

**UNIVERSIDADE REGIONAL INTEGRADA DO ALTO URUGUAI E DAS  
MISSÕES – CAMPUS DE ERECHIM**

**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS**

**ESTUDO DA CINÉTICA DE SECAGEM DE TOMATE ITALIANO POR  
DIFERENTES TÉCNICAS, COMPARAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-  
QUÍMICAS E NUTRICIONAL E VIABILIDADE ECONÔMICA DO PROCESSO**

**ANGELISE DURIGON**

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de alimentos da URI – Campus de Erechim, como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em Engenharia de Alimentos, Área de Concentração: Engenharia de Alimentos, da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI, Campus de Erechim.

**ERECHIM, RS – BRASIL**

**FEVEREIRO DE 2012**

**ESTUDO DA CINÉTICA DE SECAGEM DE TOMATE ITALIANO POR  
DIFERENTES TÉCNICAS, COMPARAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-  
QUÍMICAS E NUTRICIONAL E VIABILIDADE ECONÔMICA DO PROCESSO**

ANGELISE DURIGON

Dissertação de Mestrado submetida à Comissão Julgadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos como parte dos requisitos necessários à obtenção do Grau de Mestre em Engenharia de Alimentos, Área de Concentração: Engenharia de Alimentos.

Comissão Julgadora:

---

Helen Treichel, D. Sc

Orientadora

---

Luiz Carlos Gutkoski, D. Sc

Membro da banca

---

Márcio Antônio Mazutti, D. Sc

Orientador

---

Lauri Lourenço Radünz, D. Sc

Membro da banca

---

Altemir José Mossi, D. Sc

Orientador

---

Marcus Vinícius Tres, D. Sc

Membro da banca

Erechim, 10 de fevereiro de 2012.

NESTA PÁGINA DEVERÁ SER INCLUÍDA A FICHA CATALOGRÁFICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO. ESTA FICHA SERÁ ELABORADA DE ACORDO COM OS PADRÕES DEFINIDOS PELO SETOR DE PROCESSOS TÉCNICOS DA BIBLIOTECA DA URI – CAMPUS DE ERECHIM.

*Dedico este trabalho aos meus pais  
Hélio e Enelice e minha família Hélio Henrique,  
Angela, Junior, Joaquim e vó Iole.*

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Hélio e Enelice, irmãos Angela e Hélio Henrique, vó Iole, cunhado Junior, sobrinho e afilhado Joaquim e a toda minha família pela confiança depositada, pelo incentivo e por não medirem esforços para me ajudar a conquistar esse objetivo.

Aos professores Helen Treichel, Márcio Mazutti e Altemir Mossi, pela confiança depositada, pelo aporte de conhecimento e pela orientação à realização desta dissertação. Pelas horas de conversa em salas de aula, festas e conselhos que contribuíram para que eu seguisse em frente confiando em meu potencial.

Aos demais professores do programa de mestrado em Engenharia de Alimentos, Débora de Oliveira, Geciane Toniazco, Clarissa Dalla Rosa, José Vladimir de Oliveira, Eunice Valduga e Elisandra Rigo, que também contribuíram para a formação profissional.

Ao professor Claudio Augusto Zakrzewski e ao professor Sérgio Henrique Mosele pela orientação extra e suporte técnico.

Aos profissionais da Central de Materiais do prédio 9 da URI, Vera, Rose e Douglas. E a secretária da pós-graduação em Engenharia de Alimentos Andréia de Brito.

Aos profissionais do Laboratório de Cereais da Universidade de Passo Fundo, professor Luiz Carlos Gutkoski, Tânia Soster Santetti e Angélica Deon.

À Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI), pelo fornecimento de estrutura para a realização deste trabalho.

Ao Laboratório de Cereais do Centro de Pesquisa em Alimentação da Universidade de Passo Fundo pelo fornecimento de equipamento para realização das análises de textura.

À CAPES, pelo apoio financeiro concedido.

Aos membros da banca examinadora, Dr. Luiz Carlos Gutkoski, Dr. Lauri Lourenço Radünz e Dr. Marcus Vinícius Tres pelas valiosas sugestões para redação da versão final da presente dissertação.

Aos colegas de mestrado da turma de 2010-2012 pelas amizades, conversas, estudos, carinho e contribuições. Em especial aos colegas e amigos Gustavo Ceni, Pablo

Gustavo Oliveira, Douglas Soares, Juliana Rizzardi, Débora Demartini, Tássio Benazzi, Guilherme Balsan, Helmut Navarro, Marcell Fernandes e Marcus Vinícius Tres.

Aos alunos de graduação André Polloni, Bárbara Biduski e Naiara Zotti pela ajuda na realização dos ensaios experimentais.

À amiga Simone Mazzutti, pela contribuição intelectual, conselhos, carinho e momentos de lazer que passamos juntas.

Às amigas conquistadas em Erechim pelos momentos de convivência diária como uma segunda família Fernanda Fiabane, Franciele Binotto, Gabriella Almeida, Karina Bizotto, Kelson Pará, Emerson Vieira e Mateus Moraes, com os quais dividi angústias, medos, alegrias, festas, sorrisos, histórias e lições de vida. A uma pessoa muito especial Eduardo obrigada pelo tempo dedicado a mim e as nossas longas conversas. Mesmo longe sua contribuição para estar aqui foi fundamental.

E a vocês dedico o trecho do poema Nada foi em vão de Mário Quintana: “Quero, um dia, poder ter a liberdade de dizer às pessoas que nada foi em vão... Que o amor existe, que vale a pena se doar as amigas e às pessoas, que a vida é bela sim, e que eu sempre dei o melhor de mim... e que valeu a pena.”

Escolher Erechim e a URI para ser minha casa e meu trabalho foi uma escolha difícil, mas hoje estou convicta que foi a escolha mais correta, pois tive as melhores pessoas ao meu lado. Foram muitas as aprovações, a tentação de desistir bateu muitas vezes em minha porta, mas sempre tinha um de vocês para dizer não! eu confio em você! siga em frente!, ou, você tem um futuro brilhante!. Por esses motivos, que sou muito grata e que esta titulação não é uma simples conquista, é ah conquista!

*“Aprende que as circunstâncias e os ambientes  
tem influência sobre nós, mas nós somos  
responsáveis por nós mesmos.  
Começa a aprender que não se deve comparar  
com os outros, mas com o melhor que pode ser.  
Descobre que se leva muito tempo para se tornar  
a pessoa que quer ser, e que o tempo é curto.  
Aprende que não importa onde já chegou, mas  
onde está indo, mas se você não sabe para onde  
está indo, qualquer lugar serve.  
Aprende que, ou você controla seus atos ou eles o  
controlarão, e que ser flexível não significa ser  
fraco ou não ter personalidade, pois não importa  
quão delicada e frágil seja uma situação, sempre  
existem dois lados.  
Aprende que heróis são pessoas que fizeram o que  
era necessário fazer, enfrentando as  
conseqüências.  
Aprende que paciência requer muita prática.”*

*(William Shakespeare)*

Resumo da Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia de Alimentos.

**ESTUDO DA CINÉTICA DE SECAGEM DE TOMATE ITALIANO POR  
DIFERENTES TÉCNICAS, COMPARAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-  
QUÍMICAS E NUTRICIONAL E VIABILIDADE ECONÔMICA DO PROCESSO**

Angelise Durigon

Fevereiro de 2012

Orientadores: Helen Treichel

Márcio Antonio Mazutti

Altemir José Mossi

O objetivo do trabalho foi estudar a cinética de secagem de tomate italiano cortados em fatias e em quatro partes, utilizando diferentes condições de secagem em secador convectivo em escala piloto e em estufa com circulação de ar, bem como avaliar as propriedades físico-químicas e nutricional do produto e a viabilidade econômica do processo. A secagem foi realizada nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C, determinando a cinética de secagem, a modelagem matemática e a difusividade efetiva. Além disso, foram analisados as propriedades de capacidade de reidratação, cor, textura e licopeno e avaliado a viabilidade econômica do processo. Verificou-se que os tomates secos em secador escala laboratorial apresentaram menor tempo de secagem, sendo estes menores para os tomates em fatias. O modelo cinético global proposto apresentou um ajuste satisfatório aos dados experimentais, mostrando ser uma alternativa para predizer os perfis de secagem a temperaturas diferentes daqueles utilizados na estimativa dos parâmetros. Verificou-se que a difusividade efetiva para tomates cortados em quatro partes secos em secador piloto foram superiores. A capacidade de reidratação dos tomates cortados em quatro partes e em fatias não sofreu efeito significativo da temperatura utilizada em ambos os métodos de

secagem. Nas temperaturas de 50 e 60 °C do secador convectivo, os tomates cortados em quatro partes apresentaram capacidade de reidratação maiores. O tempo de secagem e presença de enzimas tem forte influência sobre o escurecimento do produto e verificou-se a tendência de aumentar o índice de saturação de vermelho com a temperatura. Os tomates cortados em quatro partes e em fatias apresentaram amolecimento em ambos os métodos de secagem. Sendo que o amolecimento foi significativamente diferente nas amostras secas em estufa a 60 °C. O teor de licopeno das amostras sofreram influência da temperatura e método de secagem. Os maiores valores de licopeno foram encontrados nas maiores temperaturas de secagem estudadas. Os tomates cortados em fatias e secos em estufa apresentaram menores valores de licopeno. A melhor qualidade de produto foi obtida nas amostras de tomates secos em secador convectivo piloto em tempos de secagem menores. O estudo de viabilidade econômica mostrou-se viável para a implantação de uma agroindústria.

*Palavras-chave:* secador piloto convectivo, estufa com circulação de ar, modelagem matemática, cor, licopeno.

Abstract of Dissertation presented to Food Engineering Program as a partial fulfillment of the requirements of the Master in Food Engineering

**KINETIC STUDY OF THE DRYING OF TOMATO ITALIAN BY DIFFERENT TECHNIQUES, COMPARISON OF PHYSICAL CHEMICAL AND NUTRITION AND ECONOMIC FEASIBILITY OF THE PROCESS**

Angelise Durigon

Fevereiro de 2012

Advisors: Helen Treichel

Márcio Antonio Mazutti

Altemir José Mossi

This work studied the drying kinetics of Italian tomato sliced and cut in four parts using different drying conditions in convective laboratory-scale dryer and an oven with forced air circulation, and to assess the physico-chemical and nutritional product and the economic viability of the process. The drying was carried out at temperatures of 40, 50 and 60 °C, determining to drying kinetics, mathematical modeling and the effective diffusivity. In addition, we analyzed the properties of rehydration capacity, color, texture and lycopene and evaluated the economic viability of the process. It was verified that tomatoes dried in the laboratory-scale drier presented lower drying time and drying time of sliced tomatoes were lower. The proposed drying model presented a satisfactory fitting of the experimental data, showing that the use of global kinetic models is an alternative to predict the drying profiles at different temperature those used during the estimation of parameters. It was verified that the effective diffusivity for tomatoes cut in four parts were higher than for sliced tomatoes in both, convective laboratory and oven convective driers. The rehydration ability of tomatoes cut in four parts and slices did not showed significant effect on both the temperature used in drying methods. In temperatures of 50 and 60 °C of convective dryer, the tomatoes cut into four parts showed higher rehydration capacity. The drying time has

strong influence on the darkening of the product and there was a tendency of increasing the red saturation index with temperature. The tomatoes cut into four parts and slices showed softening in both drying methods. Since, the softening was significantly different in the samples dried in oven at 60 °C. The lycopene content of the samples was influenced by temperature and drying method. The highest values of lycopene were observed at higher drying temperatures studied. The tomatoes cut into slices and dried in oven showed lower values of lycopene. The best product quality was obtained in tomatoes dried in laboratory-convective drier, in drying time decreases. The economic feasibility study proved to be feasible for the possible deployment of a company.

*Key-words:* dryer convective laboratory, oven with forced air circulation, mathematical modeling, color, lycopene.

## SUMÁRIO

|                                                              |           |
|--------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>                                    | <b>1</b>  |
| 1.1 OBJETIVO GERAL.....                                      | 3         |
| 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....                              | 3         |
| <b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>                         | <b>4</b>  |
| 2.1 TOMATE .....                                             | 4         |
| <b>2.1.1 Tomate italiano .....</b>                           | <b>7</b>  |
| <b>2.1.2 Cenário econômico do tomate .....</b>               | <b>8</b>  |
| <b>2.1.3 Tomate seco .....</b>                               | <b>9</b>  |
| 2.2 SECAGEM.....                                             | 10        |
| <b>2.2.1 Mecanismos da secagem.....</b>                      | <b>11</b> |
| 2.3 MODELOS MATEMÁTICOS .....                                | 22        |
| 2.4 SECAGEM EM SECADOR CONVECTIVO .....                      | 26        |
| 2.5 PARÂMETROS DE QUALIDADE EM ALIMENTOS SECOS.....          | 27        |
| 2.6 VIABILIDADE ECONÔMICA INDUSTRIAL.....                    | 34        |
| <b>2.6.1 Índice de Relação Custo/Benefício (IBC) .....</b>   | <b>35</b> |
| <b>2.6.2 Valor Presente Líquido (VPL).....</b>               | <b>37</b> |
| <b>3 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>                           | <b>42</b> |
| 3.1 AMOSTRAS .....                                           | 42        |
| 3.2 UMIDADE .....                                            | 43        |
| 3.3 APARATO EXPERIMENTAL.....                                | 43        |
| 3.4 PROCEDIMENTO DE SECAGEM E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL..... | 45        |
| 3.5 MODELAGEM MATEMÁTICA DOS DADOS EXPERIMENTAIS.....        | 46        |
| 3.6 COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO E ANÁLISE DE ERROS .....       | 48        |
| 3.7 DIFUSIVIDADE EFETIVA .....                               | 49        |
| 3.8 CAPACIDADE DE REIDRATAÇÃO .....                          | 50        |
| 3.9 COR.....                                                 | 51        |
| 3.10 TEXTURA .....                                           | 51        |
| 3.11 LICOPENO .....                                          | 51        |
| 3.12 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA .....                  | 52        |

|          |                                             |            |
|----------|---------------------------------------------|------------|
| 3.12.1   | Descrição da empresa.....                   | 53         |
| 3.12.2   | Inventário .....                            | 54         |
| 3.12.3   | Custos variáveis diretos e indiretos.....   | 55         |
| 3.12.4   | Custos fixos.....                           | 55         |
| 3.12.5   | Demonstrativo de resultados da empresa..... | 56         |
| 3.12.6   | Descrição dos resultados da empresa .....   | 57         |
| 3.13     | ANÁLISE ESTATÍSTICA.....                    | 58         |
| <b>4</b> | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>         | <b>59</b>  |
| 4.1      | CINÉTICA DE SECAGEM .....                   | 59         |
| 4.2      | MODELAGEM MATEMÁTICA .....                  | 62         |
| 4.3      | DIFUSIVIDADE EFETIVA .....                  | 66         |
| 4.4      | CAPACIDADE DE REIDRATAÇÃO .....             | 67         |
| 4.5      | COR .....                                   | 70         |
| 4.6      | TEXTURA .....                               | 76         |
| 4.7      | LICOPENO .....                              | 79         |
| 4.8      | PRODUTO FINAL .....                         | 82         |
| 4.9      | VIABILIDADE ECONÔMICA.....                  | 85         |
| 4.9.1    | Inventário .....                            | 86         |
| 4.9.2    | Custos Variáveis .....                      | 87         |
| 4.9.3    | Custos Variáveis Indiretos.....             | 90         |
| 4.9.4    | Custos Fixos .....                          | 90         |
| 4.9.5    | Demonstrativo de resultados .....           | 91         |
| 4.9.6    | Projeção de receitas e despesas.....        | 93         |
| <b>5</b> | <b>CONCLUSÕES E SUGESTÕES .....</b>         | <b>97</b>  |
| 5.1      | CONCLUSÕES .....                            | 97         |
| 5.2      | SUGESTÕES PARA TRABALHO FUTUROS.....        | 99         |
| <b>6</b> | <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>     | <b>100</b> |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1- Curva de secagem. Fonte: NOGUEIRA et al., 2003 .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 12 |
| Figura 2 - Curva da taxa de secagem. Fonte: BARBOSA-CÁNOVAS e IBARZ, 2003. ..                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 14 |
| Figura 3 - Representação do mecanismo de transporte da difusão do vapor d`água para a superfície. Fonte: BARBOSA-CÁNOVAS e IBARZ, 2003. ....                                                                                                                                                                                                                                                  | 19 |
| Figura 4 - Representação do mecanismo de difusão do vapor d`água no interior do alimento (a) primeiro período da taxa decrescente de secagem, (b) segundo período da taxa decrescente de secagem e (c) final do processo de secagem. Fonte: BARBOSA-CÁNOVAS e IBARZ, 2003 .....                                                                                                               | 19 |
| Figura 5 – Esquema da secagem por convecção. Fonte: NOGUEIRA et al., 2003. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 26 |
| Figura 6 – Efeito de retração do alimento seco de forma lenta (a) e rápida(b). Fonte: MELONI, 2003.....                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 28 |
| Figura 7 – Tomates selecionados quanto o grau de maturação. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 42 |
| Figura 8 – Secador piloto convectivo (a) e detalhe do sistema de ventilação com controle de temperatura do ar (b).....                                                                                                                                                                                                                                                                        | 43 |
| Figura 9 – Estufa com circulação e renovação de ar. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 44 |
| Figura 10 – Vista superior da bandeja de secagem de amostras de tomates italiano cortados em quatro partes (a) e de amostras de tomates italiano cortados em fatias (b). ....                                                                                                                                                                                                                 | 45 |
| Figura 11 – Fluxograma do processo de produção do tomate seco.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 53 |
| Figura 12 – Cinética de secagem de tomates nas temperaturas (■) 40 °C, (-) 50 °C e (●) 60 °C: secagem em secador convectivo em escala piloto (a) e cortados em quatro partes, secagem em estufa e cortados em quatro partes (b). ....                                                                                                                                                         | 59 |
| Figura 13 – Cinética de secagem de tomates nas temperaturas (■) 40 °C, (-) 50 °C e (●) 60 °C: secagem em secador convectivo em escala piloto e cortados em fatias (a) e secagem em estufa e cortados em fatias (b). ....                                                                                                                                                                      | 61 |
| Figura 14 – Dados experimentais e preditos da cinética de secagem de tomates nas temperaturas (■) 40 °C, (-) 50 °C e (●) 60 °C: secagem em secador convectivo em escala piloto e cortados em quatro partes (a), secagem em estufa e cortados em quatro partes (b), secagem em secador convectivo em escala piloto e cortados em fatias (c) e secagem em estufa e cortados em fatias (d). .... | 65 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 15 – Efeito da temperatura de secagem na capacidade de reidratação de amostras de tomates cortados em quatro partes (a) e cortados em fatias (b), secos em secador convectivo piloto e em estufa nas temperaturas (■) 40 °C, (■) 50 °C e (■) 60 °C. .... | 68 |
| Figura 16 – Efeito do tipo de secagem na capacidade de reidratação de amostras de tomates cortados em quatro partes (a) e cortados em fatias (b), secos em (■) secador convectivo piloto e em (■) estufa nas temperaturas 40, 50 e 60 °C. ....                  | 69 |
| Figura 17 – Efeito da temperatura na razão de textura das amostras de tomates cortados em quatro partes (a) e cortados em fatias (b), secos em secador piloto convectivo e em estufa com circulação de ar nas temperaturas de (■) 40, (■) 50 e (■) 60 °C. ....  | 77 |
| Figura 18 – Efeito do tipo de secagem razão de textura das amostras de tomates cortados em quatro partes (a) e cortados em fatias (b), secos em (■) secador piloto convectivo e em (■) estufa com circulação de ar nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C. ....     | 78 |
| Figura 19 - Produto final da secagem dos tomates cortados em quatro partes secos em secador convectivo piloto nas temperaturas de 40 °C (a), 50 °C (b) e 60 °C (c). ....                                                                                        | 82 |
| Figura 20 - Produto final da secagem dos tomates cortados em quatro partes secos em estufa com circulação de ar nas temperaturas de 40 °C (a), 50 °C (b) e 60 °C (c). ....                                                                                      | 83 |
| Figura 21 - Produto final da secagem dos tomates cortados em fatias secos em secador convectivo piloto nas temperaturas de 40 °C (a), 50 °C (b) e 60 °C (c). ....                                                                                               | 84 |
| Figura 22 - Produto final da secagem dos tomates cortados em fatias secos em estufa com circulação de ar nas temperaturas de 40 °C (a), 50 °C (b) e 60 °C (c). ....                                                                                             | 84 |
| Figura 23 – Relação de proporção dos custos com inventário. ....                                                                                                                                                                                                | 87 |
| Figura 24 - Proporção dos custos variáveis sobre a produção do tomate seco 3,1 kg de peso líquido do produto tomate seco. ....                                                                                                                                  | 88 |
| Figura 25 - Proporção dos custos variáveis sobre a produção do tomate seco 300 g de peso líquido do produto tomate seco. ....                                                                                                                                   | 89 |
| Figura 26 – Projeção das entradas para cada período de ano em 15 anos. ....                                                                                                                                                                                     | 93 |
| Figura 27 – Projeção das saídas para cada período de ano em 15 anos. ....                                                                                                                                                                                       | 94 |
| Figura 28 – Fluxo de caixa para cada período de ano em 15 anos. ....                                                                                                                                                                                            | 95 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 - Composição média do tomate da variedade tipo Deborah, Cereja e Italiano.....                                                                                                                                                                                                                  | 5  |
| Tabela 2 - Correspondência entre os métodos e indicações de decisão para as atividades.                                                                                                                                                                                                                  | 41 |
| Tabela 3 - Modelos matemáticos ajustados aos dados experimentais de secagem .....                                                                                                                                                                                                                        | 46 |
| Tabela 4 – Resultado estatístico de 10 modelos para a cinética de secagem de tomates cortados em quarto partes secos em estufa com circulação de ar nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C .....                                                                                                             | 62 |
| Tabela 5 – Difusividade efetiva ( $m s^{-1}$ ) das amostras de tomate cortadas em quatro partes e em fatias submetidas à secagem em secador piloto convectivo e em estufa com circulação de ar nas temperaturas de 40 °C, 50 °C e 60 °C.....                                                             | 66 |
| Tabela 6 – Valores de luminosidade ( $L^*$ ) inicial e final, externa e interna, e variação de luminosidade ( $\Delta L^*$ ) de amostras de tomate cortadas em quatro partes submetidas a secagem em secador piloto convectivo e em estufa com circulação de ar nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C ..... | 71 |
| Tabela 7 – Valores de luminosidade ( $L^*$ ) inicial e final, externa e interna, e variação de luminosidade ( $\Delta L^*$ ) de amostras de tomate cortadas em fatias submetidas a secagem em secador piloto convectivo e em estufa com circulação de ar nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C.....         | 71 |
| Tabela 8 – Valores de $a^*$ ( $a^*$ ) inicial e final, externa e interna, e variação de $a^*$ ( $\Delta a^*$ ) de amostras de tomate cortadas em quatro partes submetidas a secagem em secador piloto convectivo e em estufa com circulação de ar nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C .....               | 73 |
| Tabela 9 – Valores de $a^*$ ( $a^*$ ) inicial e final, externa e interna, e variação de $a^*$ ( $\Delta a^*$ ) de amostras de tomate cortadas em fatias submetidas a secagem em secador piloto convectivo e em estufa com circulação de ar nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C.....                       | 74 |
| Tabela 10 – Valores de $b^*$ ( $b^*$ ) inicial e final, externa e interna, e variação de $b^*$ ( $\Delta b^*$ ) de amostras de tomate cortadas em quatro partes submetidas a secagem em secador piloto convectivo e em estufa com circulação de ar nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C .....              | 75 |
| Tabela 11 – Valores de $b^*$ ( $b^*$ ) inicial e final, externa e interna, e variação de $b^*$ ( $\Delta b^*$ ) de amostras de tomate cortadas em fatias submetidas a secagem em secador piloto convectivo e em estufa com circulação de ar nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C .....                     | 76 |

|                                                                                                                                                                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 12 – Teor de licopeno ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) das amostras de tomate cortadas em quatro partes e em fatias submetidas à secagem em secador convectivo piloto e em estufa com circulação de ar nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C ..... | 80 |
| Tabela 13 - Descrição dos custos relacionados ao inventário .....                                                                                                                                                                              | 86 |
| Tabela 14 - Descrição dos custos variáveis relacionados à produção de 3,1 kg de peso líquido do produto tomate seco .....                                                                                                                      | 87 |
| Tabela 15 - Descrição dos custos variáveis relacionados à produção de 300 g de peso líquido do produto tomate seco .....                                                                                                                       | 89 |
| Tabela 16 - Descrição dos custos fixos mensais da agroindústria relacionados à toda produção do tomate seco e funcionamento da empresa .....                                                                                                   | 91 |
| Tabela 17 - Demonstrativo de resultados para os produtos 3,1 kg de peso líquido do produto tomate seco e 300 g de peso líquido do produto tomate seco .....                                                                                    | 92 |
| Tabela 18 - Descrição dos resultados da agroindústria .....                                                                                                                                                                                    | 93 |

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

|                             |                                                                     |
|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| A                           | Área da superfície, m                                               |
| a                           | Inclinação da reta, adimensional                                    |
| a.a                         | Ao ano                                                              |
| A, A` a B                   | Estágio inicial da secagem                                          |
| a*                          | Coordenada de vermelho ou verde, adimensional                       |
| B a C                       | Estágio de taxa constante de secagem                                |
| b*                          | Coordenada de azul e amarelo, adimensional                          |
| B/C                         | Índice Custo Benefício                                              |
| b. u.                       | Base úmida                                                          |
| b. s.                       | Base seca                                                           |
| C a E                       | Estágio de taxa constante de secagem                                |
| C <sub>n</sub>              | Custos operacionais                                                 |
| C <sub>p</sub>              | Calor específico do ar, cal g <sup>-1</sup> °C <sup>-1</sup>        |
| CEASA-RS                    | Central de Abastecimento do Rio Grande do Sul                       |
| C <sub>f</sub>              | Custo fixo (R\$)                                                    |
| C <sub>ft</sub>             | Custo fixo total da empresa (R\$)                                   |
| C <sub>vd</sub>             | Custo variável direto (R\$)                                         |
| C <sub>vd<sub>t</sub></sub> | Custo variável direto total da empresa (R\$)                        |
| C <sub>vi</sub>             | Custo variável indireto (R\$)                                       |
| C <sub>vit</sub>            | Custo variável indireto total da empresa (R\$)                      |
| C <sub>t</sub>              | Custo total (R\$)                                                   |
| d                           | Diâmetro (m)                                                        |
| D <sub>ef</sub>             | Difusividade efetiva, m s <sup>-1</sup>                             |
| dY/dt                       | Taxa de secagem, g H <sub>2</sub> O s <sup>-1</sup> m <sup>-1</sup> |

|             |                                                                                                      |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $D_{AB}$    | Difusividade molecular da mistura ar-água, $m^2 s^{-1}$                                              |
| FAO         | Food and Agriculture Organization (Organização das Nações Unidas para a Agricultura e a Alimentação) |
| FAEF        | Ferramenta de Análise Econômica e Financeira                                                         |
| $h$         | Coefficiente de transferência de calor, $W m^{-2} ^\circ C^{-1}$                                     |
| IBC         | Índice de relação custo/benefício                                                                    |
| IBGE        | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística                                                      |
| $K_y$       | Coefficiente de transferência de massa entre ar-sólido, $m s^{-1}$                                   |
| $k$         | Coefficiente de condutividade térmica, $W m^{-1} ^\circ C^{-1}$                                      |
| $L$         | Comprimento da placa, m                                                                              |
| LP          | Lucro por produto (R\$)                                                                              |
| $L^*$       | Coordenada de luminosidade                                                                           |
| $L_0$       | Metade da espessura da amostra, m                                                                    |
| $M_a$       | Massa molecular da água, $g mol^{-1}$                                                                |
| $M_B$       | Massa molecular do ar, $g mol^{-1}$                                                                  |
| MC          | Margem de contribuição (R\$)                                                                         |
| $MC_t$      | Margem de contribuição total da empresa (R\$)                                                        |
| MR          | Razão de umidade, adimensional                                                                       |
| $MR_{exp}$  | Razão de umidade experimental, adimensional                                                          |
| $MR_{pred}$ | Razão de umidade preditos, adimensional                                                              |
| $n$         | Número inteiro                                                                                       |
| $N$         | Número de observações                                                                                |
| $Na$        | Fluxo mássico, $kg h^{-1} m^{-2}$                                                                    |
| $Nu$        | Número de Nusselt, adimensional                                                                      |
| PID         | Proporcional Integral Derivativo                                                                     |

|                |                                                          |
|----------------|----------------------------------------------------------|
| Pr             | Número de Prandtl, adimensional                          |
| PV             | Preço de venda (R\$)                                     |
| q              | Calor por convecção, $W m^{-2}$                          |
| R              | Taxa de secagem, $g H_2O min^{-1} m^2^{-1}$              |
| Rc             | Taxa constante de secagem, $g H_2O min^{-1} m^2^{-1}$    |
| R/C            | Receita/custo                                            |
| R <sup>2</sup> | Coefficiente de correlação                               |
| Re             | Número de Reynolds, adimensional                         |
| RL             | Resultado Líquido ou Operacional (R\$)                   |
| Rn             | Receitas                                                 |
| R\$            | Real                                                     |
| Sc             | Número de Schmidt, adimensional                          |
| SEBRAE         | Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas |
| t              | Tempo, s ou min                                          |
| T              | Temperatura, °C                                          |
| Tbu            | Temperatura de bulbo úmido, °C                           |
| TIR            | Taxa Interna de Retorno                                  |
| VPL            | Valor Presente Líquido                                   |
| VPLA           | Valor Presente Líquido Anualizado                        |
| VPLC           | Valor Presente Líquido dos Custos                        |
| VPLR           | Valor Presente Líquido das Receitas                      |
| x              | Direção da transferência, m                              |
| X <sub>w</sub> | Conteúdo de água do ar na superfície sólida, g           |
| X              | Conteúdo de água no ar quente, g                         |
| z              | Número de parâmetros do modelo                           |

|                         |                                                                                                        |
|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $W_s$                   | Peso de sólidos secos, g                                                                               |
| $W_t$                   | Peso total do produto, g                                                                               |
| $Y$                     | Conteúdo de umidade, g H <sub>2</sub> O g de sólidos secos <sup>-1</sup>                               |
| $Y_0$                   | Conteúdo de umidade inicial, g H <sub>2</sub> O g de sólidos secos <sup>-1</sup>                       |
| $Y_t$                   | Conteúdo total de água no produto, g H <sub>2</sub> O g de sólidos secos <sup>-1</sup>                 |
| $Y_e$                   | Conteúdo de água quando o equilíbrio é atingido, g H <sub>2</sub> O g de sólidos secos <sup>-1</sup>   |
| $\lambda$               | Calor latente de vaporização da água a T <sub>bu</sub> , kcal kg <sup>-1</sup>                         |
| $\Delta$                | Varição                                                                                                |
| $\chi^2$                | Qui-quadrado                                                                                           |
| $v$                     | Velocidade do ar, m s <sup>-1</sup>                                                                    |
| $\rho$                  | Massa específica do ar, kg m <sup>-3</sup>                                                             |
| $\eta$                  | Viscosidade do ar, kg m <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup>                                                  |
| $\alpha$                | Constante                                                                                              |
| $\partial Y/\partial t$ | Fluxo de massa por unidade de área, g H <sub>2</sub> O g <sup>-1</sup> m <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> |
| $k$                     | Constante de secagem do modelo exponencial ou logaritmo                                                |
| $k'$                    | Constante de secagem modificada do modelo de Page                                                      |
| $a_1, k_2$              | Constantes de secagem do modelo exponencial simples de dois parâmetros                                 |
| $a_2, k_3, b$           | Constantes de secagem do modelo exponencial simples de três parâmetros                                 |
| $a_3, k_4, b_1, k_5$    | Constantes de secagem do modelo exponencial duplo de quatro parâmetros                                 |

## 1 INTRODUÇÃO

O tomate é um dos vegetais mais consumidos no mundo tanto na forma *in nature*, em saladas, quanto na forma industrializada em molhos, sucos, sopas, catchup, ou tomate seco. Entre as hortaliças, o tomate é uma das culturas mais importantes em termos de produção e valor econômico, pois é o segundo produto hortícola em área cultivada no mundo e o primeiro em volume industrializado (TELIS e SOBRAL, 2002; TONON et al., 2006). O Brasil é o nono maior produtor mundial, sendo os estados de Goiás e São Paulo onde se concentram as maiores produções (FAO, 2011). O Rio Grande do Sul é responsável por uma pequena parcela de 2,59% da produção nacional (IBGE, 2011b).

A maioria dos vegetais são altamente perecíveis, com vida útil limitada à temperatura ambiente. Este fato, aliado ao inadequado controle de qualidade inicial, incidência e severidade de danos físicos, exposição a temperaturas impróprias e demora entre a colheita e o consumo, resulta em perdas significativas na qualidade dos frutos como o tomate (FILGUEIRA, 2003). Devido à ótima compatibilidade do tomate com o processo de desidratação, esta técnica vem sendo apontada como uma das principais alternativas para reduzir as perdas e agregar valor à matéria-prima, transformando-o de um produto muitas vezes desvalorizado, em função do excesso de oferta, em um produto diferenciado, que visa um novo mercado em expansão no Brasil, conquistando os consumidores (MURARI, 2001; ALVES e SILVEIRA, 2002). Além disso, nos últimos anos, o tomate fresco e os produtos derivados do tomate têm despertado interesse científico devido à sua atividade antioxidante, que está relacionada ao conteúdo de licopeno presente no fruto (GARCIA-ALONZO et al., 2009).

O tomate seco é um produto que apresenta vantagens pela facilidade de acondicionamento, transporte e manuseio, além de ser um produto com características sensoriais peculiares (LEWICKI et al., 2002). Recentemente, no Brasil, o consumo de tomate seco vem crescendo de maneira considerável na gastronomia, podendo ser encontrado em vários restaurantes, mercados e lojas de comidas finas. O produto pode ser utilizado em pizzas, sopas, lanches, molhos, pastas, pratos refogados, saladas e massas (CAMARGO e QUEIROZ, 2003). Geralmente, o tomate seco é produzido por pequenas e micro empresas, que utilizam métodos de produção artesanal, mantidos em segredo para evitar a concorrência. No entanto, quando se trata de produção em larga escala, torna-se

## *Capítulo 1 – Introdução*

importante o desenvolvimento de um processo que, além de resultar em um produto com qualidade, seja viável economicamente e de fácil transposição de escala (SANTOS, 2008). Para isso, existe a necessidade de se desenvolver tecnologias adequadas para o processamento e preservação deste importante produto, de modo que não somente diminuam as perdas, mas que também gere receitas adicionais para o país.

