáveis-resposta vida de prateleira e DT/DT_{test}.

Tabela 7. Modelos empíricos das variáveis-resposta dos ensaios com resfriamento rápido por ar forçado.

Modelos	Coef. de correlação (R ²)	Teste F (95%)	
		F _{calc}	F _{tab}
Vida de Prateleira (dias)			
Linear: VP = 10,44481 – 0,17668t _e – 0,88883T _e	0,93814	30,33	6,94
Quadrático: VP = 12,16369 – 0,27721t _e + 0,00799t _e ² – 1,64744T _e + 0,08335T _e ²	0,99570	346,97	4,53
DT/DT_{test}			
Linear: DT/DT _{test} = 0,016565 + 0,018463t _e + 0,055917T _e	0,97862	91,47	6,94
Quadrático: DT/DT _{test} = 0,034578 + 0,017706t _e – 0,000428t _e ² + 0,055039T _e – 0,001086T _e ² + 0,001914t _e T _e	0,98361	60,03	5,05

^x t_e é o tempo de espera para o resfriamento, T_e é a temperatura de estocagem, VP é a vida de prateleira e DT/DT_{test} é o *degree-time/degree-time* da testemunha. F_{calc} é o valor de F calculado e o F_{tab} indica o valor de F tabelado a 95% de confiança.

A análise do erro, por ensaio, dos valores preditos pelo modelo sobre os valores experimentais das variáveis-resposta, vida de prateleira e DT/DT_{test}, encontra-se no **Apêndice E, Item E.2.**

Para as duas variáveis-resposta, os modelos quadráticos apresentaram valores de correlação maiores que os lineares. Os valores dos testes F foram maiores nos modelos quadráticos, porém, tendo em vista que o valor de F calculado deve ser 4 vezes maior do que o tabelado para se obter uma boa predição dos resultados, o modelo linear também se apresentou adequado para as duas variáveis dependentes.

Além disso, é possível observar nas **Figuras 15 e 16** as relações de valores preditos pelos modelos *versus* os valores obtidos experimentalmente para os modelos linear e quadrático, para a vida de prateleira. As curvas para a variável-resposta DT/DT_{test} podem ser visualizadas no **Apêndice C, Item C.2**. Através destas figuras pode-se verificar a melhor predição dos modelos quadráticos.

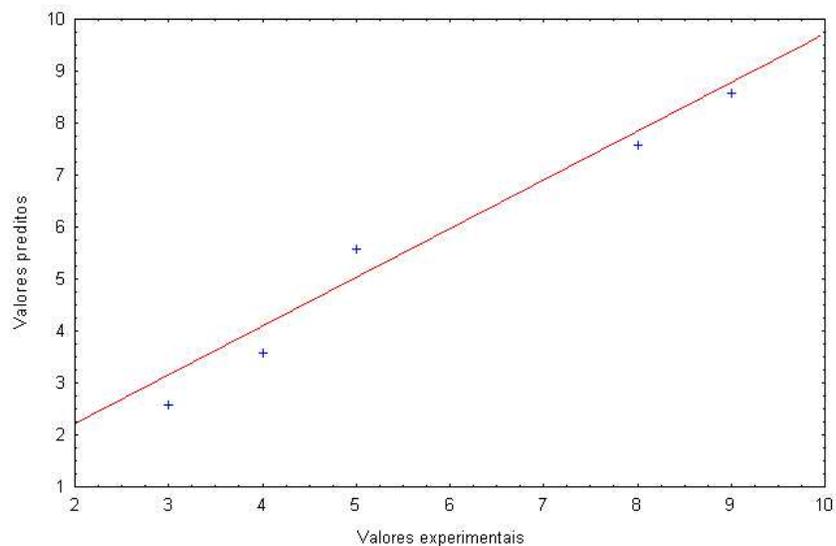


Figura 15. Valores preditos pelo modelo *linear* e valores experimentais para a variável-resposta Vida de Prateleira (em dias) com resfriamento rápido por ar forçado.

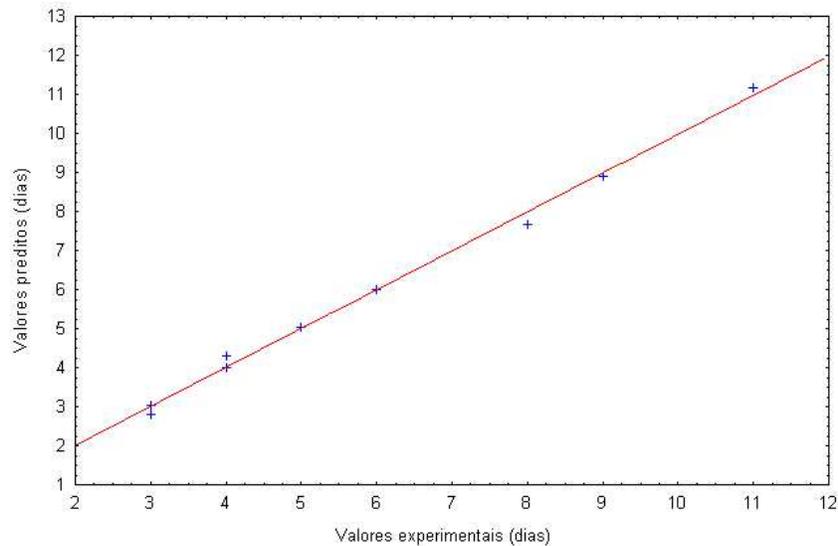


Figura 16. Valores preditos pelo modelo *quadrático* e valores experimentais para a variável-resposta Vida de Prateleira (em dias) com resfriamento rápido por ar forçado.

Pode-se observar que a vida de prateleira teve maior influência da temperatura de estocagem, verificando-se que quanto menores os valores desta variável independente, maiores foram as vidas de prateleira do produto. O tempo de espera para o resfriamento também influenciou a vida de prateleira, porém em menor intensidade quando comparado com a influência da temperatura de estocagem. Estas influências também podem ser vistas pela magnitude dos fatores de multiplicação. A variável independente, temperatura de estocagem (T_e), sempre é multiplicada por um valor superior em relação ao tempo de espera (t_e), podendo-se observar que há maior influência da temperatura de estocagem sobre as variáveis dependentes, vida de prateleira e DT/DT_{test} . A superfície de resposta para a vida de prateleira pode ser visualizada na **Figura 17**.

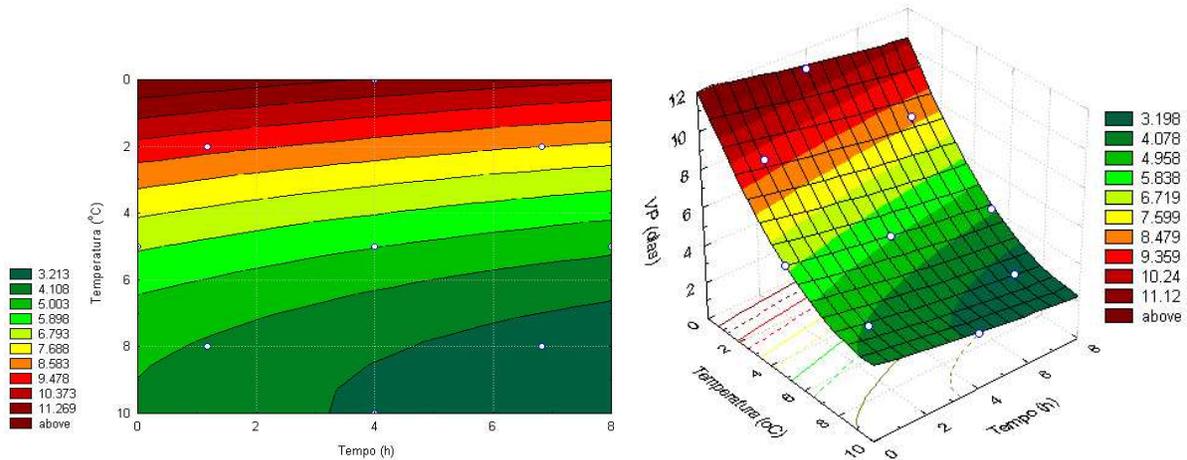


Figura 17. Superfície-Resposta para a Vida de Prateleira, em função do tempo de espera e temperatura de estocagem, do modelo empírico *quadrático* dos ensaios com resfriamento rápido por ar forçado.

Pode-se observar que o DT/DT_{test} teve maior influência da temperatura de estocagem, verificando-se que quanto maiores os valores desta variável independente, maiores foram os valores de DT/DT_{test} do produto. O tempo de espera para o resfriamento também influenciou direta e proporcionalmente os valores de DT/DT_{test} , porém em menor proporção quando comparado com a influência da temperatura de estocagem. A superfície de resposta para o DT/DT_{test} pode ser visualizada na **Figura 18**.

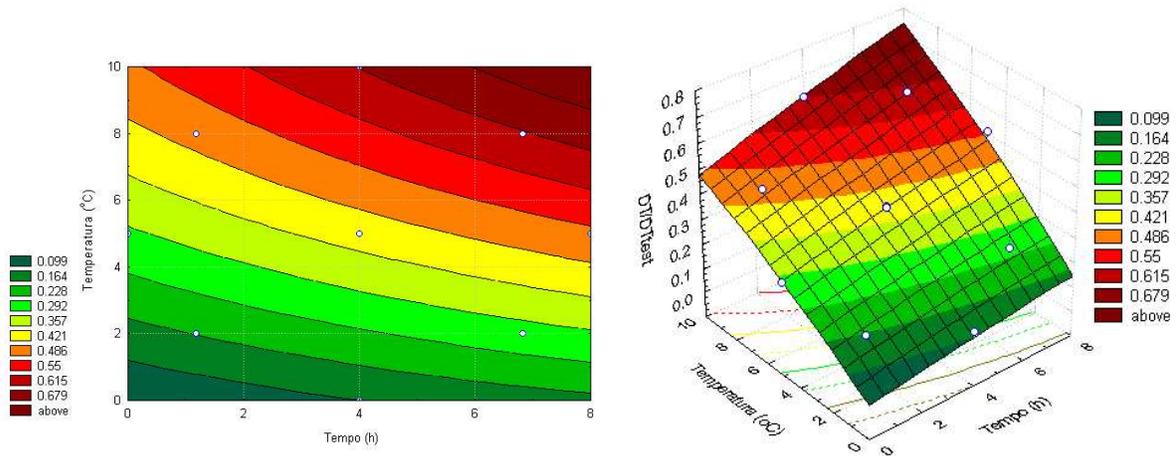


Figura 18. Superfície-Resposta para o *Degree-Time/Degree-Time* da Testemunha, em função do tempo de espera e temperatura de estocagem, do modelo empírico *quadrático* dos ensaios com resfriamento rápido por ar forçado.

5.2. Resfriamento Rápido (Túnel Californiano) versus Estocagem Frigorificada

O resfriamento dos maços de rúcula foi monitorado por termopares tipo T. Com esses dados, foi gerada uma curva real do comportamento térmico da hortaliça (folhas internas a um maço aleatoriamente amostrada em cada caixa) durante todo o período de estocagem (vida de prateleira). Na **Figura 19** verifica-se a diferença, nos ensaios 1 e 12, entre a curva de resfriamento por estocagem em câmara frigorífica e a curva de resfriamento rápido por ar forçado, apenas durante o período de resfriamento até atingirem a temperatura de 7/8 da diferença entre a temperatura inicial e a final do produto. É possível notar diferença significativa entre o tempo de 7/8 de resfriamento em relação aos dois métodos de resfriamento (no ensaio 1 é de 12 min, enquanto que no ensaio 12 este tempo é de 46 min), quando a temperatura do ar é de 8°C.

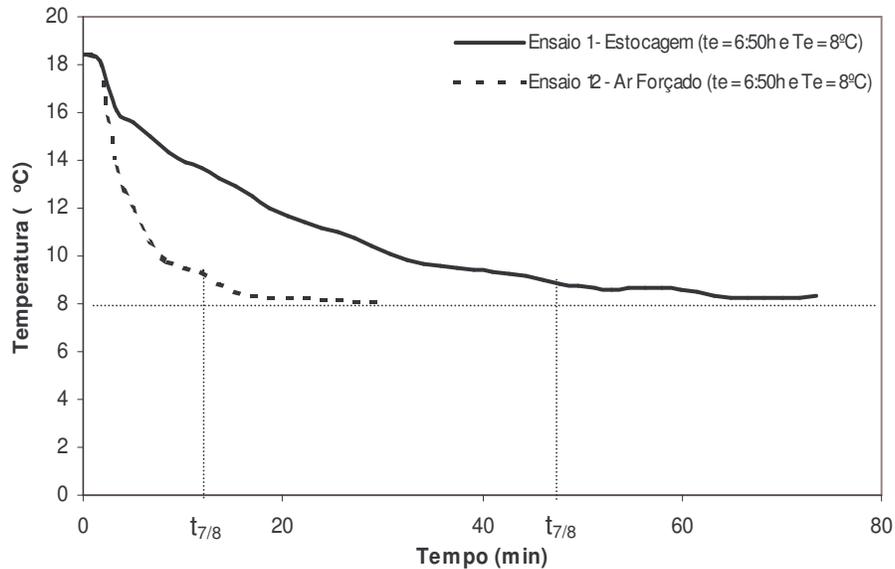


Figura 19. Diferença, nos ensaios 1 e 12, entre a curva de resfriamento por estocagem em câmara frigorífica e a curva de resfriamento rápido por ar forçado, apenas durante o período de resfriamento até atingirem a temperatura de $7/8$ da diferença entre a temperatura inicial e a final do produto.

Porém, observando-se os históricos de temperatura dos ensaios 1 (estocagem em câmara com t_e igual a 6:50h e T_e igual a $8^\circ C$) e 12 (resfriamento rápido por ar forçado com t_e igual a 6:50h e T_e igual a $8^\circ C$) (**Figura 20**), pode-se notar que não há grande diferença entre os dois métodos de resfriamento, o que é refletido na mesma vida de prateleira e DT/DT_{test} aproximadamente iguais para ensaios com o mesmo tempo de espera para o resfriamento e temperatura de estocagem.

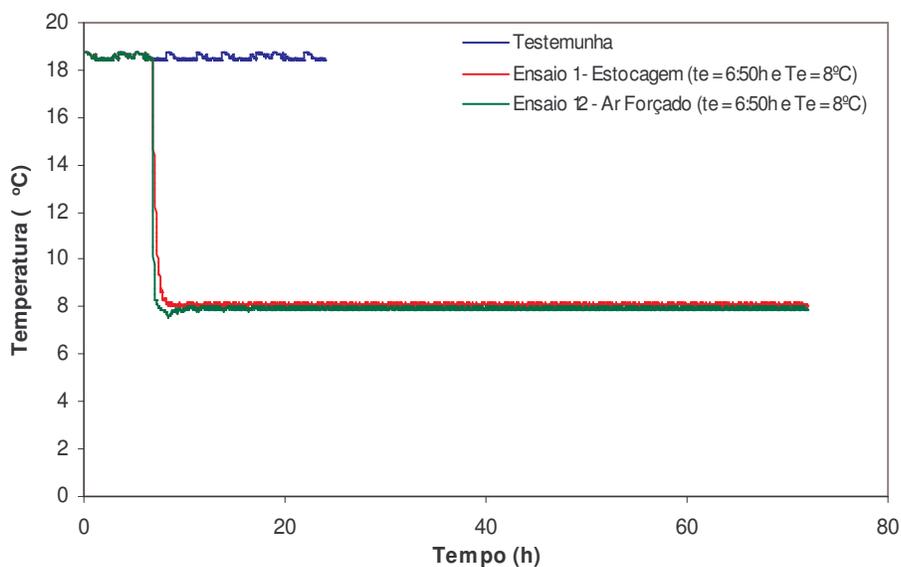


Figura 20. Históricos de temperatura, referentes aos ensaios 1 e 12.

Os gráficos do histórico de temperatura dos demais ensaios, com os respectivos tempos de 7/8 de resfriamento, podem ser visualizados no **Apêndice F**.

5.3. Análise Sensorial

5.3.1. Aparência Geral

A **Figura 21** mostra a redução das notas de aparência geral dadas pelos provadores, para os ensaios 1 (estocagem em câmara com t_e igual a 6:50h e T_e igual a 8°C) e 12 (resfriamento rápido por ar forçado com t_e igual a 6:50h e T_e igual a 8°C), em função dos dias de estocagem. Os demais ensaios podem ser observados no **Anexo G, Item G.1**.

Observa-se que não há evidência de uma queda mais acentuada nas médias das notas de aparência geral em relação a um dos métodos de

resfriamento. Além disso, é importante salientar que a redução nas médias das notas não é linear, sendo menos acentuada nos primeiros dias de estocagem e, em alguns ensaios, a média das notas mostrava-se adequada e, no dia seguinte, apresentou uma média muito baixa, perdendo a aceitação, ou seja, vida de prateleira, abruptamente (ensaio 3, por exemplo). Não há evidências sobre o que ocasionou esta repentina perda de qualidade dos maços de rúcula em alguns ensaios, podendo-se, desta forma, afirmar que o fato de se trabalhar com amostragens aleatórias tenha sido a causa desta constatação.

