

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE DESIDRATAÇÃO OSMO-CONVECTIVA PARA  
PRODUÇÃO DE TOMATE SECO**

**GRAZIELA BRAGUETO**

**CASCADEL – PR  
JUNHO - 2013**

**GRAZIELA BRAGUETO**

**OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE DESIDRATAÇÃO OSMO-CONVECTIVA PARA  
PRODUÇÃO DE TOMATE SECO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração: Sistemas Biológicos e Agroindustriais.

**Orientadora:** Dra. Silvia Renata Machado Coelho

**CASCADEL – PR  
JUNHO – 2013**

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)**  
**Biblioteca Central do Campus de Cascavel – Unioeste**  
**Ficha catalográfica elaborada por Jeanine da Silva Barros CRB-9/1362<sup>1</sup>**

B798o Bragueto, Graziela  
Otimização do processo de desidratação osmo-convectiva para  
produção de tomate seco. / Graziela Bragueto — Cascavel, PR:  
UNIOESTE, 2013.  
58 f. ; 30 cm.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Silvia Renata Machado Coelho  
Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do  
Paraná.  
Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia Agrícola,  
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas.  
Bibliografia.

1. *Lycopersicon esculentum Mill.* 2. Tomate seco (Produção). I.  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná. II. Título.

CDD 21. ed. 635.642

---

<sup>1</sup> Revisor de Normas, Língua Portuguesa e Língua Inglesa: Professor Ms. José Carlos da Costa, em 30 de julho de 2013.

**GRAZIELA BRAGUETO**

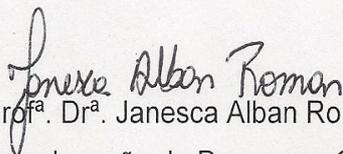
"Otimização do processo de desidratação osmo-convectiva para produção de tomate seco"

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação "*Stricto Sensu*" em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração Sistemas Biológicos e Agroindustriais, **aprovada** pela seguinte banca examinadora:



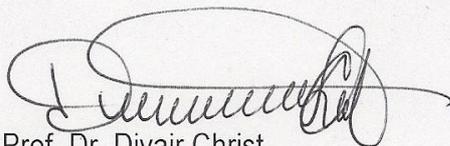
Orientadora: Prof.ª. Dr.ª. Sílvia Renata Machado Coelho

Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE



Prof.ª. Dr.ª. Janesca Alban Roman

Coordenação de Processos Químicos, UTFPR



Prof. Dr. Divair Christ

Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE

Cascavel, 17 de junho de 2013.

## BIOGRAFIA

GRAZIELA BRAGUETO, filha de Israel Bragueto e Maria Cleunice Goldin Bragueto, nasceu no dia 26 de Setembro de 1984, na cidade Cianorte no norte do Paraná.

Em dezembro de 2007, concluiu a graduação em Nutrição pela Faculdade Assis Gurgacz em Cascavel – PR.

Em outubro de 2011, concluiu a pós-graduação “*Lato Sensu*” em Gestão de Unidade de Alimentação e Nutrição com ênfase em Gastronomia pela Faculdade Assis Gurgacz em Cascavel – PR.

No período de 2009 até 2010, trabalhou no programa Universidade sem fronteiras com um grupo de produtores de tomate no desenvolvimento de novos produtos no município de Braganey –PR.

No período de 2011 até 2012, trabalhou no projeto de inovação tecnológica industrial do SESI/SENAI Cascavel, com desenvolvimento de um picolé enriquecido com flavonóides para crianças em parceria com a indústria Oficina do sorvete de Foz do Iguaçu – PR.

Em Março de 2011, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, nível mestrado, na área de Engenharia de Sistemas Biológicos Agroindustriais, na linha de pesquisa da Pós-colheita.

## **Momentos na Vida**

“[...] A felicidade aparece para aqueles  
Que choram.  
Para aqueles que se machucam.  
Para aqueles que buscam e tentam sempre.  
E para aqueles que reconhecem a importância das  
Pessoas que passam por suas vidas [...]”.

Clarice Lispector

A meu pai **Israel** e a minha mãe **Maria Cleunice**,  
pelo amor e apoio em todos os momentos.