Nas atuais condições, com mercados competitivos, o sucesso de um produto depende não só dos aspectos de eficiência do processo e viabilidade econômica, mas, também, na manutenção do valor nutricional, no aspecto visual, na satisfação ao sabor e expectativas do consumidor; portanto, considerar esses fatores é essencial no processo de desenvolvimento, otimização e melhoria da qualidade dos produtos. Considerando a importância econômica e social da cultura do tomate, a pesquisa e o desenvolvimento de um processo de desidratação que resulte em um produto de qualidade, com alto valor agregado, é justificável. Dentro deste contexto, este trabalho propôs estudar e comparar a cinética de secagem de tomate italiano cortados em fatias e em quatro partes, utilizando diferentes condições de secagem em secador convectivo em escala piloto e em estufa com circulação de ar, bem como avaliar as propriedades físico-químicas e nutricionais do produto. Além disso, realizar o estudo de viabilidade econômica e financeira para futura implantação de uma agroindústria.

## 1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho foi estudar a secagem de tomate italiano cortados em fatias e em quatro partes, usando secador convectivo em escala piloto e estufa com circulação de ar e verificar a viabilidade econômica e financeira para futura implantação de uma agroindústria.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos foram:

- Estudar a cinética de secagem;
- Ajustar diferentes modelos matemáticos as curvas de secagem;
- Determinar o coeficiente de difusividade efetiva ( $D_{ef}$ );
- Avaliar o efeito do método e da temperatura de secagem na capacidade de reidratação, na cor, na textura e no teor de licopeno;
- Estudar a viabilidade econômica e financeira para futura implantação de uma agroindústria.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 TOMATE

O tomateiro é uma dicotiledônea da família *Solanaceae*, espécie *Lycopersicon esculentum* Mill e são divididos em dois grupos: para a indústria e para o consumo *in natura*. O fruto é do tipo baga carnosa e succulenta, com aspecto variável, conforme o cultivar. A sua maioria, são vermelhos quando maduros, com exceção dos cultivares japoneses do tipo salada, com frutos rosados. O peso unitário médio do fruto varia de menos de 25 g (cultivares tipo cereja) até mais de 300 g, em cultivares de frutos grandes, tipo salada (PEREIRA et al., 2006).

O tomateiro é originário do Perú, Equador e Bolívia, tendo sido cultivado no México, de onde foi levado para a Europa. Em 1554, na Itália foi produzido uma cultivar com frutos amarelados, que recebeu a denominação de pomodoro, isto é, maçã-de-ouro. No século XVIII, o tomate já era largamente consumido em vários países europeus. No Brasil, o tomate foi introduzido pelos italianos no final do século XIX. O tomate é consumido tanto *in nature* em saladas, quanto na forma industrializada em molhos, sucos, sopas, catchup ou mesmo seco (LEWICKI et al., 2002; SOGI et al., 2003; TONON et al., 2006; DOYMAZ, 2007; MURATORE et al., 2008).

O tomate possui uma estrutura interna parecida com um material fibroso, enquanto a área da polpa contém sementes feitas de material não poroso. A polpa possui um alto teor de umidade, entre 93% e 95% e, em termos nutricionais, possui poucas calorias. Os 5% a 7% restantes, que formam a matéria seca, são constituídos principalmente de fibra alimentar, açúcares e proporções menores de compostos inorgânicos, ácidos orgânicos, proteínas e lipídeos. O tomate é rico em vitaminas A, C e E e minerais como cálcio, ferro e fósforo. Os teores de vitaminas encontrados em tomates são 735 a 1100 U.I. de pró vitamina A, 50 a 60 µg de Tiamina, 40 µg de Riboflavina, 20 a 40 mg de ácido ascórbico e 0,5 a 0,6 mg de Niacina (TONON, 2005).

Os constituintes orgânicos que prevalecem são os açúcares, sendo que desses, os açúcares redutores frutose e glicose correspondem a 50-65% da matéria seca do fruto e a mais de 95% dos açúcares totais, enquanto a sacarose, quando presente, encontra-se

em níveis muito baixos (TONON, 2005). O sabor e aroma são conferidos principalmente pela relação entre o açúcar e os ácidos, sendo que a acidez é resultante dos ácidos orgânicos, tendo como principais o ácido cítrico e o málico. Os componentes estruturais do fruto são basicamente os constituintes fibrosos e representam cerca de 20% da matéria seca (VENSKE et al., 2004).

A porcentagem de sólidos solúveis no tomate varia em função da variedade, do tipo de solo, do tipo de cultivo, da região de cultivo e, especialmente, da quantidade de chuvas durante o período de cultivo. Tomates cultivados em períodos de seca geralmente são mais firmes e contêm mais sólidos solúveis que aqueles cultivados em climas mais úmidos (TONON, 2005). A Tabela 1 apresenta o resultado de análises em três variedades de tomate tipo Deborah, Cereja e Italiano.

Tabela 1 - Composição média do tomate da variedade tipo Deborah, Cereja e Italiano.

| Componente                         | Valor médio (%) |              |              |
|------------------------------------|-----------------|--------------|--------------|
|                                    | Deborah         | Cereja       | Italiano     |
| Água                               | 94,49 ± 0,44    | 92,80 ± 0,30 | 95,88 ± 0,05 |
| Proteínas                          | 0,87 ± 0,06     | 0,90 ± 0,08  | 0,66 ± 0,04  |
| Lipídios                           | 0,12 ± 0,02     | 0,20 ± 0,06  | 0,12 ± 0,06  |
| Açúcares totais                    | 3,92 ± 0,01     | 3,00 ± 0,31  | 2,67 ± 0,01  |
| Cinzas                             | 0,42 ± 0,01     | 0,50 ± 0,03  | 0,41 ± 0,03  |
| Fibras                             | -               | 2,40 ± 0,25  | 0,26 ± 0,01  |
| Acidez titulável (% ácido cítrico) | 0,28 ± 0,01     | 0,33 ± 0,01  | 0,35 ± 0,04  |

Fonte: TONON, 2005; PINHO et al., 2008; MONTEIRO, 2008.

Os principais componentes carotenóides no tomate são o licopeno e o beta-caroteno, sendo que o licopeno é o principal pigmento responsável pela coloração vermelha característica de tomates maduros e encontra-se em maior quantidade, cerca de 83% do total (SHARMA e LE MAGUER, 1996). A quantidade de licopeno presente no tomate maduro varia de 32,0 a 133,8  $\mu\text{g g}^{-1}$  de material úmido (CARIS-VEYRAT et al., 2004, SAHLIN et al., 2004). No suco de tomate, varia de 68,7 a 121,4  $\mu\text{g g}^{-1}$  (LIN e CHEN, 2005). A variação na quantidade de licopeno ocorre principalmente devido ao estado de maturação da fruta, sendo da ordem de 4,5  $\mu\text{g g}^{-1}$  para o tomate verde e de 104,4

$\mu\text{g g}^{-1}$  para fruta madura (RAFFO et al., 2002). A variedade do tomate é outro fator importante associado à variação da concentração de licopeno, bem como as condições de cultivo da planta (CARIS-VEYRAT et al., 2004; SAHLIN et al., 2004). A quantidade de licopeno livre detectável no suco de tomate é, em geral, maior do que a observada na fruta, devido ao processamento térmico empregado (LIN e CHEN, 2005); a quantidade de licopeno encontrada no ketchup varia entre 102,9 e 414,0  $\mu\text{g g}^{-1}$  m.u.; já no molho de tomate a quantidade de licopeno varia de 65,1 a 194,5  $\mu\text{g g}^{-1}$  m.u. (SHI e LE MAGUER, 2000). A pele do tomate contém uma concentração cinco vezes maior de licopeno do que a polpa, sendo que a quantidade de licopeno associada à fração insolúvel em água e à pele compreende entre 72 e 92% do total (SHARMA e LE MAGUER, 1996).

O licopeno é um carotenóide sem atividade de pró-vitamina A, lipossolúvel, composto por onze ligações conjugadas e duas ligações duplas não conjugadas. Além disso, o licopeno tem a capacidade de se ligar ao oxigênio duas vezes maior que o beta-caroteno, possivelmente devido à presença das duas ligações duplas não conjugadas, o que lhe oferece maior reatividade (KRINSKY, 2001). Sendo assim, o licopeno possui propriedades antioxidantes, devido suas propriedades biológicas e físico-químicas (TAVARES e RODRIGUEZ-AMAYA, 1994).

O consumo de tomates e seus produtos têm sido sugeridos para reduzir o risco de doenças crônicas, tais como câncer, doenças cardiovasculares, envelhecimento, entre outros (GARCIA-ALONZO et al., 2009). De acordo com Giovannucci (1999), o consumo de alimentos ricos em licopeno, bem como uma maior concentração de licopeno no sangue, foi associado a um menor risco de câncer, principalmente de próstata. O licopeno é encontrado na próstata humana, sugerindo a possibilidade biológica de um efeito direto deste carotenóide na função da próstata e na da carcinogênese. Levy et al. (1995) estudando os efeitos inibitórios do licopeno em comparação com o alfa e beta-caroteno sobre o crescimento de várias células humanas de câncer humano verificou que o licopeno é o carotenóide com maior potencial de inibição. O licopeno pode proteger contra câncer de próstata, pulmão, epitelial, pâncreas e bexiga (GARCIA-ALONZO et al., 2009).

Em tomates frescos o licopeno ocorre na forma *trans*, mais estável termodinamicamente, porém é pouco absorvido. O processamento térmico de tomates e seus produtos melhoram a sua biodisponibilidade, pois rompe a parede celular e permite a extração do licopeno dos cromoplastos (WILLCOX et al., 2003). No processamento o

pigmento pode se oxidar e ou isomerizar para a forma *cis*. A forma *trans* tem menor bioatividade em relação à *cis*. Assim, a isomerização pode levar a um aumento na bioatividade do licopeno. A isomerização de *trans*-carotenóides para *cis*-carotenóides são promovidas pelo contato com ácidos, tratamento térmico e exposição à luz (KRINSKY, 2001). A quantidade de licopeno em produtos processados depende da composição do alimento de origem e das condições de processamento (SÁ e RODRIGUEZ-AMAYA, 2003).

### 2.1.1 Tomate italiano

A produção de tomate para consumo *in nature* no Brasil sofreu grandes transformações tecnológicas na última década, sendo que a introdução de híbridos do tipo longa vida foi uma das mais importantes (SHIRAHIGE et al., 2010). No entanto, a qualidade gustativa desses híbridos é reduzida, pois os mesmos genes que conferem a característica desejável “longa vida” causam alterações indesejáveis no sabor, aroma, textura e teor de licopeno (MELO, 2003). A fim de reduzir a perda na qualidade, as empresas do setor sementeiro vêm investindo em maior diversificação varietal. O maior interesse das empresas é disponibilizar para o consumidor tipos de tomate com melhor qualidade gustativa e diferenciados em termos de tamanho, cor, formato, firmeza e textura (DORAIS et al., 2001). Neste contexto, os tomates do tipo Italiano ou Saladete têm mostrado tendência de expansão de cultivo nos últimos anos. Segundo Filgueira (2003) o tomate Italiano foi introduzido no Brasil em 1990 e está em franca expansão de cultivo. Em geral, os frutos das cultivares híbridas desse padrão, disponíveis no mercado, apresentam excelente qualidade gustativa e versatilidade de uso culinário, podendo ser consumidos em saladas, na confecção de molhos caseiros e na forma de tomate seco (MACHADO et al., 2007).

Os tomates do tipo Italiano são alongados (7 a 10 cm), com diâmetro transversal reduzido (3 a 5 cm), biloculares, polpa espessa, coloração vermelha intensa, sendo muito firmes e saborosos (FILGUEIRA, 2003; ALVARENGA, 2004). Monteiro et al. (2008), em estudo sobre a qualidade nutricional e antioxidante do tomate tipo Italiano, verificou que o peso médio dos tomates foi de 101,052 g, com diâmetro transversal médio de 5,41 cm e diâmetro longitudinal médio de 7,92 cm, confirmando ser tomate do tipo oblongo. O pH é

em torno de 4,6, com teor de sólidos solúveis de 4 °Brix, 0,39% de acidez titulável total, 95,88% de umidade, 1,89% de cinzas, 2,06% de proteína, 0,26% de lipídios, 0,28% de fibra, 9,7% de açúcar total, 49,35% de energia, 4,018  $\mu\text{g mL}^{-1}$  de ácido gálico e 5,94% de atividade antioxidante. Os teores de licopeno encontrado em tomates do tipo italiano variam entre 4,3 a 4,5 mg 100 g<sup>-1</sup> (MONTEIRO et al. 2008).

### 2.1.2 Cenário econômico do tomate

O fruto é o segundo produto hortícola em área cultivada no mundo e o primeiro em volume industrializado (TELIS e SOBRAL, 2002; TONON et al., 2006). Segundo dados da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (2011), nos últimos 20 anos a produção mundial de tomate duplicou, ultrapassando a faixa dos 125 milhões de toneladas anuais. O principal fator para a expansão da cultura é o aumento no consumo. A produção mundial de tomate em 2009 foi de 141 milhões de toneladas de acordo com dados da Organização das Nações Unidas para a Agricultura e a Alimentação (FAO), provenientes de aproximadamente 5 milhões de hectares cultivados (FAO, 2011). Os países com maior participação na produção mundial de tomate, em 2009, foram a China, EUA, Índia, Turquia, Egito, Itália, Iran, Espanha e Brasil.

O Brasil em 2008 apresentou uma produção de cerca de 3.930 milhões de toneladas, o que corresponde a 3% do total mundial, sendo o oitavo país maior produtor (IBGE, 2011a). Na safra de 2009/2010 a produção de tomates aumentou chegando a 4.310 milhões de toneladas, porém perdeu uma posição na produção mundial (FAO, 2011; IBGE, 2011b). Em 2010 a região Sudeste é responsável pela maior produção (1.552 milhões de toneladas), seguida da região centro-oeste (1.490 milhões de toneladas). O estado com maior produção de tomate é Goiás, apresentando também a maior área plantada do país, atingindo produção de 1.400 milhões toneladas do produto e São Paulo é o segundo maior produtor, com 672 mil toneladas, seguido de Minas Gerais, com 477 mil toneladas. A região Sul do Brasil é responsável pela produção de 592 mil toneladas, sendo o estado do Rio Grande do Sul produtor de aproximadamente 109 mil toneladas, o que corresponde a 2,59% da produção nacional (IBGE, 2011b). Do total produzido no Brasil em 2008, mais de 2 milhões de toneladas foram destinados ao consumo *in nature*, o que corresponde

aproximadamente 77% da produção. Em 2008, do total de 126 milhões de toneladas produzidas no mundo, 36,7 milhões de toneladas foram destinadas a industrialização. Os Estados Unidos da América foi o país que mais industrializou tomates, cerca de 11,2 milhões de toneladas em 2008 (30,4% do total mundial), seguidos pela China com 6,4 milhões (17,4%). O Brasil ocupa o sétimo lugar no ranking mundial, com produção de 1,2 milhões de toneladas (3,3% do total mundial) (MORETTI, 2011).

### **2.1.3 Tomate seco**

Segundo Murari (2001) o tomate seco é um produto diferenciado, tanto no aspecto do processamento como na comercialização. O tomate seco é o produto resultante de tomates não inteiros desidratados até umidade intermediária, mantendo sua textura macia, podendo ser comercializado imerso em óleo vegetal e temperado com sal, alho, orégano e outros condimentos.

O interesse na produção de tomate seco é crescente, devido à possibilidade de uso em diferentes pratos como em pizza, massas, lanches, sopas, saladas e por sua aceitação pelos consumidores (LEWICKI et al., 2002). Segundo Camargo e Queiroz (2003), o tomate seco chegou ao mercado nacional vindo de outros países, particularmente da Espanha e Itália. O tomate tem sido um dos produtos alimentícios cuja secagem vem sendo realizada de diferentes formas, visando obter um produto seco de baixo custo e com qualidade (ALVES e SILVEIRA, 2002). Segundo dados do Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE, 2011), o mercado formal de tomate seco tem produção em torno de 4 mil toneladas por ano e movimenta, aproximadamente, R\$ 1,2 milhão. No Brasil, o processamento é realizado por pequenas e microempresas, em geral próximas às regiões produtoras. Os métodos utilizados são bastante artesanais, onde a preparação do tomate é manual e a secagem realizada ao sol ou em fornos convencionais (SANTOS, 2008).

Embora o mercado para o tomate seco esteja crescendo consideravelmente, os produtos disponíveis não possuem padronização de qualidade visual, sensorial e nutricional. Além disso, ainda não se encontram disponíveis dados ou recomendações sobre os parâmetros mais adequados ao processo, tais como variedade ideal, temperatura

adequada de secagem, tipo de corte indicado para o fruto e padrões definidos de qualidade (cor, textura e valor nutricional) (SANTOS, 2008). As características químicas que têm sido reportadas como importantes indicadores da aptidão do tomate à secagem compreendem o conteúdo de sólidos totais, a acidez total e o conteúdo de sólidos insolúveis. Dentre estes parâmetros, o conteúdo de sólidos totais é o mais importante, pois está relacionado ao rendimento do processo. Por outro lado, os parâmetros de acidez e conteúdo de açúcares podem estar relacionados com a preferência do consumidor (CAMARGO e QUEIROZ, 2003).

Segundo a Resolução RDC nº 272, de 22 de setembro de 2005, que aprova o Regulamento Técnico para Produtos de Vegetais, Produtos de Frutas e Cogumelos Comestíveis, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária, define que a umidade final de produtos de frutas secas ou desidratadas deve ser de no máximo 25% ( $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ ) (BRASIL, 2005). De acordo com Sanguanri et al., (1993), para se ter uma estocagem de tomates secos, sem o uso de conservas, é necessário reduzir a umidade do produto para a faixa que varia de 11 a 15% (base úmida), para evitar a proliferação de microrganismos e manter a estabilidade do produto.

## 2.2 SECAGEM

A secagem é uma das operações unitárias mais empregadas na conservação de alimentos. Na secagem a água é eliminada a fim de preservar microbiologicamente, retardar as reações químicas do alimento, reduzir custos com transporte, embalagens e armazenamento pela redução do peso (LEWICKI, 2005). Embora a secagem e a desidratação sejam sinônimas, diferem no conteúdo de água final do alimento. Ou seja, um alimento desidratado não contém mais que 2,5% de água, enquanto que um alimento seco pode conter teores maiores (AZZOUZ et al., 2002).

Segundo Oliveira (2005), características específicas de cada produto, associadas às propriedades do ar de secagem e ao meio de transferência de calor adotado, determinam diversas condições de secagem, mas a transferência de calor e de massa entre o ar de secagem e o produto é comum em qualquer condição de secagem. A eliminação da água de um produto na secagem é dada pela sua evaporação, com transferência de calor e de massa. Para isso, o processo necessita fornecimento de calor para evaporação da água e um meio

de transporte para remover o vapor de água formado na superfície do produto. O processo de secagem pode envolver três mecanismos de transferência de calor: convecção, condução e radiação. A transferência de calor por convecção é o meio mais utilizado na secagem de produtos alimentícios, onde um fluxo de ar aquecido é utilizado na remoção do conteúdo de água. Quando o produto é colocado em contato com o ar de secagem, ocorre transferência do calor do ar ao produto sob o efeito da diferença de temperatura existente entre eles. Simultaneamente, a diferença de pressão parcial de vapor de água existente entre o ar e a superfície do produto determina a transferência de vapor para o ar (HUI et al., 2008). Na secagem é importante conhecer os mecanismos relacionados ao movimento de água no interior e exterior do alimento, pois além da redução no conteúdo de água, ocorrem alterações em algumas propriedades físicas e químicas do produto (BARBOSA–CÁNOVAS e VEGA–MERCADO, 2000).

### **2.2.1 Mecanismos da secagem**

O mecanismo de secagem pode-se resumir nos movimentos da água que ocorrem devido às forças capilares, difusão de líquidos por meio do gradiente de concentração, difusão na superfície, difusão dos vapores de água nos poros vazios, fluxo devido aos gradientes de pressão e fluxo devido a condensação e/ou vaporização da água. Nos poros dos sólidos com estrutura rígida, as forças capilares são responsáveis por reter a água, enquanto que, nos sólidos formados por agregação de pós finos a pressão osmótica retém a água dentro dos sólidos e na superfície. O tipo de material a ser secado é um fator importante a ser estudado, uma vez que as características físicas e químicas desempenham papel importante durante a secagem, durante as mudanças que podem ocorrer em função da remoção de água no produto (BARBOSA–CÁNOVAS e IBARZ, 2003).

Nos processos de secagem, os resultados são usualmente observados através da mudança no peso do produto, ou seja, pelo conteúdo de água no produto (Y) ao longo do tempo e, também, pela taxa de secagem. A Figura 1 representa uma curva de secagem.

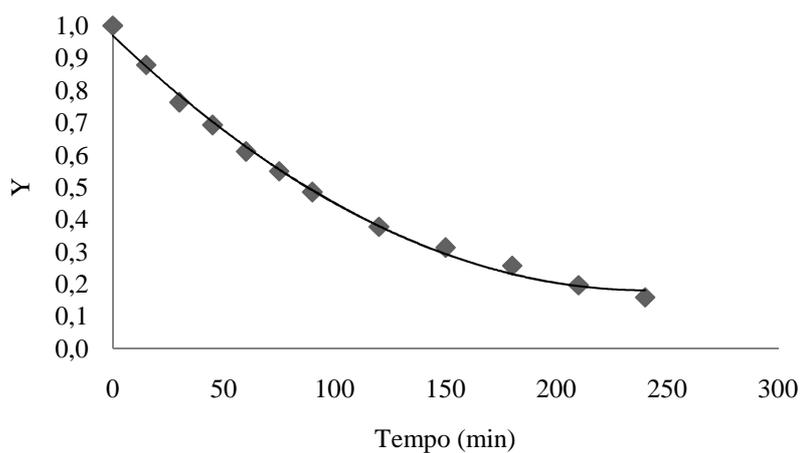


Figura 1- Curva de secagem. Fonte: NOGUEIRA et al., 2003

O conteúdo de água do produto é definido como a relação entre a quantidade de água no alimento e a quantidade dos sólidos secos conforme a Equação 1.

$$Y = Y_t - Y_{eq} \quad (1)$$

O conteúdo de água no produto é definido pela Equação 2.

$$Y_t = \frac{W_t - W_s}{W_s} \quad (2)$$

Onde:

Y - conteúdo de umidade (g H<sub>2</sub>O g de sólidos secos<sup>-1</sup>)

Y<sub>eq</sub> - conteúdo de água quando o equilíbrio é atingido (g H<sub>2</sub>O g de sólidos secos<sup>-1</sup>)

Y<sub>t</sub> - conteúdo total de água no produto (g H<sub>2</sub>O g de sólidos secos<sup>-1</sup>)

W<sub>t</sub> - peso total do produto (g)

W<sub>s</sub> - peso de sólidos secos (g)

A taxa de secagem é proporcional a mudança no conteúdo de água com o tempo Equação 3. Os valores de  $dY$  e  $dt$  podem ser obtidos da curva de secagem para cada ponto através do valor de tangente.

$$R \propto \frac{dY}{dt} \quad (3)$$

A taxa de secagem pode ser calculada pela Equação (4).

$$R = - \frac{W_s}{A} \frac{dY}{dt} \quad (4)$$

Onde:

$R$  - taxa de secagem ( $\text{g H}_2\text{O min}^{-1} \text{m}^2$ )

$dY/dt$  - variação de umidade das amostras em função do tempo ( $\text{g H}_2\text{O g de sólidos}^{-1} \text{s}^{-1}$ )

$W_s$  - peso de sólidos secos (g)

$A$  - área da superfície (m)

O processo de secagem de um material pode ser descrito por uma série de estágios no qual a taxa de secagem desempenha um papel fundamental. A plotagem da taxa de secagem pelo conteúdo de umidade do produto resulta em uma típica curva de taxa de secagem onde observa-se três estágios: estágio inicial da secagem (A e A` a B), estágio de taxa constante de secagem (B a C) e estágio de taxa decrescente de secagem (C a E) (Figura 2). O estágio inicial de secagem, descrito pelos pontos A e A`, representam o início da secagem onde o material encontra-se frio ou quente, respectivamente. O ponto B representa a condição de equilíbrio da temperatura da superfície do produto. O tempo decorrido desde o ponto A e A` a B geralmente é pequeno, portanto, desprezível no cálculo de secagem.

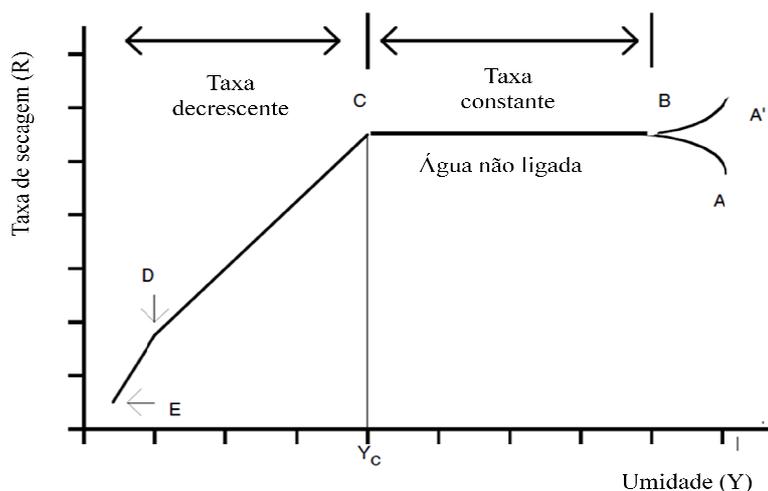


Figura 2 - Curva da taxa de secagem. Fonte: BARBOSA-CÁNOVAS e IBARZ, 2003.

O período de taxa constante, representados pelos pontos B e C (Figura 2), está associado a remoção da água não ligada. Inicialmente, a superfície do produto contém quantidades altas de água, sendo assim, o valor da atividade de água encontra-se igual a 1. Em sólidos porosos a água removida da superfície é compensada pelo fluxo de água do interior dos sólidos. O período de taxa constante continua enquanto a água da superfície do produto evaporada é compensada pela migração da água interna. A temperatura na superfície do produto corresponde aproximadamente à temperatura de bulbo úmido (BARBOSA-CÁNOVAS e IBARZ, 2003).

O período de taxa decrescente de secagem apresenta duas fases demonstradas pelos intervalos C a D e de D a E (Figura 2). A redução da taxa de secagem inicia quando o valor da atividade de água na superfície do produto for menor que um. Neste caso, a taxa de secagem é dada pelo fluxo interno de água e vapor de água. O ponto C representa o início do período de queda da taxa de secagem e o ponto D é quando a superfície está totalmente seca e o vapor de água se move do interior do sólido. De D a E a água move-se do interior do sólido até a superfície através de evaporação para a fase vapor (BARBOSA-CÁNOVAS e IBARZ, 2003).

### 2.2.1.1 Período de taxa constante de secagem

Os fenômenos de transporte que ocorrem durante o período de taxa de secagem constante são a transferência de calor, por convecção do ar quente para o produto, e transferência de massa da superfície para o ar quente. Este período de taxa constante é caracterizado pelo fato da superfície do material ser mantida num nível de umidade alto, onde a pressão parcial da água é igual à pressão de saturação à temperatura de bulbo úmido do ar. Sendo assim, as resistências à transferência de calor e massa estão localizadas somente na corrente de ar, de modo que a taxa de evaporação de água não muda com o tempo (BARBOSA–CÁNOVAS e IBARZ, 2003).

O fim do período de taxa constante corresponde ao instante em que a migração interna de água para a superfície não consegue mais compensar a taxa de evaporação da água livre da mesma. O conteúdo de umidade deste ponto é denominado umidade crítica. Os valores de umidade crítica não são somente característicos de cada material alimentício, mas também dependem de outros fatores, os quais controlam a velocidade de movimento de umidade (interno/externo), tais como espessura da peça e condições do ar (velocidade, temperatura e umidade relativa) (CRUZ, 1990). Cruz (1990), também verificou que o período de taxa constante é importante somente para situações em que o potencial de secagem é muito baixo ou a umidade do alimento é muito alta. Doymaz (2007), estudando as características de tomates secos verificou que as curvas de secagem não apresentaram período de taxa de secagem constante, apenas o período de taxa decrescente.

No período de secagem à taxa constante a água evapora de acordo com o fornecimento de calor para o sólido úmido e, portanto, a transferência de calor gás/sólido controla o processo. Como todo calor transferido é convertido em calor latente, a taxa de secagem é calculada através de equações de transferência de calor e massa (TREYBAL, 1987).

A taxa constante de secagem ( $R_c$ ) pode ser determinada pela Equação 5.

$$R_c = \frac{h(T - T_w)}{\lambda_w} = \frac{q}{\lambda_w \times A} = K_y \times M_B(X_w - X) \quad (5)$$

O calor convectivo ( $q$ ) pode ser calculado pela Equação 6.

$$q = h \times A(T - T_w) \quad (6)$$

O calor ( $q$ ) necessário para evaporar a água da superfície do produto é calculado pela Equação 7.

$$q = N_a \times M_a \times \lambda_w \times A \quad (7)$$

Onde:

$R_c$  - taxa constante de secagem ( $\text{g H}_2\text{O min}^{-1} \text{m}^{-2}$ )

$Q$  - calor convectivo ( $\text{W m}^{-2}$ )

$N_a$  - fluxo mássico ( $\text{kg h}^{-1} \text{m}^{-2}$ )

$M_a$  - massa molecular da água ( $\text{g mol}^{-1}$ )

$\lambda_w$  - calor latente de vaporização da água a temperatura de bulbo úmido ( $\text{kcal kg}^{-1}$ )

$A$  - área da seção transversal do produto ( $\text{m}^2$ ) (ocorre a transferência de massa).

O fluxo de água é dado pela Equação 8.

$$N_a = K_y (X_w - X) \quad (8)$$

Onde:

$X_w$  e  $X$  - conteúdo de água do ar na superfície sólida ( $\text{g}$ ) e no ar quente ( $\text{g}$ )

$K_y$  - coeficiente de transferência de massa entre fases ( $\text{m s}^{-1}$ )

$M_B$  - massa molecular do ar ( $\text{g mol}^{-1}$ )

O coeficiente de transferência de massa entre as fases é calculado pela Equação 9. A Equação 9 somente é válida para fluxos laminar em placa paralela.

$$\frac{K_y \times L}{D_{AB}} = 0,664(Re)^{1/2}(Sc)^{1/3} \quad (9)$$

Onde, Reynolds (Re) e o número de Schmidt são obtidos pelas Equações (10) e (11), respectivamente.

$$Re = \frac{\rho \times v \times d}{\mu} \quad (10)$$

$$Sc = \frac{\eta}{\rho \times D_{AB}} \quad (11)$$

Onde:

L - comprimento da placa (m)

$D_{AB}$  - difusividade molecular da mistura ar-água ( $m^2 s^{-1}$ )

d - diâmetro (m)

$\rho$  - densidade ( $kg m^{-3}$ )

v - velocidade do ar ( $m s^{-1}$ )

$\eta$  - viscosidade do ar ( $kg m^{-1} s^{-1}$ )

O coeficiente de transferência de calor pode ser expresso em função do número de Nusselt Equação 12.

$$Nu = \frac{h \times d}{k} = z + \alpha(Re)^{1/2}(Sc)^{1/3} \quad (12)$$

Onde:

$k$  - coeficiente de condutividade térmica ( $\text{W m}^{-1} \text{°C}^{-1}$ )

$\alpha$  – constante

$C_p$  - calor específico do ar ( $\text{cal g}^{-1} \text{°C}^{-1}$ )

Pr é o número de Prandtl dado pela Equação 13.

$$\text{Pr} = \frac{C_p \times \eta}{k} \quad (13)$$

### 2.2.1.2 Período de taxa decrescente de secagem

O período de secagem em taxa decrescente é dividido em dois períodos de C a D e de D a E (Figura 2). Entretanto, para os produtos agrícolas e alimentares, é difícil indicar com clareza as divisões nas curvas experimentais de secagem (BARBOSA–CÁNOVAS e VEGA–MERCADO, 2000). Neste período a taxa (R) diminui quando a umidade é menor que o teor de umidade crítico, ou seja, atividade de água menor que 1 (BARBOSA–CÁNOVAS e IBARZ, 2003).

O período de taxa decrescente se inicia quando a migração interna de umidade passa a controlar o processo (CRUZ, 1990). Os diferentes mecanismos que descrevem o movimento da água são o movimento da água líquida sob efeito das forças de gravidade (desprezível na secagem de produtos biológicos); a migração capilar da água líquida sob a ação da tensão superficial; a difusão da água líquida sob o efeito do gradiente de umidade segundo a Lei de Fick; a difusão da água líquida adsorvida sobre as superfícies internas dos poros vazios (somente para teores da água muito baixos); a difusão do vapor sob o efeito do gradiente de pressão parcial de vapor de água; o escoamento da água sob o efeito de uma diferença da pressão total entre o interior e o exterior de produtos alimentícios e a migração de água líquida ou vapor sob o efeito de gradiente de temperatura. Sendo assim, o principal mecanismo de secagem de sólidos é a difusão da água nos sólidos de estrutura fina e capilares, poros e pequenos espaços cheios de vapor d'água (BARBOSA–CÁNOVAS e IBARZ, 2003). O vapor d'água se difunde até atingir a superfície, onde ele passa para a corrente de ar global (Figura 3).

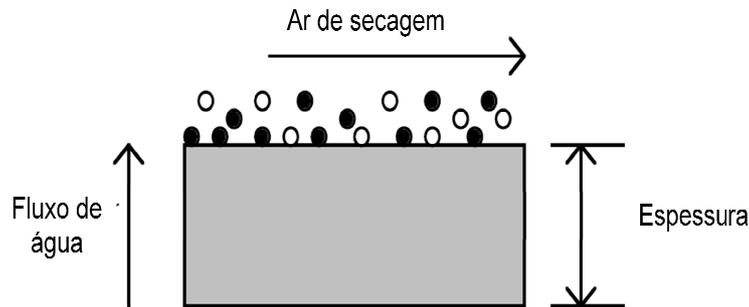


Figura 3 - Representação do mecanismo de transporte da difusão do vapor d`água para a superfície. Fonte: BARBOSA–CÁNOVAS e IBARZ, 2003.