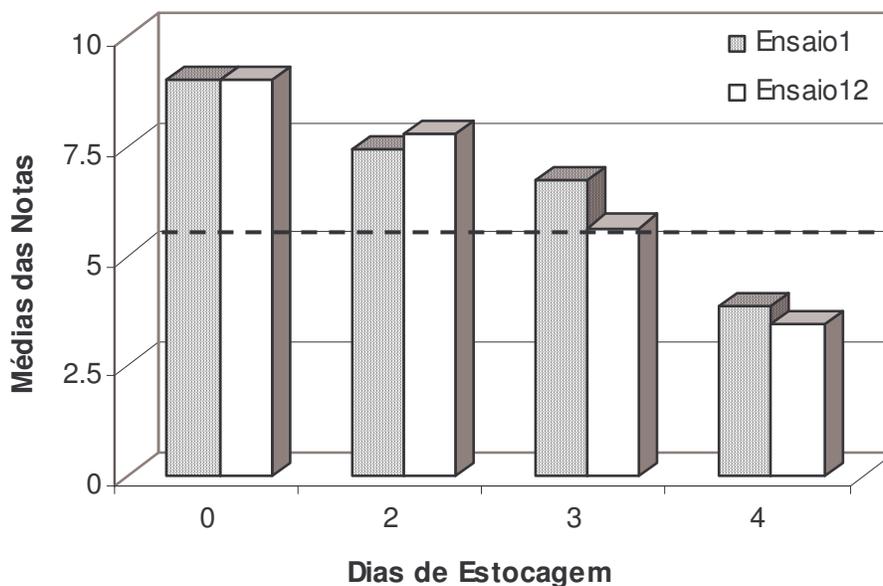


Figura 21. Médias das notas das análises sensoriais, referentes aos ensaios 1 (estocagem em câmara com t_e igual a 6:50h e T_e igual a 8°C) e 12 (resfriamento rápido por ar forçado com t_e igual a 6:50h e T_e igual a 8°C).

Foi realizada a análise sensorial da testemunha com apenas um dia na câmara acondicionadora, apresentando a média das notas igual a 7,4. Com dois dias de acondicionamento, a testemunha foi reprovada com uma média igual a 1,1, devido à exposição do produto a 17 – 20°C e 65 – 75% de umidade relativa, ocasionando murchamento significativo das folhas.

5.3.2. Aceitação

O comportamento da aceitação das amostras por parte dos provadores está diretamente relacionado à aparência geral. Sendo assim, pode-se notar na **Figura 22** que ocorre uma pequena variação na aceitação dos maços nos primeiros dias de estocagem e uma queda brusca somente no último dia de estocagem.

Observando o comportamento da aceitação das amostras dos demais ensaios (**Anexo G, Item G.2**), conclui-se que não há evidência de uma queda mais acentuada nas médias das notas de aparência geral em relação a um dos métodos de resfriamento, além disso é importante salientar que a redução nas médias das notas não é linear.

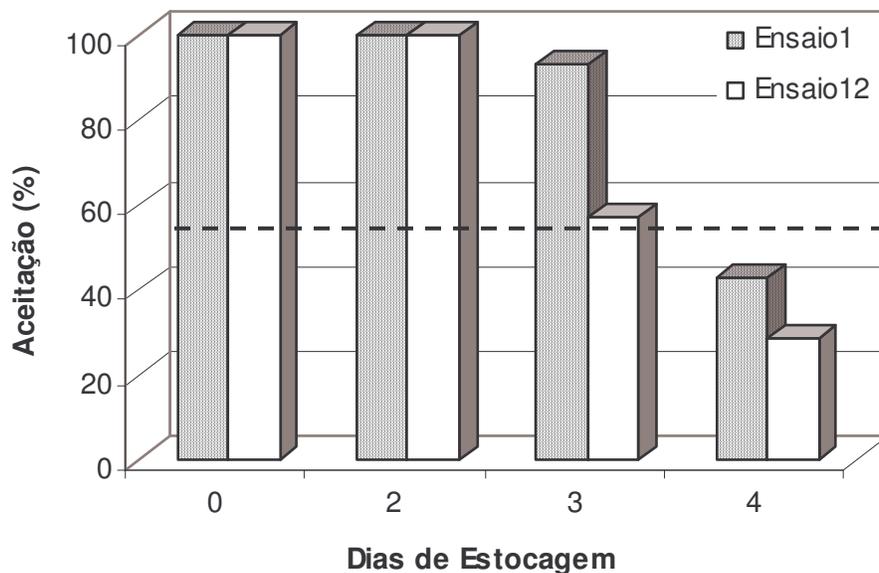


Figura 22. Porcentagem de aceitação dos provadores, referente aos ensaios 1 (estocagem em câmara com t_e igual a 6:50h e T_e igual a 8°C) e 12 (resfriamento rápido por ar forçado com t_e igual a 6:50h e T_e igual a 8°C).

Foi realizada a análise sensorial da testemunha com apenas um dia na câmara acondicionadora, apresentando a aceitação de 73% por parte dos provadores. Com dois dias de acondicionamento, a testemunha apresentou uma

queda da aceitação para 9%, devido à exposição do produto a 17 – 20°C e 65 – 75% de umidade relativa, ocasionando murchamento significativo das folhas.

5.3.3. Cor e Ocorrência de Danos

Tanto para o resfriamento por estocagem em câmara frigorífica, quanto para a utilização do túnel californiano (ar forçado), nenhum maço de rúcula obteve coloração verde ou amarela ao final da vida de prateleira. As colorações associadas à rejeição dos maços foram: verde-clara, verde-amarelada e amarelo-esverdeada, com maior ocorrência da cor verde-clara, conforme mostrado nas **Figuras 23 e 24**. Também pode-se observar a ausência de danos, na maioria dos maços de rúcula, ao final da vida de prateleira. A ocorrência moderada de danos, nos ensaios realizados sob as maiores temperaturas de estocagem (8°C para os ensaios 1, 2, 12 e 13; 10°C para os ensaios 10 e 21), pode ser explicada pela combinação de alta temperatura com alta umidade, gerando um ambiente favorável ao desenvolvimento de microrganismos.

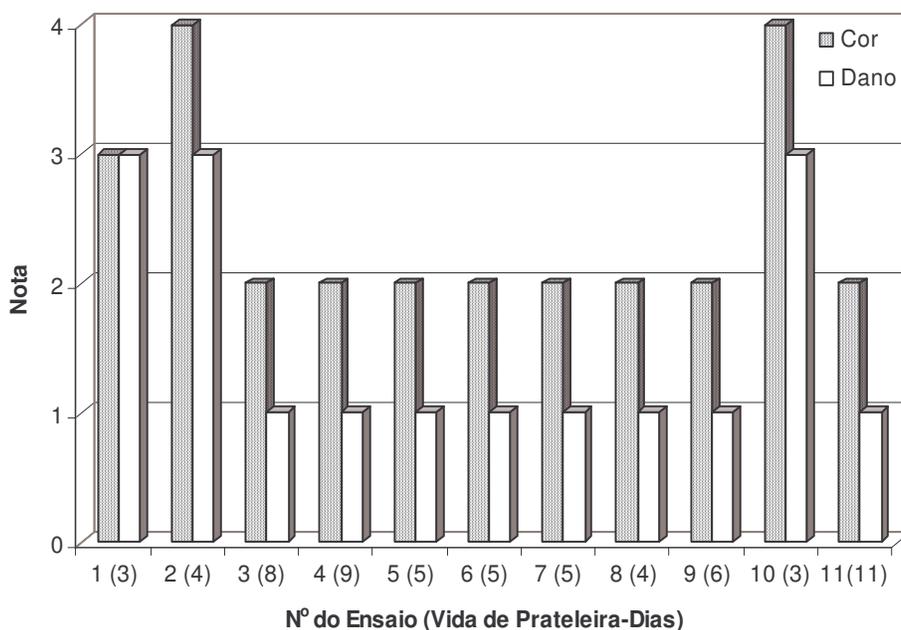


Figura 23. Cor e dano finais, para resfriamento por estocagem em câmara fria.

Escala de notas: Cor - 1 = verde, 2 = verde-clara, 3 = verde-amarelada, 4 = amarela-esverdeada, 5 = amarela. Dano - 1 = ausente, 2 = leve, 3 = moderada, 4 = intensa, 5 = muito intensa.

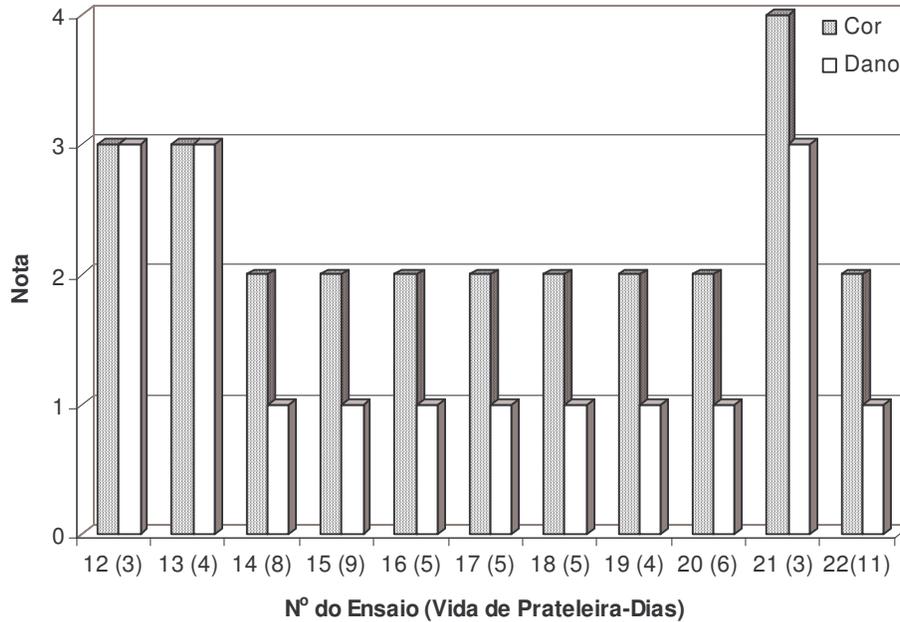


Figura 24. Cor e dano finais, para resfriamento rápido por ar forçado. Escala de notas: Cor - 1 = verde, 2 = verde-clara, 3 = verde-amarelada, 4 = amarela-esverdeada, 5 = amarela. Dano - 1 = ausente, 2 = leve, 3 = moderada, 4 = intensa, 5 = muito intensa.

Pode-se afirmar que o tempo de espera para o resfriamento não influenciou na coloração e dano finais. Isto pode ser concluído ao comparar os ensaios 8 e 9, por exemplo, sendo que ambos foram realizados sob a mesma temperatura de estocagem (0°C), porém com tempos de espera bastante distintos (8 horas de diferença entre eles). As vidas de prateleira para esses dois ensaios são distintas (2 dias de diferença entre eles), no entanto as colorações e danos finais são idênticas. Portanto, em relação ao desenvolvimento de microrganismos e surgimento de pigmentação amarela nas folhas dos maços de rúcula, pode-se concluir que a temperatura de estocagem é determinante para a manutenção de uma boa aparência.

5.4. Perda de Massa

A massa das hortaliças folhosas é uma das características de maior importância na produção comercial, pois está diretamente relacionado com o turgor. Para este trabalho foi medida a massa de água perdida durante o processo de estocagem do produto.

Através da **Tabela 8**, pode-se observar que os valores de perda de massa referentes aos ensaios sem a aplicação do método de resfriamento rápido por ar forçado (ensaios 1 a 11) não são estatisticamente diferentes, no nível de 5% de significância, se comparados aos ensaios nos quais este método foi aplicado (ensaios 12 a 22). Porém, os ensaios realizados com a aplicação do método de resfriamento rápido por ar forçado apresentaram valores de perda de massa ligeiramente superiores, o que pode ser explicado pela maior velocidade do ar em contato com as folhas no período em que estiveram acondicionadas no túnel californiano.

Tabela 8. Perda de massa para os 22 ensaios ^x.

Ensaio (Estocagem em Câmara)	Perda de Massa (%)	Ensaio (Resfriamento Rápido)	Perda de Massa (%)
1	8,26	12	9,92
2	10,13	13	10,91
3	11,34	14	11,77
4	11,57	15	11,87
5	10,57	16	11,11
6	11,31	17	11,58
7	11,59	18	11,84
8	8,79	19	9,38
9	9,89	20	11,13
10	8,08	21	8,49
11	11,12	22	11,68

^x Média das perdas de massa (ensaios 1 a 11/estocagem em câmara) = 10,24%.
Média das perdas de massa (ensaios 12 a 22/resfriamento rápido) = 10,88%.

Tanto para o resfriamento por estocagem em câmara frigorífica, quanto para a utilização do túnel californiano (ar forçado), pode-se afirmar que houve uma redução aproximadamente linear do massa dos maços de rúcula ao longo dos dias de estocagem (**Figura 25**), conforme mostrado pelo coeficiente angular da correlação, representando a taxa de perda de massa [g/dia].

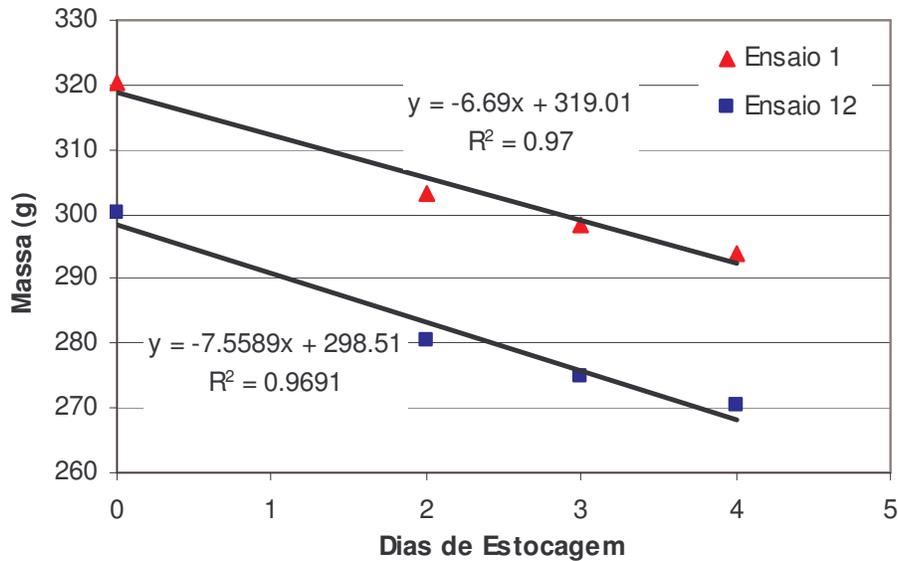


Figura 25. Perda de massa e regressão linear para os ensaios 1 (estocagem em câmara com t_e igual a 6:50h e T_e igual a 8°C) e 12 (resfriamento rápido por ar forçado com t_e igual a 6:50h e T_e igual a 8°C).

Os gráficos para perdas de massa e respectivas regressões lineares dos demais ensaios podem ser visualizados no **Apêndice H**.

5.5. Relação entre Degree-Time/Degree-Time da Testemunha e Vida de Prateleira

Pela **Figura 26**, observa-se o comportamento do DT/DT_{test} em relação à vida de prateleira, para os dois métodos de resfriamento utilizados (estocagem em câmara e ar forçado). Nota-se que há uma boa relação logarítmica entre os

ensaios, pois os coeficientes de correlação obtidos foram satisfatórios ($R^2 > 0,99$ para os dois métodos). Além disso, o teste F a 95% de nível de confiança indica que não há diferença significativa entre os dois métodos de resfriamento, o que pode ser verificado pela aproximada sobreposição das curvas de tendência logarítmica.

Com as **Equações (3) e (4)**, pode-se prever a vida de prateleira de um maço de rúcula a partir do cálculo do DT/DT_{test} para os métodos de resfriamento utilizados, ou seja, sabendo-se o tempo desde a colheita até o resfriamento, o método de resfriamento e a temperatura de estocagem, é possível obter a vida de prateleira do produto. A temperatura ambiente deverá ser aproximadamente 20°C e a vida de prateleira do maço de rúcula, sem resfriamento após a colheita, igual a 1 dia.