A Figura 4 representa o mecanismo de difusão do vapor d`água no interior do alimento, no primeiro e segundo período da taxa decrescente de secagem e no final do processo de secagem.

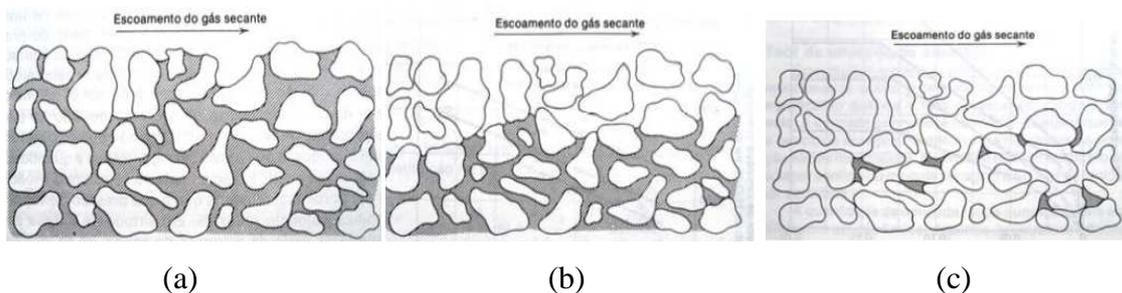


Figura 4 - Representação do mecanismo de difusão do vapor d`água no interior do alimento (a) primeiro período da taxa decrescente de secagem, (b) segundo período da taxa decrescente de secagem e (c) final do processo de secagem. Fonte: BARBOSA–CÁNOVAS e IBARZ, 2003

O período de taxa decrescente de secagem, normalmente, é o único observado para a secagem de produtos agrícolas e alimentícios. A teoria difusional fundamenta-se sobre a Lei de Fick, onde o fluxo de massa por unidade de área é proporcional ao gradiente de concentração d`água (BARBOSA–CÁNOVAS e IBARZ, 2003). A Lei de Fick, Equação 14 aplica-se a um sistema como apresentado na Figura 4 sendo utilizada no balanço de massa d`água no interior do produto.

$$\frac{\partial Y}{\partial t} = D_{ef} \frac{\partial^2 Y}{\partial x^2} \quad (14)$$

Onde:

$\partial Y/\partial t$  - fluxo de massa por unidade de área ( $\text{g H}_2\text{O g}^{-1} \text{m}^{-1} \text{s}^{-1}$ )

t - tempo (s)

x - dimensão na direção da transferência (m)

$D_{ef}$  - coeficiente de difusão ( $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ ).

Crank (1975), calculou várias soluções da equação de difusão considerando diferentes condições iniciais e de contorno. Entretanto, essas soluções se aplicam aos sólidos de formas geométricas simples (corpos semi-infinitos, placas, cilindros e esferas) e quando a difusividade é constante ou varia linearmente ou exponencialmente com a concentração de água. Para o caso de secagem em sistemas de coordenadas cartesianas, com direção unidirecional em uma placa de espessura L tem-se a Equação 15:

$$\frac{\partial Y}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( D_{ef} \frac{\partial Y}{\partial x} \right) \quad (15)$$

Considerando, a umidade inicial  $Y_0$  uniforme, desprezando as resistências externas à transferência de massa e o encolhimento do produto durante a desidratação e que a umidade na interface seja igual à umidade de equilíbrio, a solução analítica da Equação 15 pode ser representada pela Equação 16.

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(-\frac{(2n+1)^2 \pi^2 D_{eff} t}{4L_0^2}\right) \quad (16)$$

Onde:

MR - razão de umidade

n - número de termos na série

t - tempo (s)

$L_0$  - metade da espessura da amostra (m)

Segundo Incropera e Dewitt (1992), a difusividade térmica se relaciona à capacidade do material de conduzir e acumular energia térmica, ou seja, valores mais elevados do coeficiente de difusividade indicam maior velocidade de resposta, em busca do novo estado de equilíbrio, às variações do ambiente térmico. Devido à heterogeneidade dos materiais agrícolas, vários são os fatores a influenciar a quantidade de calor que atravessa a massa granular, podendo os valores da difusividade térmica variar entre as amostras, devido, principalmente, a sua composição, densidade e teor de água. Segundo Pabis et. al. (1998), a condução de calor transitória ou de estado não constante ocorre comumente durante o aquecimento ou resfriamento de produtos agrícolas. A taxa na qual o calor é difundido para fora ou para dentro da camada porosa do material depende da difusividade térmica. Em termos físicos, a difusividade térmica dá uma medida de como a temperatura pode variar quando um material é aquecido ou resfriado. A difusividade varia conforme mudam as condições de secagem e com isso não é intrínseca ao material, assim, convencionou-se chamá-la de difusividade efetiva.

A metodologia proposta por Dickerson (1965) tem sido a mais usada nas determinações experimentais. A teoria deste método está baseada em uma condição de transferência de calor em regime transiente, para o qual as temperaturas da amostra variam linearmente com o tempo, minimizando, assim, a dificuldade de satisfazer condições de contorno. Simultaneamente, a diferença de temperatura que indica a difusividade térmica não varia com o tempo, facilitando a análise e a interpretação dos dados. O método produz dados aplicáveis ao intervalo de temperatura através do qual o fluido é aquecido ou resfriado e permite o cálculo da difusividade térmica a partir de um único experimento.

Doymaz (2007) estudando a características de secagem de tomate tratado osmoticamente e não tratado verificou que os valores de difusividade efetiva aumentaram com o aumento da temperatura. O mesmo comportamento foi verificado por Giovanelli et

al. (2002), Akanbi et al. (2006), Varadharaju, et al. (2001), Ahrne et al. (2003) em estudos com diferentes condições de secagem de produtos agrícolas.

### 2.3 MODELOS MATEMÁTICOS

Os métodos comumente utilizados para analisar a secagem de produtos biológicos são os métodos empíricos e o teóricos (QUEIROZ et al., 1995). O método empírico pode ser realizado por meio de experimentos em laboratório e baseia-se nas condições externas, como temperatura, razão da mistura e velocidade do ar de secagem. Entretanto, mesmo podendo descrever a curva de secagem para as condições do experimento, não fornece indicação sobre o transporte de energia e de água no interior dos produtos. Os modelos teóricos utilizam os fundamentos da matemática, da difusão e da transferência de calor e massa e podem descrever de forma aceitável o perfil da distribuição de água no interior de determinado produto agrícola desde que seja possível correlacionar sua forma à geometria de um sólido perfeito, além da exigência do estabelecimento de uma relação funcional entre o coeficiente de difusão, o teor de água e a temperatura (QUEIROZ et al., 1995).

Segundo Carlesso et al., (2005) expressões empíricas, semi-teóricas ou puramente teóricas para a secagem de sementes de fruteiras raramente são encontradas na literatura. Embora diversas teorias tenham sido propostas e várias equações tenham sido elaboradas para prever a variação do teor de água durante a secagem de produtos agrícolas no período à taxa decrescente, é possível afirmar que apenas relações empíricas ou semi teóricas têm sido utilizadas nos projetos de secadores, pois elas representam com maior precisão o processo de secagem que qualquer das equações teóricas desenvolvidas posteriormente (BROOKER et al., 1992).

As equações empíricas utilizadas nos estudos de secagem de produtos agrícolas são resultados de investigações de Lewis (1921) e Sherwood (1936) sobre a secagem de sólidos por convecção. De acordo com Lewis (1921), o movimento do líquido ou vapor em um sólido durante o período de secagem à taxa decrescente pode ser descrito utilizando-se a Lei de Newton para o resfriamento e é representado pela Equação 17.

$$MR = \exp(-k \times t) \quad (17)$$

Onde:

MR - razão de umidade

t - tempo (s)

$k$  - constante de secagem

A equação 17 conhecida como Lei Exponencial ou Modelo Logaritmo de Secagem descreve de forma aceitável o fenômeno de transferência de massa durante a secagem por convecção de produtos capilares porosos, devido à razoável aproximação entre os valores medidos experimentalmente e aqueles calculados. Page (1949), ao estudar os fatores com influência significativa sobre a taxa de secagem por convecção de grãos de milho em camada fina e ao comparar os resultados obtidos experimentalmente com aqueles obtidos com o modelo exponencial, propôs a Equação 18.

$$MR = \exp(-k_1 \times t^n) \quad (18)$$

Onde:

MR - razão de umidade

t - tempo (s)

$k_1$  - constante modificada de secagem

n - parâmetro que depende da umidade relativa e temperatura do ar de secagem

A Equação de Page representa melhor a curva de secagem experimental que o modelo exponencial. Os termos  $k_1$  dependem do tipo de produto, de sua temperatura e, em alguns casos, do cultivar e da umidade relativa do ar.

Simmonds et al. (1953), apresentou o modelo matemático de Predição da Taxa de Secagem de uma Camada Fina de sementes de trigo, conhecido como Modelo Exponencial Simples de Dois Parâmetros Eq. (19). O modelo foi desenvolvido levando em consideração

os efeitos da velocidade, temperatura e razão da mistura do ar de secagem, do tamanho médio das sementes e de sua taxa de redução de volume no decorrer da secagem.

$$MR = a_1 \times \exp(-k_2 \times t) \quad (19)$$

Onde:

MR - razão de umidade

t - tempo (s)

$k_2$  - constante modificada de secagem

$a_1$  – parâmetro de secagem

Henderson e Pabis (1961) avaliaram o modelo proposto por Simmonds et al., (1953) e afirmaram que a maioria dos pesquisadores empregava com sucesso o modelo proposto em estudos de secagem de produtos agrícolas em camada fina. No entanto, tais autores mostraram que os coeficientes genéricos de secagem não eram constantes e sim dependentes da temperatura do ar e dos mecanismos de difusão de água ou vapor d'água no interior das sementes.

Os modelos apresentados nas Equação 20 e Equação 21 têm sido utilizados por diversos pesquisadores em estudos de secagem dos mais variados tipos de produtos agrícolas como sementes de arroz e melão, milho em espiga, cereja, fatias de alho, cenoura e berinjela e folhas de plantas medicinais (HENDERSON, 1974; SHARAF-ELDEEN et al., 1980; NOOMHORM e VERMA, 1986; EZEIKI e OTTEN, 1991; ERTEKIN e YALDIZ, 2004). Os modelos da Equação 20 e Equação 21 são modificações do Modelo Exponencial ou Logarítmico, com a inclusão de um segundo coeficiente na Equação 20 e de um segundo termo exponencial na Equação 21. Madamba et al. (1996) afirmam que a Equação 21 é parte de uma série infinita de expoentes negativos derivada da solução geral da equação de difusão. Os modelos matemáticos de secagem representados pela Equação 20 e Equação 21 são conhecidos normalmente como Modelos Exponenciais Simples de três parâmetros e Duplo de quatro parâmetros, respectivamente.

$$MR = a_2 \times \exp(-k_3 \times t) + b \quad (20)$$

$$MR = a_3 \times \exp(-k_4 \times t) + b_1 \times \exp(-k_5 \times t) \quad (21)$$

Onde:

MR - razão de umidade

t - tempo (s)

$k_3, k_4, k_5$  - constantes modificadas de secagem

$a_2, a_3, b, b_1$  – parâmetros de secagem

Os modelos empíricos são avaliados quanto a sua capacidade de simular a secagem de produtos agrícolas de forma que seja aceitável. Diversos pesquisadores vêm desenvolvendo modificações nos modelos matemáticos que descrevem o processo de secagem de produtos agrícolas, todos baseados na Lei de Newton (WHITE et al., 1981; YALDIZ et al., 2001; MIDILLI et al., 2002; TOGRUL e PEHLIVAN, 2002; WANG et al., 2007). Sendo assim, a escolha dos melhores modelos é realizada mediante análise de regressão, análise de erros e avaliação de demais parâmetros estatísticos que auxiliaram na escolha da equação que melhor representou os dados experimentais (SACILIK, 2007).

O desenvolvimento de novos tipos de secadores utiliza-se de modelos matemáticos que possam descrever a taxa de transferência de massa que ocorre entre o ar de secagem e o produto (ERENTURK et al., 2004). Deste modo, a possibilidade de simular o processo de secagem sem que seja necessário construir e testar diversos protótipos de secadores é vantajoso, além de reduzir o tempo necessário para o seu desenvolvimento. Os modelos de simulação permitem avaliar o efeito de qualquer combinação das variáveis envolvidas no grau de uniformidade, no teor de água final das sementes, na eficiência do processo em termos energéticos (kJ por kg de água evaporada) e na relação custo/benefício dos diversos métodos de secagem (CARLESSO et al., 2007).

## 2.4 SECAGEM EM SECADOR CONVECTIVO

Os métodos de secagem e tipos de secadores são variados, sendo cada um deles de maior ou menor adequação a uma situação particular. Os secadores podem ser utilizados para a remoção da umidade de uma grande variedade de produtos alimentícios, incluindo frutas e hortaliças. Os fatores que levam à seleção de um determinado secador ou método de secagem incluem a forma, as propriedades e a composição da matéria prima, o custo de operação e as características físicas e químicas desejadas para o produto final (BARBOSA–CÁNOVAS e VEGA–MERCADO, 2000).

A secagem em secador convectivo é um dos métodos mais comumente utilizado, neste processo o calor sensível é transferido para o material por meio da convecção. O agente de secagem empregado, normalmente, é o ar que é aquecido por fontes de calor que passam sobre ou através do sólido, evaporando a umidade e transportando-a para fora do secador (VELIC et al., 2004). As condições de secagem podem ser controladas pela temperatura e umidade do ar aquecido (SACILIK, 2007). O esquema de um secador convectivo está representado pela Figura 5.

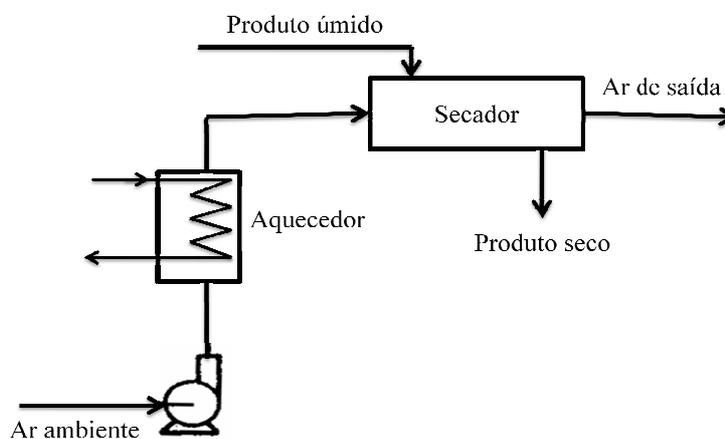


Figura 5 – Esquema da secagem por convecção. Fonte: NOGUEIRA et al., 2003.

Segundo Romero et al. (1997), a secagem de tomate fresco deve se realizada a temperaturas inferiores a 65°C para preservar a cor e o sabor, o que torna o processo demorado, exigindo um tempo grande para atingir umidade baixa o suficiente para garantir a estabilidade microbiológica do produto. Sacilik (2007) estudando a modelagem do

processo de secagem de tomates tratados por branqueamento e não tratados, em camada fina com secador convectivo, em escala piloto, verificou que o tempo de secagem reduziu com o aumento da temperatura empregada. Os valores de difusividade efetiva foram maiores em temperaturas mais altas, sendo superiores nas amostras tratadas. Além disso, concluíram que o tratamento e a temperatura do ar produziram um efeito significativo sobre a cor e capacidade de reidratação das amostras.

## 2.5 PARÂMETROS DE QUALIDADE EM ALIMENTOS SECOS

O processo de secagem altera algumas propriedades físicas, químicas e estruturais dos alimentos com a remoção da água. As mudanças no conteúdo de água da superfície e do centro do alimento podem ocorrer em velocidades diferentes e produzir alterações diversas como: endurecimento superficial, movimento de sólidos solúveis e retração. O endurecimento superficial acarreta em forte retração da camada superficial, onde forma uma película dura e impermeável e oferece alta resistência à transferência de vapor. Para evitar o endurecimento superficial pode-se utilizar ar com umidade relativa elevada a baixa velocidade e temperatura adequada, para favorecer a difusão interna da água no alimento. O movimento de sólidos solúveis é comum quando a secagem inicial é lenta, onde as substâncias solúveis em água (sobretudo açúcares e sais) sejam arrastadas pela água do centro para a superfície, concentrando e ou cristalizando. Deste modo, forma-se uma camada amorfa, de aspecto pegajoso e impermeável, que dificulta a passagem de vapor de água. A retração do alimento ocorre nos tecidos animais ou vegetais e é proporcional à saída progressiva de água das células (KROKIDA e PHILIPPOPOULOS, 2005).

A Figura 6 mostra a configuração de um sólido com retração provocada por uma secagem lenta e por uma secagem rápida.

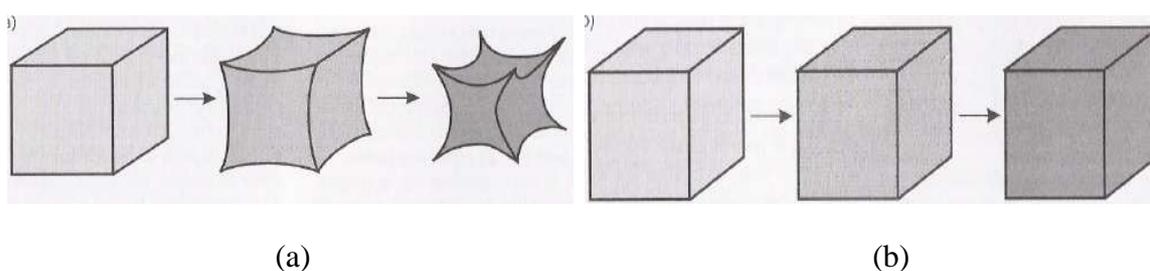


Figura 6 – Efeito de retração do alimento seco de forma lenta (a) e rápida(b). Fonte:

MELONI, 2003.

Na secagem realizada de maneira lenta o produto se retrai, com a conseqüente redução do volume. Na secagem rápida ocorre a formação de uma camada desidratada e rígida na superfície do alimento, fixando o volume final do produto. Apresenta uma estrutura porosa que facilita a reidratação, tornando-o mais sensível às alterações oxidativas (KROKIDA e PHILIPPOPOULOS, 2005).

Outras alterações que podem ocorrer nos alimentos durante a secagem são: o amido pode gelatinizar, adsorvendo fortemente a água; os componentes termoplásticos fundem-se e amolecem, causando problemas de aglomeração e aderência à embalagem; mudanças do estado cristalino ao amorfo; escurecimento não-enzimático, favorecido pela temperatura alcançada durante o processamento e pelo aumento de solutos no alimento; perda por evaporação de substâncias aromáticas voláteis (difusão pela matéria seca é inferior à da água); redução da capacidade de retenção de água, que pode ocorrer da desnaturação e da agregação das proteínas consequentes ao aumento da temperatura e da concentração de sais, assim como da dessorção de água; mudança de textura, onde os produtos reidratados não recuperam a turgidez (carnes, frutas), nem a rigidez (hortaliças) dos produtos frescos (BARBOSA-CÁNOVAS e VEGA-MERCADO, 2000).

O processo de secagem de tomates ocasiona perdas de qualidade, principalmente em relação a capacidade de reidratação, textura, cor e valor nutricional. Portanto, estudos foram desenvolvidos visando à investigação dos parâmetros de secagem e aplicação de novas tecnologias que minimizem os danos causados pelo calor à cor, a textura, ao sabor e perda de nutrientes (LEWICKI et al., 2002; GIOVANELLI et al., 2002; CHANG et al., 2006; TOOR e SAVAGE, 2006; DOYMAZ, 2007; HEREDIA et al., 2007; MURATORE et al., 2008).

O alimento seco perde um dado teor de umidade, contribuindo para um aumento na concentração dos nutrientes por unidade de peso, comparado ao produto fresco. Quando reconstituído ou reidratado, espera-se que ocorra uma semelhança ao produto natural, porém não haverá igualdade, devido à perda de alguns constituintes e modificações da estrutura do alimento (KROKIDA e MARINOS-KOURIS, 2003). Ou seja, a capacidade de reidratação é dependente do grau de destruição celular e estrutural. A desarticulação e a

ruptura celular irreversível resulta em perda da integridade celular com formação de uma estrutura densa e colapsada (encolhimento). O encolhimento dos capilares, com redução das propriedades hidrofílicas, reflete na incompleta reidratação (GIRALDO et al., 2006).

A capacidade de reidratação pode ser definida como sendo a razão do peso do alimento reidratado pelo seu peso seco. Segundo Giraldo et al. (2006) no processo de reidratação estão envolvidos dois fluxos de massa contracorrente, sendo o fluxo de água da solução para o produto e o fluxo de sólidos do produto para a água. As condições de reidratação dos diferentes tipos de alimentos devem ser estabelecidas, uma vez que diversos fatores influenciam na quantidade de água absorvida. Os fatores a serem considerados são o período de tempo de imersão, a temperatura da água, e a razão entre a quantidade de água utilizada e a de produto. Pequenas quantidades de água diminuem a razão de absorção, em consequência da menor área superficial de contato e o excesso aumenta as perdas de nutrientes solúveis. A temperatura da água elevada aumenta a razão de absorção, reduzindo o tempo total necessário para reidratar e afeta negativamente a palatabilidade do produto (KROKIDA e PHILIPPOPOULOS, 2005). Segundo Giraldo et al. (2006), a temperatura, a natureza da solução e do produto afetam a capacidade de reidratação.

Segundo Sacilik (2007), a reidratação de amostras de tomate seco são afetadas pelo pré-tratamento e pela temperatura do ar de secagem empregado. Com o aumento da temperatura verificou maior razões de reidratação, tanto para as amostras tratadas como as não tratadas pelo branqueamento. As amostras tratadas apresentaram maiores valores da razão de reidratação em relação às amostras não tratadas. O mesmo comportamento foi verificado por Krokida e Marinos-kouris (2003) estudando a cinética de reidratação de produtos desidratados. Doymaz (2007) verificou que a reidratação de amostras pré-tratadas com solução alcalina de oleato de etila foi mais rápida do que as amostras não tratadas. As amostras secas em temperatura de 65 °C foram as que apresentaram maior razão de reidratação tanto nas amostras tratadas como não tratadas, o que indica ser a temperatura ótima para a secagem do tomate. A compactação do produto após a secagem é o principal fator que afeta a capacidade de reidratação das amostras (DOYMAZ, 2007).

A textura é um dos atributos sensoriais de maior importância em alimentos e está diretamente relacionada com o seu estado físico (LEITE et al., 2005). A textura é definida como o conjunto de propriedades do alimento, composto por características físicas

perceptíveis pelo tato e que se relacionam com a deformação, desintegração e fluxo do alimento, sob aplicação de uma força. A percepção dos indivíduos à textura das frutas e hortaliças são múltiplas, sendo a sua maioria induzida por características mecânicas, geométricas ou químicas. As principais sensações são a dureza, maciez, fibrosidade, succulência, granulidade, qualidade farinácea, resistência e elasticidade (MEILGAARD et al., 1991; FARIA e YOTSUYANAGI, 2002). Em frutos e vegetais frescos a textura é dependente do conteúdo de substâncias pécicas (CRUZ, 1990).

A textura é afetada em processamento de tomates devido às altas temperaturas provocarem alterações físicas e químicas no produto. O estado físico e as propriedades físico-químicas dos alimentos mudam durante o processamento, estocagem, distribuição e consumo. A remoção de água por evaporação, desidratação ou congelamento geralmente resulta na formação de produtos no estado amorfo, ou seja, provoca mudanças na textura do alimento (BARONI, 2004).

A mudança de fase mais comum em alimentos é a transição vítrea, que consiste em uma transição de fase de segunda ordem de um estado sólido-vítreo para um estado semi líquido gomoso. A transição vítrea de um composto ocorre a uma determinada temperatura, denominada temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ), que é variável com a composição do alimento, principalmente, com o teor de água. Transições de fase são alterações no estado físico dos materiais que têm efeito significativo sobre as suas propriedades físicas. Existem três estados físicos básicos: sólido, líquido e gasoso. O termo transição refere-se à mudança, no estado, provocada por uma alteração de temperatura ou pressão. As transições de fase em alimentos ocorrem, geralmente, como um resultado de mudanças na composição ou na temperatura, durante as etapas de processamento ou armazenagem (ROOS, 1995; LEITE et al., 2005).

De acordo com Roos (1995), o estado físico dos alimentos, geralmente, é governado pela transição de fase dos seus principais componentes. Uma vez que a água é o principal componente e diluente, na grande maioria dos alimentos, afeta o estado físico e as propriedades dos demais compostos. Materiais amorfos podem ser formados em processos onde a temperatura é reduzida abaixo do ponto de fusão ou quando ocorre remoção de água por evaporação ou por congelamento, sendo assim, caracterizado pela falta de organização das moléculas, oposto a forma cristalina, que representa melhor arranjo da estrutura. Ou seja, para que ocorra a formação de um material amorfo há uma

rápida mudança no produto, não permitindo que exista tempo suficiente para que o material se ajuste às mudanças que ocorrem na vizinhança e, portanto saia do estado de equilíbrio para um de não equilíbrio termodinâmico (BARONI, 2004). Desta forma a secagem rápida em alimentos pode levar a produção de alimentos amorfos (ROOS, 1995).

A qualidade de muitos produtos desidratados está relacionada com a retenção dos poros internos e do volume original do produto. Encolhimento e o amolecimento são resultados do colapso da estrutura original. A secagem em temperaturas perto ou menores que a temperatura de transição vítrea previne o colapso e perda da porosidade do produto. No entanto, manter essa condição de processamento é difícil, principalmente em frutos e vegetais, produtos de alto teor de umidade inicial, e portanto, baixas temperaturas de transição vítrea. A secagem de frutos e vegetais, ocorre muito acima da temperatura de transição vítrea. A crocância característica de alimentos no estado vítreo é desejada em biscoitos, batatas fritas e cereais matinais. Já a maciez associada ao estado gomoso é desejável em alguns produtos desidratados, como damasco e banana, e recheios de biscoitos (BARONI, 2004; LABUZA, 2004; LEITE et al., 2005). A teoria da transição vítrea da ciência dos polímeros pode ajudar na compreensão das propriedades texturais de alimentos e explicar as alterações que ocorrem durante o processamento e a armazenagem, tais como a pegajosidade, o empelotamento, o amolecimento e o endurecimento (LABUZA, 2004).

Baroni (2004) em estudo sobre as propriedades mecânicas, termodinâmicas e de estado de tomate submetido a desidratação osmótica e secagem, observou que o tratamento osmótico provocou amolecimento do tecido vegetal e que ao longo da secagem reverteu essa tendência e se tornou mais rígido. O aumento da característica viscosa do material foi notado para as amostras imersas em cloreto de sódio, que após atingir determinado valor de umidade, ocorreu enrijecimento da amostra. O enrijecimento foi relacionado ao estado físico do material, mais amorfo que líquido.

As propriedades de textura dos alimentos são medidas objetivamente por funções de massa, tempo e distância (ARAZURI et al., 2007). Os dados de força obtidos permitem expressar a textura pela relação entre a textura do produto seco pelo produto fresco. Teoricamente, os valores da razão igual a 1 indicam mudanças de textura em comparação com as amostras frescas, valores inferiores a 1 indicam amolecimento da amostra e valores superiores a 1 indica endurecimento. Heredia et al. (2007) e Chiralt e Talens (2005) em

estudos sobre a secagem de tomates observaram razão de textura da polpa inferiores a 1, indicando que ocorreu amolecimento em amostras tratadas osmoticamente e seguida de secagem.

A cor vermelha nos tomates é atribuída a presença de licopeno. O licopeno está localizado em cromoplastos dispersos por todo o fruto e aparece como micro cristais sólidos, onde a luz quando refletida neles confere a brilhante cor vermelha típica dos tomates. Nguyen e Schwartz (1998) verificaram tendência de que a coloração acompanha a mudança da isomerização do licopeno. Quando o licopeno é dissolvido em lipídios ou outros solventes, sua cor é laranja amarela ou escura, mas não o vermelho. Com a isomerização da forma *trans* para *cis* pode ocorrer a mudança de coloração para o vermelho mais intenso (SHI et al., 1999).

A bioatividade do licopeno aumenta com a conversão da forma *trans*-isômero para *cis*-isômero (SCHIERLE et al., 1997; NGUYEN e SCHWARTZ, 1998). A conversão dos isômeros pode ocorrer durante o processamento de alimentos. Porém altas temperaturas aliadas a exposição à luz e ao oxigênio pode levar a biodegradação do licopeno. Segundo Nguyen e Schwartz (1998) a oxidação a principal causa de biodegradação de licopeno nos alimentos. Em produtos de tomate processados, a oxidação é um processo complexo e depende de muitos fatores, como condições de processamento, umidade, oxigênio, temperatura, luz, e a presença de antioxidantes e lipídios. A grande superfície exposta ao ar e presença de metais, quantidade de açúcares, ácidos e aminoácidos, assim como o tempo de processamento, afetam a cor promovendo a formação de pigmentos marrons, devido há reações de Maillard, condensação de hexoses e componentes amino e oxidação do ácido ascórbico (BARREIRO, et al., 1997). As perdas nos teores de licopeno na secagem são de significância comercial e nutricional. Portanto, condições adequadas de processamento devem ser estabelecidas para a manutenção do nível de licopeno no produto processado (SHI et al., 1998).

Romero (1999) e Camargo e Queiroz (1999) verificaram escurecimento das amostras de tomate seco em temperatura do ar acima de 80 °C e que secagem a 60 °C proporcionou as amostras melhor qualidade de cor. Romero-Peña e Kieckbusch (2003) verificaram que no início da secagem o vermelho intensifica-se, devido a concentração em licopeno dada pela evaporação da água. Além disso, observaram que em temperaturas mais altas que 80°C ocorre redução da coloração vermelha, atribuída a degradação do pigmento

licopeno. Toor e Savage (2006) em estudo do efeito da semi-secagem nos componentes de antioxidantes de tomates de três variedades, secos em secador piloto em temperatura de 42 °C por 18 horas, observaram redução nos valores de L\* e de a\*, indicando escurecimento das amostras e redução na intensidade de cor vermelha. Além disso, verificaram redução do teor de licopeno, porém de forma não significativa para as variedades Tradiro e Flavourine e significativa na variedade Excell. O conteúdo de ácido ascórbico também reduziu significativamente com a secagem.

Muratore et al. (2008), verificaram incremento da coloração vermelha nos tomates secos em relação os frescos. Os valores de a\* aumentaram e os de L\* reduziram não significativamente com a elevação da temperatura empregada, indicando intensificação da cor vermelha e escurecimento mínimo nas amostras tratadas. Neste mesmo estudo, foi verificado que o processo de secagem sem tratamento osmótico a 80 °C apresentou maiores valores de licopeno e de beta-caroteno em relação a temperatura de 40 °C, o que evidencia a perda pelo tempo prolongado do processo. Já nas amostras tratadas a 40 °C, os teores de licopeno e de beta-caroteno foram maiores.

Shi et al. (1999) estudando a degradação e isomerização do licopeno em desidratação de tomates, utilizando diferentes técnicas de secagem em temperaturas superiores a 55 °C, verificaram que tomates secos em processos de secagem a vácuo, com desidratação osmótica, secagem a vácuo e secagem em secador piloto foram de 2,4%, 3,2% e 3,9%, respectivamente. A perda do licopeno foi atribuída à isomerização da forma *trans* para a *cis* devido a exposição prolongada ao oxigênio e a luz.

A perda da vitamina C no processamento de tomate é uma das causas na redução do valor nutricional do produto. A atividade da vitamina C em alimentos está associada ao seu conteúdo de ácido L-ascórbico que pode ser facilmente oxidado no processo e depende de fatores como pH, conteúdo de umidade, oxigênio, temperatura e luz. A degradação da vitamina C pode se tornar fator limitante na vida de prateleira de vários produtos. No processo de desidratação, a perda de ácido ascórbico é afetada principalmente pela aplicação de altas temperaturas (MARFIL et al., 2008).

Romero-Peña e Kieckbusch (2003) verificaram teor de ácido ascórbico de amostras de tomate manteve-se estável durante a secagem a temperatura de 60 °C por um período de 300 minutos. Muratore et al. (2008) verificaram que a perda de ácido ascórbico, tanto nas amostras tratadas com cloreto de sódio, ácido cítrico e cloreto de cálcio e as não tratadas,

foi efeito da temperatura empregada. As maiores perdas de ácido ascórbico foram observadas quando utilizado temperatura de 80 °C, na amostra não tratada.

## 2.6 VIABILIDADE ECONÔMICA INDUSTRIAL

A viabilidade econômica tem como principal objetivo avaliar os investimentos, relacionando os benefícios e os custos do projeto. Métodos quantitativos para a avaliação de investimentos que buscam indicadores que relacionem os benefícios e os custos do projeto são utilizados no estudo de viabilidade econômica. Sendo, os métodos quantitativos divididos em dois grandes grupos. Um dos grupos é o que não leva em consideração a variação do capital com o tempo, dos quais são considerados o tempo de recuperação do capital investido (*Pay-back*), o método da razão receita/custo (R/C) e o método da razão receita média/custo. O outro grupo refere-se aos que levam em conta a variação que o capital sofre com o tempo, destacando o método do valor presente líquido (VPL), o método da taxa interna de retorno (TIR) e o método da razão benefício/custo (B/C). As técnicas para avaliação de projetos, normalmente, estão embasadas em medidas de rentabilidade (VPL e TIR) e a análise de benefício/custo (B/C) (DOSSA et al., 2000; VERAS, 2001).

A análise de investimentos pode ser considerada como o conjunto de técnicas que permitem a comparação entre os resultados de tomada de decisões referentes a alternativas diferentes de forma científica. Veras (2001) salienta que a análise de investimentos compreende não só alternativas entre dois ou mais investimentos a escolher, mas também a análise de um único investimento com a finalidade de avaliar o interesse na implantação do mesmo. A decisão de investir é de natureza complexa, entre o grande número de fatores que intervém, destacam-se aqueles de natureza pessoal. A maior rentabilidade de diferentes atividades num sistema de produção, em muitos casos, é suficiente para a decisão. Porém, isto somente é verdadeiro se o critério estabelecido pelo empresário for para obter um retorno esperado igual ou maior que a taxa de atratividade do capital no mercado financeiro. Ou seja, se ele obtiver o custo de oportunidade do dinheiro numa aplicação financeira alternativa, sendo, isto verificado se empresário for neutro ou avesso ao risco. Por outro lado, caso o empresário observar que uma alternativa supera a outra, pode-se optar por correr risco na aplicação que tiver expectativa de maior rentabilidade. A taxa

mínima de retorno aceita para investir é aquela que apresenta o menor risco possível (DOSSA et al., 2000).

### **2.6.1 Índice de Relação Custo/Benefício (IBC)**

O índice que relaciona os benefícios aos custos pode ser descrito como um indicador de eficiência econômica/financeira por sugerir o retorno dos investimentos a partir da relação entre a receita total e as despesas efetuadas para viabilizá-la. O Índice de Relação Custo/Benefício indica quantas unidades de capital recebido como benefício são obtidas para cada unidade de capital investido. Ou seja, a relação benefício-custo é o cociente entre o valor atual das rendas a serem obtidas e o valor atual dos custos, incluindo os investimentos necessários ao desenvolvimento do projeto (GITMAN, 2002; BRUNI e FAMÁ, 2003). O projeto será economicamente viável, desta forma, se apresentar a razão benefício/custo maior ou igual a 1, dado que os mesmos revelam possibilidades de produzirem benefícios em excesso aos custos. Por outro lado, se o índice obtido for menor do que 1 indica que poderão ocorrer prejuízos (CASAROTTO FILHO e KOPITKE, 2000; BRUNI e FAMÁ, 2003).

As análises de benefício/custo são muito semelhantes as análises marginais de entradas e saídas, pois, em ambos os casos, os objetivos são basicamente obter máximo de saídas (benefícios) para uma determinada entrada (custos) e obter um determinado nível de benefício, tendo-se o mínimo de custos (GITMAN, 2002). A razão benefício-custo pode ser empregada em análises econômicas pequenas ou grandes (VERAS, 2001).

Os benefícios referem-se a tudo que possa ser beneficiado pelo empreendimento, ou seja, receitas, faturamentos, dividendos. Os benefícios, normalmente, aumentam os lucros ou diminuem os custos (ambos são características altamente desejáveis para um novo sistema de informação). Os benefícios são classificados como tangíveis ou intangíveis. Os benefícios tangíveis são aqueles que podem ser facilmente quantificados, usualmente, medidos em termos de economia mensal ou anual ou de vantagens para o empreendimento. São exemplos benefícios que diminuem erros de processamento e que reduzem despesas, e benefícios de crescimento de vendas. Os benefícios intangíveis são aqueles difíceis ou impossíveis de serem quantificados. São exemplos de benefícios intangíveis a melhoria da

satisfação do cliente e a melhoria da moral do empregado. Portanto, se um benefício não pode ser quantificado, é difícil aceitar a validade de uma análise de custo-benefício que está baseada em dados incompletos. Os benefícios econômicos do projeto têm que ser maiores ou, quando muito, iguais aos custos (GITMAN, 2002).

De outro lado, custos é tudo o que possa endividar o empreendimento, ou seja, avaliações de dispêndios, gastos e despesas. Os custos podem ser classificados em custos fixos e custos variáveis. Os fixos são aqueles que não variam com a quantidade produzida e os custos variáveis são aqueles que variam de acordo com o nível de produção da empresa. A classificação dos custos é frequentemente difícil e arbitrária e depende fortemente da situação específica em que se está analisando. Dentre os custos pode-se destacar os juros, conservação e manutenção, riscos e depreciação. (VERAS, 2001; GITMAN, 2002).

Os juros são definidos como a remuneração atribuída ao fator capital, ou seja, ao se usar um capital por um determinado tempo, paga-se pelo uso desse fator (VERAS, 2001). A conservação ou manutenção é o custo anual necessário para manter o bem de capital em condições de uso, sendo que um maior custo de manutenção corresponderá geralmente a uma menor depreciação. A depreciação é o custo necessário para substituir os bens de capital quando tornados pelo desgaste físico ou quando perdem valor com o passar dos anos devido a inovações tecnológicas (VERAS, 2001). Os riscos são a soma que se considera a cada ano para formar um fundo que permita pagar danos imprevistos que o bem pode sofrer (BRUNI e FAMÁ, 2003). As Equações 22 e Equações 23 referem-se ao Valor Presente Líquido das Receitas (VPLR) e ao Valor Presente Líquido dos Custos, respectivamente.

$$VPLR = \left( \frac{B_n}{(1+i)^n} \right) (22)$$

$$VPLC = \left( \frac{C_n}{(1+i)^n} \right) (23)$$

De modo geral as Equações 22 e 23 resumem-se na Equação 24 para obtenção da relação de Benefício Custo.

$$\frac{\sum B}{\sum C} = \frac{Bn\left(\frac{1}{(1+i)^n}\right)}{Cn\left(\frac{1}{(1+i)^n}\right)} \quad (24)$$

Onde:

Bn - benefícios

Cn - custos.

i – taxa de retorno desejada

n - vida do projeto em anos

### 2.6.2 Valor Presente Líquido (VPL)

O método do Valor Presente Líquido, também conhecido pela terminologia método do valor atual, caracteriza-se, essencialmente, pela transferência para o instante presente de todas as variações de caixa esperadas, descontando a taxa mínima de atratividade. Em outras palavras, seria o transporte para a data zero de um diagrama de fluxos de caixa, de todos os recebimentos e desembolsos esperados, descontados a taxa de juros considerada (GITMAN, 2002). Ou seja, o valor presente líquido é o cálculo do fluxo de caixa, que se refere ao saldo das entradas e saídas de caixa, do investimento que está sendo analisado utilizando a taxa de atratividade do investidor (VERAS, 2001). A viabilidade econômica de um projeto analisado pelo método do Valor Presente Líquido é indicada pela diferença positiva entre receitas e custos, atualizados a determinada taxa de juros. Se o valor presente for positivo, a proposta de investimento é atrativa. Quanto maior o valor positivo a proposta é mais atrativa. A taxa mínima de atratividade é a taxa a partir da qual o investidor considera que está obtendo ganhos financeiros (BRUNI e FAMÁ, 2003).

O método do Valor Presente Líquido apresenta algumas vantagens, pois pode ser aplicado a fluxos de caixa que contenham mais de uma variação de sinal, tanto de entrada, como de saída, levar em consideração o valor do dinheiro no tempo e depender unicamente dos fluxos de caixa previstos no projeto e no custo de oportunidade do capital, não sendo afetado pelas preferências do decisor, pelos métodos de contabilização usados pela

empresa, pela rentabilidade da atual atividade da empresa ou pela rentabilidade de outros projetos autônomos. No entanto, esse método apresenta desvantagens, entre elas a determinação da taxa mínima de atratividade, ou seja, a flexibilidade de escolha da taxa de juros e a impossibilidade de reaplicar os benefícios advindos de projetos exitosos (BRUNI e FAMÁ, 2003). Além disso, o Valor Presente Líquido é utilizado para análise de investimentos isolados que envolvam o curto prazo ou que tenham baixo número de períodos (DOSSA et al., 2000; BRUNI e FAMÁ, 2003).

O Valor Presente Líquido ou Valor Atual (VPL) pode ser obtido através da Equação 25.

$$VPL = \sum_{n=0}^t \frac{R_n - C_n}{(1+i)^n} \quad (25)$$

Onde:

$R_n$  – receitas

$C_n$  - custos operacionais

$i$  – taxa de retorno desejada

$n$  - vida do projeto em anos

### 2.6.3 Valor anual e Valor Presente Líquido Anualizado (VPLA)

O método do valor anual caracteriza-se pela transformação de todos os fluxos de caixa do projeto considerado numa série uniforme de pagamento, indicando desta forma o valor do benefício líquido, por período, oferecido pela alternativa de investimento, também chamado de valor anual uniforme. O projeto em análise só será atrativo se apresentar benefício líquido anual positivo, e entre vários projetos, aquele de maior benefício positivo será o mais interessante (VERAS, 2001). O Valor Presente Líquido Anualizado é um método recente e foi introduzido como alternativa ao método convencional no cálculo dos custos de produção para o caso de culturas perenes. O método do Valor Presente Líquido Anualizado é, também, denominado valor uniforme líquido ou valor anual uniforme

equivalente ou, simplesmente, valor equivalente anual. O VPLA foi proposto por Casarotto Filho e Kopittke (2000) e pode ser obtido através da Eq. (26). O resultado indica que no final de cada período de investimento o somatório dos valores descontados representa o VPL do fluxo financeiro da atividade.

$$VPLA = VPL \times \left[ \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] \quad (26)$$

Onde:

VPL – valor presente líquido

R<sub>n</sub> – receitas

C<sub>n</sub> - custos operacionais

i – taxa de retorno desejada

n - vida do projeto em anos

#### 2.6.4 Taxa interna de retorno (TIR)

A taxa interna de retorno de um projeto é a taxa de juros para a qual o valor presente das receitas torna-se igual aos investimentos iniciais referente a um projeto. Ou seja, a taxa interna de retorno é aquela que torna nulo o valor presente líquido do fluxo de caixa do projeto (VERAS, 2001; GITMAN, 2002). A taxa de retorno que se obtém em um projeto, encontrada a partir da análise projetiva de um fluxo de caixa, é a taxa de juros que torna nulo a diferença entre as receitas e as despesas. Dessa forma, o critério para a tomada de decisão de investimento, com base na Taxa Interna de Retorno, é aceitar um projeto de investimento quando tal taxa superar o custo de oportunidade do capital obtido no referido projeto (GITMAN, 2002).

A taxa interna de retorno deve ser comparada a taxa mínima de atratividade para a conclusão a respeito da aceitação ou não do projeto. A taxa mínima de atratividade do capital refere-se à remuneração média que está sendo paga na economia para cada unidade

monetária, nela aplicada, acrescentando-se um ganho adicional que deve acompanhar a capacidade e o risco empresarial (CASAROTTO FILHO e KOPITTKKE, 2000). A regra de decisão indica que somente terão investimentos se a Taxa Interna de Retorno for maior que a taxa de juros no mercado financeiro (DOSSA, 2000). A taxa interna de retorno maior que a taxa mínima de atratividade que o projeto é atrativo. No entanto, se a taxa interna de retorno é menor que a taxa mínima de atratividade, o projeto analisado passa a não ser mais interessante. O cálculo da taxa interna de retorno é realizado normalmente, pelo processo de tentativa e erro (CASAROTTO FILHO e KOPITTKKE, 2000).

O método da Taxa Interna de Retorno apresenta vantagens como a facilidade de visualização percentual após obtido o resultado e levar em consideração o temporal valor do dinheiro. Entretanto, apresenta desvantagens no que diz respeito à dificuldade do cálculo, uma vez que esse é feito pelo método de tentativa e erro, a consistência do resultado é variável e o método supõe que os saldos serão reaplicados à mesma taxa do investimento (VERAS, 2001). Além disso, a Taxa Interna de Retorno é menos robusta que o Valor Presente Líquido, pois pode apresentar vantagens de um projeto sobre outro e inverter a situação num período seguinte. Esta variação é consequência do volume de investimentos iniciais e do fluxo de retornos de cada projeto. Para neutralizar as distorções da Taxa Interna de Retorno, é necessário considerar um orçamento de capital definido pelo projeto de maior investimento inicial (CASAROTTO FILHO e KOPITTKKE, 2000). A Taxa Interna de Retorno pode ser obtida através da Eq. (27)

$$TIR = \sum_{n=0}^t \frac{FLUXO \text{ LÍQUIDO}}{(1+i)^n} \quad (27)$$

Onde:

i – taxa de retorno desejada

n - vida do projeto em anos

A Tabela 2 apresenta a correspondência entre os métodos VPL, TIR e IBC e indica qual é a melhor solução (DOSSA et al., 2000).

Tabela 2 - Correspondência entre os métodos e indicações de decisão para as atividades

| VPL | TIR | IBC | Decisão            |
|-----|-----|-----|--------------------|
| = 0 | = 0 | = 1 | Indiferença        |
| > 0 | > 0 | > 1 | Atividade Viável   |
| < 0 | < 0 | < 1 | Atividade Inviável |

Fonte: DOSSA et al., 2000

### 2.6.5 Prazo de Retorno (Payback)

O prazo de retorno é o tempo necessário para que o investidor recupere o seu capital aplicado. A velocidade de retorno é um referencial básico para que um investidor externo decida entre as alternativas em discussão. De forma geral quanto menor este período de retorno mais inclinado estará o investidor em optar pela alternativa de menor prazo que passa a ser menos arriscada. Todavia este indicador possui várias falhas a serem consideradas. Por isso ele deve ser utilizado como um critério secundário (DOSSA et al., 2000; CASAROTTO FILHO e KOPITTKKE, 2000).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

A secagem dos tomates e as análises físico-químicas e nutricionais foram realizadas no Laboratório de Cereais, no Laboratório de Fenômenos de Transporte e no Laboratório de Biotecnologia da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões. As análises de textura foram realizadas no Laboratório de Cereais do Centro de Pesquisa em Alimentação da Universidade de Passo Fundo.

#### 3.1 AMOSTRAS

As amostras de tomate italiano fresco (*Lycopersicon esculentum* Mill) foram adquiridas em mercado local e escolhidas visualmente pela coloração vermelha, firmeza, tamanho (diâmetro de 4,5 - 5,0 cm e comprimento de 7,0 – 9,0 cm) e pela ausência de danos físicos aparentes (Figura 7).



Figura 7 – Tomates selecionados quanto o grau de maturação.

### 3.2 UMIDADE

A umidade foi determinada em estufa de secagem e esterilização (Marca FANEM, modelo 320-SE, Brasil), com temperatura, de 105 °C durante 12 horas, ou até peso constante, conforme método 925.10 (AOAC, 1997). As amostras apresentaram conteúdo de umidade de  $94,0 \pm 1,0\%$ .

### 3.3 APARATO EXPERIMENTAL

Os ensaios foram realizados utilizando dois equipamentos de secagem sendo um o secador convectivo em escala laboratorial e o outro em estufa com circulação e renovação de ar. O secador convectivo em escala laboratorial foi projetado pelo Prof. Dr. Lauri Lourenço Radünz e está apresentado na Figura 8.



Figura 8 – Secador piloto convectivo (a) e detalhe do sistema de ventilação com controle de temperatura do ar (b).

O secador consiste basicamente de três unidades: um ventilador, que fornece o fluxo de ar desejado; conjunto de resistências elétricas para aquecimento, com controle de temperatura; e uma câmara de secagem. O aquecimento é realizado pelas resistências

elétricas de 3800 W fixas em um duto. A câmara de secagem, de 30x30x50 cm, construída de chapas de metal galvanizado de 1,5 mm de espessura, com abertura única frontal para inserção e retirada das amostras. A cada intervalo de 1 minuto foram registrado a temperatura de secagem através de sensor de controle de temperatura (Marca Novus, modelo N480D, com controle Proporcional Integral Derivativo - PID, Brasil) acoplado a passagem do ar pela resistência e outro durante todo o tempo de secagem. O sensor de temperatura utilizado foi o sensor termopar tipo J (Marca Novus, Brasil) com leitura entre 0 a 760 °C e precisão de  $\pm 2,2$  °C. O sensor de umidade relativa utilizado foi o da marca Novus, modelo RHT-DM com precisão de  $\pm 4\%$  para faixa de umidade relativa entre 90 e 100% e possui saída de 4 a 20 mA. Os dados foram registrados por registrador de dados e software Data Loggers (Marca Novus, modelo myPCLab, Brasil). O ar de secagem foi insuflado no duto e passava na câmara de secagem contracorrente ao produto. A velocidade do ar foi medida utilizando um anemômetro tipo ventoinha (Marca Instrutherm, modelo AD 250) com faixa de medição de  $0,5 \text{ m s}^{-1}$ .

A secagem em estufa foi realizada em estufa com circulação e renovação de ar (Marca Marconi, modelo MA 037, Brasil). A figura 9 mostra a estufa utilizada nos ensaios de secagem.



(a)

Figura 9 – Estufa com circulação e renovação de ar.

### 3.4 PROCEDIMENTO DE SECAGEM E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

As amostras de tomate foram cortadas em dois tipos de corte. Os dois tipos de cortes realizados foram em fatias de aproximadamente 1 cm de espessura e em quarto partes de aproximadamente 2,5 cm de raio. Cada tipo de corte foi submetido à secagem na temperatura de 40, 50 e 60 °C em dois tipos de equipamentos de secagem. Os secadores utilizados foram o secador convectivo em escala laboratorial e estufa com circulação de ar. Sendo assim, os experimentos de secagem foram conduzidos em Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) em arranjo fatorial 2 x 2 x 3, ou seja, 2 tipos de corte (fatias e em quatro partes), 2 tipos de secadores (secador convectivo em escala laboratorial) e 3 temperaturas de secagem (40, 50 e 60 °C), totalizando 12 experimentos com três repetições.

Para os ensaios de secagem foram utilizados 500 g de amostras de tomate. As amostras foram colocadas uniformemente na bandeja, em uma única camada, e submetida à secagem após as condições de temperatura permanecer constantes. A Figura 9 mostra a vista superior da bandeja de secagem de amostras de tomates italiano cortados em quatro partes e em fatias dispostos em uma única camada.

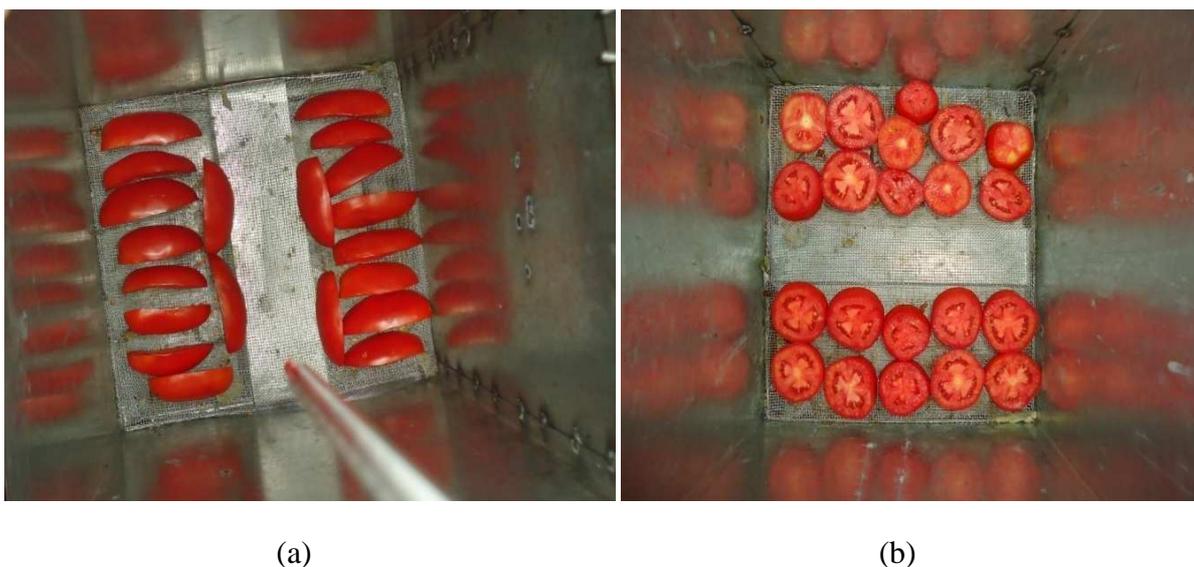


Figura 10 – Vista superior da bandeja de secagem de amostras de tomates italiano cortados em quatro partes (a) e de amostras de tomates italiano cortados em fatias (b).

A perda de massa das amostras das amostras secas em secador convectivo em escala laboratorial e em estufa com circulação e renovação de ar foi registrada em intervalos de 15 minutos nas primeiras duas horas e a cada 30 minutos ao longo do tempo de secagem em balança analítica (Marca Toledo, modelo 9094-1, com 0,005 g de precisão), para determinar as curvas de secagem. A secagem foi realizada até a amostra atingir a umidade estimada de 15%. As amostras secas foram embaladas em filme de polietileno de baixa densidade para posterior determinação de capacidade de reidratação, cor, textura e licopeno.

### 3.5 MODELAGEM MATEMÁTICA DOS DADOS EXPERIMENTAIS

A umidade absoluta (MR) é definida pela razão do teor de água à matéria seca e é determinado para cada dado experimental. A Tabela 3 apresenta as equações matemáticas utilizadas para ajustar as correlações empíricas e descrever o comportamento da secagem de produtos naturais.

Tabela 3 - Modelos matemáticos ajustados aos dados experimentais de secagem

| Número | Modelo                                                                                                         | Referências              |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| 1      | $MR = \exp(-k \times t)$                                                                                       | Bruce (1985)             |
| 2      | $MR = \exp(-k_1 \times t^n)$                                                                                   | Menges e Ertekin (2006)  |
| 3      | $MR = \exp(-(k_2 \times t)^n)$                                                                                 | White et al. (1981)      |
| 4      | $MR = a \times \exp(-k_3 \times t)$                                                                            | Henderson e Pabis (1961) |
| 5      | $MR = a_1 \times \exp(-k_4 \times t) + b \times \exp(-k_5 \times t)$                                           | Henderson (1974)         |
| 6      | $MR = a_2 \times \exp(-k_6 \times t) + b_1$                                                                    | Togrul e Pehlivan (2002) |
| 7      | $MR = a_3 \times \exp(-k_7 \times t) + (1 - a_4) \times \exp(-k_8 \times a_5 \times t)$                        | Yaldiz et al. (2001)     |
| 8      | $MR = \exp(-k_9 \times t^n) + b_2 \times t$                                                                    | Midilli et al. (2002)    |
| 9      | $MR = a_6 \times \exp(-k_{10} \times t) + b_3 \times \exp(-k_{11} \times t) + c \times \exp(-k_{12} \times t)$ | Togrul e Pehlivan (2002) |
| 10     | $MR = 1 + a_7 \times t + b_4 \times t^2$                                                                       | Wang et al. (2007)       |

As equações expressam a razão da umidade (MR) em função do tempo e têm sido utilizadas para ajustar a curva de secagem de tomates. Nestes modelos MR representa a razão de umidade adimensional representada na Equação 28.

$$MR = \frac{(Y - Y_e)}{(Y_0 - Y_e)} \quad (28)$$

Onde:

MR - razão de umidade adimensional

Y - conteúdo de umidade no produto (g H<sub>2</sub>O g de sólidos secos<sup>-1</sup>)

Y<sub>e</sub> - conteúdo de água quando o equilíbrio é atingido (g H<sub>2</sub>O g de sólidos secos<sup>-1</sup>)

Y<sub>0</sub> - umidade inicial (g H<sub>2</sub>O g de sólidos secos<sup>-1</sup>)

Os valores de Y<sub>e</sub> são relativamente pequenos comparados a Y e Y<sub>0</sub> em longos períodos de secagem e, conseqüentemente, pode ser escrita conforme Equação 29.

$$MR = \frac{Y}{Y_0} \quad (29)$$

Onde:

MR - razão de umidade adimensional

Y - conteúdo de umidade no produto (g H<sub>2</sub>O g de sólidos secos<sup>-1</sup>)

Y<sub>0</sub> - umidade inicial (g H<sub>2</sub>O g de sólidos secos<sup>-1</sup>)

Os dados experimentais de umidade dos tomates cortados em quatro partes, secos em estufa, foram utilizados para selecionar o modelo mais apropriado para simular a cinética de secagem de tomates. Os parâmetros de cada modelo foram estimados, considerando um único conjunto de parâmetros para todas as temperaturas. Nesse sentido, as constantes de secagem (k, k<sub>1</sub>, k<sub>2</sub>, k<sub>3</sub>...) foram expressas em função da temperatura (°C), conforme a Equação 30.

$$k = k_0 + k_1 \times T \quad (30)$$

Onde:

$k$  – parâmetro do modelo

$k_0$  e  $k_1$  – constante de secagem

$T$  – temperatura (°C)

Os demais parâmetros envolvidos nas equações (n, a, b, c) foram admitidos constantes durante a estimação. A escolha do melhor modelo foi baseada em dois critérios sendo maior o valor do  $R^2$  e menor o valor de  $\chi^2$ .

### 3.6 COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO E ANÁLISE DE ERROS

A capacidade do modelo matemático testado de representar os dados experimentais foi avaliada pelo coeficiente de correlação ( $R^2$ ) e pelo valor do parâmetro qui-quadrado ( $\chi^2$ ). Quanto maior os valores de  $R^2$  e menores  $\chi^2$ , melhor é o ajuste do modelo ao experimento. O parâmetro qui-quadrado ( $\chi^2$ ) pode ser calculado conforme a Equação 31.

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{\text{exp},i} - MR_{\text{pred},i})^2}{N - z} \quad (31)$$

Onde:

$MR_{\text{exp}}$  - razão de umidade experimental

$MR_{\text{pred}}$  - razão de umidade predito

$N$  - número de observações

$z$  - número de parâmetros

A análise da regressão linear e não linear foi realizada utilizando o software Statistica 8.0 (Statsoft Inc., Tulsa, OK, USA).

### 3.7 DIFUSIVIDADE EFETIVA

A difusividade efetiva das amostras foi estimada utilizando o modelo matemático simplificado segundo a Lei de Fick. A solução segundo a Lei de Fick foi utilizada, pois as amostras foram dispostas em camada fina e foi suposto que a migração da umidade foi causada por difusão, o encolhimento foi desprezado e os coeficientes de difusão e temperatura foram constantes. Com isso, MR pode ser obtido pela Equação 32 (CRANK, 1975).

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(-\frac{(2n+1)^2 \pi^2 D_{\text{eff}} t}{4L_0^2}\right)$$

Onde:

MR - razão de umidade adimensional

$L_0$  - metade da espessura da amostra (m)

n - número inteiro

$D_{\text{eff}}$  - difusividade efetiva em  $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$

t – tempo (s)

A Equação 25 pode ser simplificada para apenas o primeiro termo da série e a razão de umidade MR foi reduzida para  $Y/Y_0$ , pois  $Y_e$  é relativamente pequeno em comparação com  $Y$  e  $Y_0$ , quando a secagem é realizada por longos períodos. Então, a Equação 32 pode ser descrita na forma logarítmica expressa na Equação 33:

$$\ln MR = \ln \frac{8}{\pi^2} - \frac{\pi^2 D_{\text{eff}} t}{4 L_0^2} \quad (33)$$

Onde:

MR - razão de umidade adimensional

$L_0$  - metade da espessura da amostra (m)

n - número inteiro

$D_{\text{eff}}$  - difusividade efetiva em  $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$

A difusividade efetiva foi calculada plotando os dados experimentais da secagem em termos de  $\ln (MR)$  versus o tempo de secagem. Da Equação 33, um gráfico de  $\ln (MR)$  versus o tempo de secagem tem-se uma linha reta com uma inclinação  $a$ . A inclinação  $a$  representa o termo da Equação 33 expressa na Equação 34.

$$a = \frac{\pi^2 D_{\text{eff}}}{4 L_0^2} \quad (34)$$

Onde:

$a$  – inclinação da reta

$L_0$  - metade da espessura da amostra (m)

$D_{\text{eff}}$  - difusividade efetiva em  $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$

### 3.8 CAPACIDADE DE REIDRATAÇÃO

A determinação da capacidade de reidratação foi realizada utilizando 5 g tanto das amostras de tomate seco cortados em quatro partes e como das amostras em fatias, adicionado-se 200 ml de água destilada em um béquer a 25 °C, por 24 h (PRAKASH et al., 2003). As amostras foram pesadas em uma balança analítica com precisão de  $\pm 0,001$  g (Marca Digimed, Modelo KN500). A capacidade de reidratação foi calculada como a

quantidade máxima de água absorvida (g) por g de matéria seca inicial para cada experimento. Determinações foram realizadas em triplicata.

### 3.9 COR

A determinação de cor interna e externa das amostras de tomate fresco e de tomate secos foi realizada pela leitura direta com um colorímetro (Marca Minolta, Modelo CR400, Japão). As amostras foram colocadas em uma placa de vidro com fundo preto para a medição da cor. A medida foi realizada usando iluminante D65 e ângulo de observação de 10°. As coordenadas de cor (CIE) obtidas são L\* (luminosidade) varia entre zero (preto) e 100 (branco), -a\* (verde) até +a\* (vermelho), e -b\* (azul) até +b\* (amarelo).

### 3.10 TEXTURA

A firmeza das amostras de tomate foi determinada por teste de perfuração com auxílio de um analisador de textura (Marca Extralab, Modelo TA.XT Plus, Brasil). O teste de punção foi realizada com um *probe* de aço inoxidável de 2 mm a uma velocidade de 10 mm min<sup>-1</sup> e distância de 10 mm. A análise de textura foi realizada 10 vezes nas amostras de tomate fresco e seco. A textura das amostras de tomate foi expressa pela relação entre a textura do tomate seco pelo tomate fresco. Teoricamente, os valores da razão igual a 1 significa que não há mudanças de textura em comparação com as amostras frescas, valores inferiores a 1 indica amolecimento da amostra e valores superiores a 1 indica endurecimento (ARAZURI et al., 2007).

### 3.11 LICOPENO

A determinação de licopeno foi realizada nas amostras de tomate cortado em fatias e em quatro partes submetidas a secagem em secador piloto e em estufa com circulação de ar 40, 50 e 60 °C. A determinação do licopeno foi realizada de acordo com a metodologia proposta por Sadler et al. (1990). Para a extração 1 g de amostra foi adicionada de 25 mL

da mistura hexano (99%, Marca Vetec Química Fina Ltda), acetona (99,5%, Marca F. Maia Indústria e Comércio Ltda) e etanol (95%, Vetec Química Fina Ltda) na proporção 2:1:1 (v:v:v), agitado por 30 minutos, adicionado de 10 mL de água destilada e agitado por mais 2 minutos. A extração do licopeno foi realizada em ambiente escuro, em erlenmeyers de 250 mL, envoltos em papel alumínio a fim de evitar a incidência direta da luz.

A solução foi deixada em repouso em balão de separação para separar a fase polar da não-polar. A camada não polar foi coletada em um frasco de 50 ml, e os sólidos residuais foram re-extraídos. O teor de licopeno foi medido em espectrofotômetro (Marca Agilent, Modelo 8453E) em comprimento de onda de 472 nm. O hexano foi utilizado como branco para calibração do aparelho. O teor de licopeno foi determinado segundo a Equação 35, utilizando o coeficiente de extinção molar igual a  $17,2 \times 10^4 \text{ L mol}^{-1}\text{cm}^{-1}$ , conforme citado por Zechmeister et al. (1943), e expressos em  $\mu\text{g g}^{-1}$  de produto b.s, em triplicata.

$$\text{Licopeno} \left( \frac{\mu\text{g}}{\text{g}} \right) = \frac{A}{\varepsilon \times b} \times PM \times V \quad (35)$$

Onde:

A - absorvância da fase hexânica a 472 nm

$\varepsilon$  - coeficiente de extinção molar ( $\text{L mol}^{-1}\text{cm}^{-1}$ ) no solvente apropriado

b - caminho óptico da cubeta (cm)

PM - peso molecular do licopeno ( $536,9 \text{ g mol}^{-1}$ )

V - volume (L)

M - massa de amostra (g)

### 3.12 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

A viabilidade econômica foi realizada com o objetivo de futura implantação de uma agroindústria produtora de tomates secos e temperados em conserva na cidade de Erechim,

Rio Grande do Sul. Para a avaliação, foi utilizado o programa Microsoft Excel<sup>®</sup> através do uso de uma planilha previamente elaborada pela equipe de pesquisadores da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Campus Erechim, denominado de Ferramenta de Análise Econômica e Financeira (FAEF). Os dados referentes aos custos de inventário, custos variáveis e custos fixos foram coletados a fim de obter o Índice Custo Benefício (IBC), Valor Presente Líquido (VPL), e Taxa Interna de Retorno (TIR) segundo as Equações 24, 25 e 27.

### 3.12.1 Descrição da empresa

A Figura 10 apresenta o fluxograma do processo de produção de uma futura implantação de uma agroindústria produtora de tomates secos e temperados em conserva na cidade de Erechim, Rio Grande do Sul.

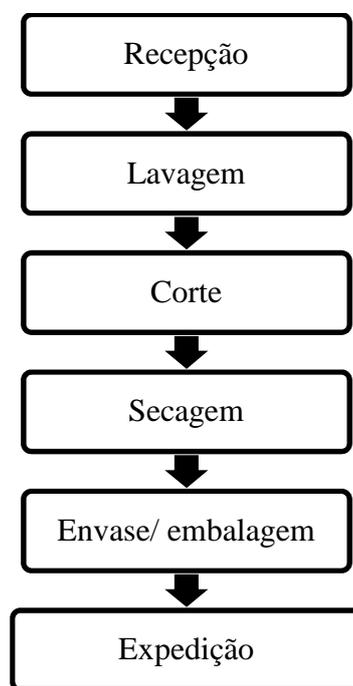


Figura 11 – Fluxograma do processo de produção do tomate seco.

As etapas de produção consistem em recepção da matéria-prima, lavagem, corte, secagem, envaze e embalagem. Na etapa de recepção são escolhidos tomates maduros, com a cor vermelha e com sua textura firme, sendo descartados os tomates amassados e em decomposição, pois estes comprometerão a qualidade do produto final. A etapa de lavagem pode ser realizada com solução de hipoclorito de sódio (10 ppm) e nesta etapa, também, são retirados os frutos contaminados e amassados. O corte do tomate pode ser realizado em quatro partes. Os tomates serão colocados na cesta do secador em uma camada fina e realizada a secagem. Os tomates serão envazados juntamente com o óleo de girassol pré-aquecido (cerca de 67%), adicionado de alho (3%), orégano (2%) e sal (3%) em embalagens de baldes para 3,1 kg de peso líquido de produto e em embalagem de vidro para 300 g de peso líquido de produto.

A produção mensal da empresa será de 490 kg de tomate seco. Sendo 100 embalagens de tomate seco a granel com peso líquido de 3,1 kg e 600 embalagens de tomate seco de peso líquido de 300 g. A capacidade de produção máxima diária será de 14,4 kg de tomate seco. A empresa trabalhará em dois turnos, de 8 horas cada, totalizando 80 horas semanais. Para isso serão necessários três funcionários, destes, dois são considerados os próprios investidores e um auxiliar de limpeza. A estrutura da empresa será dividida em setor de recepção e lavagem, setor de secagem, setor de armazenamento e setor administrativo.