Resfriamento por estocagem em câmara frigorífica:

$$\frac{DT}{DT_{test}} = -0,3757 \ln(VP) + 1,0076 \quad R^2 = 0,9911 \quad (3)$$

Resfriamento rápido por ar forçado:

$$\frac{DT}{DT_{test}} = -0,3804 \ln(VP) + 1,0050 \quad R^2 = 0,9907 \quad (4)$$

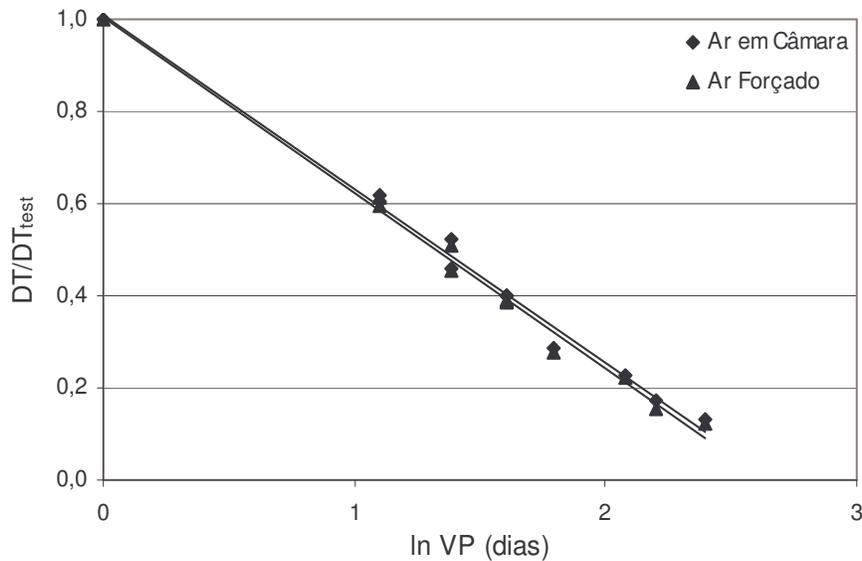


Figura 26. Relação do *degree-time/degree-time* da testemunha (DT/DT_{test}) com o logaritmo neperiano da vida de prateleira da rúcula ($\ln VP$), para os dois métodos de resfriamento.

Como as duas retas estão praticamente sobrepostas, pode-se afirmar que os dois métodos de resfriamento utilizados no experimento, resfriamento por estocagem em câmara frigorífica e resfriamento por ar forçado, são similares. A partir desta conclusão, selecionou-se a **equação (3)**, correspondente ao resfriamento por estocagem em câmara frigorífica, por apresentar um coeficiente de correlação (R^2) ligeiramente superior, para ser utilizada nos cálculos seguintes.

O coeficiente angular da reta (igual a $-0,3757$), representa a relação entre o logaritmo neperiano da vida de prateleira e o DT/DT_{test} . Esta relação é inversamente proporcional e linear e, como já mencionado, independe do método de resfriamento adotado, ou resfriamento por estocagem em câmara frigorífica, ou resfriamento rápido por ar forçado.

Utilizando-se a **equação (3)** e a equação do DT/DT_{test} determinada no PFCC, pode-se obter uma relação da vida de prateleira em função do tempo de espera e da temperatura de estocagem (**equação (5)**). Verifica-se que, a partir

desta relação, pode-se obter a vida de prateleira de maços de rúcula, apenas tendo conhecimento de duas variáveis facilmente mensuráveis.

$$VP = \exp(2,5337 - 0,039981t_e + 0,001629t_e^2 - 0,146742T_e + 0,003838T_e^2 - 0,007133t_eT_e) \quad (5)$$

A **Figura 27** apresenta a superfície de resposta para a vida de prateleira, correspondente à **equação (5)**. Verifica-se que esta superfície de resposta é similar à gerada no Planejamento Fatorial Completo (**Figuras 13 e 17**), o que demonstra boa predição dos resultados.

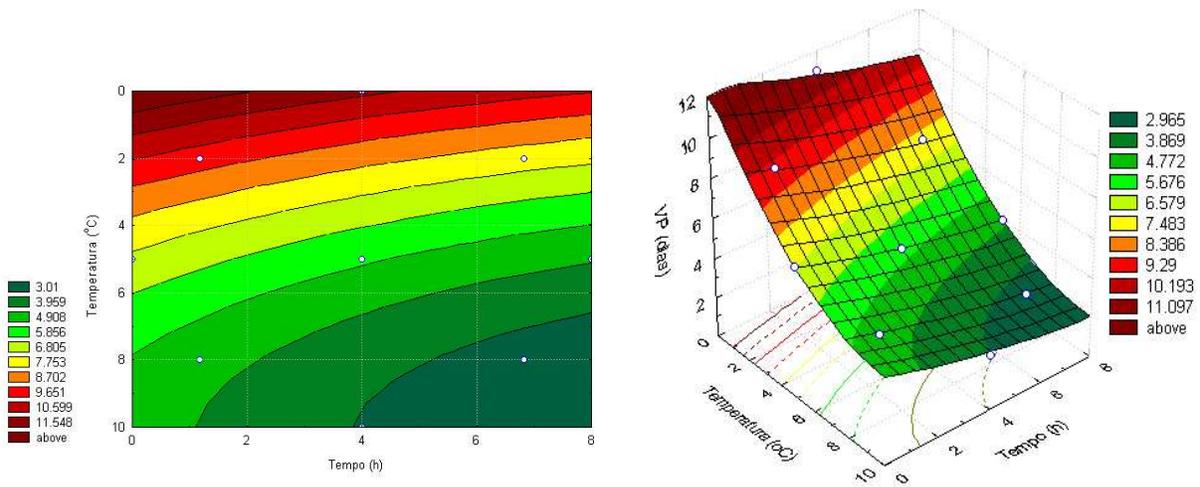


Figura 27. Superfície-Resposta para a Vida de Prateleira, em função do tempo de espera e temperatura de estocagem, gerada a partir da equação (5): $VP = \exp(2,5337 - 0,039981t_e + 0,001629t_e^2 - 0,146742T_e + 0,003838T_e^2 - 0,007133t_eT_e)$

VI. CONCLUSÕES

A partir da análise dos planejamentos experimentais com maços de rúcula concluiu-se que:

- ✓ Para a rúcula, que possui tempos de resfriamento diferentes, relativos aos métodos de resfriamento por estocagem em câmara frigorífica e resfriamento rápido por ar forçado, pode-se afirmar que não há diferença na vida de prateleira e, portanto, não haveria necessidade de investimentos em túneis de resfriamento rápido.
- ✓ A rúcula possui um coeficiente angular característico (igual a -0,38), sem interferência do método de resfriamento, sendo possível obter a vida de prateleira, apenas tendo conhecimento de duas variáveis facilmente mensuráveis, tempo de espera para o resfriamento e temperatura de estocagem.
- ✓ Os maços de rúcula não receberam aceitação mínima dos provadores, quando apresentaram perda de massa na faixa de 8 a 12%, em relação à sua massa imediatamente após a colheita. O murchamento foi o principal motivo pelo qual os provadores rejeitaram as amostras.
- ✓ Não houve diferença significativa de perda de massa em relação aos dois métodos de resfriamento estudados (estocagem em câmara e resfriamento rápido por ar forçado), não ocorrendo interferência do método na vida de prateleira da rúcula.
- ✓ A ocorrência moderada de danos, assim como as colorações verde-amarelada e amarelo-esverdeada, ocorreram nos ensaios realizados sob as maiores temperaturas de estocagem (8 e 10⁰C).

VII. SUGESTÕES A TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões de trabalhos futuros propõe-se:

- ✓ Estimar o coeficiente angular para outros produtos hortícolas, com o propósito de gerar uma tabela característica.
- ✓ Generalizar a correlação de vida de prateleira com o *degree-time/degree-time* da testemunha, a fim de deixar dependências do tempo de espera e temperatura de estocagem para outros produtos.
- ✓ Avaliar a influência de outros métodos de resfriamento na equação característica da rúcula.
- ✓ Avaliar a diferença de métodos de resfriamento em outros produtos com perecibilidades distintas, a fim de esclarecer os produtos que, necessariamente, precisariam de resfriamento rápido para ampliação da vida de prateleira.
- ✓ Utilizar análises físico-químicas para avaliação da qualidade ou vida de prateleira dos produtos.

VIII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFONSO, M. R. A. **Resfriamento rápido a vácuo de alfaces (*Lactuca sativa* L.)**. Campinas, 2000. 104p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos). Departamento de Engenharia de Alimentos, Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP.

ANON. Desperdício: 80% do lixo das feiras poderia ser reaproveitado. **O Estado de São Paulo**, São Paulo, 2001a. Geral, 10 jan.

ANON. Produtor tem equipamentos e tecnologia à disposição. **O Estado de São Paulo**, 29 ago. 2001b. Suplementos Agrícola.

ANTONIALI, S. **Resfriamento rápido com ar forçado para conservação pós-colheita de alface "crespa"**. Campinas, 2000. 103p. Dissertação (Mestre em Engenharia Agrícola). Área de concentração de tecnologia pós-colheita, UNICAMP.

BAIRD, C. D.; GAFFNEY, P. E. e TALBOT, M. T. Design Criteria for Efficient and Cost Effective Forced Air Cooling Systems for Fruits and Vegetables. **ASHRAE**, v.94, p.1434 - 1454, 1988.

BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S. e BRUNS, R. E. **Planejamento e Otimização de Experimentos**. 2.ed. Campinas: Editora da Unicamp, 1996. 299p.

BINOTTI, C. S. **Avaliação quantitativa do método de resfriamento rápido com ar forçado para morangos (*Fragaria x ananassa* Duch), *in natura***. Campinas, 2000. 83p. Dissertação (Mestre em Engenharia Agrícola). Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP.

BLEINROTH, E. W. Preparo da Fruta para a Comercialização e Frigoconservação. **Tecnologia de Pós-Colheita de Frutas Tropicais**. Campinas - SP: ITAL, 1992. p.51-64.

BRENNAN, P. S. e SHEWFELT, R. L. Effect of cooling delay at harvest on broccoli quality during postharvest storage. **Journal of Quality**, v.12, p.13-22, 1989.

BÜYÜKALACA, O.; BULUT, H. e YILMAZ, T. Analysis of variable-base heating and cooling degree-days for Turkey. **Applied Energy**, v.69, p.269-283, 2001.

CANTWELL, M. **Postharvest Technology of Horticultural Crops**. Oakland, California: University of California, 1992.

CHITARRA, M. I. F. e CHITARRA, A. B. **Pós-Colheita de Frutas e Hortaliças: Fisiologia e Manuseio**. Lavras - MG: ESAL - FAEPE, 1990.

CORTEZ, L. A. B.; CASTRO, L. R. e VIGNEAULT, C. Resfriamento Rápido a Ar: Métodos da Câmara Frigorífica e do Ar Forçado. **Resfriamento de Frutas e Hortaliças**. Brasília - DF: Embrapa, 2002. p.232 - 270.

DELAQUIS, P. J.; STEWART, S.; TOIVONEN, P. M. A. e MOYLS, A. L. Effect of warm, chlorinated water on the microbial flora of shredded iceberg lettuce. **Food Research International**, v.32, p.7-14, 1999.

DURMAYAZ, A.; KADIOGLU, M. e SEN, Z. An application of the degree-hours method to estimate the residential heating energy requirement and fuel consumption in Instambul. **Energy**, v.25, p.1245-1256, 2000.

EDEOGU, 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, 1997.

FOURNIER, P. e VANDIOVET, A. C. La pré-réfrigération rapide le vide à la convergence des tests aéronautiques et de l'agro-alimentaire. **Industries Alimentaires Agricoles**, v.10, n.100, p.691-696, 1983.

FRASER, H. W. e OTTEN, L. Predicting 7/8 Cooling Times for Peaches by Comparing Heat Transfer Modelling and Field Measurement Methods. **ASAE. American Society of Agricultural Engineers**, v.92, n.6016, 1992.

GAFFNEY, P. E.; BAIRD, C. D. e CHAU, K. V. Influence of Airflow Rate, Respiration, Evaporative Cooling, and other Factors Affecting Weight Loss Calculations for Fruits and Vegetables. **ASHRAE**, v.91, p.690 - 707, 1985.

GARBIN, L. Ceagesp estima perda de alimento em até 30%. **O Estado de São Paulo**, São Paulo, 25 março. 2001. Editoriais.

GAST, K. L. B. e FLORES, R. **Precooling Produce - Fruits and Vegetables. Postharvest Management of Commercial Horticultural Crops**. Manhattan - Kansas: Kansas State University, 1991.

HALÁSZ, L.; PINHEIRO, C. P.; FILHO, E. N. D. A.; SATO, G. T.; YOSIMURA, I. Y.; TAYAR, R. e LACERDA, R. **Refrigeração: Série Tecnologia Agroindustrial**. São Paulo: Fundação Tropical de Pesquisas e Tecnologia - F. T. P. T., 1982. v.4, 220p.

HARDENBURG, R. E.; WATADA, A. E. e WANG, C. Y. **The Commercial Storage of Fruits, Vegetables, and Florist and Nurseys Stocks: Agriculture Handbook Number 66**. Washington: Thermo King Corporation, 1986. 130p.

HONORIO, S. L. Fisiologia Pós-Colheita de Frutas e Hortaliças. **Apostila: Atualização em Tecnologia de Resfriamento de Frutas e Hortaliças**. Campinas - SP: UNICAMP, 1998.

HONORIO, S. L. Efeitos da temperatura no tecido vegetal. **Abrava**, n.127, mai/junho, ano 16, 1992.

HURST, P. L.; BOULTON, G. e LILL, R. E. Towards a freshness test for asparagus: spear tip asparagine content is strongly related to post-harvest accumulated heat-units. **Food Chemistry**, v.61, n.3, p.381-384, 1998.

IFAS. Institute of Food and Agricultural Sciences. **El Nino, La Nina & Florida's Climate - Effects on Agriculture and Forestry**: Growing and Heat Stress Degree-days. Disponível em: <http://fawn.ifas.ufl.edu/nino/growing_stress.html>. Acesso em: 27/nov/2001. Última atualização: 17/set/2001.

KADER, A. A. **Postharvest technology of horticultural crops**. 2.ed. Oakland, California: Division of Agriculture and Natural Resources, 1992. 296p.

LEAL, P. A. M. e CORTEZ, L. A. B. Métodos de pré-resfriamento de frutas e hortaliças. **Apostila: Atualização em Tecnologia de Resfriamento de Frutas e Hortaliças**. Campinas: Faculdade de Engenharia Agrícola, 1998.

LÓPEZ, G.; SALVEIT, M. e CANTWELL, M. The visual quality minimally processed lettuces stored in air or controlled atmosphere with emphasis on romaine and iceberg types. **Postharvest Biology and Technology**, v.8, p.179-190, 1996.

MITCHELL, F. G. Cooling Horticultural Commodities. **Postharvest Technology of Horticultural Crops**. Davis - CA: Cooperative Extension Division of Agriculture and Natural Resources, 1992.

MURAYAMA, S. J. **Horticultura**. 2.ed. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1977. 321p.

NEVES FILHO, L. C. Armazenamento e Distribuição Frigorificados. **Resfriamento de Frutas e Hortaliças**. Brasília - DF: Embrapa, 2002. p.166 - 189.

NEVES FILHO, L. C.; VIGNEAULT, C. e CORTEZ, L. A. B. A Cadeia do Frio no Brasil e a sua Importância para Frutas e Hortaliças. **Tecnologia no Resfriamento de Frutas e Hortaliças**. Campinas - SP: 1997. p.16.

NEVES FILHO, L. C.; VISSOTTO, F. Z. e ALVES, C. R. G. Resfriamento rápido de frutas e hortaliças. **Abrava**, n.133, mai/jun. ano 17, 1993.

ORST. **Commercial Vegetables Production Guides**: Arugula. Disponível em: <www.orst.edu/Dept/NWREC/arug.html>. Acesso em: 03/09/2002.

PERYAM, D. R. e GIRARDOT, N. Advanced taste-tes method. **Food Eng.**, v.24, n.7, p.58-61,194, 1952.

SALGADO, J. Nutrição. **O Estado de São Paulo**, São Paulo, 19 jul. 2001. Maga.zine.

SARANTÓPOULOS, C. I. G. L. Avaliação de Embalagens de Hortaliças Folhosas Minimamente Processadas do Mercado Brasileiro. **Braz. J. Food Technol. Preprint Serie**, v.80, 2002.

SAVIO, Y. e MYERS, C. **Exotic Vegetables**: Arugula, Rocket, Rocket Salad. Disponível em: <www.rain.org/greennet/docs/exoticveggies/html/arugula.htm>. Acesso em: 03/09/2002.

SHAROV, A. **Quantitative population ecology**: Lecture 8 - Development of poikilothermous organisms, degree-days. Disponível em: <<http://www.ento.vt.edu/~sharov/PopEcol/>>. Acesso em: 16/08/2001.

SIGRIST, J. M. M. **Estudos Fisiológicos e Tecnológicos de Couve-Flor e Rúcula Minimamente Processadas**. Piracicaba - SP, 2002. Doutorado. Esalq/USP.

SIGRIST, J. M. M. Manuseio Pós-Colheita de Frutas e Hortaliças. **II Curso de Atualização em Tecnologia de Resfriamento de Frutas e Hortaliças**, p.11-18, 1998.

SPAGNOL, W. A. e SIGRIST, J. M. M. **Tecnologia pós-colheita de frutas e hortaliças tropicais**: Manual Técnico no. 9. Campinas: ITAL, 1992.