### **3.12.2 Inventário**

Para o cálculo dos custos de inventário foram levados em conta orçamentos realizados durante o desenvolvimento do trabalho. Os orçamentos realizados foram referentes os valores de aquisição e a taxa de depreciação das obras civis, máquinas, equipamentos, móveis e utensílios, equipamentos de informática e veículos necessários a empresa. Os custos relacionados às obras civis não foram levados em consideração no planejamento sugerido, pois o local a ser instalada a empresa seria alugado, tornando-se, assim, um valor fixo.

O custo relacionado às máquinas levou em consideração somente o valor da compra do secador. Os equipamentos necessários para o início da operação da empresa foram uma

balança e utensílios de corte como facas, afiadores de faca, bacias, tábuas de corte, entre outros. Os custos relacionados a móveis e utensílios foram devido à aquisição de mesas de aço inox para a operação da linha e materiais de escritório como duas cadeiras, uma mesa, uma estante para guardar documentos e computador. O custo com veículo foi referente aquisição de um veículo furgão para transporte dos produtos. Além disso, foram apresentadas as taxas de depreciação e a relação de proporção dos custos com inventário em percentual.

### **3.12.3 Custos variáveis diretos e indiretos**

Os custos variáveis para a produção de tomate seco a granel com peso líquido de 3,1 kg do produto e de tomate seco com peso líquido de 300 g do produto relacionados foram aqueles referentes à compra de matéria-prima (tomate italiano, alho orégano, sal e óleo de girassol), embalagens e rótulo. Para o cálculo do custo variável dos produtos foram levadas em conta matérias-primas com preços médios praticados em Central de Abastecimento do Rio Grande do Sul, CEASA-RS, no mês de novembro de 2011, além do volume de vendas previsto para cada tipo de produto. Os custos com transporte e distribuição das mercadorias são descritos como custos variáveis indiretos.

### **3.12.4 Custos fixos**

Os custos fixos são aqueles referentes a todos os gastos com a produção independente da quantidade produzida. São exemplos de custos de fixos: depreciação de máquinas, equipamentos e veículos, aluguel, alvará, manutenção, material de limpeza e expediente, salários e encargos, pró-labore, entre outros. Os custos com depreciação de benfeitorias e sua manutenção são nulos, uma vez que não são previstas benfeitorias no prédio a ser alugado para instalar a agroindústria. Os gastos com energia elétrica foram fornecidos pela universidade e são iguais ao valor necessário para que seja processada a quantidade estimada de produto a ser vendido, além de despesas com outros equipamentos como iluminação e computadores.

### 3.12.5 Demonstrativo de resultados da empresa

O demonstrativo de resultados foi realizado a fim de obter os resultados de margem de contribuição de cada produto a empresa e seu percentual de contribuição. Além disso, foram apresentados o lucro por produto e o percentual de lucro de cada produto produzidos na empresa. A margem de contribuição refere-se a quantia em dinheiro que sobra do preço de venda de um produto, serviço ou mercadoria após retirar o valor do custo variável unitário e os custos fixos. Sendo assim, a margem de contribuição e o percentual de contribuição de cada produto a empresa foram obtidos através da Equação 36 e Equação 37, respectivamente.

$$MC = PV - C_{vd} - C_{vi} \quad (36)$$

$$\% \text{ de contribuição} = \frac{MC}{PV} \quad (37)$$

Onde:

MC – margem de contribuição (R\$)

PV – preço de venda (R\$)

$C_{vd}$  – custo variável direto (R\$)

$C_{vi}$  – custo variável indireto (R\$)

O lucro por produto e o percentual de lucro de cada produto a empresa foram obtidos pela Equação 38 e Equação 39.

$$LP = PV - C_t \quad (38)$$

$$\% \text{ de lucro} = \frac{LP}{PV} \quad (39)$$

Onde:

LP – lucro por produto (R\$)

$C_t$  – custo total (R\$)

PV – preço de venda (R\$)

Sendo o custo total obtido pela Equação 40.

$$C_t = C_{vd} + C_{vi} + C_f \quad (40)$$

Onde:

$C_t$  – custo total (R\$)

$C_{vd}$  – custo variável direto (R\$)

$C_{vi}$  – custo variável indireto (R\$)

$C_f$  – custo fixo (R\$)

### 3.12.6 Descrição dos resultados da empresa

A descrição dos resultados da empresa foi realizada para obter o resultado líquido ou operacional da empresa. O resultado líquido ou operacional foi obtido pela Equação 41.

$$RL = MC_t - C_{ft} \quad (41)$$

Onde:

RL – resultado líquido ou operacional (R\$)

$MC_t$  – margem de contribuição total da empresa (R\$)

$C_{ft}$  – custo fixo total da empresa (R\$)

A margem de contribuição total da empresa foi obtida pela Equação 42.

$$MC_t = R_t - C_{vdt} - C_{vit} \quad (42)$$

Onde:

$MC_t$  – margem de contribuição total da empresa (R\$)

$C_{vdt}$  – custo variável direto total da empresa (R\$)

$C_{vit}$  – custo variável indireto total da empresa (R\$)

### 3.13 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados foram analisados pelo emprego da análise de variância (Anova) e nos modelos significativos pelo teste  $F$ , realizada a comparação múltipla de médias pelo emprego do teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. O processamento dos dados e a análise da regressão linear e não linear foram realizados no software Statistica 8.0 (Statsoft Inc., Tulsa, OK, USA). As curvas de secagem, a difusividade efetiva e os gráficos de textura foram determinados com o auxílio do programa Microsoft Excel®, no modo estatístico.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir serão apresentados e discutidos os resultados obtidos neste trabalho, primeiramente focando o estudo da cinética de secagem de tomates italiano cortados em quatro partes e em fatias, bem como a modelagem matemática e os dados de difusividade efetiva. Além disso, são reportados posteriormente os dados de capacidade de reidratação, cor, textura e licopeno dos tomates submetidos a secagem. Por fim, apresenta-se o estudo de viabilidade econômica para futura implantação de uma agroindústria produtora de tomate seco e temperado em conserva na cidade de Erechim, Rio Grande do Sul.

### 4.1 CINÉTICA DE SECAGEM

A Figura 12 a e 12 b representa as curvas de secagem de tomates cortados em quatro partes e submetidos à secagem em secador piloto convectivo e em estufa com circulação de ar, respectivamente, nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C.

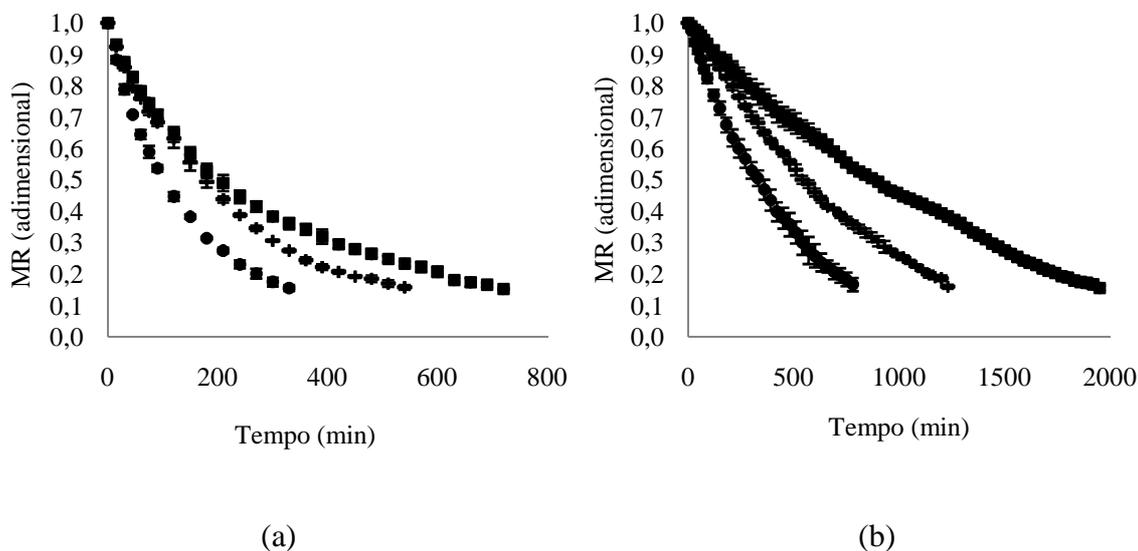


Figura 12 – Cinética de secagem de tomates nas temperaturas (■) 40 °C, (-) 50 °C e (●) 60 °C: secagem em secador convectivo em escala piloto (a) e cortados em quatro partes, secagem em estufa e cortados em quatro partes (b).

O menor tempo de secagem obtido foi na temperatura de 60 °C em secador convectivo piloto em cerca de 330 minutos. Enquanto que a 40 °C o tempo de secagem foi maior cerca de 720 minutos. No entanto, na secagem em estufa com circulação de ar forçada observou-se que o tempo requerido para atingir a umidade final de 15% foi maior que no secador piloto, em todos os ensaios. Por exemplo, na temperatura de 60 °C o tempo necessário foi de 780 minutos, o que corresponde três vezes maior do que o requerido em secador convectivo piloto a mesma temperatura. O tempo de secagem de tomates cortados em quatro partes em secador piloto observados nesse trabalho foi menor ao reportado por Lewicki et al. (2002), estudando o efeito do pré-tratamento osmótico na secagem convectiva de tomates de duas variedades Revertun e Lima cortados em quatro partes e submetidas a secagem em secador convectivo piloto a 60 °C e velocidade do ar de secagem de 2 m s<sup>-1</sup>. Neste estudo foram observados tempos de secagem de 640 minutos para a variedade Revertun e 390 minutos para a Lima. A diferença de tempo entre as variedades foi atribuída ao preparo das amostras, a variedade Lima foi seca com todas as partes do tomate, enquanto que a Revertun somente o pericarpo foi seco, o que criou resistência à transferência de massa.

A Figura 13 a e 13 b representa as curvas de secagem de tomates cortados em fatias, submetidos à secagem em secador convectivo piloto e em estufa com circulação de ar forçada, respectivamente, nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C. Do mesmo modo que na secagem em quatro partes, na secagem dos tomates em fatias verificou-se que o menor tempo de secagem foi obtido na temperatura de 60 °C, empregando a secagem em secador convectivo piloto, totalizando 1800 minutos. A secagem a 40 e a 50 °C em secador piloto, apresentou tempos de 330 minutos e de 240 minutos, respectivamente. Como pode ser observado os tempos de secagem de fatias das tomate foram inferiores aos obtidos para o corte em quatro partes à mesma temperatura para ambos secadores utilizados. Romero-Peña e Kieckbusch (2003) avaliando a influência das condições de secagem na qualidade de fatias de tomate submetidos a secagem em secador de bandejas, nas temperaturas de 60 e 80 °C. Estes autores verificaram tempos de 250 e 150 minutos, respectivamente. Sendo que para a temperatura 60 °C o tempo foi superior ao encontrado no presente estudo.

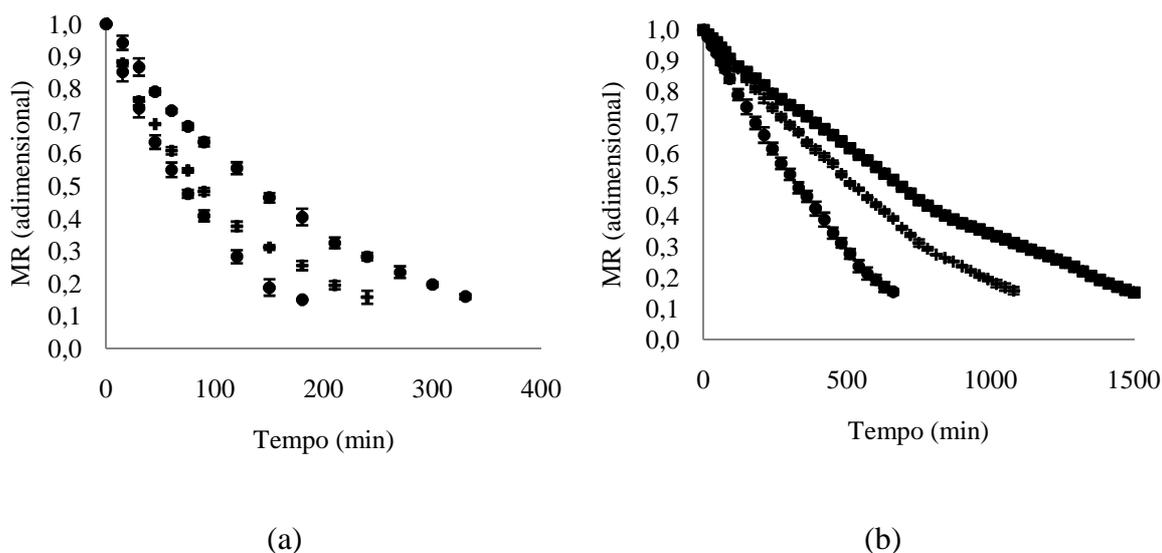


Figura 13 – Cinética de secagem de tomates nas temperaturas (■) 40 °C, (-) 50 °C e (●) 60 °C: secagem em secador convectivo em escala piloto e cortados em fatias (a) e secagem em estufa e cortados em fatias (b).

Além disso, verificou-se que o aumento da temperatura 40 para 60 °C diminui o tempo de secagem, uma vez que resultou em uma rápida evaporação da água dos sólidos, favorecendo a velocidade de secagem. De acordo com Krokida e Philippopoulos (2005), para manter um nível de segurança aceitável em alimentos secos, em termos de contaminação microbiana e oxidação, é desejável secar o material até razão de umidade inferiores a 0,15. Os principais fatores que afetam o tempo de secagem são as propriedades físicas e químicas do produto, o arranjo geométrico do produto em relação à superfície de transferência de calor, velocidade e temperatura do ar de secagem, as características de projeto do equipamento e tratamento prévio como o osmótico ou branqueamento (BARBOSA-CÁNOVAS e VEGA-MERCADO, 2000; AZZOUZ et al., 2002; ERENTURK et al., 2004; LEWICKI, 2005; AKANBI et al., 2006; DOYMAZ, 2007; HEREDIA et al., 2007; MURATORE et al., 2008). As influências no tempo de secagem observadas foram devido ao tipo de secador, fluxo de ar, temperatura de secagem e geometria do produto.

Outros estudos de secagem de tomate cortados ao meio verificaram tempos superiores ao encontrado neste trabalho (SACILIK, 2007; DOYMAZ, 2007). Sacilik (2007) estudou a modelagem do processo de secagem de tomates, tratados por branqueamento e não tratados, secos em secador convectivo em escala piloto nas

temperaturas de 50, 60 e 70 °C e velocidade do ar 0,8 m s<sup>-1</sup>, observando que o tempo de secagem das amostras não tratadas foram de 32, 26 e 10 h e tratadas foram de 22, 17 e 12 h, para as temperaturas 50, 60 e 70 °C, respectivamente. Já Doymaz (2007) em estudo sobre as características de tomates secos, cortados em metades e tratados com oleato de etila e não tratados, secos em secador piloto convectivo nas temperaturas de 55, 60, 65 e 75 °C verificou que o menor tempo de secagem foi cerca de 1440 min para as amostras não tratadas e de 1260 minutos para as amostras tratadas, para atingir conteúdo de umidade final de 11%.

## 4.2 MODELAGEM MATEMÁTICA

Os dados experimentais dos tomates cortados em quatro partes secos em estufa demonstrados na Figura 14 b, foram utilizados para selecionar o modelo que melhor descreve a cinética de secagem dos tomates. A Tabela 4 apresenta os valores de R<sup>2</sup> e  $\chi^2$  para os dez modelos avaliados neste trabalho.

Tabela 4 – Resultado estatístico de 10 modelos para a cinética de secagem de tomates cortados em quarto partes secos em estufa com circulação de ar nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C

| Número do modelo | R <sup>2</sup> | $\chi^2$              |
|------------------|----------------|-----------------------|
| 1                | 0,9895         | 7,20x10 <sup>-4</sup> |
| 2                | 0,9900         | 6,96x10 <sup>-4</sup> |
| 3                | 0,9925         | 5,26x10 <sup>-4</sup> |
| 4                | 0,9907         | 6,48x10 <sup>-4</sup> |
| 5                | 0,9909         | 6,51x10 <sup>-4</sup> |
| 6                | 0,9929         | 4,96x10 <sup>-4</sup> |
| 7                | 0,9909         | 6,47x10 <sup>-4</sup> |
| 8                | 0,9905         | 5,57x10 <sup>-4</sup> |
| 9                | 0,9909         | 6,61x10 <sup>-4</sup> |
| 10               | 0,9665         | 2,44x10 <sup>-3</sup> |

Sendo assim, com esses resultados, foi observado que o melhor modelo para descrever o processo de secagem de tomates foi o modelo número 6, pois apresentou o maior valor de  $R^2$  e menor valor de  $\chi^2$ . Deste modo, este modelo foi considerado para o desenvolvimento das outras etapas deste trabalho. Os resultados da Tabela 4 permitiram que os parâmetros do modelo número 6 fossem estimados para cada sistema nas temperaturas 40, 50 e 60 °C.

A Equação 36 a e a Equação 36 b foram relacionadas à secagem de tomates cortados em quatro partes em secador escala piloto.

$$MR = 0,874220 \times \exp(-k \times t) - 0,097508 \quad (36 \text{ a})$$

Onde:

$$k = -0,002890 + 0,000136 \times T \quad (36 \text{ b})$$

A Equação 37 a e Equação 37 b foram relacionadas para a secagem de tomates cortados em quarto partes em estufa com circulação de ar.

$$MR = 1,15458 \times \exp(-k \times t) - 0,151477 \quad (37 \text{ a})$$

Onde:

$$k = -0,001236 + 0,000047 \times T \quad (37 \text{ b})$$

A Equação 38 a e a Equação 38 b foram relacionadas à secagem de tomates cortados em fatias em secador em escala piloto.

$$MR = 1,0221 \times \exp(-k \times t) - 0,0241 \quad (38 \text{ b})$$

Onde:

$$k = -0,004923 + 0,000248 \times T \quad (38 \text{ b})$$

A Equação 39 a e a Equação 39 b foram relacionadas para a secagem de tomates cortados em fatias em estufa com circulação de ar.

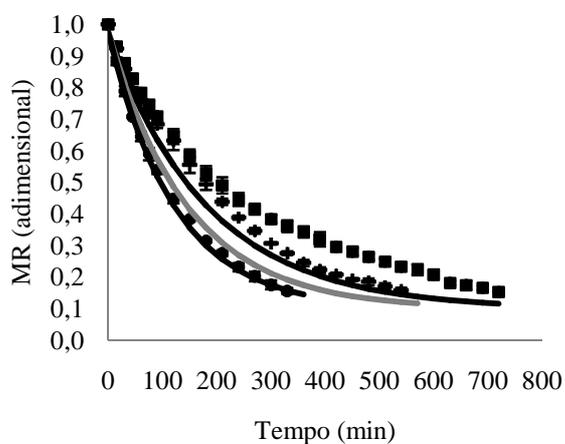
$$MR = 1,2938 \times \exp(-k \times t) - 0,2861 \quad (39 a)$$

Onde:

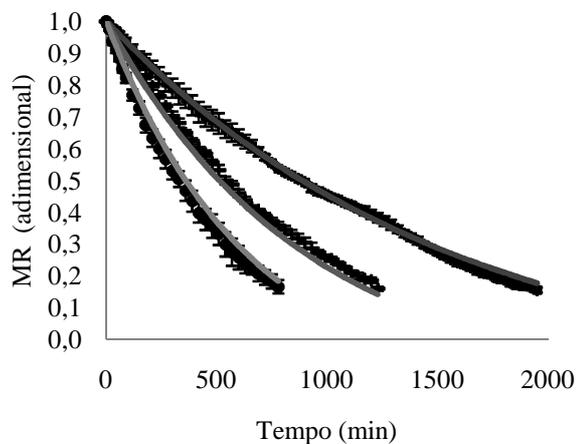
$$k = -0,000755 + 0,000037 \times T \quad (39 b)$$

Em todas as equações acima (36 a 39) T é a temperatura (°C), t é o tempo (min) e k é a constante de secagem ( $\text{min}^{-1}$ ). A análise de variância (ANOVA) foi utilizada para validar o modelo, onde foram verificados que todos os modelos foram válidos, pois os valores de F calculados foram superiores aos tabelados (dados não apresentados).

Os coeficientes de regressão obtidos para modelos relativos à secagem de tomates cortados em quatro partes, usando secador piloto convectivo e estufa com circulação de ar, foram 0,9920 e 0,9929, respectivamente. Enquanto que para os tomates em fatias o coeficientes de regressão foram 0,9981 e 0,9897, respectivamente, mostrando que suas previsões são confiáveis. Além da análise estatística mostrando a confiabilidade dos modelos foram apresentados na Figura 14 a, 14 b, 14 c e 14 d uma boa concordância entre os dados calculados e experimentais.



(a)



(b)

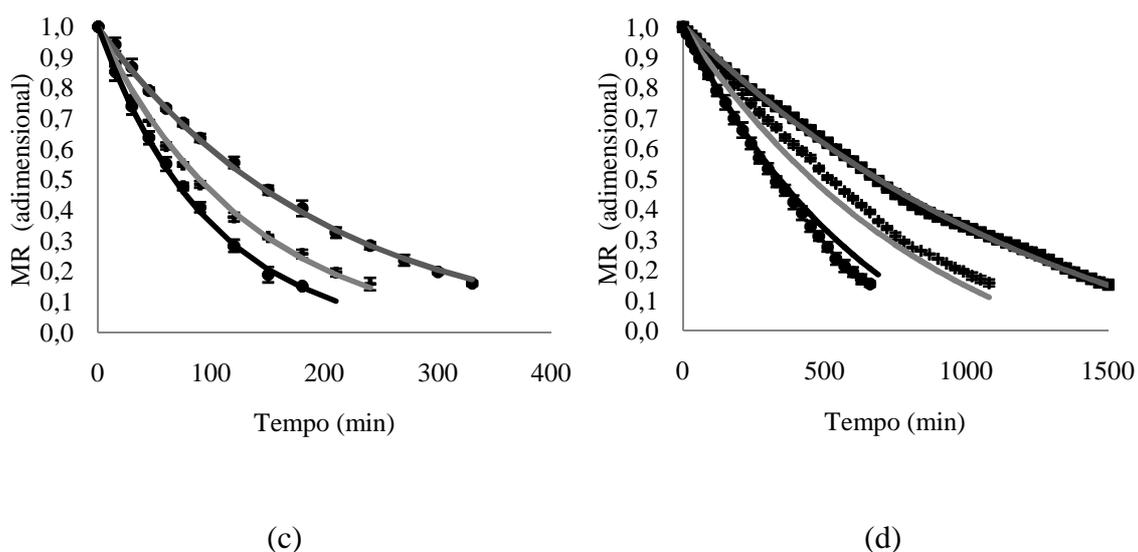


Figura 14 – Dados experimentais e preditos da cinética de secagem de tomates nas temperaturas (■) 40 °C, (-) 50 °C e (●) 60 °C: secagem em secador convectivo em escala piloto e cortados em quatro partes (a), secagem em estufa e cortados em quatro partes (b), secagem em secador convectivo em escala piloto e cortados em fatias (c) e secagem em estufa e cortados em fatias (d).

Este resultado mostra que o uso de modelos cinéticos globais é uma alternativa para prever os perfis de secagem a temperaturas diferentes daqueles utilizados durante a estimativa dos parâmetros, tornando o modelo realmente uma ferramenta interessante para ser utilizado durante a avaliação cinética do processo dentro da faixa de temperatura avaliada.

Diversos autores utilizam a modelagem matemática para avaliar a cinética de secagem de tomates nas mais diversas condições. Doymaz (2007) utilizou dois modelos para ajuste dos dados experimentais de secagem: o modelo de Henderson e Pabis e o modelo de Page e concluíram que o modelo de Page apresentou o maior coeficiente de determinação e menor valor de qui-quadrado, sendo assim considerado o melhor modelo para explicar as características de secagem de tomates. Movagharnejad e Nikzad (2007) em estudo sobre a modelagem da secagem de tomates, em secador piloto, em quatro diferentes temperaturas (40 a 70 °C), utilizando a rede neural artificial, verificaram que a melhor correlação empírica para descrever o comportamento de secagem de tomate foi apresentado pelo modelo de Page com erro percentual médio de 5,32%, seguido por Wang

e Singh (6,53%) e logarítmica (7,85%). Já Sacilik (2007) verificou que o modelo logarítmico apresentou excelente ajuste aos dados experimentais obtidos com valor de  $R^2$  maior que 0,9995.

### 4.3 DIFUSIVIDADE EFETIVA

A Tabela 5 apresenta os valores de difusividade efetiva das amostras de tomate cortadas em quatro partes e em fatias, submetidas à secagem em secador piloto convectivo e em estufa com circulação de ar, nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C. Os valores de difusividade efetiva, para os tomates cortados em quatro partes secas em secador piloto, variaram de  $2,746 \times 10^{-9}$  a  $5,92 \times 10^{-9} \text{ m s}^{-1}$  e, na secagem em estufa variaram de  $0,95 \times 10^{-9}$  a  $2,429 \times 10^{-9} \text{ m s}^{-1}$ . Para a secagem em secador piloto de tomates cortados em fatias os valores de difusividade efetiva variaram entre  $0,929 \times 10^{-9}$  a  $1,83 \times 10^{-9} \text{ m s}^{-1}$  e em estufa com circulação de ar foi entre  $0,202 \times 10^{-9}$  a  $0,473 \times 10^{-9} \text{ m s}^{-1}$ , para a variação de temperatura entre 40 e 60 °C, respectivamente. Os valores de difusividade efetiva obtidos estão em acordo com os encontrados na literatura. A difusividade efetiva não é intrínseca ao material e é afetada pela temperatura, velocidade do ar e área de troca térmica (PABIS et. al., 1998).

Tabela 5 – Difusividade efetiva ( $\text{m s}^{-1}$ ) das amostras de tomate cortadas em quatro partes e em fatias submetidas à secagem em secador piloto convectivo e em estufa com circulação de ar nas temperaturas de 40 °C, 50 °C e 60 °C

| T (°C) | Tomate 4 partes        |                        | Tomate em fatias       |                        |
|--------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
|        | Secador piloto         | Estufa                 | Secador piloto         | Estufa                 |
| 40     | $2,746 \times 10^{-9}$ | $0,950 \times 10^{-9}$ | $0,929 \times 10^{-9}$ | $0,202 \times 10^{-9}$ |
| 50     | $3,803 \times 10^{-9}$ | $1,479 \times 10^{-9}$ | $1,284 \times 10^{-9}$ | $0,287 \times 10^{-9}$ |
| 60     | $5,920 \times 10^{-9}$ | $2,429 \times 10^{-9}$ | $1,830 \times 10^{-9}$ | $0,473 \times 10^{-9}$ |

Os valores de difusividade efetiva aumentam com o aumento da temperatura utilizada em todos os ensaios. Doymaz (2007) também verificou maiores valores de difusividade efetiva ao aumentar a temperatura de secagem, variando entre  $0,565 \times 10^{-9}$  e

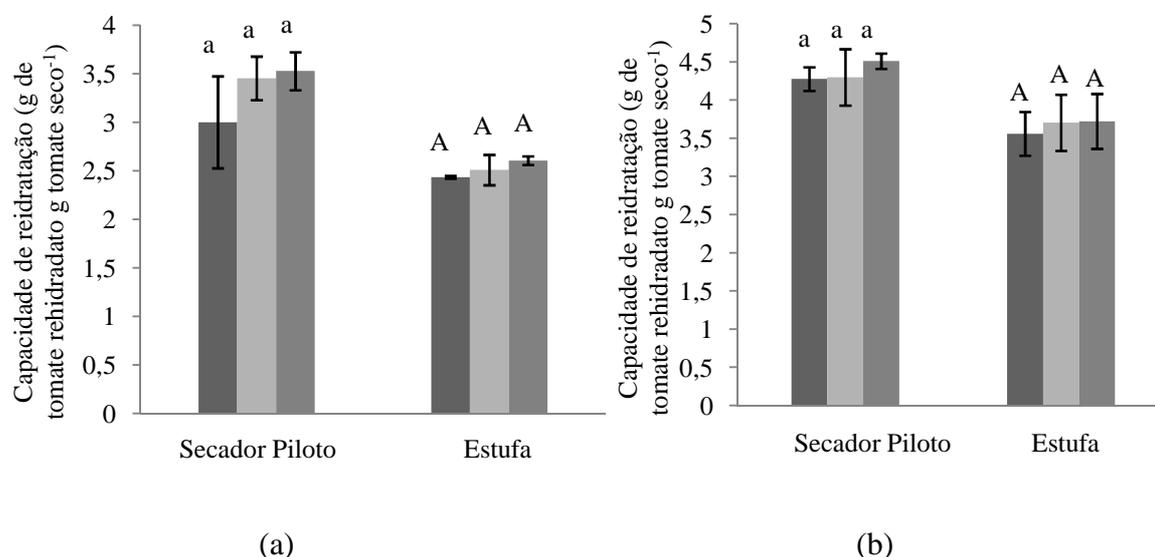
$0,753 \times 10^{-9} \text{ m s}^{-1}$ , para as amostras tratadas com oleato de etila e nas amostras não tratadas variaram entre  $0,391 \times 10^{-9}$  e  $0,665 \times 10^{-9} \text{ m s}^{-1}$  para a variação de temperatura entre 55 e 70 °C. Giovanelli et al. (2002), observaram valores de difusividade que variaram entre 2,3 e  $9,1 \times 10^{-9} \text{ m s}^{-1}$  para tomates secos em temperaturas entre 60 e 110 °C. Akanbi et al. (2006) verificaram valores de difusividade efetiva entre 3,72 e  $12,27 \times 10^{-9} \text{ m s}^{-1}$  para tomates secos entre 45 e 75 °C. Em estudo sobre a modelagem matemática do processo de secagem de tomates tratados por branqueamento e não tratados, em camada fina com secador convectivo em escala piloto, Sacilik (2007) observou valores de 2,56, 3,48 e  $4,28 \times 10^{-9} \text{ m s}^{-1}$  para amostras não tratadas e 4,29, 5,11 e  $6,28 \times 10^{-9} \text{ m s}^{-1}$  para as amostras tratadas com branqueamento nas temperaturas de secagem de 50, 60 e 70 °C, respectivamente.

Na secagem de tomates cortados em 4 partes e em fatias em secador piloto convectivo os valores de difusividade são maiores do que os secos em estufa, o que indica maior velocidade de remoção da água do tomate no secador piloto. Além disso, observa-se que para o tomate cortado em quatro partes apresentam maiores valores, tanto na secagem em secador piloto como na estufa, em relação às amostras cortadas em fatias. Isso se deve a geometria do produto, ou seja, a espessura da amostra levada em consideração no cálculo da difusividade efetiva, sendo que a espessura do tomate em quatro partes foi superior a espessura do tomate cortado em fatias.

#### 4.4 CAPACIDADE DE REIDRATAÇÃO

A Figura 15 a e 15 b apresenta o efeito da temperatura de secagem na capacidade de reidratação de amostras de tomates cortados em quatro partes e cortados em fatias, secas nos dois sistemas de secagem estudados. As taxas de reidratação dos tomates cortados em quatro partes e secos em secador convectivo piloto aumentaram com o acréscimo da temperatura de 40, 50 e 60 °C, sendo os valores de  $3,00 \pm 0,47$ ,  $3,45 \pm 0,22$  e  $3,52 \pm 0,19 \text{ g}$  de tomate reidratado  $\text{g}$  de tomate seco<sup>-1</sup>, respectivamente. O mesmo comportamento foi verificado para os tomates cortados em quatro partes e seco em estufa, onde as taxas verificadas foram de  $2,43 \pm 0,01$ ,  $2,5 \pm 0,15$  e  $2,6 \pm 0,04 \text{ g}$  de tomate reidratado  $\text{g}$  de tomate seco<sup>-1</sup>, para as temperaturas de 40, 50 e 60 °C, respectivamente. Porém, pode-se observar

que o aumento na capacidade de reidratação dos tomates cortados em quatro partes, tanto em secador piloto como em estufa não foram significativos ( $p>0,05$ ).



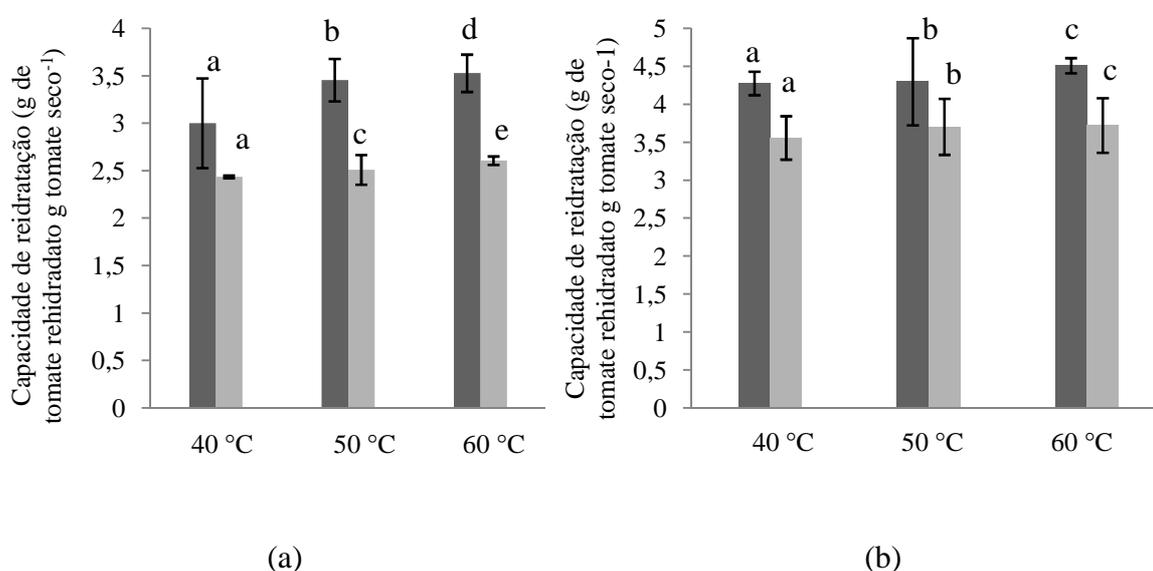
Médias seguidas das mesmas letras minúsculas e das mesmas letras maiúsculas nas barras não diferem estatisticamente ( $p>0,05$ ) pelo teste de Tukey.

Figura 15 – Efeito da temperatura de secagem na capacidade de reidratação de amostras de tomates cortados em quatro partes (a) e cortados em fatias (b), secos em secador convectivo piloto e em estufa nas temperaturas (■) 40 °C, (■) 50 °C e (■) 60 °C.

As maiores taxas de reidratação das amostras de tomate cortado em quatro partes, observadas na temperatura de secagem 60 °C, tanto no secador piloto como em estufa, evidencia o efeito da temperatura utilizada. No entanto, os tomates cortados em quatro partes secos em secador piloto apresentaram taxas de reidratação maiores que os secos em estufa. Maiores valores de taxas de reidratação indicam maior facilidade de reidratação, ou seja, menor o colapso estrutural do produto. As taxas de reidratação dos tomates em fatias e secos em secador convectivo piloto aumentaram com o acréscimo da temperatura de 40 para 60 °C, sendo os valores de  $4,27 \pm 0,15$  para  $4,51 \pm 0,09$  g de tomate reidratado g de tomate seco<sup>-1</sup>, respectivamente. O mesmo comportamento foi verificado para os tomates em fatias seco em estufa. O aumento da taxa verificado foi de  $3,55 \pm 0,28$  a  $3,72 \pm 0,35$  g de tomate reidratado g de tomate seco<sup>-1</sup>, para as temperaturas de 40 para 60 °C. Da mesma forma que os tomates cortados em quatro partes, os tomates em fatias apresentaram maior

capacidade de reidratar quando secos na maior temperatura (60 °C) e no secador piloto. No entanto, o aumento da capacidade de reidratação verificado não foi significativo ( $p>0,05$ ). As taxas de reidratação dos tomates cortados em fatias e em quatro partes estão em acordo com os resultados encontrados na literatura (DOYMAZ, 2007; SACILIK, 2007).

A Figura 16 a e 16 b apresenta o efeito do tipo de secagem na capacidade de reidratação de amostras de tomates cortados em quatro partes e cortados em fatias, respectivamente, em relação a cada temperatura estudada.



Médias seguidas das mesmas letras minúsculas em cada série de barras não diferem estatisticamente ( $p < 0,05$ ) pelo teste de Tukey.

Figura 16 – Efeito do tipo de secagem na capacidade de reidratação de amostras de tomates cortados em quatro partes (a) e cortados em fatias (b), secos em (■) secador convectivo piloto e em (▒) estufa nas temperaturas 40, 50 e 60 °C.

A capacidade de reidratação tanto nas amostras de tomates cortados em quatro partes e em fatias foram superiores no secador convectivo do que na secagem em estufa com circulação de ar forçada. Porém, verificou-se que ocorreu diferença significativa ( $p < 0,05$ ) na capacidade de reidratação quando utilizado diferentes secadores somente para as amostras de tomate cortados em quatro partes e seco em temperaturas de 50 e 60 °C. A maior capacidade de reidratação verificado nessas temperaturas para secador convectivo em escala laboratorial indicam que ocorreu menor colapso da estrutura celular.

Doymaz (2007) verificou que a reidratação de amostras de tomates cortadas ao meio e pré-tratadas com solução alcalina de oleato de etila foi mais rápida do que as amostras não tratadas. As taxas de reidratação observadas variaram entre 2,5 a 4,5 g de tomate reidratado g de tomate seco<sup>-1</sup>, para as amostras pré-tratadas e para as não tratadas foram entre 2,5 a 3,5 g de tomate reidratado g de tomate seco<sup>-1</sup>. As amostras secas em temperatura de 65 °C foram as que apresentaram maior razão de reidratação tanto nas amostras tratadas como nas não tratadas, o que indica ser a temperatura ótima para o tomate. Segundo Sacilik (2007) a reidratação de amostras de tomate seco foram afetadas pelo pré-tratamento e pela temperatura do ar de secagem empregado. Com o aumento da temperatura de 50 para 70 °C verificaram maiores capacidade de reidratação, tanto para as amostras tratadas que foram de 3,14 para 3,40 g de tomate reidratado g de tomate seco<sup>-1</sup>, como as não tratadas pelo branqueamento, onde as taxas foram de 2,77 para 3,08 g de tomate reidratado g de tomate seco<sup>-1</sup>. As amostras tratadas apresentaram maiores valores da razão de reidratação em relação às amostras não tratadas.

#### 4.5 COR

As Tabelas 6 e 7 apresentam os dados de luminosidade ( $L^*$ ) inicial e final e variação de  $L^*$  ( $\Delta L^*$ ) externa e interna, de amostras de tomate cortadas em quatro partes e em fatias, respectivamente, submetidas a secagem em secador piloto convectivo e em estufa com circulação de ar, nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C. A luminosidade ( $L^*$ ) do tomate externamente não apresentou diferença significativa, tanto na secagem em secador piloto como em estufa. As variações de  $L^*$  ( $\Delta L^*$ ) foram de 0,95, -1,54 e 1,60 no secador piloto e de -2,09, -0,87 e -2,22 para a secagem em estufa com circulação de ar, nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C, respectivamente. O mesmo comportamento foi verificado na coloração interna das amostras secas em secador piloto, variações de  $L^*$  ( $\Delta L^*$ ) de -1,48, -0,13 e -1,38, nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C, respectivamente. Porém, houve redução dos valores de  $L^*$  de forma significativa, nas amostras secas em estufa, para as duas temperaturas de secagem a 40 e a 50 °C, com variações de  $L^*$  de -3,36 e -3,68. A redução nos valores de  $L^*$  observadas indica que ocorreu escurecimento nas amostras.

Tabela 6 – Valores de luminosidade ( $L^*$ ) inicial e final, externa e interna, e variação de luminosidade ( $\Delta L^*$ ) de amostras de tomate cortadas em quatro partes submetidas a secagem em secador piloto convectivo e em estufa com circulação de ar nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C

| Tipo de secador | $L^*$        | $L^*$ externa |        |        | $L^*$ interna |        |        |
|-----------------|--------------|---------------|--------|--------|---------------|--------|--------|
|                 |              | T (°C)        |        |        |               |        |        |
|                 |              | 40            | 50     | 60     | 40            | 50     | 60     |
| Secador piloto  | inicial      | 40,78a        | 42,69a | 43,26a | 44,25a        | 44,09a | 45,11a |
|                 | final        | 41,73a        | 41,15a | 44,86a | 42,77a        | 43,96a | 43,73a |
|                 | $\Delta L^*$ | 0,95          | -1,54  | 1,60   | -1,48         | -0,13  | -1,38  |
| Estufa          | inicial      | 41,48a        | 41,53a | 44,25a | 43,01a        | 44,72a | 48,01a |
|                 | final        | 39,39a        | 40,66a | 42,03a | 39,66b        | 41,04b | 45,82a |
|                 | $\Delta L^*$ | -2,09         | -0,87  | -2,22  | -3,36         | -3,68  | -2,19  |

Médias seguidas das mesmas letras minúsculas na coluna não diferem estatisticamente ( $p < 0,05$ ) pelo teste de Tukey.

Tabela 7 – Valores de luminosidade ( $L^*$ ) inicial e final, externa e interna, e variação de luminosidade ( $\Delta L^*$ ) de amostras de tomate cortadas em fatias submetidas a secagem em secador piloto convectivo e em estufa com circulação de ar nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C

| Tipos de secador | $L^*$        | $L^*$ externo |        |        | $L^*$ interno |        |        |
|------------------|--------------|---------------|--------|--------|---------------|--------|--------|
|                  |              | T (°C)        |        |        |               |        |        |
|                  |              | 40            | 50     | 60     | 40            | 50     | 60     |
| Secador piloto   | inicial      | 41,34a        | 39,51a | 39,53a | 43,93a        | 46,69a | 39,71a |
|                  | final        | 42,94a        | 41,13a | 40,21a | 48,91a        | 45,80a | 41,20a |
|                  | $\Delta L^*$ | 1,60          | 1,62   | 0,68   | 4,98          | -0,89  | 1,48   |
| Estufa           | inicial      | 39,21a        | 40,59a | 39,12a | 49,02a        | 43,87a | 40,50a |
|                  | final        | 38,31a        | 40,34a | 40,77a | 39,27b        | 42,84a | 39,52a |
|                  | $\Delta L^*$ | -0,90         | -0,24  | 1,65   | -9,75         | -1,03  | -0,97  |

Médias seguidas das mesmas letras minúsculas na coluna não diferem estatisticamente ( $p < 0,05$ ) pelo teste de Tukey.

Os valores de  $L^*$  externa das amostras em fatias, secas tanto em secador piloto como em estufa com circulação de ar, não apresentaram diferença significativa entre os dados iniciais e finais, em todas as temperaturas estudadas, indicando que não houve alteração de coloração nestes tratamentos (Tabela 7). O mesmo comportamento foi observado para a coordenada  $L^*$  interna das amostras nos tratamentos em secador piloto a 40, 50 e 60 °C e em estufa a 50 e 60 °C. A secagem em estufa a 40 °C provocou redução significativa no valor de  $L^*$ , sendo que o  $\Delta L^*$  foi de -9,75, indicando escurecimento da amostra.

O escurecimento observado tanto nos tratamentos das amostras de tomate cortado em quatro partes, como em fatias, pode ter sido devido a ocorrência de reações de oxidação do ácido ascórbico, reação de Maillard, condensação de hexoses e componentes amino, as quais formam pigmentos marrons pelo maior tempo de exposição ao ar e pela reação de oxidação, devido a atuação das enzimas polifenoloxidase e peroxidase (BARREIRO et al., 1997). Romero (1999) evidencia a influência da temperatura do ar nas taxas de secagem do tomate e na qualidade do produto final. Para as temperaturas de 80 °C, as fatias começam a apresentar escurecimento após aproximadamente 70 minutos de secagem. Com o aumento da temperatura para 120 °C, o escurecimento é visível em 20 minutos. As amostras que apresentaram melhor qualidade visual de cor foram as fatias secas em temperatura de 60 °C. Já Camargo e Queiroz (1999) observaram os efeitos negativos da temperatura de 80 °C na secagem de tomate, comparativamente à temperatura de 60 °C, ressaltando, como primeira causa, a queima superficial do produto e conseqüente escurecimento. Sacilik (2007) verificou redução nos valores de  $L^*$  nas amostras de tomate seco com o aumento da temperatura de 50 para 70 °C tanto para as amostras não tratadas e para as tratadas, o que evidencia o efeito da temperatura de secagem.

As Tabelas 8 e 9 apresentam os dados de luminosidade  $a^*$ , inicial e final e variação de  $a^*$  ( $\Delta a^*$ ) externa e interna, das amostras de tomate cortadas em quatro partes e em fatias, respectivamente, submetidas a secagem em secador piloto convectivo e em estufa com circulação de ar nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C. A coordenada  $a^*$  externa das amostras de tomate cortadas em quatro partes não apresentou diferença significativa, tanto na secagem em secador piloto como em estufa, com circulação de ar. Os valores de variação de  $a^*$  ( $\Delta a^*$ ) externa foram de -0,83, -0,52 e 1,82 na secagem em secador piloto e 0,46, 0,99 e 0,54 para a secagem em estufa, para as temperaturas de 40, 50 e 60 °C,

respectivamente. A coloração interna  $a^*$  não foi significativa nos tratamentos a 40 °C em secador piloto e para todas as temperaturas de secagem em estufa com circulação de ar. No entanto, foi verificado intensificação significativa da cor vermelha na secagem nas temperaturas de 50 e de 60 °C em secador piloto, sendo que a  $\Delta a^*$  foram de 4,74 e 10,87, respectivamente. A coordenada  $a^*$  interna e externa das amostras de tomate cortadas em fatias e submetidas a secagem em secador piloto apresentou maiores valores finais em todos os ensaios e apenas para o tratamento a 40 °C em secador piloto, sendo esta variação não foi significativa. No entanto, a coordenada  $a^*$  externa e interna das amostras de tomate em fatias submetidas a secagem em estufa com circulação de ar não apresentou diferença significativa. Sendo, que a variação  $a^*$  ( $\Delta a^*$ ) foi de 1,33, 1,69 e 0,05 para  $a^*$  externa e 2,44, 1,42 e, 2,48 para  $a^*$  interna nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C, respectivamente.

Tabela 8 – Valores de  $a^*$  ( $a^*$ ) inicial e final, externa e interna, e variação de  $a^*$  ( $\Delta a^*$ ) de amostras de tomate cortadas em quatro partes submetidas a secagem em secador piloto convectivo e em estufa com circulação de ar nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C

| Tipo de secador | $a^*$        | $a^*$ externo |        |        | $a^*$ interno |        |        |
|-----------------|--------------|---------------|--------|--------|---------------|--------|--------|
|                 |              | T (°C)        |        |        |               |        |        |
|                 |              | 40            | 50     | 60     | 40            | 50     | 60     |
| Secador piloto  | inicial      | 19,19a        | 22,56a | 20,06a | 18,13a        | 18,20b | 13,93b |
|                 | final        | 18,36a        | 22,04a | 21,89a | 21,57a        | 22,94a | 24,80a |
|                 | $\Delta a^*$ | -0,83         | -0,52  | 1,82   | 3,44          | 4,74   | 10,87  |
| Estufa          | inicial      | 15,68a        | 20,47a | 18,34a | 15,12a        | 14,14a | 12,55a |
|                 | final        | 16,15a        | 21,46a | 18,89a | 17,09a        | 18,33a | 17,17a |
|                 | $\Delta a^*$ | 0,46          | 0,99   | 0,54   | 1,53          | 4,20   | 4,62   |

Médias seguidas das mesmas letras minúsculas na coluna não diferem estatisticamente ( $p < 0,05$ ) pelo teste de Tukey.

A coloração vermelha do tomate é dada pela presença do carotenóide licopeno. Quando o licopeno encontra-se dissolvido em sólidos solúveis, como no caso do tomate fresco (alto conteúdo de água), é de cor vermelha de menor intensidade ou laranja, com o processamento térmico pode ocorrer a isomerização do licopeno da forma *trans* para a *cis*. A coloração da forma *cis* normalmente é vermelha mais intensa (SHI et al., 1999).

Romero-Peña e Kieckbusch (2003), estudando a influência de condições de secagem na qualidade de fatias de tomate, avaliaram a cinética de cor das fatias de tomate em intervalos regulares de tempo durante a secagem em temperaturas de 60, 80 e 100 °C e verificaram que, inicialmente, o vermelho intensifica-se, devido a concentração em licopeno dada pela evaporação da água. Porém, com o aumento do tempo de secagem em temperaturas de 80 e 100 °C verificaram que a intensidade do vermelho diminuiu devido a degradação do pigmento licopeno. Além disso, confirma a redução do vermelho quando verificado que houve escurecimento nas amostras com valores de  $\Delta L^*$  de -3. Já Sacilik (2007) verificou redução nos valores de  $a^*$  nas amostras de tomate seco com o aumento da temperatura de 50 para 70 °C, tanto para as amostras não tratadas e para as tratadas, o que indica que em temperaturas mais baixas a coloração vermelha foi mais intensa.

Tabela 9 – Valores de  $a^*$  ( $a^*$ ) inicial e final, externa e interna, e variação de  $a^*$  ( $\Delta a^*$ ) de amostras de tomate cortadas em fatias submetidas a secagem em secador piloto convectivo e em estufa com circulação de ar nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C

| Tipos de secador | $a^*$        | $a^*$ externo |        |        | $a^*$ interno |        |        |
|------------------|--------------|---------------|--------|--------|---------------|--------|--------|
|                  |              | T (°C)        |        |        |               |        |        |
|                  |              | 40            | 50     | 60     | 40            | 50     | 60     |
| Secador piloto   | inicial      | 19,67b        | 20,85b | 20,41b | 18,43a        | 20,31b | 20,10b |
|                  | final        | 25,54a        | 26,10a | 24,47a | 18,56a        | 23,27a | 25,48a |
|                  | $\Delta a^*$ | 5,87          | 5,25   | 4,06   | 0,14          | 2,96   | 5,38   |
| Estufa           | inicial      | 21,43a        | 22,74a | 21,05a | 18,67a        | 17,59a | 14,78a |
|                  | final        | 22,76a        | 24,43a | 21,10a | 21,11a        | 19,00a | 17,26a |
|                  | $\Delta a^*$ | 1,33          | 1,69   | 0,05   | 2,44          | 1,42   | 2,48   |

Médias seguidas das mesmas letras minúsculas na coluna não diferem estatisticamente ( $p < 0,05$ ) pelo teste de Tukey.

Muratore et al. (2008), verificou incremento da coloração vermelha nos tomates secos em relação os frescos. Os valores de  $a^*$  aumentaram com a elevação da temperatura empregada. As amostras não tratadas apresentaram maiores valores de  $a^*$  em comparação com as tratadas com cloreto de sódio, ácido cítrico e cloreto de cálcio, indicando intensificação da cor vermelha. Porém a relação  $a^*/b^*$  e a  $b^* L^*/a^*$  indicam que ocorreu

um escurecimento mínimo nas amostras tratadas e secas a 60 e 80 °C, e que a degradação de cor foi mais elevada nas amostras não tratadas, indicando efeito positivo do pré-tratamento. Neste mesmo estudo, foi verificado que o processo de secagem sem tratamento osmótico a 80 °C apresentou maiores valores de licopeno e de beta-caroteno em relação a temperatura de 40 °C, o que evidencia a perda pelo tempo prolongado de processo. Já nas amostras tratadas a 40 °C manteve-se mais os teores de licopeno e de beta-caroteno.

As Tabelas 10 e 11 apresentam os dados de luminosidade  $b^*$ , inicial e final e variação de  $b^*$  ( $\Delta b^*$ ) externa e interna, das amostras de tomate cortadas em quatro partes e em fatias, respectivamente, submetidas a secagem em secador piloto convectivo e em estufa com circulação de ar nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C.

Tabela 10 – Valores de  $b^*$  ( $b^*$ ) inicial e final, externa e interna, e variação de  $b^*$  ( $\Delta b^*$ ) de amostras de tomate cortadas em quatro partes submetidas a secagem em secador piloto convectivo e em estufa com circulação de ar nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C

| Tipo de secador | $b^*$        | $b^*$ externo |         |        | $b^*$ interno |        |        |
|-----------------|--------------|---------------|---------|--------|---------------|--------|--------|
|                 |              | T (°C)        |         |        |               |        |        |
|                 |              | 40            | 50      | 60     | 40            | 50     | 60     |
| Secador piloto  | inicial      | 18,63a        | 18,05a  | 19,69a | 16,92a        | 16,03a | 16,75a |
|                 | final        | 15,80a        | 19,00a  | 18,48a | 17,49a        | 19,29a | 23,40a |
|                 | $\Delta b^*$ | -2,83         | 0,95    | -1,21  | 0,56          | 3,26   | 6,66   |
| Estufa          | inicial      | 15,48a        | 19,07 a | 16,43a | 12,91a        | 14,81a | 17,14a |
|                 | final        | 11,32a        | 15,42a  | 17,50a | 14,40a        | 17,30a | 21,78a |
|                 | $\Delta b^*$ | -4,16         | -3,65   | 1,07   | 1,48          | 2,49   | 4,64   |

Médias seguidas das mesmas letras minúsculas na coluna não diferem estatisticamente ( $p < 0,05$ ) pelo teste de Tukey.

Os valores da coordenada  $b^*$  para as amostras cortadas em quatro partes não apresentaram diferença significativa em todos os tratamentos estudados. Os valores da coordenada  $b^*$  dos tomates cortados em fatias reduziram em todos os tratamentos e apresentaram valores de  $\Delta b^*$  negativo, porém de forma significativa apenas para as

amostras secas a 60 °C, coordenada b\* externa, em ambos secadores utilizados (Tabela 10).

Tabela 11 – Valores de b\* (b\*) inicial e final, externa e interna, e variação de b\* ( $\Delta b^*$ ) de amostras de tomate cortadas em fatias submetidas a secagem em secador piloto convectivo e em estufa com circulação de ar nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C

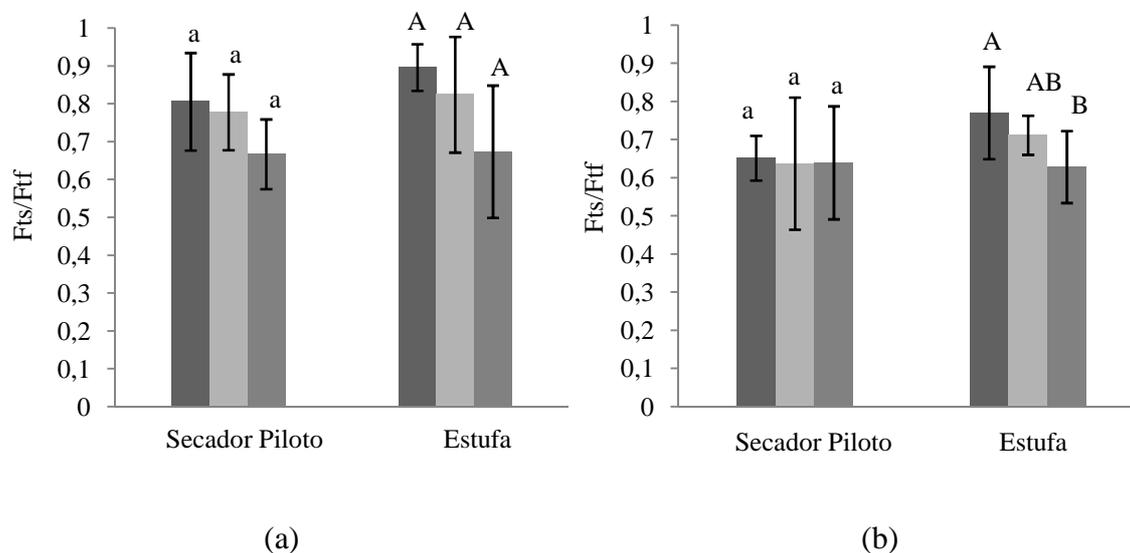
| Tipos de secador | b*           | b* externo |        |        | b* interno |        |        |
|------------------|--------------|------------|--------|--------|------------|--------|--------|
|                  |              | T (°C)     |        |        |            |        |        |
|                  |              | 40         | 50     | 60     | 40         | 50     | 60     |
| Secador piloto   | inicial      | 24,48a     | 25,86a | 22,64a | 21,31a     | 19,67a | 18,68a |
|                  | final        | 21,14a     | 19,95a | 20,16b | 20,38a     | 19,65a | 17,22a |
|                  | $\Delta b^*$ | -3,33      | -5,91  | -2,48  | -0,94      | -0,02  | -1,47  |
| Estufa           | inicial      | 22,53a     | 24,10a | 21,69a | 16,02a     | 16,87a | 15,91a |
|                  | final        | 16,06a     | 17,64a | 13,49b | 13,82a     | 16,45a | 15,14a |
|                  | $\Delta b^*$ | -6,46      | -6,46  | -8,21  | -2,21      | -0,42  | -0,76  |

Médias seguidas das mesmas letras minúsculas na coluna não diferem estatisticamente ( $p < 0,05$ ) pelo teste de Tukey.

#### 4.6 TEXTURA

A Figura 17 a e 17 b apresenta o efeito da temperatura de secagem de 40, 50 e 60 °C na razão de textura das amostras de tomates cortados em quatro partes e em fatias, respectivamente, em cada tipo de secador utilizado. As amostras de tomate cortados em quatro partes e em fatias, secos em secador piloto e em estufa, apresentaram razão de textura menor que 1, indicando que ocorreu amolecimento. Nas amostras de tomate cortados em quatro partes secas em secador piloto foi observado razão de textura de  $0,66 \pm 0,09$ ,  $0,77 \pm 0,10$  e  $0,80 \pm 0,12$ , para as temperaturas 60, 50 e 40 °C, respectivamente. Já nas amostras de tomate cortadas em quatro partes e secas em estufa com circulação de ar apresentaram maior variação nos valores da razão de textura, sendo  $0,67 \pm 0,17$ ,  $0,82 \pm 0,15$  e  $0,89 \pm 0,06$ , para as temperaturas 60, 50 e 40 °C, respectivamente. Porém, a redução na razão de textura observada em ambos os tratamentos ocorreu de forma não significativa ( $p > 0,05$ ) devido o alto valor do desvio padrão das análises. A menor razão de textura

observada na secagem a temperatura de 60°C, em ambas as amostras de tomates cortados em quatro partes, secos em secador convectivo e em estufa, indicam maior amolecimento.



Médias seguidas das mesmas letras minúsculas e das mesmas letras maiúsculas nas barras não diferem estatisticamente ( $p < 0,05$ ) pelo teste de Tukey.

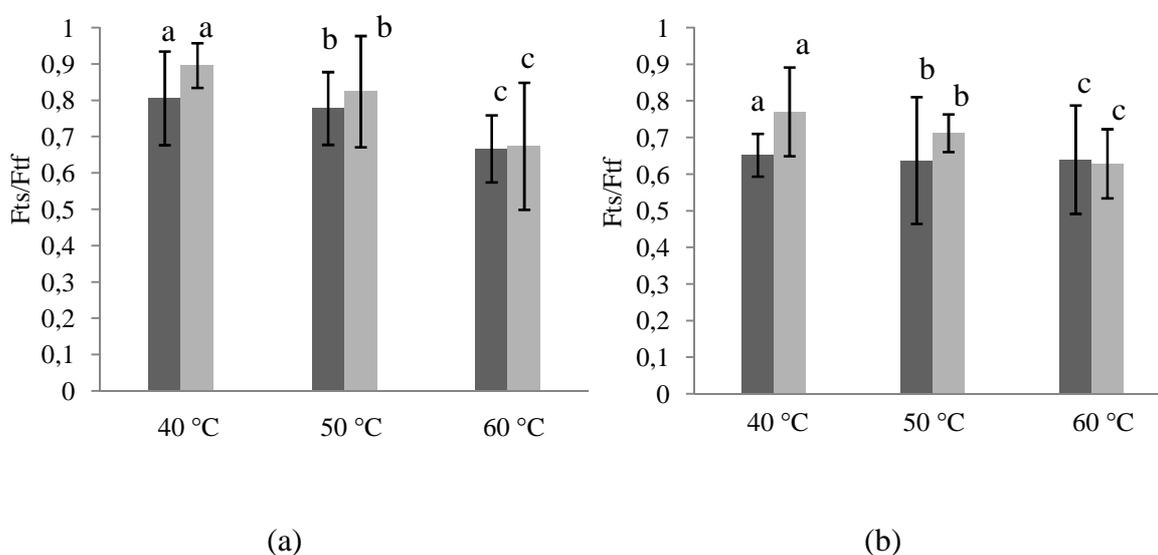
Figura 17 – Efeito da temperatura na razão de textura das amostras de tomates cortados em quatro partes (a) e cortados em fatias (b), secos em secador piloto convectivo e em estufa com circulação de ar nas temperaturas de (■) 40, (■) 50 e (■) 60 °C.

As amostras de tomate cortados em fatias apresentaram valores de razão de textura menores que aos cortados em quatro partes, em relação a cada temperatura utilizada. Na secagem em secador piloto observou-se a menor razão de textura, onde os valores não apresentaram diferença significativa, com valores de  $0,63 \pm 0,14$ ,  $0,63 \pm 0,17$  e  $0,65 \pm 0,05$ , para as temperaturas 60, 50 e 40 °C, respectivamente. Na secagem em estufa a variação foi maior, sendo de  $0,62 \pm 0,09$ ,  $0,71 \pm 0,05$  e  $0,77 \pm 0,12$ , para as temperaturas 60, 50 e 40 °C, respectivamente.

A razão de textura observada apresentou diferença significativa somente entre as temperaturas de 40 e 60 °C. Do mesmo modo que os tomates cortados em quatro partes, foi observado que na temperatura de 60 °C as amostras em fatias apresentaram menor razão de textura, ou seja, ocorreu maior amolecimento. A secagem realizada em estufa com

circulação forçada de ar, tanto para as amostras de tomate cortados em quatro partes e em fatias a 40 e 50 °C, apresentaram tempo de secagem maior para atingir 15% de umidade final, ou seja, de forma lenta, isso pode ter levado ao endurecimento superficial maior, o que aumenta o valor de textura, resultando em valores de razão maiores.

A Figura 18 a e 18 b apresenta o efeito do tipo de secagem na razão de textura de amostras de tomates cortados em quatro partes e cortados em fatias, respectivamente, em relação a cada temperatura estudada.



Médias seguidas das mesmas letras minúsculas em cada série de barras não diferem estatisticamente ( $p < 0,05$ ) pelo teste de Tukey.

Figura 18 – Efeito do tipo de secagem razão de textura das amostras de tomates cortados em quatro partes (a) e cortados em fatias (b), secos em (■) secador piloto convectivo e em (▒) estufa com circulação de ar nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C.

As razões de textura observadas em cada temperatura estudada em relação ao tipo de secador utilizado não apresentaram diferença significativa ( $p > 0,05$ ) para ambos os cortes de tomate, indicando assim que o tipo de secador não influenciou na razão de textura das amostras. A grande variação nos resultados da razão de textura pode ser devido vários fatores que afetam a mesma, especialmente em alimentos secos, tais como, o estado físico, propriedades físico-químicas, tipo de corte e umidade final do produto (KROKIDA e PHILIPPOPOULOS, 2005). Além disso, segundo Krokida e Philippopoulos (2005) a

temperatura, velocidade e umidade relativa do ar, tipo de secador e o tempo de secagem podem influenciar a textura dos alimentos, acarretando, assim, no endurecimento superficial, retração de volume, amolecimento ou maciez (estado gomoso).

Segundo Santos (2008), não se encontram padrões definidos de qualidade de tomate seco como cor, textura e valor nutricional. Portanto, diversos estudos apresentam os dados de diferentes formas como Camargo et al. (2007), em avaliação da qualidade de tomate seco em conserva para determinar a textura em função das propriedades de dureza, mastigabilidade, adesividade e gomosidade. Neste estudo amostras de tomates de duas variedades, Débora Plus e Rio Grande, foram submetidas a secagem em temperatura de 60 °C até atingir umidade final de 25 ou 35% e verificou-se que a mastigabilidade e dureza tiveram influência significativa. Sendo que a variedade Rio Grande apresentou melhor mastigabilidade e dureza.

Heredia et al. (2007), investigou a secagem de tomate cereja pela combinação de diferentes técnicas de desidratação e apresentou a razão de textura do tomate seco pelo fresco, como no presente trabalho. Neste estudo, os autores verificaram que as mudanças mecânicas induzidas pelo pré-tratamento osmótico provocaram amolecimento geral da polpa, porém teve pouca influência sobre a resposta mecânica da pele e não houve diferenças significativas entre os tratamentos. O mesmo comportamento foi observado por Chiralt e Talens (2005) em estudo sobre as mudanças físicas e químicas induzidas por desidratação osmótica em tecidos vegetais.

#### 4.7 LICOPENO

A Tabela 12 apresenta o teor de licopeno das amostras de tomate cortadas em quatro partes e em fatias e submetidas à secagem em secador convectivo piloto e em estufa com circulação de ar nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C. O teor de licopeno observado nas amostras de tomate cortados em quatro partes e seco em secador convectivo piloto variaram de 179,98 a 203,48  $\mu\text{g g}^{-1}$  com o aumento da temperatura de 40 para 60 °C, respectivamente. Porém não apresentaram diferença significativa nesta variação. Ou seja, no secador piloto a temperatura de secagem não influenciou no teor de licopeno das amostras de tomate cortados em quatro partes. De outro modo, para as amostras de tomate

cortados em quatro partes e secos em estufa nas temperaturas de 60 e 50 °C verificaram-se os maiores valores de licopeno sendo de 184,9,29  $\mu\text{g g}^{-1}$  e de 167,56  $\mu\text{g g}^{-1}$ , respectivamente, porém não diferiram significativamente entre si ( $p>0,05$ ). O teor de licopeno encontrado nas amostras de tomate cortados em quatro partes e secos em estufa a 40 °C foi menor e diferiu significativamente ( $p<0,05$ ) do encontrado nas amostras secas a 60 °C. O menor valor de licopeno observado nas amostras secas em estufa a 40 °C se deve ao maior tempo de secagem, ou seja, maior tempo de exposição do licopeno a luz e ao oxigênio, o que pode ter levado a maior degradação do carotenóide nessas amostras (SHI et al., 1998).

Tabela 12 – Teor de licopeno ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) das amostras de tomate cortadas em quatro partes e em fatias submetidas à secagem em secador convectivo piloto e em estufa com circulação de ar nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C

| T<br>(°C) | Tomate 4 partes  |                    | Tomate em fatias |                  |
|-----------|------------------|--------------------|------------------|------------------|
|           | Secador piloto   | Estufa             | Secador piloto   | Estufa           |
| 40        | 179,98±16,21a, A | 155,25±21,20b, A   | 164,51±20,87b, A | 112,23±19,11b, B |
| 50        | 185,76±42,05a, A | 167,56±10,57ab, AB | 177,04±2,07b, A  | 135,74±5,24a, B  |
| 60        | 203,48±28,78a, A | 184,41±9,29a, A    | 202,23±17,58a, A | 151,22±6,71a, B  |

Médias seguidas das mesmas letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem estatisticamente ( $p < 0,05$ ) pelo teste de Tukey.

As amostras de tomates cortadas em fatias e submetidos à secagem em secador convectivo piloto variaram entre 164,5 a 202,23  $\mu\text{g g}^{-1}$  e em estufa de 112,23 a 151,22  $\mu\text{g g}^{-1}$ , com o aumento da temperatura de 40 para 60 °C, respectivamente. O teor de licopeno foi significativamente superior nas amostras de tomates em fatias e secos em secador piloto na temperatura de 60 °C. De forma semelhante, o teor de licopeno foi significativamente superior nos tomates secos em estufa a 50 e 60 °C. Os menores valores de licopeno no secador piloto nas temperaturas de 40 e 50 °C e em estufa a 40 °C pode ser atribuído ao maior tempo de secagem em relação às temperaturas maiores. O tempo de secagem maior expõe mais as amostras a luz e ao oxigênio o que pode levar a um aumento na oxidação e consequente redução do licopeno.