STONE, H. e SIDEL, J. L. **Sensory Evaluation Practices**. Flórida: Academic Press, 1985

TANABE, S. e CORTEZ, L. A. B. Perspectivas da cadeia do frio para frutas e hortaliças no Brasil. **Revista do Frio**, 1998.

THOMPSON, J. F.; CHEN, Y. L. e RUMSEY, T. R. Energy use in vacuum coolers for fresh market vegetables. **ASAE. American Society of Agricultural Engineers**, v.86-6010, 1986.

TONET, R. M. **O Consumidor do Futuro**: O Consumidor do Futuro. Disponível em: <www.cati.sp.gov.br>. Acesso em: 04/09/2002.

TURK, R. e CELIK, E. The effect of vacuum precooling on the half cooling period and quality characteristic of Iceberg Letuce. **ACTA Horticulturae**, n.343, p.321-324, jun., 1999.

WEATHER. **Weather 2000**: Forecast Discution. Disponível em: <http://www.weather2000.com/dd_glossary.html>. Acesso em: 16/08/2001.

YANIV, Z.; SCHAFFERMAN, D. e AMAR, Z. Tradition, uses and biodiversity of Rocket (*Eruca sativa*, Brassicaceae) in Israel. **Economic Botany**, v.4, p.394-400, 1998.

APÊNDICE A

A.1. Calibração dos Sensores de Temperatura (Termopar Tipo T)

Tabela A.1. Funções de calibração dos sensores de temperatura e respectivos erros ^x.

Sensor (Termopar)	Regressão Linear	Coefficiente de Correlação (R ²)	Erro (°C)
Tp 0	$T_r = 0,998T - 0,1307$	1	< 0,2
Tp 1	$T_r = 0,9978T - 0,0142$	0,9999	< 0,1
Tp 2	$T_r = 0,9984T - 0,0354$	1	< 0,1
Tp 3	$T_r = 0,9988T - 0,0305$	1	< 0,1
Tp 4	$T_r = 0,9976T + 0,0334$	0,9999	< 0,1
Tp 5	$T_r = 0,9978T + 0,0351$	1	< 0,1
Tp 6	$T_r = 0,9987T + 0,0085$	1	< 0,1
Tp 7	$T_r = 0,9978T + 0,0629$	1	< 0,1

^x T_r indica a temperatura real e T a temperatura mensurada pelo sensor.

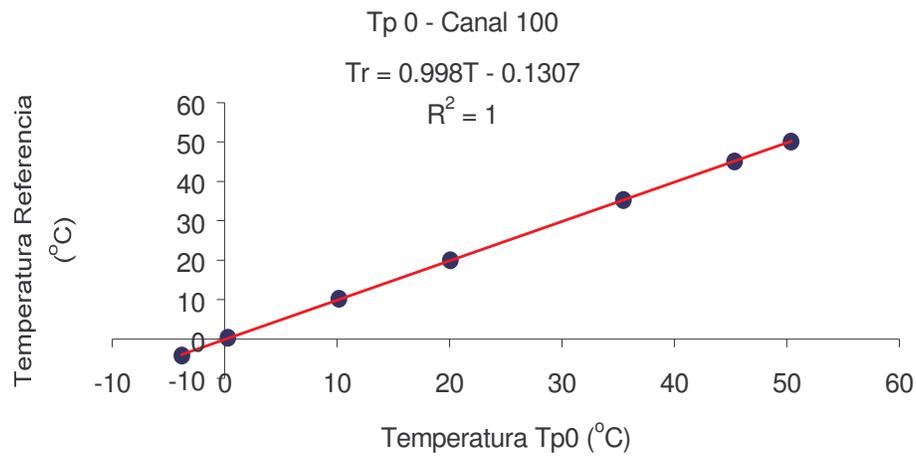


Figura A.1. Curva de calibração do sensor de temperatura número 0.

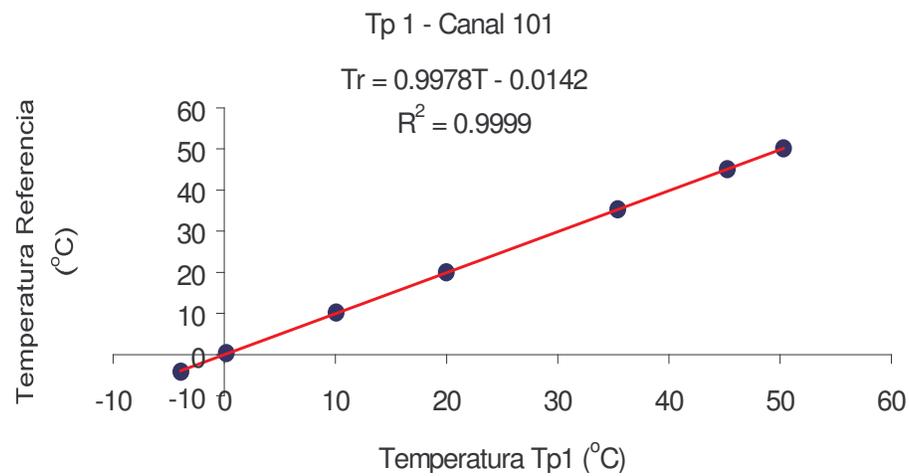


Figura A.2. Curva de calibração do sensor de temperatura número 1.

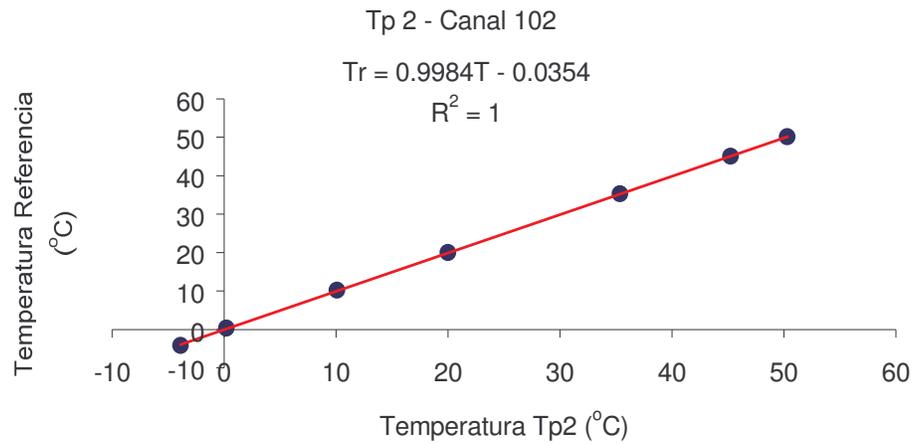


Figura A.3. Curva de calibração do sensor de temperatura número 2.

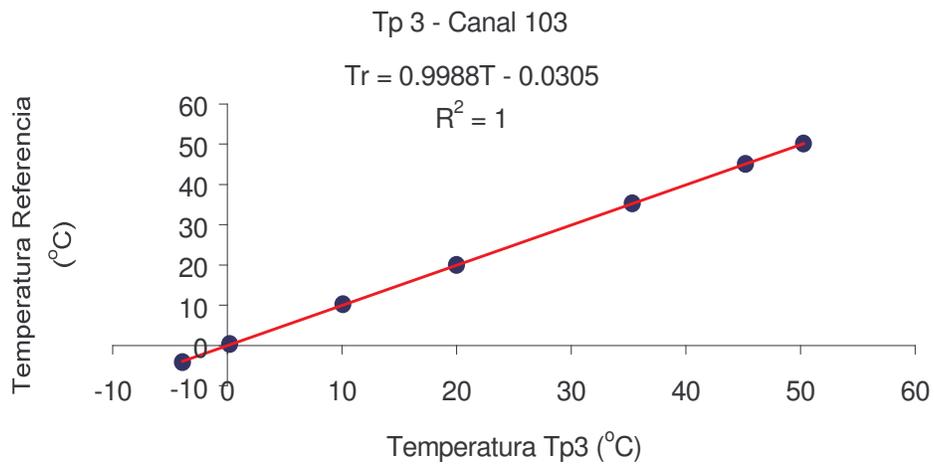


Figura A.4. Curva de calibração do sensor de temperatura número 3.

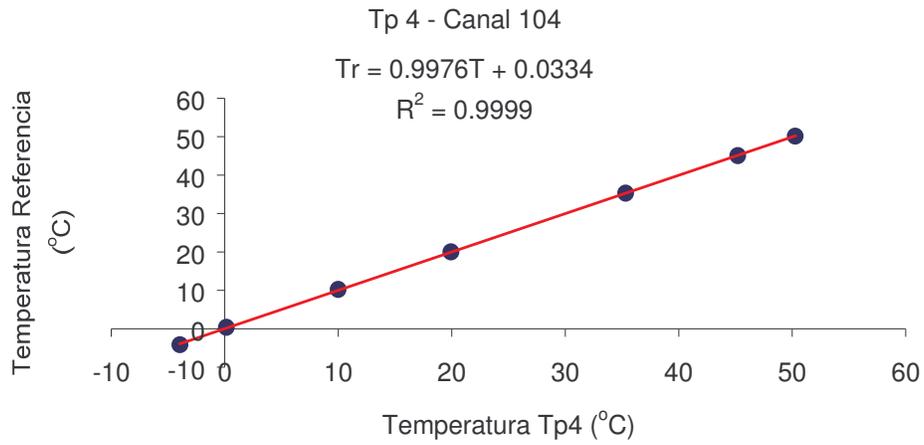


Figura A.5. Curva de calibração do sensor de temperatura número 4.

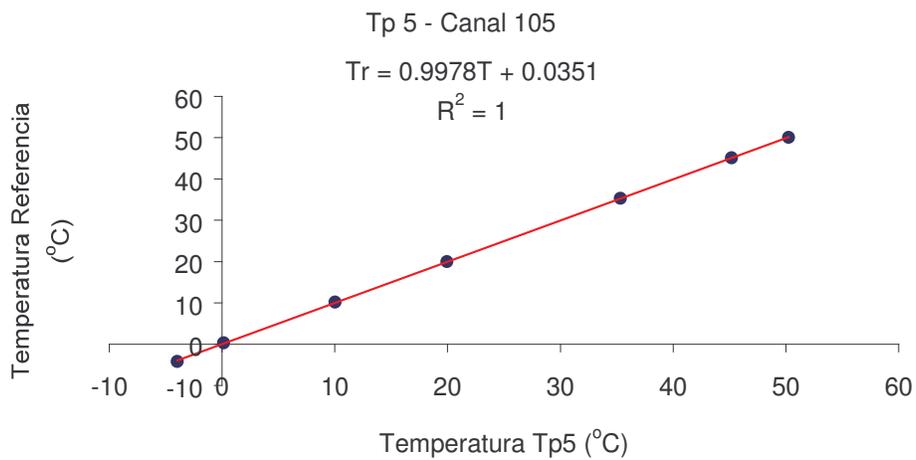


Figura A.6. Curva de calibração do sensor de temperatura número 5.

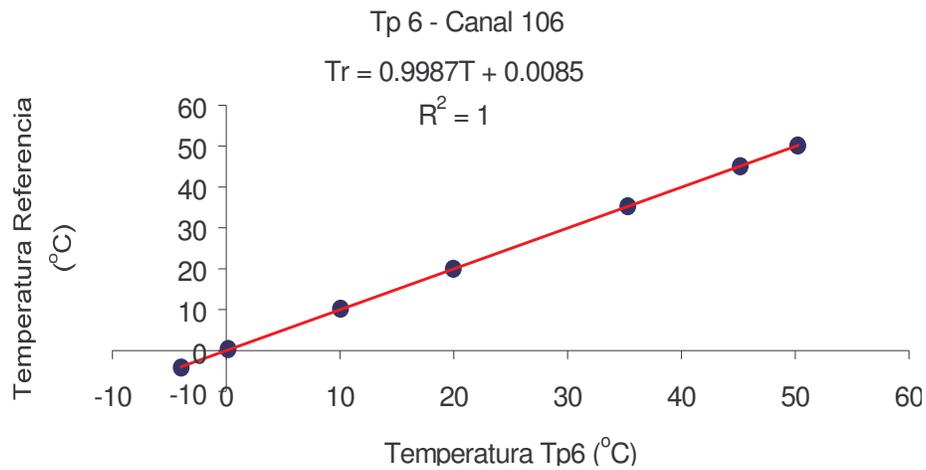


Figura A.7. Curva de calibração do sensor de temperatura número 6.

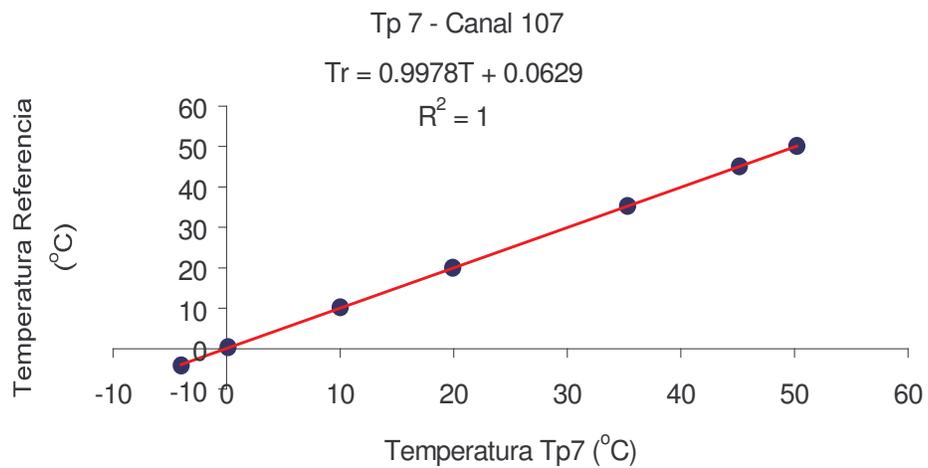


Figura A.8. Curva de calibração do sensor de temperatura número 7.

APÊNDICE B

B.1. Ficha de Análise Sensorial

Provedor: _____ Data: _____ Amostra nº _____

1. Por favor, observe a amostra codificada de rúcula e, utilizando a escala abaixo, avalie o quanto você gostou ou desgostou da amostra em relação à **aparência geral**.

- 9. Gostei muitíssimo
- 8. Gostei muito
- 7. Gostei moderadamente
- 6. Gostei ligeiramente
- 5. Nem gostei / Nem desgostei
- 4. Desgostei ligeiramente
- 3. Desgostei moderadamente
- 2. Desgostei muito
- 1. Desgostei muitíssimo

Valor _____

Comentários: _____

2. Se encontrasse essa amostra à venda, você:

- certamente compraria
- provavelmente compraria
- talvez comprasse / talvez não comprasse
- possivelmente não compraria
- certamente não compraria

Comentários: _____

Obrigado!

APÊNDICE C

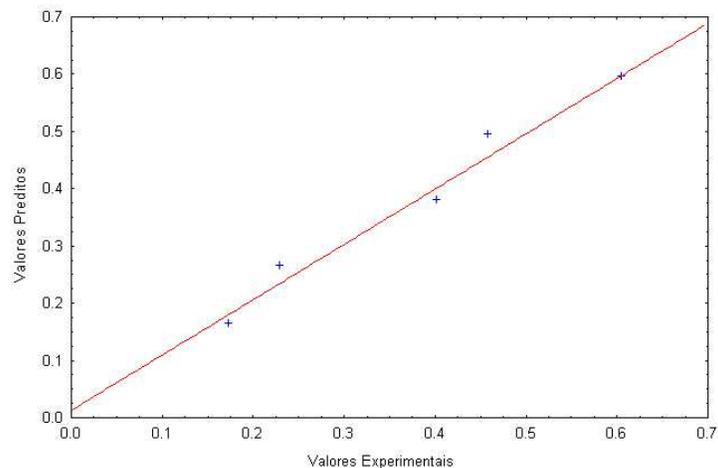
C.1. Valores Preditos pelos Modelos Linear e Quadrático e Valores Experimentais para a Variável-Resposta Degree-Time/Degree-Time da Testemunha, Utilizando Resfriamento por Estocagem em Câmara Frigorífica

Figura C.1. Valores preditos pelo modelo *linear* e valores experimentais para a variável-resposta *Degree-Time/Degree-Time* da Testemunha, com resfriamento por estocagem em câmara frigorífica.

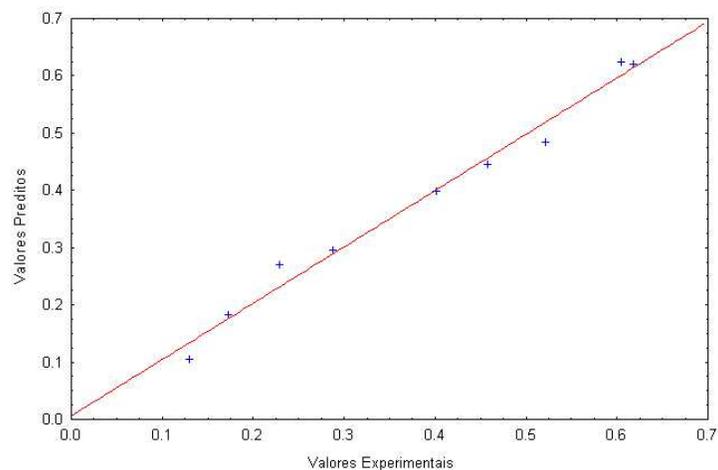


Figura C.2. Valores preditos pelo modelo *quadrático* e valores experimentais para a variável-resposta *Degree-Time/Degree-Time* da Testemunha, com resfriamento por estocagem em câmara frigorífica.

C.2. Valores Preditos pelos Modelos Linear e Quadrático e Valores Experimentais para a Variável-Resposta Degree-Time/Degree-Time da Testemunha, Utilizando Resfriamento Rápido por Ar Forçado (Túnel Californiano)

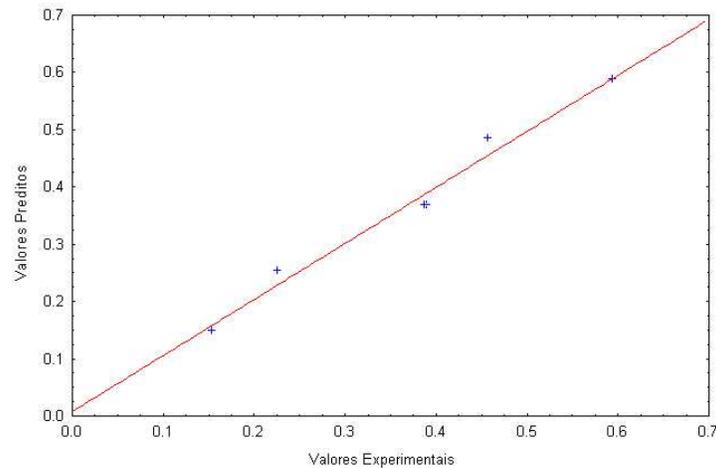


Figura C.3. Valores preditos pelo modelo *linear* e valores experimentais para a variável-resposta *Degree-Time/Degree-Time* da Testemunha com resfriamento rápido por ar forçado.

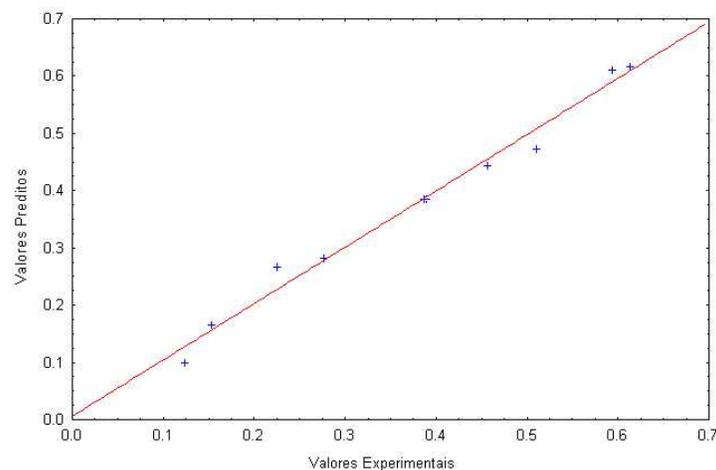


Figura C.4. Valores preditos pelo modelo *quadrático* e valores experimentais para a variável-resposta *Degree-Time/Degree-Time* da Testemunha com resfriamento rápido por ar forçado.

APÊNDICE D

D.1. Análise de Variância no Estudo da Influência das Variáveis Independentes sobre as Variáveis-Resposta Vida de Prateleira e Degree-Time/Degree-Time da Testemunha, Utilizando Resfriamento por Estocagem em Câmara Frigorífica.

Tabela D.1. Análise de variância no estudo da influência das variáveis independentes sobre a Vida de Prateleira (Modelo *Linear*), utilizando resfriamento por estocagem em câmara frigorífica.

Fonte de Variação		Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão		26,00000	2	13,00000	30,33	6,94
Resíduos	Total	1,71429	4	0,42857		
	Falta de ajuste	1,71429	2	0,85715		
	Erro puro	0,00000	2	0,00000		
Total		27,71429	6			

$$R^2 = 0,93814$$

Tabela D.2. Análise de variância no estudo da influência das variáveis independentes sobre a Vida de Prateleira (Modelo *Quadrático*), utilizando resfriamento por estocagem em câmara frigorífica.

Fonte de Variação		Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão		65,8969	4	16,47422	346,97	4,53
Resíduos	Total	0,28488	6	0,04748		
	Falta de ajuste	0,28488	4	0,07122		
	Erro puro	0,00000	2	0,00000		
Total		66,1818	10			

$$R^2 = 0,99570$$

Tabela D.3. Análise de variância no estudo da influência das variáveis independentes sobre o *Degree-Time/Degree-Time* da Testemunha (Modelo *Linear*), utilizando resfriamento por estocagem em câmara frigorífica.

Fonte de Variação		Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão		0,119533	2	0,059767	28,05	6,94
Resíduos	Total	0,004261	4	0,001065		
	Falta de ajuste	0,004261	2	0,002131		
	Erro puro	0,000000	2	0,000000		
Total		0,123794	6			

$$R^2 = 0,96558$$

Tabela D.4. Análise de variância no estudo da influência das variáveis independentes sobre o *Degree-Time/Degree-Time* da Testemunha (Modelo *Quadrático*), utilizando resfriamento por estocagem em câmara frigorífica.

Fonte de Variação		Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão		0,266636	5	0,053327	59,85	5,05
Resíduos	Total	0,004455	5	0,000891		
	Falta de ajuste	0,004455	3	0,001485		
	Erro puro	0,000000	2	0,000000		
Total		0,271091	10			

$$R^2 = 0,98357$$

D.2. Análise de Variância no Estudo da Influência das Variáveis Independentes sobre as Variáveis-Resposta Vida de Prateleira e Degree-Time/Degree-Time da Testemunha, Utilizando Resfriamento Rápido por Ar Forçado (Túnel Californiano).

Tabela D.5. Análise de variância no estudo da influência das variáveis independentes sobre a Vida de Prateleira (Modelo *Linear*), utilizando resfriamento rápido por ar forçado.

Fonte de Variação		Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão		26,00000	2	13,00000	30,33	6,94
Resíduos	Total	1,71429	4	0,42857		
	Falta de ajuste	1,71429	2	0,85715		
	Erro puro	0,00000	2	0,00000		
Total		27,71429	6			

$$R^2 = 0,93814$$

Tabela D.6. Análise de variância no estudo da influência das variáveis independentes sobre a Vida de Prateleira (Modelo *Quadrático*), utilizando resfriamento rápido por ar forçado.

Fonte de Variação		Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão		65,8969	4	16,47422	346,97	4,53
Resíduos	Total	0,28488	6	0,04748		
	Falta de ajuste	0,28488	4	0,07122		
	Erro puro	0,00000	2	0,00000		
Total		66,1818	10			

$$R^2 = 0,99570$$

Tabela D.7. Análise de variância no estudo da influência das variáveis independentes sobre o *Degree-Time/Degree-Time* da Testemunha (Modelo *Linear*), utilizando resfriamento rápido por ar forçado.

Fonte de Variação		Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão		0,123480	2	0,061740	91,47	6,94
Resíduos	Total	0,002698	4	0,000675		
	Falta de ajuste	0,002695	2	0,001348		
	Erro puro	0,000003	2	0,000002		
Total		0,126178	6			

$$R^2 = 0,97862$$

Tabela D.8. Análise de variância no estudo da influência das variáveis independentes sobre o *Degree-Time/Degree-Time* da Testemunha (Modelo *Quadrático*), utilizando resfriamento rápido por ar forçado.

Fonte de Variação		Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão		0,269520	5	0,053904	60,03	5,05
Resíduos	Total	0,004491	5	0,000898		
	Falta de ajuste	0,004488	3	0,001496		
	Erro puro	0,000003	2	0,000002		
Total		0,274011	10			

$$R^2 = 0,98361$$

APÊNDICE E

E.1. Análise do Erro, por Ensaio, dos Valores Preditos pelo Modelo sobre os Valores Experimentais das Variáveis-Resposta Vida de Prateleira e Degree-Time/Degree-Time da Testemunha, Utilizando Resfriamento por Estocagem em Câmara Frigorífica.

Tabela E.1. Análise do erro, por ensaio, dos valores preditos sobre os valores experimentais da Vida de Prateleira (Modelo *Linear*), utilizando resfriamento por estocagem em câmara frigorífica.

Ensaio	Tempo (h)	Temp. (°C)	VP (dias)	Valores Preditos (dias)	Erro Real/Predito (%)
1	6,83	8	3	2,571	14,285
2	1,17	8	4	3,571	10,713
3	6,83	2	8	7,571	5,357
4	1,17	2	9	8,571	4,761
5	4	5	5	5,571	-11,428
6	4	5	5	5,571	-11,428
7	4	5	5	5,571	-11,428

Tabela E.2. Análise do erro, por ensaio, dos valores preditos sobre os valores experimentais da Vida de Prateleira (Modelo *Quadrático*), utilizando resfriamento por estocagem em câmara frigorífica..

Ensaio	Tempo (h)	Temp. (°C)	VP (dias)	Valores Preditos (dias)	Erro Real/Predito (%)
1	6,83	8	3	2,797	6,766
2	1,17	8	4	4,005	-0,125
3	6,83	2	8	7,681	3,987
4	1,17	2	9	8,888	1,244
5	4	5	5	5,029	-0,580
6	4	5	5	5,029	-0,580
7	4	5	5	5,029	-0,580
8	8	5	4	4,303	-7,575
9	0	5	6	6,010	-0,166
10	4	10	3	3,043	-1,433
11	4	0	11	11,182	-1,654

Tabela E.3. Análise do erro, por ensaio, dos valores preditos sobre os valores experimentais da *Degree-Time/Degree-Time* da Testemunha (Modelo *Linear*), utilizando resfriamento por estocagem em câmara frigorífica.

Ensaio	Tempo (h)	Temp. (°C)	DT/DT _{test}	Valores Preditos	Erro Real/Predito (%)
1	6,83	8	0,605	0,598	1,243
2	1,17	8	0,458	0,496	-7,674
3	6,83	2	0,229	0,267	-14,255
4	1,17	2	0,173	0,166	4,487
5	4	5	0,402	0,382	5,354
6	4	5	0,402	0,382	5,354
7	4	5	0,402	0,382	5,354

Tabela E.4. Análise do erro, por ensaio, dos valores preditos sobre os valores experimentais da *Degree-Time/Degree-Time* da Testemunha (Modelo *Quadrático*), utilizando resfriamento por estocagem em câmara frigorífica.

Ensaio	Tempo (h)	Temp. (°C)	DT/DT _{test}	Valores Preditos	Erro Real/Predito (%)
1	6,83	8	0,605	0,625	-3,191
2	1,17	8	0,458	0,446	2,626
3	6,83	2	0,229	0,271	-15,450
4	1,17	2	0,173	0,183	-5,569
5	4	5	0,402	0,399	0,702
6	4	5	0,402	0,399	0,702
7	4	5	0,402	0,399	0,702
8	8	5	0,521	0,484	7,755
9	0	5	0,288	0,295	-2,474
10	4	10	0,618	0,620	-0,371
11	4	0	0,130	0,106	22,651

E.2. Análise do Erro, por Ensaio, dos Valores Preditos pelo Modelo sobre os Valores Experimentais das Variáveis-Resposta Vida de Prateleira e Degree-Time/Degree-Time da Testemunha, Utilizando Resfriamento Rápido por Ar Forçado (Túnel Californiano).

Tabela E.5. Análise do erro, por ensaio, dos valores preditos sobre os valores experimentais da Vida de Prateleira (Modelo *Linear*), utilizando resfriamento rápido por ar forçado.

Ensaio	Tempo (h)	Temp. (°C)	VP (dias)	Valores Preditos (dias)	Erro Real/Predito (%)
1	6,83	8	3	2,571	14,285
2	1,17	8	4	3,571	10,713
3	6,83	2	8	7,571	5,357
4	1,17	2	9	8,571	4,761
5	4	5	5	5,571	-11,428
6	4	5	5	5,571	-11,428
7	4	5	5	5,571	-11,428

Tabela E.6. Análise do erro, por ensaio, dos valores preditos sobre os valores experimentais da Vida de Prateleira (Modelo *Quadrático*), utilizando resfriamento rápido por ar forçado.

Ensaio	Tempo (h)	Temp. (°C)	VP (dias)	Valores Preditos (dias)	Erro Real/Predito (%)
1	6,83	8	3	2,797	6,766
2	1,17	8	4	4,005	-0,125
3	6,83	2	8	7,681	3,987
4	1,17	2	9	8,888	1,244
5	4	5	5	5,029	-0,580
6	4	5	5	5,029	-0,580
7	4	5	5	5,029	-0,580
8	8	5	4	4,303	-7,575
9	0	5	6	6,010	-0,166
10	4	10	3	3,043	-1,433
11	4	0	11	11,182	-1,654

Tabela E.7. Análise do erro, por ensaio, dos valores preditos sobre os valores experimentais da *Degree-Time/Degree-Time* da Testemunha (Modelo *Linear*), utilizando resfriamento rápido por ar forçado.

Ensaio	Tempo (h)	Temp. (°C)	DT/DT _{test}	Valores Preditos	Erro Real/Predito (%)
1	6,83	8	0,593	0,590	0,508
2	1,17	8	0,456	0,486	-6,077
3	6,83	2	0,225	0,255	-11,592
4	1,17	2	0,153	0,150	2,000
5	4	5	0,389	0,370	5,135
6	4	5	0,387	0,370	4,594
7	4	5	0,387	0,370	4,594

Tabela E.8. Análise do erro, por ensaio, dos valores preditos sobre os valores experimentais da *Degree-Time/Degree-Time* da Testemunha (Modelo *Quadrático*), utilizando resfriamento rápido por ar forçado.

Ensaio	Tempo (h)	Temp. (°C)	DT/DT _{test}	Valores Preditos	Erro Real/Predito (%)
1	6,83	8	0,593	0,611	-2,935
2	1,17	8	0,456	0,443	2,834
3	6,83	2	0,225	0,267	-15,864
4	1,17	2	0,153	0,165	-7,228
5	4	5	0,389	0,385	1,071
6	4	5	0,387	0,385	0,551
7	4	5	0,387	0,385	0,551
8	8	5	0,510	0,473	7,722
9	0	5	0,276	0,283	-2,343
10	4	10	0,613	0,617	-0,633
11	4	0	0,124	0,099	25,819

APÊNDICE F

F.1. Históricos de Temperatura dos Ensaios

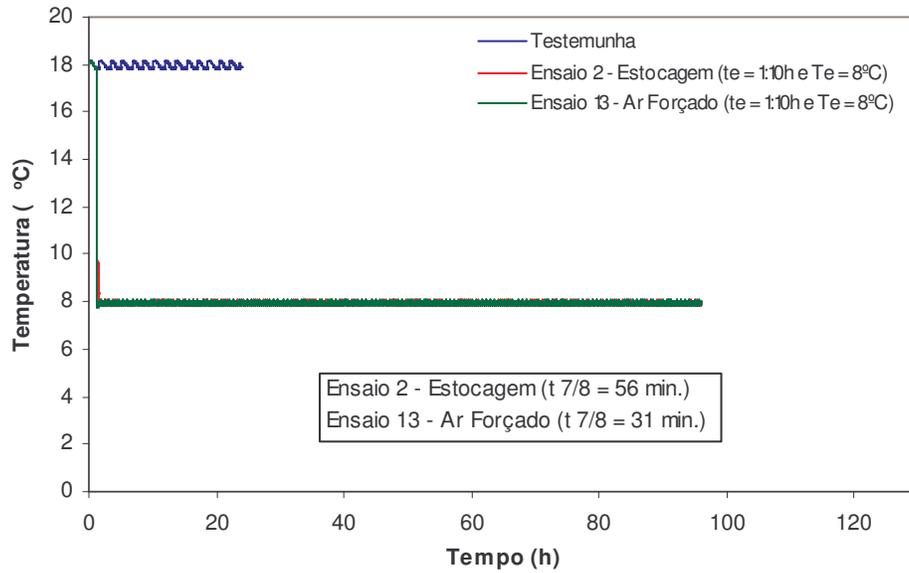


Figura F.1. Históricos de temperatura referentes aos ensaios 2 e 13.