Os teores de licopeno encontrados nas amostras secas nas temperaturas de 40 e 60 °C foram significativamente inferiores nos tratamentos das amostras cortadas em fatias secas em estufa com circulação forçada de ar. Na temperatura de 50 °C encontraram-se menores valores de licopeno nas amostras submetidas à secagem em estufa em ambos os cortes. Porém, foi significativamente inferior nas amostras cortadas em fatias quando comparadas ao secador piloto em ambos os cortes. As amostras de tomate cortados em fatias secos em estufa apresentaram os menores valores de licopeno, isso se deve a maior área superficial de contato do produto com o ar e a luz em relação ao tomate cortado em quatro partes, além do longo tempo de secagem e da temperatura utilizada no tratamento (SHI et al., 1998).

O tomate fresco apresentou teor de licopeno de 72,43 µg g<sup>-1</sup>. O menor valor de licopeno verificado no tomate fresco em relação aos secos é devido ao fato que durante o processamento de secagem ocorre maior biodisponibilidade do carotenóide em função da conversão da forma *trans* para a *cis*. O processamento térmico de tomates tem sido relacionado com o aumento do teor de licopeno extraído, quando comparado com tomates frescos (DEWANTO et al., 2002).

Shi et al. (1999), observaram 3,2 % de perda em licopeno em tomates secos a vácuo (55 °C por 4-8 h) e 3,9 % de perda em tomates secos em secador convectivo (95 °C por 10 h). Zaroni et al. (1998), relataram significativa perda (12 %) de licopeno durante a secagem de tomate a temperatura do ar de 110 °C, enquanto que nenhuma perda significativa ocorreu durante a secagem ao ar a 80 °C. Toor e Savage (2006) verificaram que não houve diferença significativa entre o conteúdo de licopeno de tomates frescos e semi-secos das variedades Tradiro e Flavourine, secos em secador convectivo na temperatura de 42 °C por 18 horas. No entanto, o conteúdo de licopeno do tomate semi-seco, da variedade Excel foi significativamente menor que o de tomates frescos. Chang et al. (2006), em estudo da comparação das propriedades antioxidantes de tomates frescos, liofilizados e secos por secagem convectiva verificaram que as quantidades do licopeno do tratamento de secagem da variedade de tomates Sheng-Neu e Tien-Hung em secador convectivo aumentam 197% e 152%, respectivamente, em relação as amostras de tomates frescos. O processo de secagem com ar quente aumentou significativamente o conteúdo de licopeno. Dewanto et al. (2002), mencionou que o tratamento térmico pode aumentar a liberação de fitoquímicos da matriz nos tomates, pois enfraquece a força de ligação entre o

licopeno e a matriz. Além disso, pode ocorrer a isomerização do licopeno da configuração *trans* para forma *cis* que é mais biodisponível.

#### 4.8 PRODUTO FINAL

As Figuras 19 a, 19 b e 19 c apresentam o produto final da secagem dos tomates cortados em quatro partes secos em secador convectivo piloto nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C, respectivamente. Como pode ser observado na Figura 19 a, 19 b e 19 c, a secagem dos tomates cortados em quatro partes, em secador convectivo piloto, em cada temperaturas de secagem empregadas resultou em produtos de características visuais como coloração e aparência semelhantes.



Figura 19 - Produto final da secagem dos tomates cortados em quatro partes secos em secador convectivo piloto nas temperaturas de 40 °C (a), 50 °C (b) e 60 °C (c).

As Figuras 20 a, 20 b e 20 c apresentam o produto final da secagem dos tomates cortados em quatro partes, secos em estufa com circulação de ar, nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C, respectivamente. Como pode ser observado na Figura 20 a secagem dos tomates cortados em quatro partes, em estufa com circulação de ar, temperatura de

secagem de 40 °C apresentou visivelmente manchas de coloração mais escuras em algumas regiões do produto. O escurecimento neste tratamento também foi observado pela medida dos valores de luminosidade ( $L^*$ ) (Tabela 6). Enquanto que, a secagem dos tomates cortados em quatro partes, em estufa com circulação de ar, temperatura de secagem de 50 °C apresentou pontos de acúmulo de umidade, indicando que a secagem nesse tratamento não foi de forma homogênea (Figura 20 b).

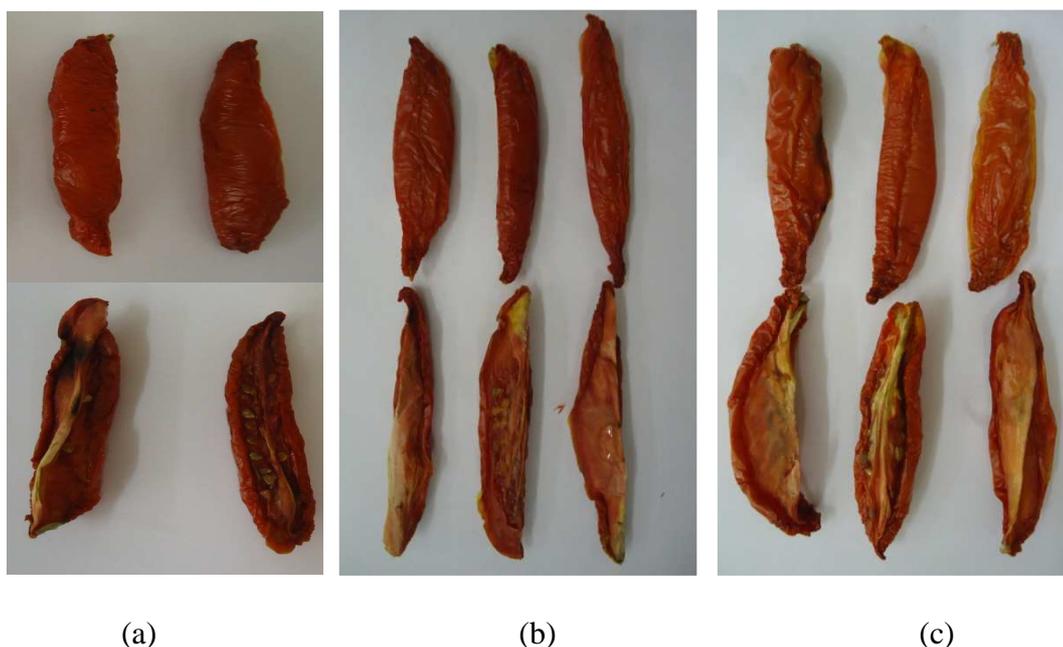


Figura 20 - Produto final da secagem dos tomates cortados em quatro partes secos em estufa com circulação de ar nas temperaturas de 40 °C (a), 50 °C (b) e 60 °C (c).

As Figuras 21 a, 21 b e 21 c apresentam o produto final da secagem dos tomates cortados em fatias secos em secador convectivo piloto nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C, respectivamente. A secagem dos tomates cortados em fatias, em secador convectivo piloto, em cada temperaturas de secagem empregadas resultou em produtos de características visuais como coloração e aparência semelhantes. Entre as temperaturas de secagem empregadas, pode-se observar que a secagem na temperatura de 50 e 60 °C das amostras de tomates cortados em fatias apresentou coloração vermelha mais intensa em relação a temperatura de secagem de 40 °C. A intensificação de coloração nestas temperaturas também foi observada pela medida de valores de  $a^*$  (Tabela 9).

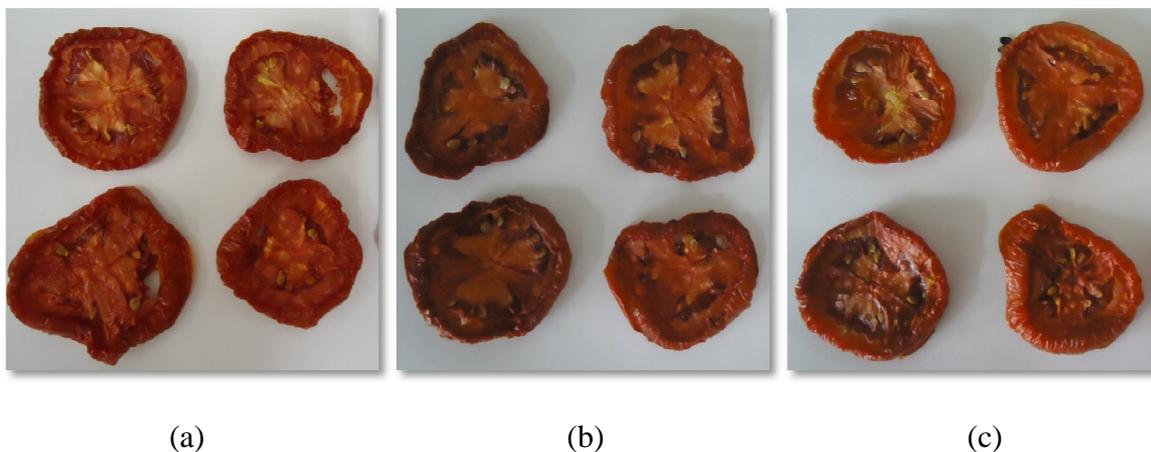


Figura 21 - Produto final da secagem dos tomates cortados em fatias secos em secador convectivo piloto nas temperaturas de 40 °C (a), 50 °C (b) e 60 °C (c).

As Figuras 22 a, 22 b e 22 c apresentam o produto final da secagem dos tomates cortados em fatias secos em secador convectivo piloto nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C, respectivamente.

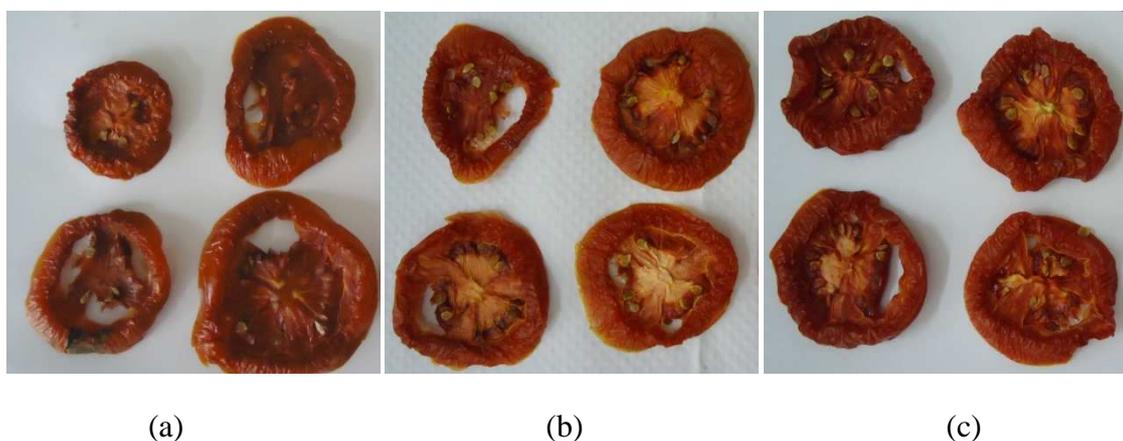


Figura 22 - Produto final da secagem dos tomates cortados em fatias secos em estufa com circulação de ar nas temperaturas de 40 °C (a), 50 °C (b) e 60 °C (c).

Como pode ser observado na Figura 22 a secagem dos tomates cortados em quatro partes, em estufa com circulação de ar, temperatura de secagem de 40 °C apresentou

manchas de coloração mais escuras em algumas regiões do produto. O escurecimento neste tratamento também foi observado pela medida de luminosidade ( $L^*$ ) (Tabela 7).

#### 4.9 VIABILIDADE ECONÔMICA

A viabilidade econômica foi projetada para a produção de 100 embalagens de tomate seco de 3,1 kg de peso líquido de produto e 600 embalagens de tomate seco 300 g de peso líquido de produto. Totalizando uma produção mensal de 490 kg de tomate seco. Sendo que o rendimento do tomate seco em secador convectivo em escala piloto foi em torno de 10% e o mesmo rendimento foi utilizado para estimar a quantidade de matéria-prima utilizada, a qual foi de 4.900 kg  $mês^{-1}$ . Raupp et al. (2009), em estudo sobre o processamento de tomate seco de diferentes cultivares observaram que o rendimento de tomate seco por inteiro variaram entre 8,3 a 9,1% entre as variedades estudadas. Além disso, apresentaram o rendimento do tomate cortado em fatias que variou entre 12,7 a 14,4%. Sendo que os menores rendimentos em ambos os cortes foram obtidos para a variedade do tomate italiano. Segundo Raupp et al. (2009), dados sobre o rendimento do tomate em produto tomate seco são importantes para a composição final do preço. Para o estudo da viabilidade foi considerado o uso de secador convectivo em escala industrial e a temperatura de secagem de 60 °C, por ter se mostrado a temperatura que redução o conteúdo de umidade em menor tempo.

Os custos com matéria-prima (tomate italiano) e condimentos (orégano e alho) descritos na Tabela 14 e 15 levam em consideração os preços praticados pelo mercado da CEASA-RS em novembro de 2011. Portanto, as matérias-primas e condimentos alimentícios utilizados podem sofrer variações de preço, devido a diversos fatores como safra, condições climáticas, época do ano, oferta e demanda. Os preços dos ingredientes (sal e óleo de girassol) foram orçados em distribuidora de alimentos da região de Erechim, Rio Grande do Sul.

A estimativa de vendas para os dois produtos foi definida com base no tamanho dos mercados consumidores a serem atingidos. No caso, a região escolhida foi a região ao Alto Uruguai Gaúcho, que possui uma população em torno de 221 mil habitantes (IBGE, 2012). A participação das vendas mensais do produto de 3,1 kg de peso líquido gira em torno de

40% e do produto de 300 g de peso líquido representa 60% das receitas mensais. Os custos com inventário, custos variáveis direto, custos variáveis indireto e custos fixos de produção são descritos a seguir.

#### 4.9.1 Inventário

A Tabela 13 apresenta a descrição dos custos relacionados com o inventário. O total a ser investido foi de R\$ 24.660,00 referente a compra do secador convectivo (máquinas); equipamentos como a balança e utensílios de corte como facas, afiadores, bacias, tábuas de corte; móveis como mesa de aço inox, mesa, cadeiras, estante e computador para o escritório. Além do investimento na compra de um veículo furgão para transporte do produto. As obras civis são desconsideradas, pois o imóvel será alugado. A depreciação anual total foi de R\$ 2.601,00, obtida através da taxa de depreciação estimada.

Tabela 13 - Descrição dos custos relacionados ao inventário

| Discriminação          | Valor de aquisição (R\$) | Valor atual (R\$) | Taxa de depreciação (%) | Depreciação anual (R\$) |
|------------------------|--------------------------|-------------------|-------------------------|-------------------------|
| Obras civis            | 0                        | 0                 | 2,85                    | 0                       |
| Máquinas               | 4.930,00                 | 4.930,00          | 10                      | 493,00                  |
| Equipamentos           | 800,00                   | 800,00            | 10                      | 80,00                   |
| Móveis e utensílios    | 3.030,00                 | 3.030,00          | 10                      | 303,00                  |
| Computador             | 900,00                   | 900,00            | 25                      | 225,00                  |
| Veículos               | 15.000,00                | 15.000,00         | 10                      | 1.500,00                |
| Total de investimentos | 24.660,00                |                   |                         | 2.601,00                |

A Figura 23 mostra a relação de proporção dos custos com inventário, sendo que as maiores parcelas de custo são referentes a compra do veículo furgão (60,83%), seguida da compra do secador convectivo (19,99%) e da compra móveis e utensílios (12,29%). A compra de equipamentos de informática e equipamentos para a empresa contribuem com menores parcelas sendo 3,65% e 3,24%, respectivamente.

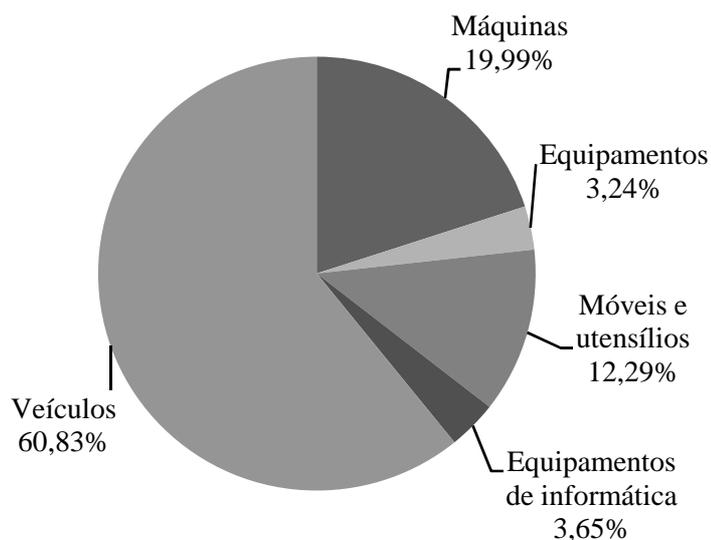


Figura 23 – Relação de proporção dos custos com inventário.

#### 4.9.2 Custos Variáveis

A Tabela 14 apresenta a descrição dos custos variáveis e a Figura 24 apresenta a proporção dos custos variáveis relacionados à produção de 3,1 kg de peso líquido do produto tomate seco, considerado a granel.

Tabela 14 - Descrição dos custos variáveis relacionados à produção de 3,1 kg de peso líquido do produto tomate seco

| Matéria Prima    | Quantidade  | Preço (R\$)                | Total (R\$)  |
|------------------|-------------|----------------------------|--------------|
| Tomate Italiano  | 21 kg       | 1,00 kg <sup>-1</sup>      | 21,00        |
| Óleo de girassol | 0,843 Litro | 3,96 Litro <sup>-1</sup>   | 3,34         |
| Orégano          | 0,062 kg    | 12,00 kg <sup>-1</sup>     | 0,74         |
| Sal              | 0,093       | 1,04 kg <sup>-1</sup>      | 0,10         |
| Alho             | 0,093       | 8,10 kg <sup>-1</sup>      | 0,75         |
| Embalagem        | 1 Unidade   | 5,30 Unidade <sup>-1</sup> | 5,30         |
| Rótulo           | 1 Unidade   | 0,08 Unidade <sup>-1</sup> | 0,08         |
| <b>Total</b>     |             |                            | <b>31,31</b> |

A quantidade de matéria-prima necessária a produção do produto de 3,1 kg de peso líquido foi de 21 kg de tomate fresco, totalizando R\$ 21,00 de custo com a matéria-prima, sendo responsável, assim, pela maior proporção de custos deste produto (67,10%) (Figura 24). Em seguida, os custos de R\$ 5,30 referente a 1 unidade de embalagem balde e de R\$ 3,96 kg<sup>-1</sup> de 843 mL de óleo de girassol são responsáveis pelas maiores proporções de custos do produto, sendo, assim, responsáveis por 16,94% e 10,64%, respectivamente. Os demais custos foram referentes ao uso de condimentos (alho, sal e orégano) totalizando 5,07% e de rotulagem da embalagem sendo 0,26% (Figura 24). Totalizando, assim, R\$ 31,31 de custos variáveis relacionados à produção de 3,1 kg de peso líquido do produto tomate seco.

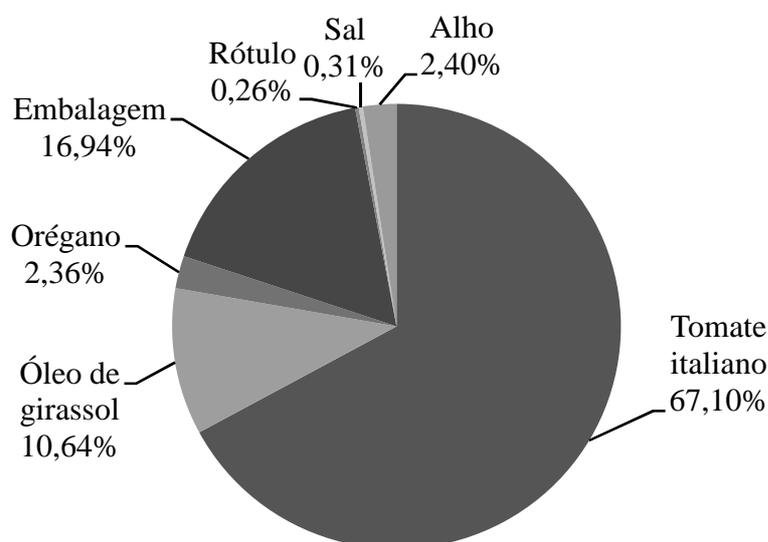


Figura 24 - Proporção dos custos variáveis sobre a produção do tomate seco 3,1 kg de peso líquido do produto tomate seco.

A Tabela 15 apresenta a descrição dos custos variáveis e a Figura 25 apresenta a proporção dos custos variáveis relacionados à produção de 300 g de peso líquido do produto tomate seco.

Tabela 15 - Descrição dos custos variáveis relacionados à produção de 300 g de peso líquido do produto tomate seco

| Matéria Prima      | Quantidade | Preço (R\$)                | Total (R\$) |
|--------------------|------------|----------------------------|-------------|
| Tomate Italiano    | 2 kg       | 1,00 kg <sup>-1</sup>      | 2,00        |
| Óleo de girassol   | 0,08 Litro | 3,96 Litro <sup>-1</sup>   | 0,32        |
| Orégano            | 0,006 kg   | 12,00 kg <sup>-1</sup>     | 0,07        |
| Sal                | 0,009 kg   | 1,04 kg <sup>-1</sup>      | 0,01        |
| Alho               | 0,009 kg   | 8,10 kg <sup>-1</sup>      | 0,07        |
| Embalagem de vidro | 1 Unidade  | 1,63 Unidade <sup>-1</sup> | 1,63        |
| Rótulo             | 1 Unidade  | 0,08 Unidade <sup>-1</sup> | 0,08        |
| <b>Total</b>       |            |                            | <b>4,18</b> |

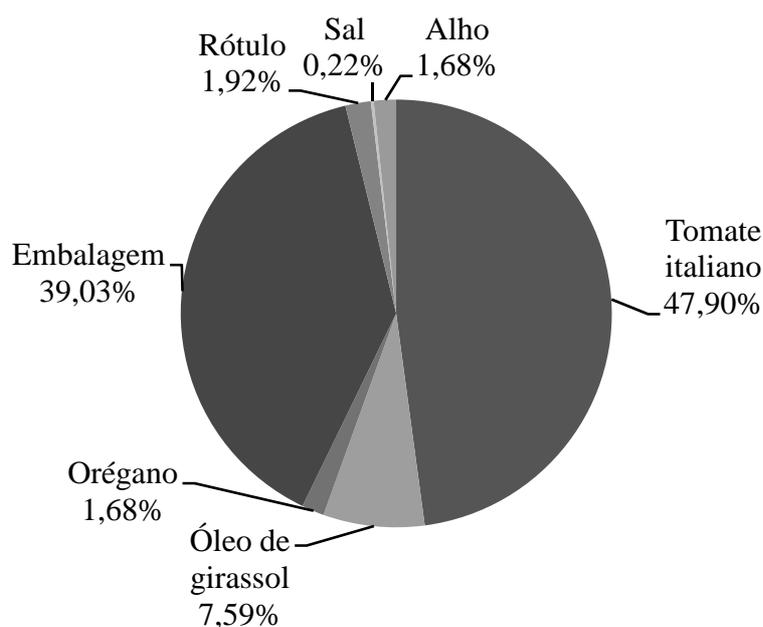


Figura 25 - Proporção dos custos variáveis sobre a produção do tomate seco 300 g de peso líquido do produto tomate seco.

A quantidade de matéria-prima necessária a produção do produto de 300 g de peso líquido foi de 2 kg de tomate fresco, totalizando R\$ 2,00 de custo com a matéria-prima, sendo responsável, assim, pela maior proporção de custos deste produto (47,90%) (Figura 25). Em seguida, os custos de R\$ 1,63 referente a 1 unidade de embalagem de vidro e de

R\$ 3,96 kg<sup>-1</sup> de 80 mL de óleo de girassol são responsáveis pelas maiores proporções de custos do produto, sendo, assim, responsáveis por 39,06% e 7,59%, respectivamente. Os demais custos foram referentes ao uso de condimentos (alho, sal e orégano) totalizando 3,58% e de rotulagem da embalagem sendo 1,92% (Figura 25). Totalizando, assim, R\$ 4,18 de custos variáveis relacionados à produção de 300 g de peso líquido do produto tomate seco.

#### **4.9.3 Custos Variáveis Indiretos**

Os custos variáveis indiretos são referentes a todos os custos que não estão diretamente relacionados à produção, porém, são necessários para que o mesmo seja obtido. São considerados custos variáveis o combustível do veículo, sendo em torno de R\$ 1.180,00. Logo, o custo variável indireto pela quantidade de unidades produzidas foi de R\$ 1,69, considerando os dois tipos de produto.

#### **4.9.4 Custos Fixos**

A Tabela 16 apresenta a descrição dos custos fixos mensais da agroindústria relacionados à toda produção do tomate seco e funcionamento da empresa. Os custos com depreciação de benfeitorias e sua manutenção foram considerados iguais a zero, uma vez que não são previstas benfeitorias no prédio a ser alugado para instalar a agroindústria. Os maiores valores de custos fixos observados foram de R\$ 1.600,00 referente ao pagamento de pró-labore e de R\$ 950,00 referente ao salário mensal do auxiliar de limpeza. Outros custos fixos expressivos foram com a energia elétrica (R\$ 800,00) e de aluguel do imóvel (R\$ 600,00).

Os demais custos fixos são referentes aos custos com depreciação de máquinas, equipamentos e utensílios, depreciação de veículos, custo de oportunidade com taxa de juro 6% a.a., seguro com taxa de juro de 5% a.a., manutenção de máquinas com taxa de juros de 7% a.a., alvará, materiais de limpeza e de expediente, telefone, contador, anuidade do conselho e água. O total de custos fixos foi de R\$ 5.246,56.

Tabela 16 - Descrição dos custos fixos mensais da agroindústria relacionados à toda produção do tomate seco e funcionamento da empresa

| Descrição                                          | Valor (R\$)     |
|----------------------------------------------------|-----------------|
| Depreciação de benfeitorias                        | 0               |
| Depreciação de máquinas, equipamentos e utensílios | 91,75           |
| Depreciação de veículos                            | 125,00          |
| Custo de oportunidade (6% a.a.)                    | 123,30          |
| Seguro (5% a.a.)                                   | 102,75          |
| Aluguel                                            | 600,00          |
| Manutenção de máquinas (7% a.a.)                   | 28,76           |
| Manutenção de veículos                             | 100,00          |
| Alvará                                             | 10,00           |
| Material de limpeza                                | 150,00          |
| Material de expediente                             | 50,00           |
| Energia elétrica                                   | 800,00          |
| Telefone                                           | 100,00          |
| Contador                                           | 200,00          |
| Anuidade conselho                                  | 50,00           |
| Salários + encargos                                | 915,00          |
| Pró-labore + encargos                              | 1.600,00        |
| Água                                               | 200,00          |
| <b>Total</b>                                       | <b>5.246,56</b> |

#### 4.9.5 Demonstrativo de resultados

A Tabela 17 apresenta o demonstrativo de resultados à produção dos produtos de tomate seco de 3,1 kg e de 300 g de peso líquido. As margens de contribuição por produto foram de R\$ 27,00 para o produto de 3,1 kg de peso líquido e R\$ 9,13 para o produto de 300 g de peso líquido, o que referem-se a 45% e 61% de contribuição do produto à empresa, respectivamente. A diferença superior na margem de contribuição para o produto de 300 g de peso líquido foi devido este produto apresentar menor custo variável direto e indireto de produção em relação ao outro.

No entanto, os lucros obtidos com cada produto foram de R\$ 19,51 para o produto de 3,1 kg de peso líquido e R\$ 1,64 para o produto de 300 g de peso líquido, o que corresponde a 49% e 12 % de lucro, respectivamente. Assim, a porcentagem de lucro entre os dois produtos foi superior no produto 3,1 kg de peso líquido do produto, devido o seu custo total de produção ser inferior ao produto de 300 g de peso líquido.

Tabela 17 - Demonstrativo de resultados para os produtos 3,1 kg de peso líquido do produto tomate seco e 300 g de peso líquido do produto tomate seco

|                                 | Tomate seco granel 3,1 kg<br>(R\$) | Tomate seco 300 g<br>(R\$) |
|---------------------------------|------------------------------------|----------------------------|
| Custo variável direto           | 31,31                              | 4,18                       |
| Custo variável indireto         | 1,69                               | 1,69                       |
| Margem de contribuição unitária | 27,00                              | 9,13                       |
| % de contribuição               | 45%                                | 61%                        |
| Custo fixo                      | 7,50                               | 7,50                       |
| Custo total                     | 40,49                              | 13,36                      |
| Preço de venda praticado        | 60,00                              | 15,00                      |
| Lucro por produto               | 19,51                              | 1,64                       |
| % Lucro                         | 48%                                | 12%                        |

A Tabela 18 apresenta a descrição dos resultados da agroindústria a ser implantada. Os resultados obtidos são baseados nas estimativas de venda e sobre os cálculos de custos para os produtos em questão. A receita mensal da empresa baseada em previsões de venda estimada foi de R\$ 15.000,00. A margem de contribuição referente à receita mensal reduzida dos custos variável direto e indireto foi de R\$ 8.180,00 e o ponto de equilíbrio que corresponde a soma dos custos fixos, custos variáveis direto e indireto, e indica onde os custos relacionados à produção equiparam-se aos lucros obtidos pela empresa foi de R\$ 12.066,42. Portanto, a diferença entre a receita e o ponto de equilíbrio indicou que o lucro líquido mensal que foi de R\$ 2.933,58.

Tabela 18 - Descrição dos resultados da agroindústria

| Descrição                     | Valor (R\$) |
|-------------------------------|-------------|
| Receita                       | 15.000,00   |
| (-) Custos variáveis direto   | 5.639,87    |
| (-) Custos variáveis indireto | 1.180,00    |
| (=) Margem de contribuição    | 8.180,00    |
| (-) Custos fixos              | 5.246,56    |
| (=) Resultado operacional     | 2.933,58    |
| Ponto de equilíbrio           | 12.066,42   |
| Resultado líquido             | 2.933,58    |

#### 4.9.6 Projeção de receitas e despesas

A Figura 26 representa as projeções de receitas para o período de 15 anos. As receitas foram baseadas nas estimativas de venda dos produtos.

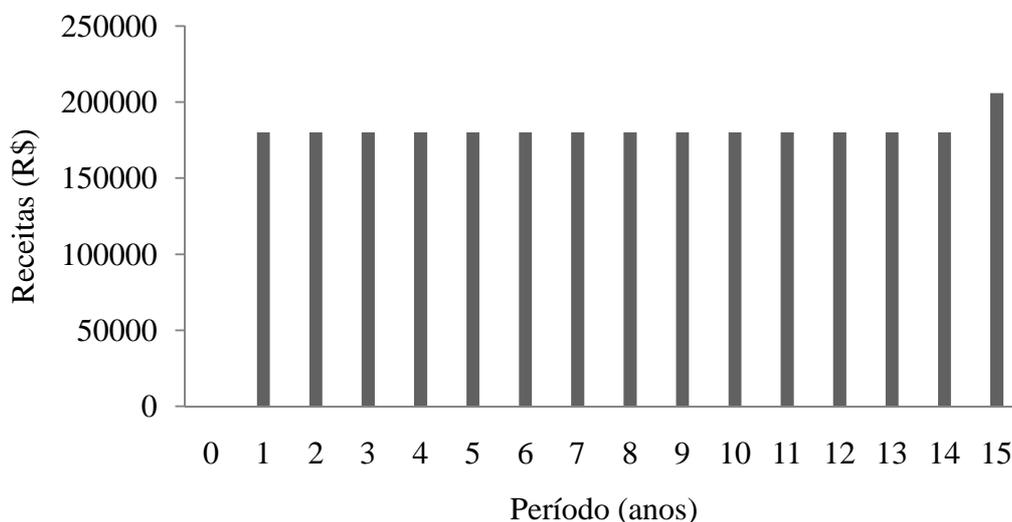


Figura 26 – Projeção das entradas para cada período de ano em 15 anos.

Para o período 0 foi observado valor igual a zero, pois nessa primeira etapa ainda estão sendo implantadas as ações para a instalação da empresa, licenças, aquisição de equipamentos, entre outros. Dessa forma, não haveria criação de receitas. A estimativa feita para os anos seguintes levaram em consideração a receita prevista com as vendas durante o ano, sendo igual a receita mensal vezes doze meses do ano. As receitas anuais do período 1 ao 15 foi de R\$180.000,00. No período 15 foi acrescido o valor investido de R\$ 24.660,00, pois considerasse o capital adquirido.

A Figura 27 representa as projeções de saídas para o período de 15 anos. As saídas foram baseadas no custo total (custos variáveis direto e indireto e custos fixos) da empresa. Para o período 0 foi observado o valor R\$ 24.660,00 referente ao investimento inicial a ser realizado. As saídas anuais do período 1 ao 15 foi de R\$ 144.797,09.

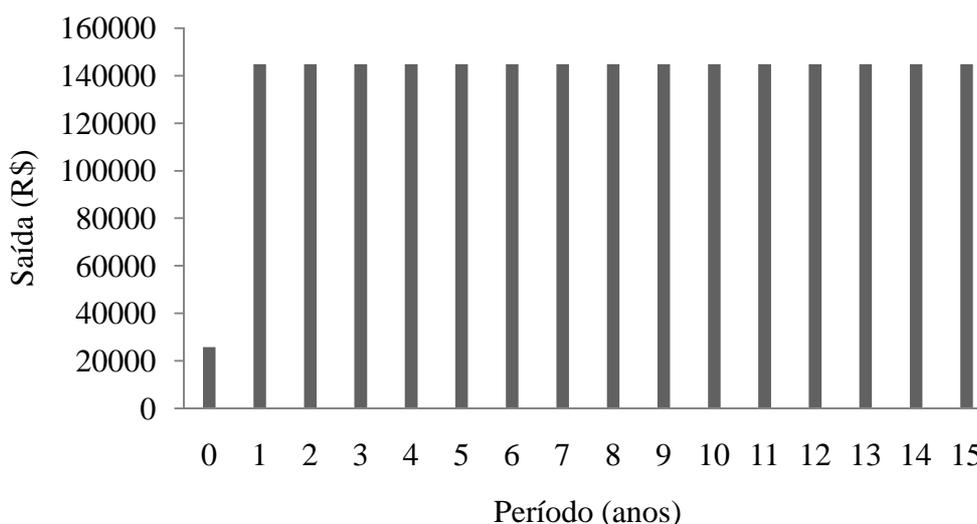


Figura 27 – Projeção das saídas para cada período de ano em 15 anos.