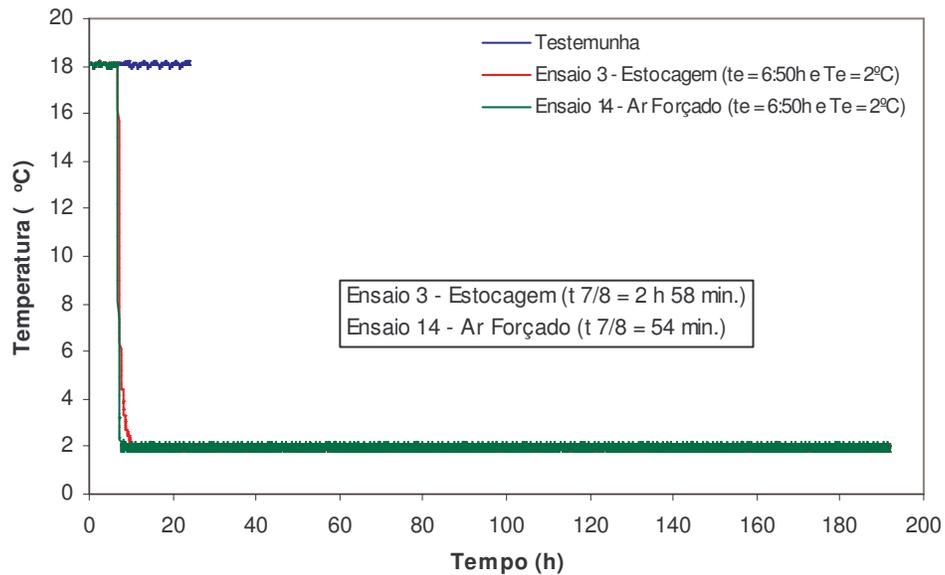


Figura F.2. Históricos de temperatura referentes aos ensaios 3 e 14.

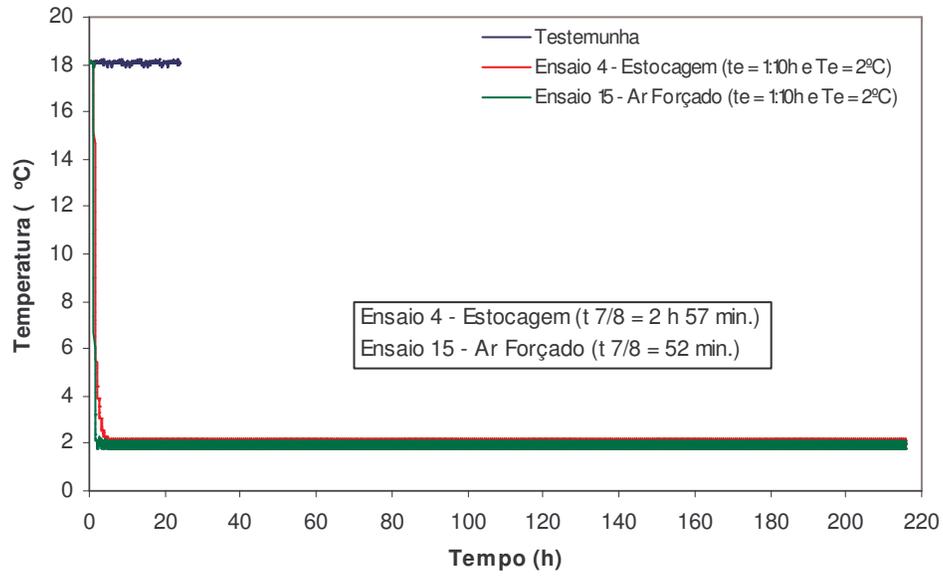


Figura F.3. Históricos de temperatura referentes aos ensaios 4 e 15.

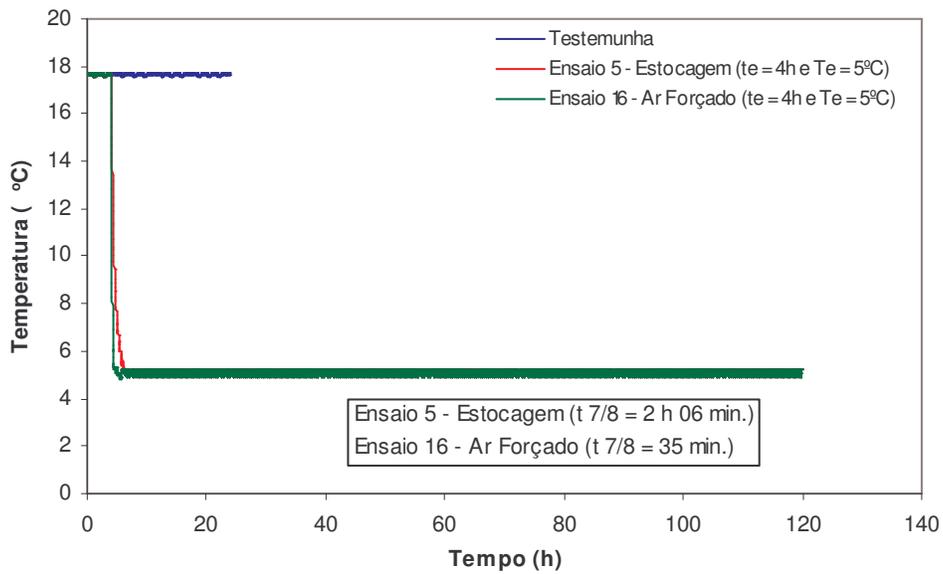


Figura F.4. Históricos de temperatura referentes aos ensaios 5 e 16.

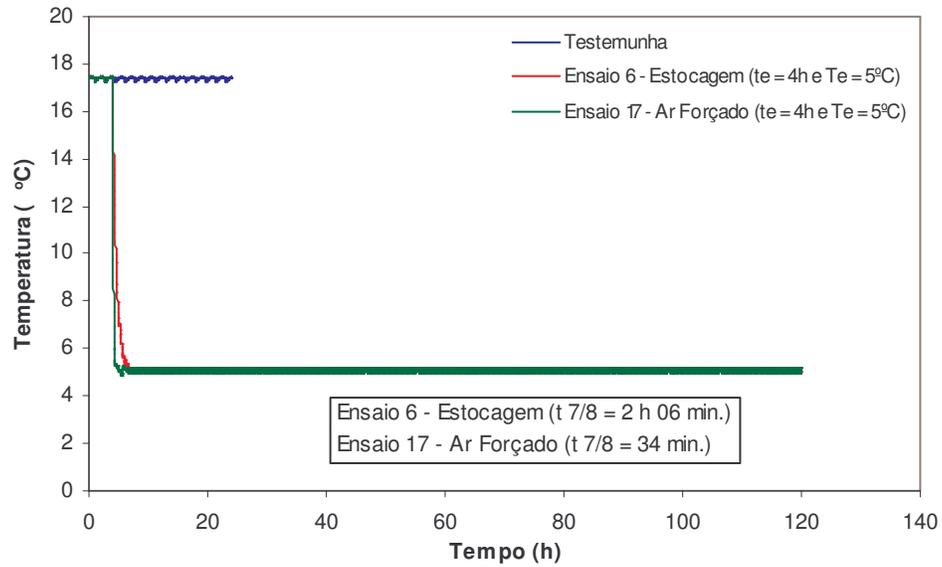


Figura F.5. Históricos de temperatura referentes aos ensaios 6 e 17.

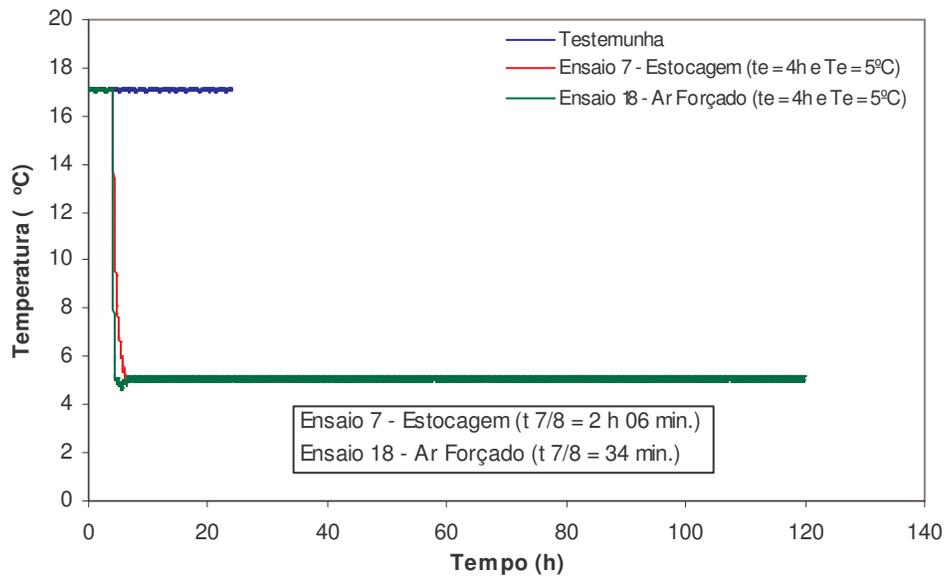


Figura F.6. Históricos de temperatura referentes aos ensaios 7 e 18.

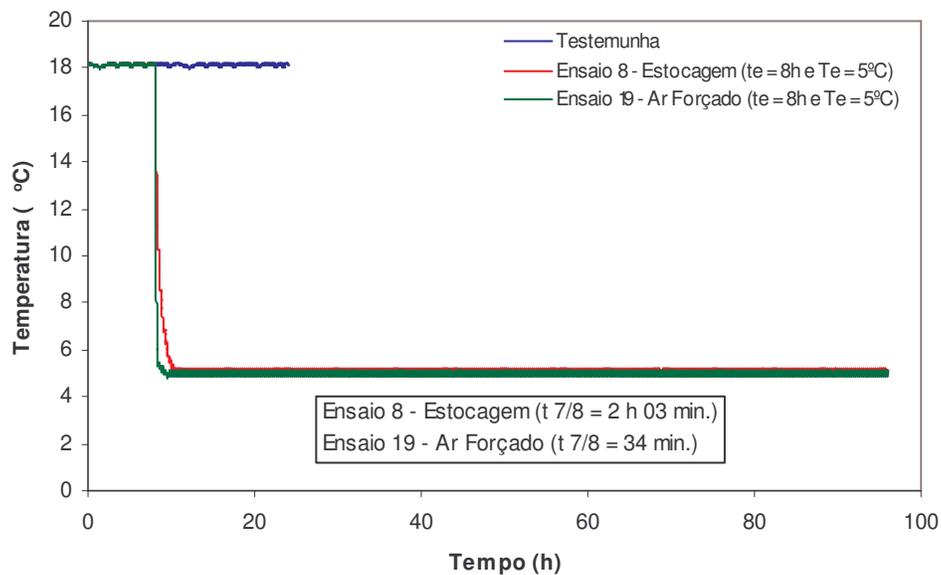


Figura F.7. Históricos de temperatura referentes aos ensaios 8 e 19.

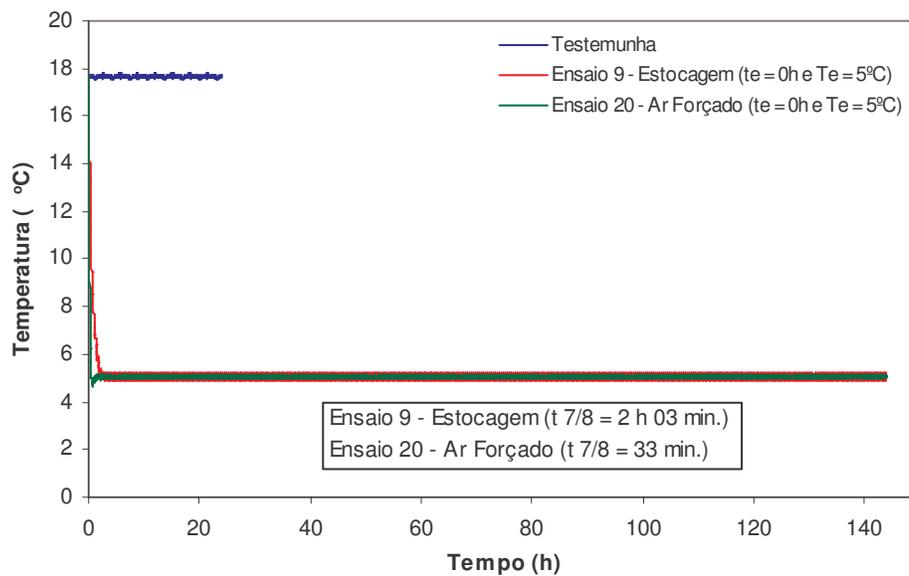


Figura F.8. Históricos de temperatura referentes aos ensaios 9 e 20.

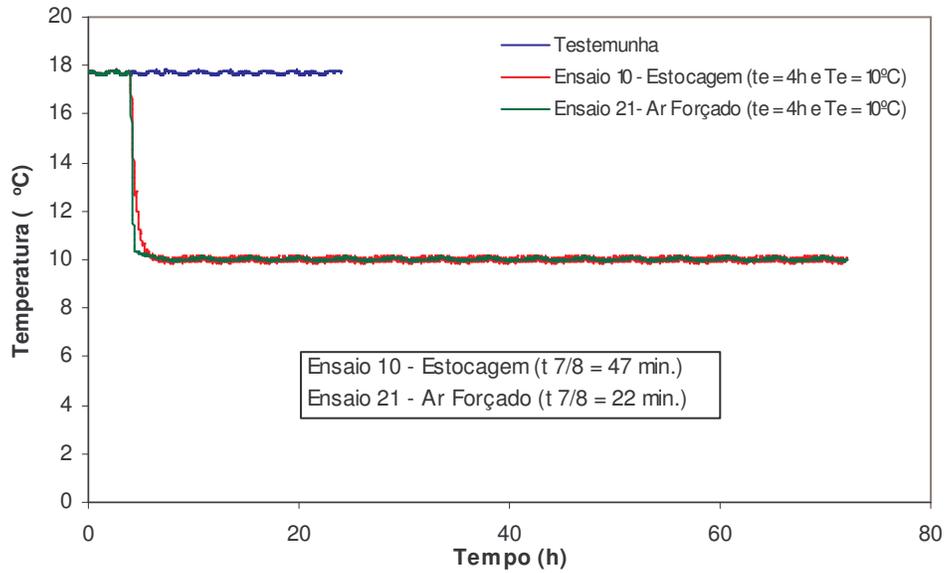


Figura F.9. Históricos de temperatura referentes aos ensaios 10 e 21.

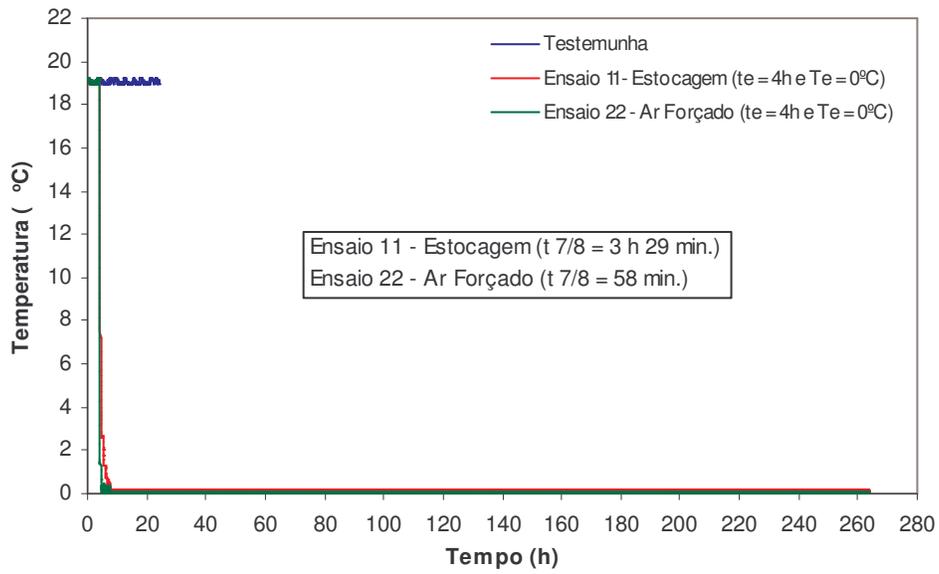


Figura F.10. Históricos de temperatura referentes aos ensaios 11 e 22.

APÊNDICE G

G.1. Resultados Obtidos na Análise Sensorial dos Ensaiois (Aparência Geral)

Tabela G.1. Médias das notas das análises sensoriais (Aparência Geral) para resfriamento por estocagem em câmara frigorífica.

Dias de Estocagem	Ensaiois											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
0	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00
2	7,43	7,93	9,00	8,64	8,23	8,64	8,79	7,26	7,49	8,14	8,36	
3	6,71	7,86	8,51	8,49	7,94	8,12	7,79	6,91	7,36	6,61	8,62	
4	3,86	6,04	8,39	8,31	6,33	7,23	6,85	5,98	6,98	4,00	8,82	
5		3,43	8,45	7,96	5,84	6,11	6,44	4,25	6,91		8,67	
6			7,33	6,54	4,88	4,37	3,94		5,64		8,25	
7			7,14	6,11					2,67		7,69	
8			6,48	6,29							7,68	
9			1,37	5,98							6,77	
10				2,41							6,65	
11											6,12	
12											3,08	

Tabela G.2. Médias das notas das análises sensoriais (Aparência Geral) para resfriamento rápido por ar forçado.

Dias de Estocagem	Ensaio											
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
0	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00
2	7,79	7,21	8,21	8,56	7,68	8,06	8,61	8,02	7,48	8,43	8,27	
3	5,64	7,79	8,19	8,22	6,89	7,99	7,23	7,95	7,28	5,77	8,46	
4	3,43	5,58	8,32	8,02	6,54	6,58	7,01	6,94	7,06	3,47	8,35	
5		4,00	8,17	7,89	5,77	5,46	6,62	2,17	6,59		8,17	
6			7,59	7,85	2,50	3,57	3,94		5,22		7,25	
7			7,07	7,45					2,08		8,08	
8			6,70	6,52							7,21	
9			3,62	6,31							7,31	
10				2,94							7,06	
11											6,44	
12											2,94	

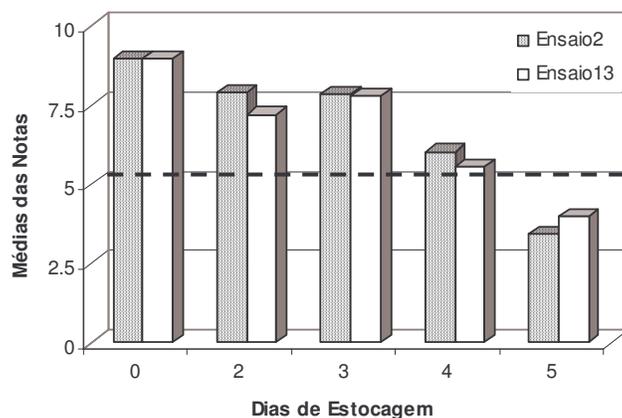


Figura G.1. Médias das notas obtidas nas análises sensoriais (ensaios 2 e 13).

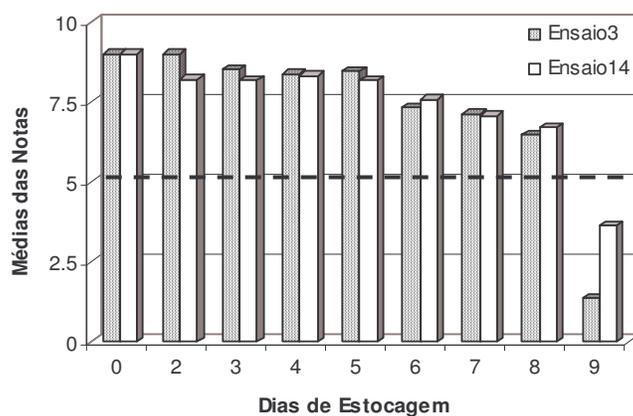


Figura G.2. Médias das notas obtidas nas análises sensoriais (ensaios 3 e 14).

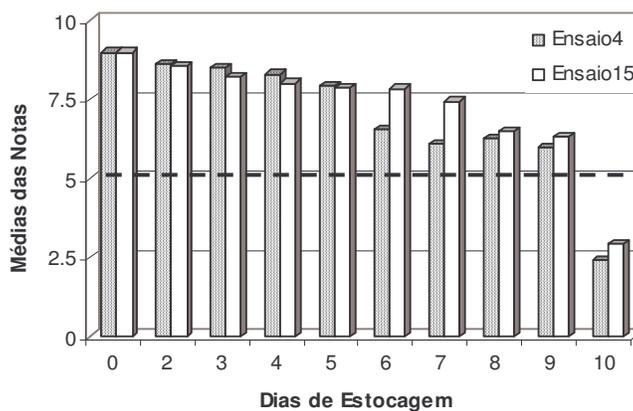


Figura G.3. Médias das notas obtidas nas análises sensoriais (ensaios 4 e 15).

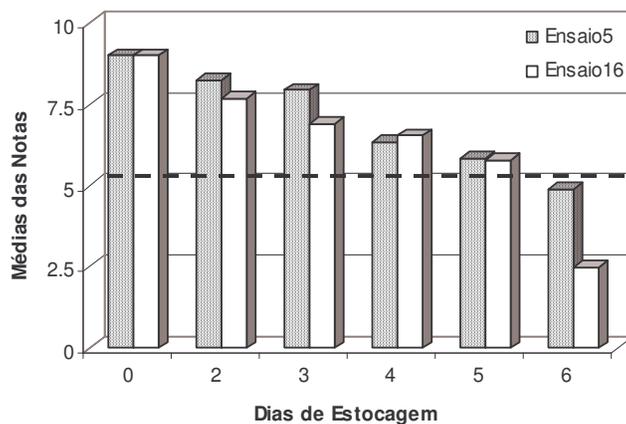


Figura G.4. Médias das notas obtidas nas análises sensoriais (ensaio 5 e 16).

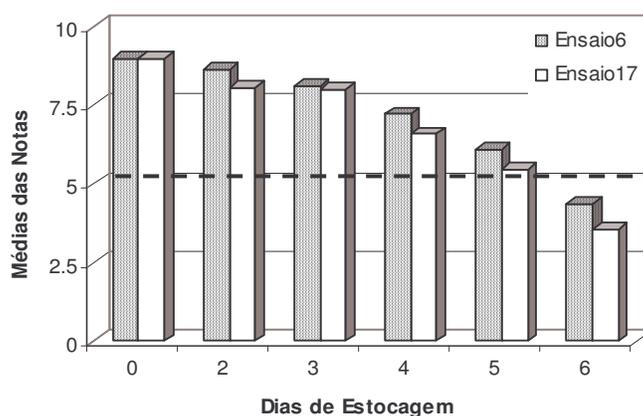


Figura G.5. Médias das notas obtidas nas análises sensoriais (ensaio 6 e 17).

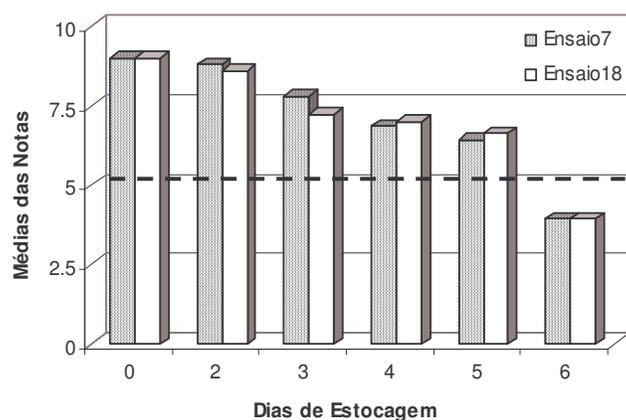


Figura G.6. Médias das notas obtidas nas análises sensoriais (ensaio 7 e 18).

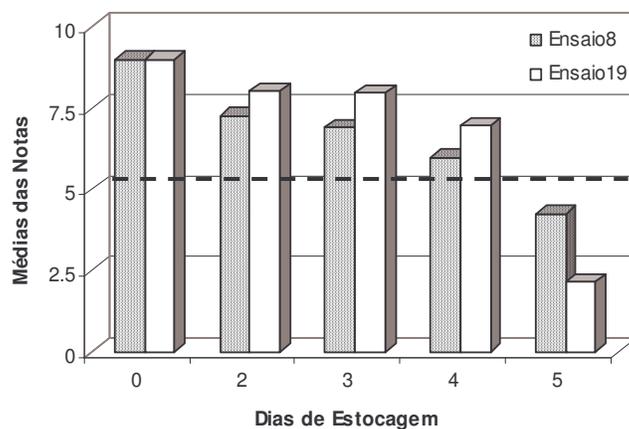


Figura G.7. Médias das notas obtidas nas análises sensoriais (ensaios 8 e 19).

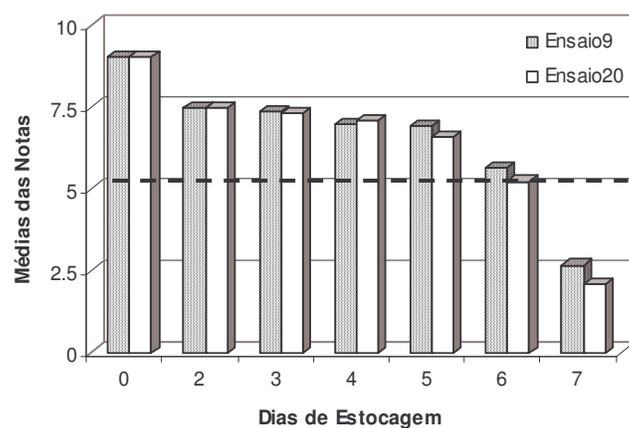


Figura G.8. Médias das notas obtidas nas análises sensoriais (ensaios 9 e 20).

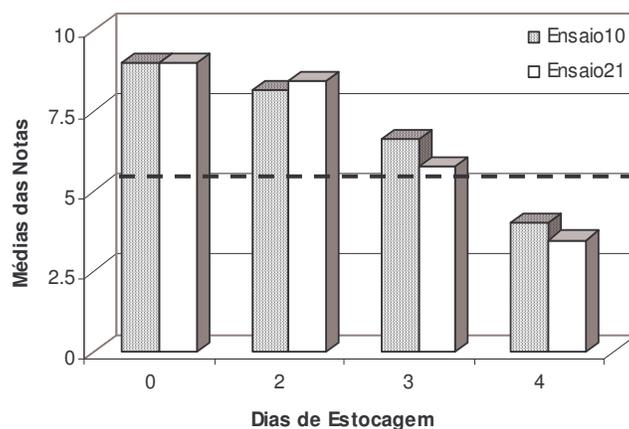


Figura G.9. Médias das notas obtidas nas análises sensoriais (ensaios 10 e 21).

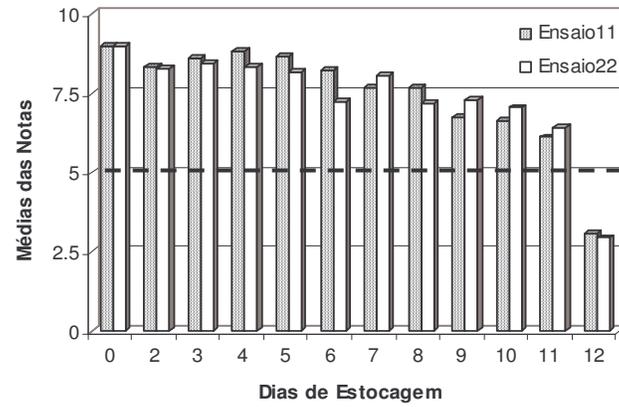


Figura G.10. Médias das notas obtidas nas análises sensoriais (ensaios 11 e 22).

G.2. Resultados Obtidos na Análise Sensorial dos Ensaio (Aceitação)

Tabela G.3. Porcentagem de aceitação dos provadores nas análises sensoriais para resfriamento por estocagem em câmara frigorífica.

Dias de Estocagem	Ensaio											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
0	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
2	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	88,62	90,56	100,00	100,00	100,00
3	92,86	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	91,52	82,13	87,33	88,15	100,00	100,00
4	42,86	83,33	100,00	100,00	91,66	100,00	90,13	74,29	80,52	40,00	100,00	100,00
5		14,29	100,00	100,00	74,12	81,02	78,59	25,00	77,53		100,00	100,00
6			94,56	98,58	37,50	42,08	29,81		61,28		100,00	100,00
7			88,52	90,48					8,33		84,62	84,62
8			75,35	77,20							100,00	100,00
9			10,00	61,89							100,00	100,00
10				16,20							100,00	100,00
11											74,56	74,56
12											11,76	11,76

Tabela G.4. Porcentagem de aceitação dos provadores nas análises sensoriais para resfriamento rápido por ar forçado.

Dias de Estocagem	Ensaio										
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
0	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
2	100,00	85,70	100,00	100,00	91,12	91,56	100,00	76,25	82,30	100,00	100,00
3	57,14	100,00	100,00	100,00	88,53	85,11	86,23	77,23	77,34	75,23	100,00
4	28,57	58,33	100,00	100,00	85,26	82,63	82,44	66,52	76,38	20,00	100,00
5		38,00	100,00	100,00	72,57	77,88	73,11	8,33	69,76		100,00
6			100,00	100,00	0,00	15,26	23,84		55,64		100,00
7			93,12	91,05					0,00		100,00
8			72,59	77,41							94,12
9			28,21	64,55							100,00
10				24,66							88,56
11											72,13
12											5,88

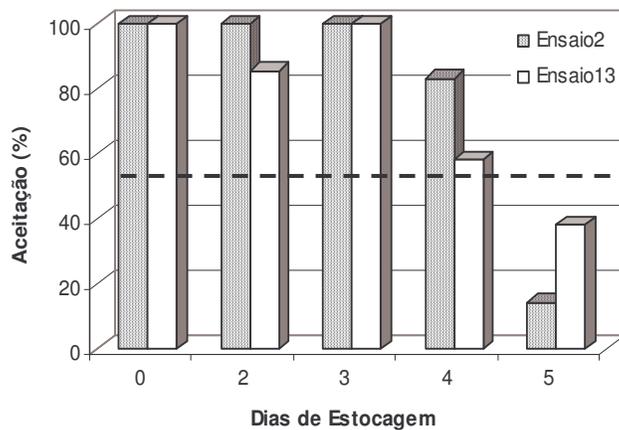


Figura G.11. Porcentagem de aceitação dos provedores (ensaios 2 e 13).

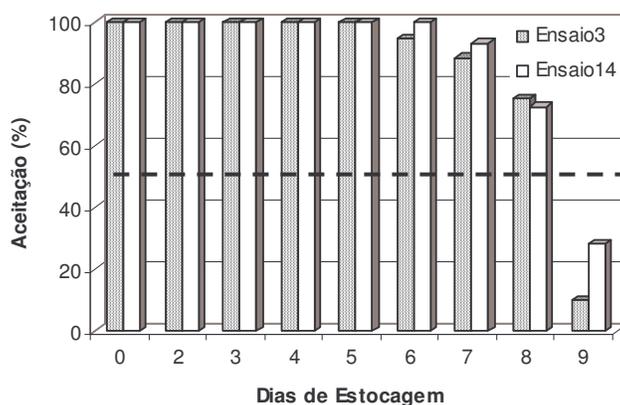


Figura G.12. Porcentagem de aceitação dos provedores (ensaios 3 e 14).

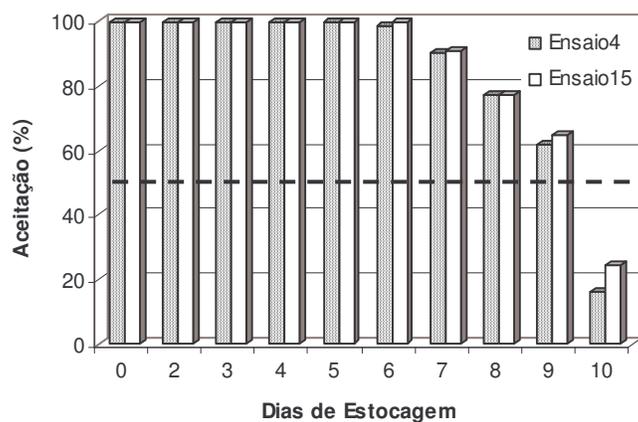


Figura G.13. Porcentagem de aceitação dos provedores (ensaios 4 e 15).

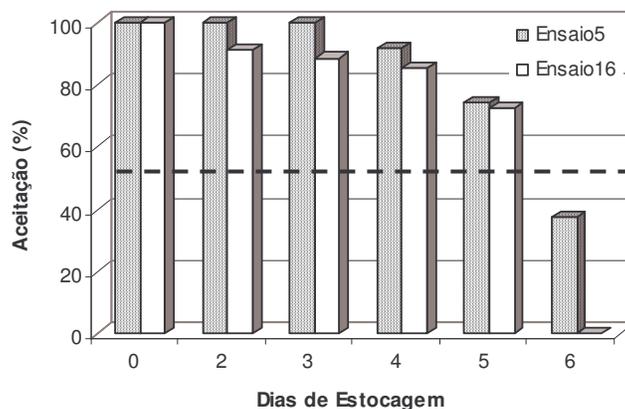


Figura G.14. Porcentagem de aceitação dos provadores (ensaios 5 e 16).

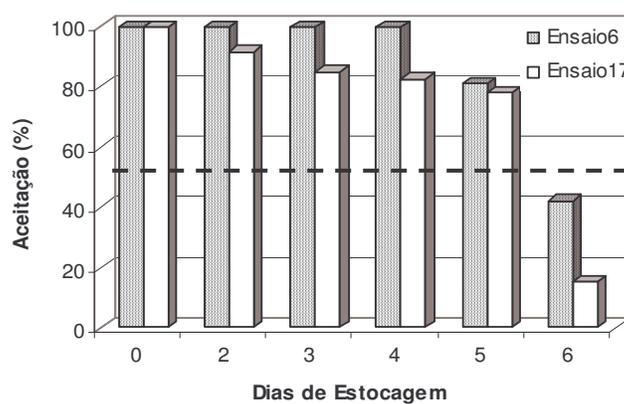


Figura G.15. Porcentagem de aceitação dos provadores (ensaios 6 e 17).