A Figura 27 representa o fluxo de caixa para o período de 15 anos. O valor de fluxo de caixa negativo de R\$ -25.840,00 no ano zero é correspondente ao investimento inicial para a implantação da empresa. O valor é negativo, pois no ano zero não se tem produtos saindo da empresa e, portanto, a geração de entradas é igual a zero. A partir do período de anos 1 ao 15 o fluxo de caixa, que corresponde a receitas menos as saídas, foi de R\$ 35.202,91. No último período são acrescidos o valor do investimento, dito como capital.

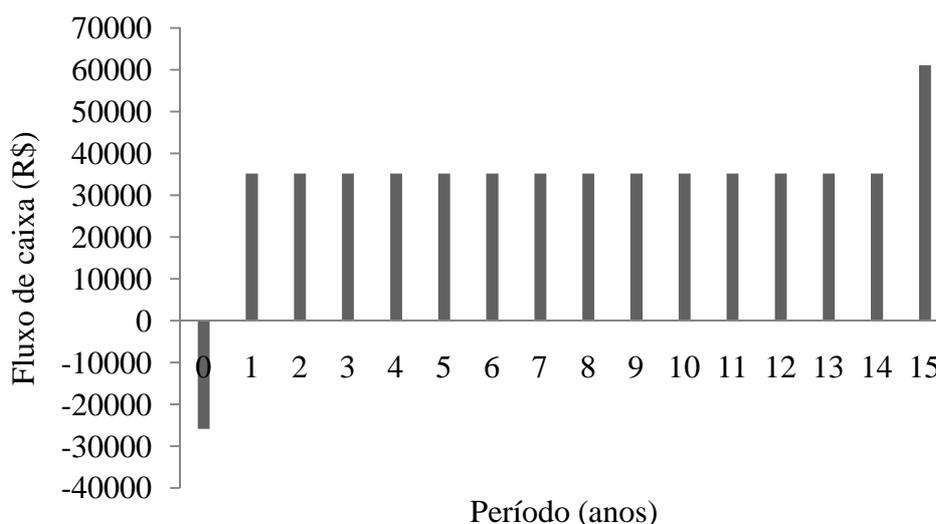


Figura 28 – Fluxo de caixa para cada período de ano em 15 anos.

O valor presente líquido, que indica se a empresa é ou não economicamente viável é obtido através dos valores totais de entrada e saída, juntamente com o fluxo de caixa durante o período de 15 anos. O valor presente líquido, que é igual à diferença entre o valor presente líquido das entradas e o valor presente líquido das saídas foi de R\$ 352.681,54. A relação custo benefício que é igual a razão entre valor presente líquido das entradas e o valor presente líquido das saídas obtida foi de 1,25. Ou seja, para cada R\$ 1,00 investido, obtém-se R\$ 0,25 de lucro ou, 25%. A Taxa Interna de retorno que corresponde a taxa de juros para a qual o valor presente das receitas torna-se igual aos investimentos iniciais referente a um projeto foi de 136% (1,36). Portanto, a empresa é viável economicamente, pois apresentou valor presente líquido e taxa interna de retorno maior do que 0 e índice custo benefício maior do que 1.

Hense et al. (2007), observaram em estudo sobre os cenários econômicos para uma agroindústria de tomates secos que os indicadores econômicos como VPL (Valor Presente Líquido), *pay back* e TIRm (Taxa Interna de Retorno modificada) indicaram o cenário otimista com o melhor desempenho, apresentando o retorno do capital investido em 3 anos, considerando o financiamento de 50% do projeto. Durante as simulações apresentadas verificou-se que quanto maior o financiamento dos investimentos mais rápido será o retorno financeiro do projeto, isto se deve a taxa de rentabilidade do projeto, que é superior

à Taxa Mínima de Atratividade do mercado (TMA). Além disso, os autores verificaram que o projeto é viável economicamente em todos os cenários apresentados.

Santos (2009) em estudo sobre a viabilidade econômica da implantação de uma agroindústria para processamento de tomates secos no Distrito Federal, utilizando dois secadores elétricos com aquecimento a gás, com custo unitário do equipamento avaliado em R\$ 6.000,00, verificaram que para as condições técnicas e pela estrutura de implantação proposta, o projeto não deve ser aceito para o investimento, pois embora seja verificada uma taxa de retorno adicional a cada ano evidenciada pela TIR de 0,021% no cenário otimista, este não é suficiente para o retorno do investimento inicial. Além disso, o estudo sugere que para a aplicação de projetos semelhantes, sejam encontradas oportunidades melhores de mercado, para barganhar preço de venda superior ou a diversificação de produtos para a diminuição dos custos fixos do empreendimento seria necessário.

## 5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

### 5.1 CONCLUSÕES

Nas condições em que o trabalho foi realizado, conclui-se que:

Verificou-se que os tomates secos no secador convectivo, em escala laboratorial, apresentaram menor tempo de secagem do que as secas em estufa com circulação forçada de ar. Além disso, o tempo de secagem dos tomates em fatias foi inferior do que os tomates cortados em quatro partes. O aumento da temperatura de 40 para 60 °C reduziu o tempo de secagem em ambos os secadores.

O modelo de secagem utilizado apresentou um ajuste satisfatório dos dados experimentais ( $R^2 > 0,9897$ ), mostrando que aplicar modelos globais na cinética é uma alternativa para prever os perfis de secagem a temperaturas diferentes daqueles utilizados durante a estimativa de parâmetros.

A difusividade efetiva para tomates cortados em quatro partes foram maiores do que para os tomates cortados em fatias em ambos os métodos de secagem. O aumento da temperatura de 40 para 60 °C aumentou os valores de difusividade efetiva em ambos os secadores. Na secagem em secador convectivo verificou-se valores de difusividade efetiva maior que na secagem em estufa, o que indica maior velocidade de retirada de água do produto.

A capacidade de reidratação das amostras de tomates cortadas em quatro partes e em fatias não sofreram efeito significativo da temperatura utilizada em ambos os métodos de secagem. Porém, nas temperaturas de 50 e 60 °C as amostras cortadas em quatro partes apresentaram capacidade de reidratação significativamente maiores quando secas em secador convectivo, indicando ser os tratamentos que apresentam menor colapso estrutural do produto.

As amostras de tomate cortadas em quatro partes e secas na temperatura de 40 e 50 °C, e em fatias secas na temperatura de 40 °C em estufa com circulação de ar forçado, apresentaram escurecimento. O escurecimento das amostras foi influenciado pelo tempo de secagem o que podem ter acarretado em reações de oxidação e atuação de enzimas

polifenoxidase e peroxidase. As amostras cortadas em quatro partes e em fatias secas em secador piloto não apresentaram escurecimento significativo.

As amostras apresentaram tendência de intensificação do índice de saturação de vermelho com o aumento da temperatura utilizada para ambos os sistemas de secagem. Embora a intensificação ser maior para as amostras secas em secador convectivo em escala laboratorial.

As menores razões de textura obtidas foram em secador piloto, em ambos os cortes, porém não foi significativamente diferente das amostras secas em estufa. O efeito da temperatura utilizado somente foi observado ser significativamente diferente no tratamento em estufa a 60 °C nas amostras de tomate cortadas em fatias. O efeito do tipo de secagem na textura das amostras de tomate cortadas em quatro partes e em fatias não foi significativo em ambos os métodos de secagem

Os teores de licopeno das amostras de tomate cortadas em quatro partes, secas em estufa, e em fatias, secas em ambos métodos de secagem, sofreram influência significativa com o aumento da temperatura de secagem de 40 a 60 °C, sendo verificado maiores valores nas maiores temperaturas de secagem. Os teores de licopeno das amostras de tomate cortadas em quatro partes não sofreram influência das temperaturas estudadas. Os tomates cortados em fatias e secos em estufa apresentaram menores valores de licopeno.

A melhor qualidade de produto foi obtida nas amostras de tomates secos em secador convectivo piloto em tempos de secagem menores que os secos em estufa com circulação de ar.

O Valor Presente Líquido foi de R\$ 352.681,54 e a relação custo benefício obtida foi de 1,25. A cada R\$ 1,00 investido apresenta-se R\$ 0,25 de lucro ou, 25%. A taxa interna de retorno de 136% (0,36). Do ponto de vista do produto, utilizando resultados prévios de secagem otimizada, orçamentos de matérias-primas e materiais utilizados para a implementação da agroindústria e confrontando com as projeções de vendas e situação econômica atual do tomate seco, foi possível concluir que a empresa é viável, pois apresentou valor presente líquido e taxa interna de retorno maior do que 0 e índice custo benefício maior do que 1.

## 5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHO FUTUROS

A partir das conclusões obtidas, juntamente com observações constatadas durante o desenvolvimento deste trabalho, pode-se citar as seguintes sugestões para trabalhos futuros nesta área:

- Realizar o tratamento osmótico prévio a secagem, a fim da redução do tempo de secagem;
- Aumentar a escala de produção do secador convectivo piloto utilizando bandejas;
- Estudar os efeitos do uso de temperaturas mais altas para redução do tempo de secagem e avaliação da manutenção da qualidade físico-química e nutricional;
- Trocar fonte de aquecimento elétrica do secador convectivo por uma de menos onerosa, a fim de reduzir os custos de produção do tomate.
- Investigar a secagem de outras variedades, a fim de criar padrões de qualidade das características físicas e químicas e nutricionais.
- Estudar o uso de embalagem, visando manter a qualidade durante determinado período.
- Realizar estudos similares para outras frutas e hortaliças de interesse comercial.
- Realizar análise sensorial do produto.
- Realizar análise microbiológica do produto.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHRNE, L.; PROTHON, F.; FUNEBO, T. Comparison of drying kinetics and texture effects of two calcium pretreatments before microwave-assisted dehydration of apple and potato. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 38, p. 411 - 420, 2003.

AKANBI, C. T.; ADEYEMI, R. S.; OJO, A. Drying characteristics and sorption isotherm of tomato slices. **Journal of Food Engineering**, v. 73, p. 141 - 146, 2006.

ALVARENGA, M. A. R. **Tomate**: produção em campo, casa-de-vegetação e em hidroponia. Lavras: UFLA. 2004, 400 p.

ALVES, S. M.; SILVEIRA, A. M. Estudo da secagem de tomates desidratados e não desidratados osmoticamente, **Revista Universidade Rural, Série Ciências Exatas e da Terra**, v. 21, p. 21 - 30, 2002.

ARAZURI, S.; JAREN, C.; ARANA, J. I.; PEREZ DE CIRIZA, J. J. Influence of mechanical harvest on the physical properties of processing tomato (*Lycopersicon esculentum Mill.*). **Journal of Food Engineering**, v. 80, p. 190 - 198, 2007.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC. **Official methods of analysis**. 16 ed. Maryland, 1997. 1141 p.

AZZOUZ, S.; GUIZANI, A.; JOMAA, W.; BELGHITH, A. Moisture diffusivity and drying kinetic equation of convective drying of grapes. **Journal of Food Engineering**, v. 55, p. 323 - 330, 2002.

BARBOSA-CÁNOVAS, G.; VEGA-MERCADO, H. **Desidratación de alimentos**. Zaragoza: Editorial Acribia S. A., 2000.

BARBOSA-CÁNOVAS G.V.; IBARZ, A. **Unit Operations in Food Engineering**. Boca Raton, FL: CRC Press, 2003.

BARONI, A. F. **Propriedades mecânicas, termodinâmicas e de estado de tomate submetido à desidratação osmótica e secagem**. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

BARREIRO, J. A.; MILANO, M.; SANDOVAL, A. J. Kinetics of colour change of double concentrated tomato paste during thermal treatment. **Journal of Food Engineering**, v. 33, p. 359 - 371, 1997.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 272, 22 de setembro de 2005. Aprova o regulamento técnico para produtos de vegetais, produtos de frutas e cogumelos comestíveis. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 23 set. 2005.

BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. **Drying and storage of grains and oilseeds**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 450 p.

BRUCE, D. M. Exposed-layer barley drying, three models fitted to new data up to 150 °C. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 32, p. 337 - 347, 1985.

BRUNI, A. L.; FAMÁ, R. **As decisões de investimento**: com aplicações na HP 12C e excel. São Paulo: Atlas, 2003.

CAMARGO, G. A.; QUEIROZ, M. R. **Avaliação de parâmetros químicos de tomates para secagem**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 1999, Pelotas-RS. Anais do Congresso.

CAMARGO, G. A.; QUEIROZ, M. R. Secagem de tomates para conservação: Parâmetros que influenciam a qualidade final. **Workshop tomate na Unicamp: Pesquisa e Perspectivas**. Campinas, São Paulo, 2003.

CAMARGO, G. A.; HAJ-ISA, N.; QUEIROZ, M. R. de. Avaliação da qualidade de tomate seco em conserva. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, p. 521 - 526, 2007.

CARIS-VEYRAT, C.; AMIOT, M. J.; TYSSANDIER, V.; GRASSELLY, D.; BURET, M.; MIKOLAJCZAK, M.; GUILLAND, J.C.; BOUTELOUP-DEMANGE, C.; BOREL, P. Influence of organic versus conventional agricultural practice on the antioxidant microconstituent content of tomatoes and derived purees; consequences on antioxidant plasma status in humans. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v. 52, p. 6503 - 6509, 2004.

CARLESSO, V. O.; BERBERT, P. A.; SILVA, R. F.; VIANA, A. P.; DETMANN, E.; DIONELLO, R. G. Secagem de sementes de maracujá em camada delgada. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 27, p. 444 - 448, 2005.

CARLESSO, V. de O., BERBERT, P. A., DA SILVA, R. F., DETMANN, E. Avaliação de modelos de secagem em camada fina de sementes de maracujá amarelo. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 29, p. 28 - 37, 2007.

CASAROTTO FILHO, N., KOPITTKE, B. H. **Análise de Investimentos**. São Paulo: Atlas, 2000.

CHANG, C. H.; LIN, H.; CHANG, C.; LIU, Y. Comparisons on the antioxidant properties of fresh, freeze-dried and hot-air-dried tomatoes. **Journal of Food Engineering**, v. 77, p. 478 - 485, 2006.

CHIRALT, A.; TALENS, P. Physical and chemical changes induced by osmotic dehydration in plant tissues. **Journal of Food Engineering**, v. 67, p. 167 - 177, 2005.

CRANK, J. **The mathematics of diffusion**. 2 ed. Oxford: Clarendon Press, 1975.

CRUZ, G. A. **Desidratação de alimentos**. 2 ed. São Paulo: Editora Globo, 1990.

DEWANTO, V., WU, X. Z., ADOM, K. K., LIU, R. H. Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, p. 3010 - 3014, 2002.

DICKERSON, Jr., R. W. An Apparatus for the measurement of thermal diffusivity of foods, **Food Technology**, v. 19, p. 880 - 886, 1965.

DORAIS, M.; GOSSELIN, A.; PAPADOPOULOS, A. P. Greenhouse tomato fruit quality. **Horticultural Reviews**, v. 26, p. 239 - 306, 2001.

DOSSA, D.; RODEGHERI, A. J.; HOEFLICH, H.; AFONSO, V. **Aplicativo com análise de rentabilidade para sistemas de produção de florestas cultivadas e de grão**. Paraná: Embrapa, 2000.

DOYMAZ, I. Air-drying characteristics of tomatoes. **Journal of Food Engineering**, v. 78, p. 1291 - 1297, 2007.

ERENTURK, S., GULABOGLU, M. S., GULTEKIN, S. The thin-layer drying characteristics of roseship. **Biosystems Engineering**, v. 89, p. 159 - 166, 2004.

ERTEKIN, C.; YALDIZ, O. Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model. **Journal of Food Engineering**, v. 63, p. 349 - 359, 2004.

EZEIKI, G.O.I.; OTTEN, L. Two-component model for drying unshelled melon (egusi) seeds. **Canadian Agricultural Engineering**, v. 33, p. 73 - 78, 1991.

FAO. FAOSTAT 2010. Disponível em: <<http://faostat.fao.org>>. Acesso em: 15 set 2011.

FARIA, E. V. de; YOTSUYANAGI, K. Técnicas de análise sensorial. Campinas: ITAL, 2002.

FILGUEIRA, F. A. R. **Solanáceas**: agrotecnologia moderna na produção de tomate, batata, pimentão, pimenta, berinjela e jiló. Lavras: UFLA, 2003. 331p.

GARCIA-ALONSO, F. J.; BRAVO, S.; CASAS, J.; PEREZ-CONESA, D.; JACOB, K.; PERIAGO, M. J. Changes in antioxidant compounds during the shelf life of commercial tomato juices in different packaging materials. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 57, p. 6815 - 6822, 2009.

GIOVANELLI, G.; ZANONI, B.; LAVELLI, V.; NANI, R. Water sorption, drying and antioxidant properties of dried tomato products. **Journal of Food Engineering**, v. 52, p. 135 - 141, 2002.

GIOVANNUCCI, E. Tomatoes, tomato-based products, lycopene, and cancer: review of the epidemiologic literature. **Journal of the National Cancer Institute**, v. 91, p. 317 - 31, 1999.

GIRALDO, G.; VÁSQUEZ, R.; MARTÍN-ESPARZA, M. E. CHIRALT, A. Rehydration kinetics and soluble solids leaching of candied mango fruit as affected by sucrose concentration. **Journal of Food Engineering**, v. 77, p. 825 - 834, 2006.

GITMAN, L. **Princípios de administração financeira**. 7 ed. São Paulo: Harbra, 2002.

HENDERSON, S.M.; PABIS, S. Grain drying theory I. Temperature effect on drying coefficient. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 6, p. 169 - 174, 1961.

HENDERSON, S. M. Progress in developing the thin-layer drying equation. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, v.17, p.1167 - 1172, 1974.

HENSE, V.; SILVA, A.; SOARES, G. G.; LUZ, M. L. G. S.; PEREIRARAMIREZ, O.; LUZ, C. A. S.; GOMES, M. C. Estudo de cenários econômicos para uma agroindústria de tomates secos. In: XVI CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA e IX ENCONTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO – ENPOS, 2007. Pelotas, Rio Grande do Sul, 2007.

HEREDIA, A.; BARRERA, C.; ANDRÉS, A. Drying of cherry tomato by a combination of different dehydration techniques. Comparison of kinetics and others related properties. **Journal of Food Engineering**, v. 80, p. 111 - 118, 2007.

HUI, Y. H.; CLARY, C.; FARID, M. M.; FASINA, O. O.; NOOMHORM, A.; WELTI-CHANES, J. **Food drying science and technology: Microbiology, Chemistry, Application**. Lancaster: DEStech Publications, 2008.

INCROPERA, D. F. DEWITT, D. P. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 1992, 380 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Disponível em: [ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao\\_Agricola/Producao\\_Agricola\\_Municipal\\_\[anua\]/2008/](ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Producao_Agricola_Municipal_[anua]/2008/). Acesso em: 15 set. 2011a.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Disponível em: [ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao\\_Agricola/Producao\\_Agricola\\_Municipal\\_\[anua\]/2009/](ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Producao_Agricola_Municipal_[anua]/2009/). Acesso em: 15 set. 2011b.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Disponível em: [http://www.censo2010.ibge.gov.br/dados\\_divulgados/index.php?uf=43](http://www.censo2010.ibge.gov.br/dados_divulgados/index.php?uf=43). Acesso em: 12 jan. 2012.

KRINSKY, N. I. Carotenoids as antioxidants. **Nutrition**, v. 17, p. 815 - 817, 2001.

KROKIDA, M. K.; MARINOS-KOURIS, D. Rehydration kinetics of dehydrated products. **Journal of Food Engineering**, v.57, p. 1 - 7, 2003.

KROKIDA, M. K.; PHILIPPOPOULOS, C. Rehydration of dehydrated foods. **Drying Technology**, v. 23, p. 799 - 830, 2005.

LABUZA, T.; ROE, K.; PAYNE, C.; PANDA, F.; LABUZA, T. J.; LABUZA, P. S.; KRUSCH, L. Storage stability of dry food systems: influence of state changes during drying and storage. **In: 14° International Drying Symposium IDS'2004**. São Paulo: Ourograf Gráfica e Editora, v. A, p. 48 – 68, 2004.

LEITE, J. T. de C.; MURR, F. E. X.; PARK, K. J. Transições de fases em alimentos: influência no processamento e na armazenagem. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 7, p. 83 - 96, 2005.

LEVY, J., BISIN, E., FELDMAN, B., GIAT, Y., MIINSTER, A., DANILENKO, M., SHARONI, Y. Lycopene is a more potent inhibitor of human cancer cell proliferation than either a-carotene or b-carotene. **Nutrition and Cancer**, v. 24, p. 257 - 266, 1995.

LEWICKI, P. P.; LE, H. V.; POMARAŃSKA-Ł AZUKA, W. Effect of pre-treatment on convective drying of tomatoes. **Journal of Food Engineering**, v. 54, p. 141 - 146, 2002.

LEWICKI, P. P., Design of hot air drying for better foods. **Trends Food Science Technology**, v. 20, p. 1 - 11, 2005.

LEWIS, L. W. The rate of drying of solid materials. **Industrial Engineering Chemistry**, v. 13, p. 427, 1921.

LIN, C. H.; CHEN, B. H. Stability of carotenoids in tomato juice during storage. **Food Chemistry**, v. 90, p. 837 - 846, 2005.

MACHADO, A. Q.; ALVARENGA, M. A. R.; FLORENTINO, C. E. T. Produção de tomate italiano (saladete) sob diferentes densidades de plantio e sistemas de poda visando ao consumo *in natura*. **Horticultura Brasileira**, v. 25, p. 149 - 153, 2007.

MADAMBA, P. S.; DRISCOLL, R. H.; BUCKLE, K. A. The thin layer drying characteristics of garlic slices. **Journal of Food Engineering**, v. 29, p.75 - 97, 1996.

MARFIL, P. H. M.; SANTOS, E. M.; TELIS, V. R. N. Ascorbic acid degradation kinetics in tomatoes at different drying conditions. **Food Science and Technology**, v. 41, p. 1642 - 1647, 2008.

MEILGAARD, M; CIVILLE, G. V., CARR, B. T. **Sensory evaluation techniques**. 3 ed. New York, Ed., 1991.

MELO, P. C. T. Desenvolvimento sustentável da cadeia produtiva do tomate para consumo *in naturee* no Brasil e os desafios do melhoramento genético. **Horticultura Brasileira**, v. 21, p. 120 - 127, 2003.

MELONI, P. L. S. **Desidratação de frutas e hortaliças**. In: 10<sup>a</sup> Semana Internacional da Fruticultura, Floricultura e Agroindústria. Fortaleza, Ceará, 2003.

MENGES, H. O., ERTEKIN, C. Mathematical modeling of thin layer drying of golden apples. **Journal Food Engineering**, v. 77, p. 119 - 25, 2006.

MIDILLI, A., KUCUK, H., YAPAR, Z. A. New model for single-layer drying. **Drying Technology**, v. 20, p. 1503 - 1513, 2002.

MONTEIRO, C. S.; BALBI, M. E.; MIGUEL, O. G.; PENTEADO, P. T. P da S.; HARACEMIV, S. M. C. Qualidade nutricional e antioxidante do tomate “tipo italiano”. **Alimentos e Nutrição**, v.19, p. 25 - 31, 2008.

MORETTI, C. L. Manual de processamento mínimo de frutas e hortaliças. Disponível em: <[www.feagri.unicamp.br/tomates/pdfs/pal05.pdf](http://www.feagri.unicamp.br/tomates/pdfs/pal05.pdf)>. Acesso em: 18 ago. 2011.

MOVAGHARNEJAD, K.; NIKZAD, M. Modeling of tomato drying using artificial neural network. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 59, n. 1, p. 78 - 85, 2007.

MURARI, R. C. D. L. **Cinética da desidratação osmo-convectiva de tomates**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas – Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, 2001.

MURATORE, G.; RIZZO, V.; LICCIARDELLO, F.; MACCARONE, E. Partial dehydration of cherry tomato at different temperature, and nutritional quality of the products. **Food Chemistry**, v. 111, p. 887 - 891, 2008.

NGUYEN, M., SCHWARTZ, S. J. Lycopene stability during food processing. **Proceeding of Society for Experimental Biology and Medicine**, v. 218, p. 101 - 105, 1998.

NOOMHORM, A.; VERMA, L. R. Generalized single layer rice drying models. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, v. 29, p. 587-591, 1986.

NOGUEIRA, R. I.; WILBERG, V. C.; CORNEJO, F. E. P. Manual para a produção em pequena escala de conserva de tomate desidratado. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Centro Nacional de Pesquisa de Tecnologia Agroindustrial de Alimentos**, v. 52, p. 1-19, 2003.

OLIVEIRA, R. A. **Efeito da secagem de raízes de chicória na obtenção de insulina**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Campinas, 2005.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>>. Acesso em: 20 set. 2011.

PABIS, S., JAYAS, D. S.; CENKOWSKI. **Grain drying: theory and practice**. New York: Jhon Wiley e Sons, Inc. 1998. 303 p.

PAGE, C. **Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layers**. MS Thesis – Purdue University, West Lafayette, 1949.

PEREIRA, I. E.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. Características físico-químicas do tomate em pó durante o armazenamento. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 6, n. 1, p. 83 - 90, 2006.

PINHO, L. P; PAES, M. C. D.; ALMEIDA, A. C.; COSTA, C. A.; GLORIA, M. B. A.; RODRIGUES, R. J. A.; GUILHERME, D. O.; MARTINS, I. S. Composição centesimal e análise físico-química do tomate cereja cultivado em sistema orgânico e convencional. **Horticultura Brasileira**, v. 26, p. 177 - 182, 2008.

PRAKASH, S.; JHA, S. K; DATTA, N. Performance evaluation of blanched carrots dried by three different driers. **Journal of Food Engineering**, v. 62, p. 305-313, 2003.

QUEIROZ, D. M.; PEREIRA, J. A. M., MELO, E. C. **Modelos matemáticos de simulação de secagem de grãos**. Viçosa: Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem, 1995. 59 p.

RAFFO, A.; LEONARDI, C.; FOGLIANO, V.; AMBROSINO, P.; SALUCCI, M.; GENNARO, L.; BUGIANESI, R.; GIUFFRIDA, F.; QUAGLIA, G. Nutritional value of cherry tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Cv. Naomi F1) harvested at different ripening stages. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v. 50, p. 6550 - 6556, 2002.

RAUPP, D. da S.; GARDINGO, J. R.; SCHEBESKI, L. dos S.; AMADEU, C. A.; BORSATO, A. V. Processamento de tomate seco de diferentes cultivares. **Acta Amazonica**, v. 39, p. 415 - 422, 2009.

ROMERO, L.; MIGUEL, M. H.; SPOGIS, N.; KIECKBUSCH, T. G. **Cinética de secagem de tomates em fatias pré-tratadas: resultados preliminares**. In: XXV Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados, v.2, p. 620 - 627, 1997.

ROMERO, L. M. **Estudo de pré-tratamento para obtenção de tomate desidratado em fatias**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de São Paulo, Campinas, 1999.

ROMERO-PEÑA, L. M.; KIECKBUSCH, T. G. Influência de condições de secagem na qualidade de fatias de tomate. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 6, p. 69 - 76, 2003.

ROOS, Y. H. Characterization of food polymers using state diagrams. **Journal of Food Engineering**, v. 24, p. 339 - 360, 1995.

SÁ, M. C.; RODRIGUEZ – AMAYA, D. B. Carotenoid composition of cooked green vegetables from restaurants. **Food Chemistry**, v. 83, p. 595 - 600, 2003.

SACILIK, K. The thin-layer modeling of tomato drying process. **Agriculturae Conspectus Scientificus**, v. 72, p. 343 - 349, 2007.

SADLER, G.; DAVIS, J.; DEZMAN, D. Rapid extraction of lycopene and b-carotene from reconstituted tomato paste and pink grapefruit homogenates. **Journal of Food Science**, v. 55, p. 1460 - 1461, 1990.

SAHLIN, E.; SAVAGE, G. P.; LISTER, C. E. Investigation of the antioxidant properties of tomatoes after processing. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 17, p. 635 - 647, 2004.

SANGUANRI, L.; FOSTER, M.; DREW, P.; GUIRGUIS, N.; GOULD, I. Feasibility studies on Processing tomato waste and dried tomato product. **Food Research Institute**, v. 1, 1993.

SANTOS, E. M. **Secagem de tomates inteiros submetidos a descascamento químico**. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, São José do Rio Preto, 2008.

SANTOS, K. C. A. dos. **Estudo da viabilidade econômica da implantação de uma agroindústria para processamento de tomates secos no Distrito Federal**. Trabalho de conclusão de curso (Agronomia) - Faculdades Integradas Departamento de Agronomia, Planaltina, 2009.

SCHIERLE, J.; BRETZEL, W.; BUHLER, I.; FACCIN, N.; HESS, D.; STEINER, K.; SCHUEP, W. Content and isomeric ratio of lycopene in food and human blood plasma. **Food Chemistry**, v. 59, 459 - 465, 1997.

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS - SEBRAE. Fábrica de tomate seco. Disponível em: <http://www.busca.sebrae.com.br/>. Acesso em: 30 set. 2011.

SHARAF-ELDEEN, O.; BLAISDELL, Y. I.; SPAGNA, G. A model for ear corn drying. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, v. 23, p. 1261- 1271, 1980.

SHARMA, S. K.; LE MAGUER, M. Kinetics of lycopene degradation in tomato pulp solids under different processing and storage conditions. **Food Research International**, v. 29, p. 309 - 315, 1996.

SHERWOOD, T. K. Air drying of solids. **Transactions of the American Institution of Chemical Engineers**, v.32, p.150, 1936.

SHI, J., LE MAGUER, M., WANG, S., LIPTAY, A. Application of osmotic treatment in tomato processing effect of skin treatments on mass transfer in osmotic dehydration of tomatoes. **Food Research International**, v. 30, p. 669 - 674, 1998.

SHI, J., LE MAGUER, M., KAKUDA, Y., LIPTAY, A., NIEKAMP, F. Lycopene degradation and isomerization in tomato dehydration. **Food Research International**, v. 32 p. 15 - 21, 1999.

SHI, J.; LE MAGUER, M. Lycopene in Tomatoes: chemical and physical properties affected by food processing. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 20, p. 293 - 334, 2000.

SHIRAHIGE, F. H.; MELO, A. M. T.; PURQUERIO, L. F. V.; CARVALHO, C. R. L.; MELO, P. C. T. Produtividade e qualidade de tomates Santa Cruz e Italiano em função do raleio de frutos. **Horticultura Brasileira**, v. 28, p. 292 - 298, 2010.

SIMMONDS, M. A.; WARD, G. T. MCEWEN, E. The drying of wheatgrain – Part I: the mechanism of drying. **Transactions of the Institution of Chemical Engineers**, v. 31, p. 265 - 278, 1953.

SOGI, D. S.; SHIVHARE, U. S.; GARG, S. K.; BAWA, A. S. Water sorption isotherm and drying characteristics of tomato seeds. **Biosystems Engineering**, v. 84, p. 297 - 301, 2003.

TAVARES, C. A.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Carotenoid composition of Brazilian tomatoes and tomato products. **Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie**, v. 27, p. 219 - 224, 1994.

TELIS, V. R. N.; SOBRAL, P. J. A. Glass transitions for freeze-dried and air-dried tomato. **Food Research International**, v. 35, p. 435 - 443, 2002.

TOGRUL, L. T.; PEHLIVAN, D. Mathematical modeling of solar drying of apricots in thin layers. **Journal of Food Engineering**, v. 55, p. 209 - 216, 2002.

TONON, R. V. **Influência das variáveis de processo sobre a cinética de desidratação osmótica de tomate em soluções ternárias de cloreto de sódio e sacarose**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

TONON, R. V.; BARONI, A. F.; HUBINGER, M. D. Estudo da Desidratação Osmótica de Tomate em Soluções Ternárias pela Metodologia de Superfície de Resposta. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, p.715 - 723, 2006.

TOOR, R. K.; SAVAGE, G. P. Effect of semi-drying on the antioxidant components of tomatoes. **Food Chemistry**, v. 94, p. 90 - 97, 2006.

TREYBAL, R.E. **Mass Transfer Operations**, 3 ed. New York: Mc Graw Hill, 1987.

VARADHARAJU, N., KARUNANIDHI, C., KAILAPPAN, R. Coffee cherry drying: A two-layer model. **Drying Technology**, v. 19, p. 709 - 715, 2001.

VELIC, D.; PLANINIC, M.; TOMAS, S.; BILIC, M. Influence of air flow velocity on kinetics of convection apple drying. **Journal of Food Engineering**, v. 64, p. 97 - 102, 2004.

VENSKE, C.; SANTOS, J. do; RAUPP, D. S.; GARDINGO, J. R.; BORSATO, A. V. Influência do grau da maturação nas características sensoriais de tomate seco envasado em óleo. **Revista Ciências Exatas da Terra**, v. 10, p. 33 - 40, 2004.

VERAS, L. L. **Matemática financeira**: uso de calculadoras financeiras, aplicações ao mercado financeiro, introdução à engenharia econômica, 300 exercícios resolvidos e propostos com respostas. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2001.

ZANONI, B.; PERI, C.; NANI, R.; LAVELLI, V. Oxidative heat damage of tomato halves as affected by drying. **Food Research International**, v. 31, p. 395 - 401, 1998.

ZECHMEISTER, L.; LEROSSEN, A. L.; SCHROEDER, W. A.; POLGAR, A.; PAULING, L. Spectral characteristics and configuration of some stereo isomeric carotenoids including prolycopene and pro- $\beta$ -carotene. **Journal of the American Chemical Society**. v. 65, p. 1940 - 1941, 1943.

WANG, Z.; SUN, J.; LIAO, X.; CHEN, F.; ZHAO, G.; WU, J. Mathematical modeling on hot air drying of thin layer apple pomace. **Food Research International**, v. 40, p. 39 - 46, 2007.

WHITE, G. M.; ROSS, I. J.; PONELETT, R. Fully exposed drying of popcorn. **Trans ASAE**, v. 24, p. 466 - 468, 1981.

WILLCOX, J. K.; CATIGNANI, G. L.; LAZARUS, S. Tomatoes and cardiovascular health. **Critical Reviews in Food Science Nutrition**, v. 43, p. 1 - 18, 2003.

YALDIZ, O.; ERTEKIN, C.; UZUM, H. I. Mathematical modeling of thin layer solar drying of Sultana grapes. **Energy**, v. 26, p. 457 - 65, 2001.