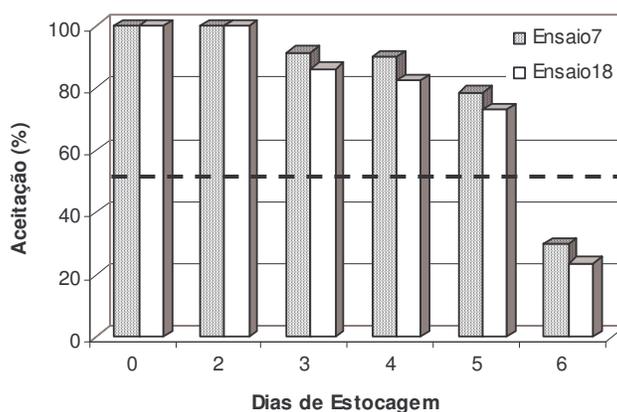


Figura G.16. Porcentagem de aceitação dos provadores (ensaios 7 e 18).

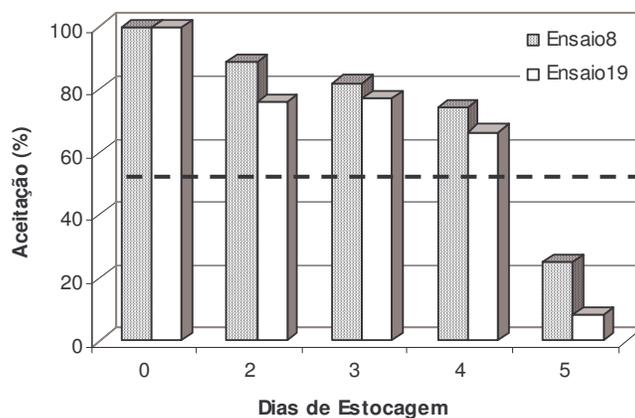


Figura G.17. Porcentagem de aceitação dos provadores (ensaios 8 e 19).

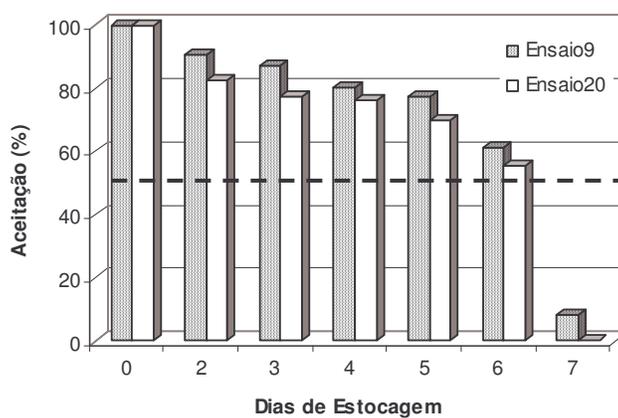


Figura G.18. Porcentagem de aceitação dos provadores (ensaios 9 e 20).

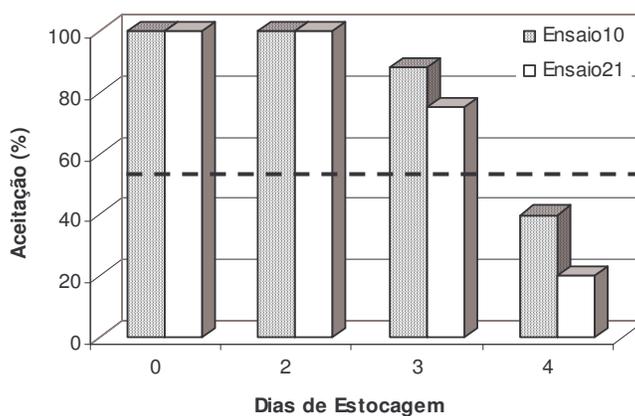


Figura G.19. Porcentagem de aceitação dos provadores (ensaios 10 e 21).

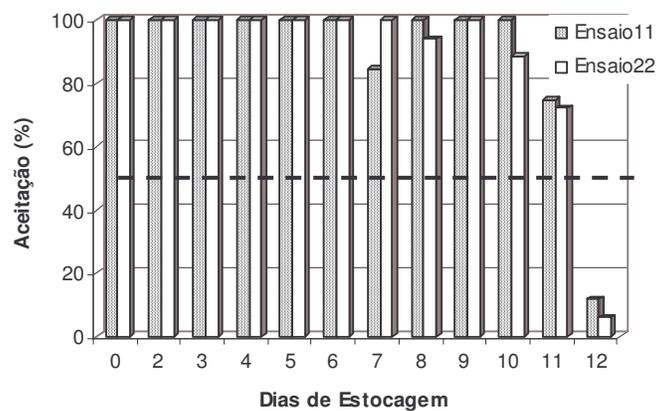


Figura G.20. Porcentagem de aceitação dos provadores (ensaios 11 e 22).

APÊNDICE H

*H.1. Controle de Massa dos Ensaio*s

Tabela H.1. Controle de Massa, em gramas, para resfriamento por estocagem em câmara frigorífica.

Dias de Estocagem	Ensaio										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	320,45	258,22	312,54	298,56	314,91	309,46	305,84	231,45	212,60	280,52	306,00
2	303,03	247,83	302,92	289,92	302,68	298,34	294,43	222,44	205,47	268,24	297,83
3	298,38	240,02	298,30	285,15	294,64	288,34	287,59	219,04	200,36	262,89	294,46
4	293,97	236,34	293,29	281,96	290,24	277,92	277,06	214,48	197,53	257,84	291,00
5		232,05	288,06	277,92	281,62	274,93	272,36	211,11	195,10		287,79
6			286,18	275,98		274,45	270,38		193,97		283,61
7			281,12	272,02					191,57		282,16
8			278,58	267,75							279,64
9			277,11	266,13							277,99
10				264,03							275,95
11											274,86
12											271,97

Tabela H.2. Controle de Massa, em gramas, para resfriamento rápido por ar forçado.

Dias de Estocagem	Ensaio										
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
0	300,15	272,69	283,45	296,46	327,93	302,13	298,75	250,08	279,53	286,76	278,14
2	280,57	260,63	273,92	287,63	315,11	290,63	286,96	240,18	269,68	273,19	270,32
3	274,90	252,62	269,97	282,73	305,89	280,75	280,34	235,22	262,53	266,83	266,77
4	270,38	247,08	265,01	278,91	296,55	270,85	270,03	229,68	258,84	262,42	263,91
5		242,95	261,13	275,18	294,01	268,11	265,16	226,63	254,67		260,70
6			259,29	273,21	291,50	267,13	263,39		251,47		257,08
7			254,50	269,53					248,42		255,95
8			251,76	264,55							253,48
9			250,09	263,35							251,50
10				261,28							250,42
11											249,33
12											245,65

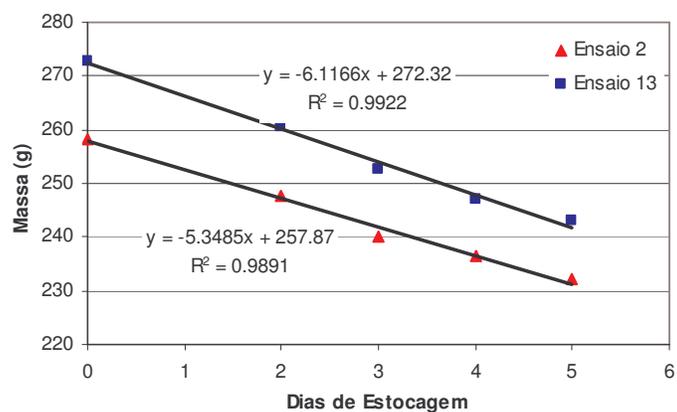


Figura H.1. Perda de massa e regressão linear para os ensaios 2 e 13.

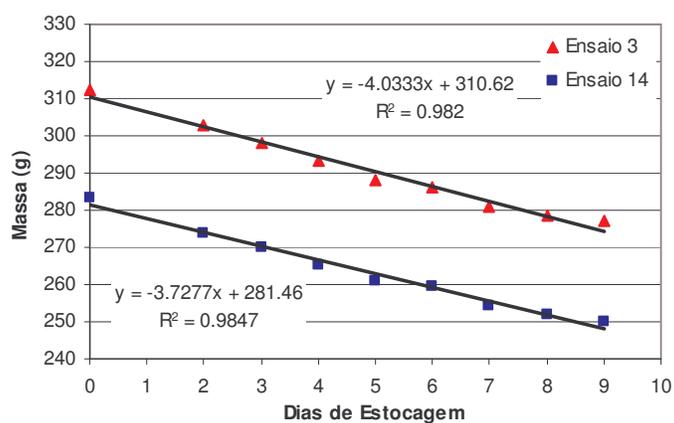


Figura H.2. Perda de massa e regressão linear para os ensaios 3 e 14.

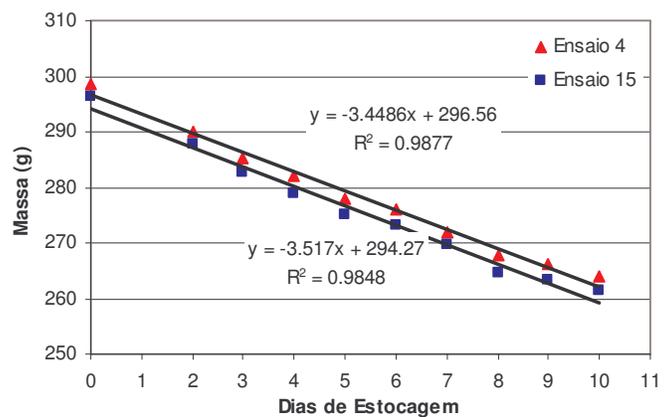


Figura H.3. Perda de massa e regressão linear para os ensaios 4 e 15.

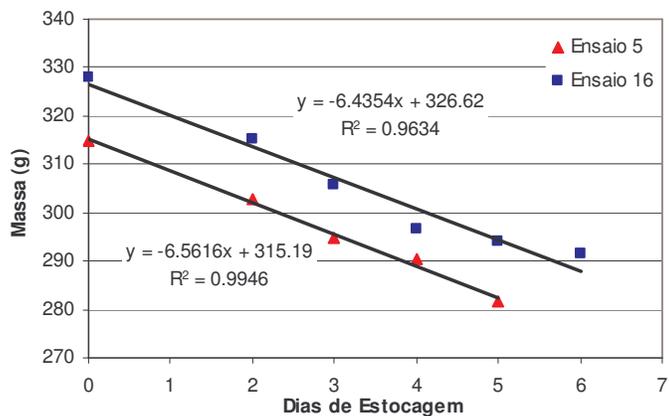


Figura H.4. Perda de massa e regressão linear para os ensaios 5 e 16.

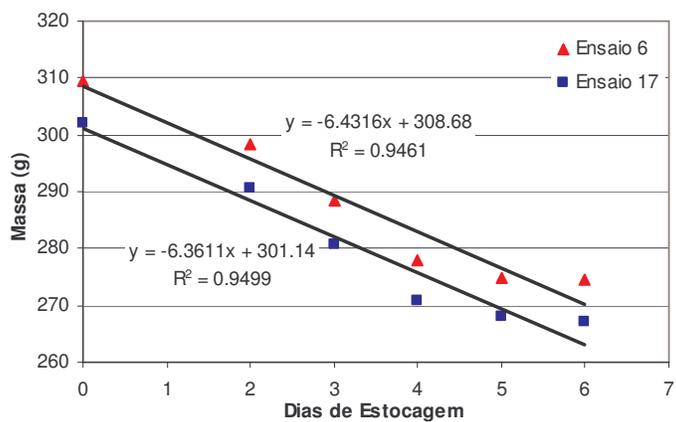


Figura H.5. Perda de massa e regressão linear para os ensaios 6 e 17.

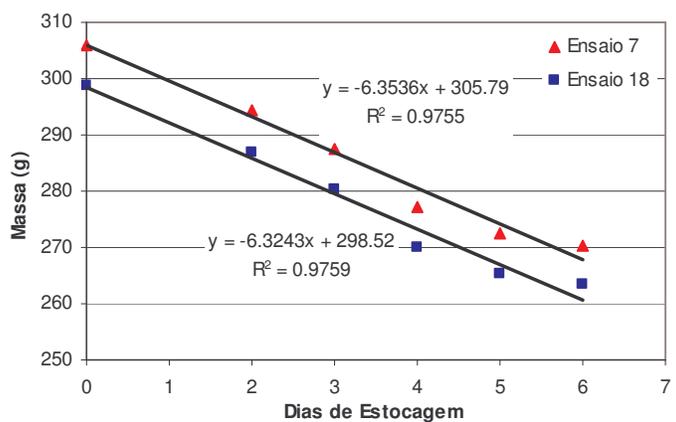


Figura H.6. Perda de massa e regressão linear para os ensaios 7 e 18.

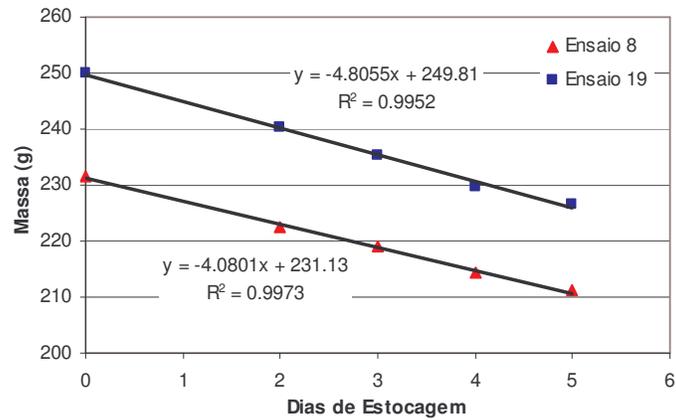


Figura H.7. Perda de massa e regressão linear para os ensaios 8 e 19.

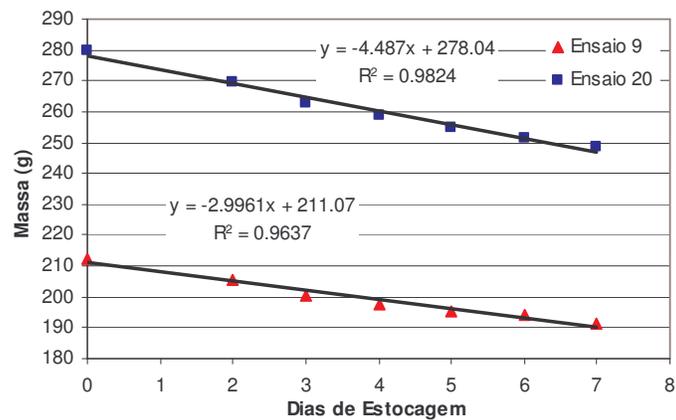


Figura H.8. Perda de massa e regressão linear para os ensaios 9 e 20.

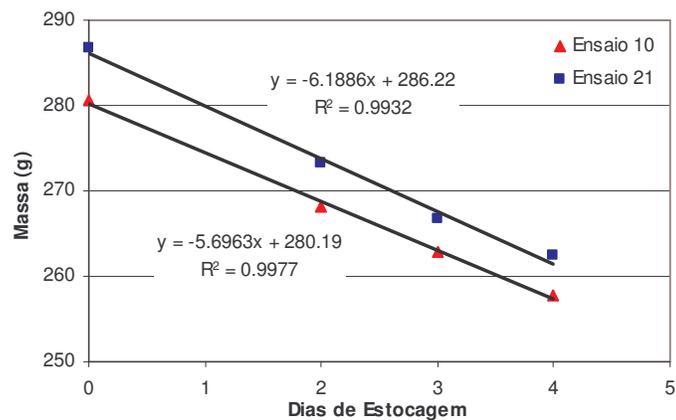


Figura H.9. Perda de massa e regressão linear para os ensaios 10 e 21.

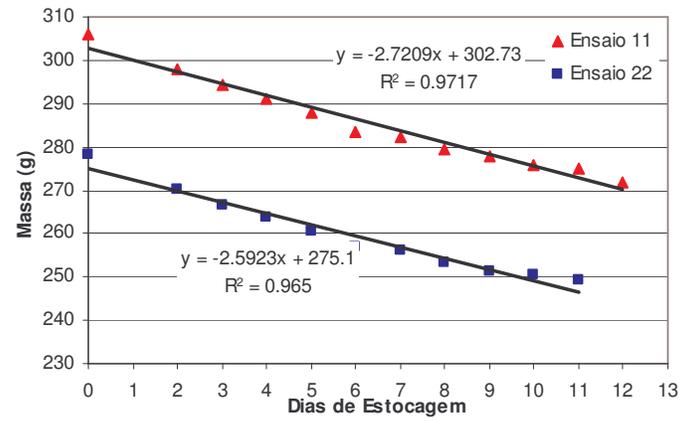


Figura H.10. Perda de massa e regressão linear para os ensaios 11 e 22.