Aos meus irmãos Flávio e Denise.

Aos meus cunhados Eliane e Ramiro.

A minha sobrinha Maria Helena.

Ao meu amor Luciano.

***Dedico esta etapa da minha vida.***

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por me mostrar à luz nos momentos difíceis da minha vida e por colocar no meu caminho pessoas maravilhosas, mostrando-me que nada acontece por acaso.

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade do aprimoramento acadêmico.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de mestrado.

À Professora Dra. Silvia Renata Machado Coelho, pela orientação, confiança, paciência e amizade durante a realização deste trabalho.

Ao Professor Dr. Divair Christ, pelo auxílio nas análises estatísticas e contribuições neste trabalho.

Aos membros da banca de qualificação e defesa, Dra. Luciana Bill Mikito Kottwitz e Dra. Janesca Alban Roman, pelas valiosas sugestões e correções que muito contribuíram para o enriquecimento deste trabalho.

Aos professores do programa da pós-graduação que contribuíram para ampliação dos meus conhecimentos científicos.

A todos meus amigos do curso de pós, pelas conversas, longas horas de estudos (estatística) e por tornarem esses dois anos mais divertidos.

À bolsista Andressa Caldart Pereira, pelo importante auxílio durante a etapa experimental.

À minha amiga Elizana Lorenzetti Treib, pelo auxílio na embalagem dos tomates secos a vácuo.

Aos colegas do grupo de pesquisa do Laboratório de Controle de Qualidade de Produtos Agrícolas.

Aos produtores de tomate de Braganey, José Donizete Bini e Edson Fogassa, pela disponibilidade da matéria-prima essencial para este trabalho: o “tomate”.

À minha família, pelo apoio, carinho e segurança que sempre me transmitiu.

A meu noivo Luciano, pelo amor, carinho, compreensão e apoio sempre.

A todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

MUITO OBRIGADA!!!

# OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE DESIDRATAÇÃO OSMO-CONVECTIVA PARA PRODUÇÃO DE TOMATE SECO

## RESUMO

O tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) é uma hortaliça amplamente cultivada e consumida em mundo todo. As plantações de tomate destinam-se à indústria de processamento e ao mercado *in natura*. O consumo crescente desse produto pode estar relacionado ao fato de ser um alimento versátil com alto valor nutricional, podendo ser consumido *in natura* ou processado. Por essas razões, foi estabelecido como objetivo desta pesquisa avaliar o processamento do tomate seco, utilizando o planejamento experimental, para obter as melhores condições e analisar o armazenamento por sessenta dias, visando um produto com qualidade. Foram utilizados tomates rasteiros da variedade Ap, em estágio maduro, higienizados e cortados em duas partes sem sementes. Após, imersos em solução osmótica elaborada com cloreto de sódio (0 a 10%) e sacarose (3,96 a 46%) por um tempo de 12,8 a 267,8 minutos. Em seguida, os tomates foram distribuídos em bandejas e colocados no secador com temperaturas de 56,6 a 73,4 °C até atingir a umidade visual adequada. Foram realizados 17 ensaios, de acordo com o delineamento composto central rotacional 2<sup>3</sup>, que avaliou o efeito de três fatores no processamento: concentração da solução osmótica, tempo de imersão e temperatura de secagem. Após, foram analisados os parâmetros de qualidade cor e teor de licopeno, sendo definidas as melhores condições de processamento optando-se pelos valores máximos de licopeno e chroma e menores valores de luminosidade e hue, pelo método de otimização. A partir das condições ótimas, foi realizado um novo processamento do tomate seco, o qual foi armazenado em dois tipos de embalagem por sessenta dias e analisado os parâmetros de umidade, cor, licopeno e vitamina C. Na cinética de secagem do tomate, observou-se que a concentração da solução osmótica teve influência significativa na perda de umidade com a redução do tempo de secagem. Dentre os fatores avaliados, a concentração da solução osmótica e a temperatura de secagem, tiveram efeito significativo somente nos parâmetros de cor luminosidade, índice de croma e ângulo de cor. No parâmetro licopeno, a concentração da solução osmótica teve efeito significativo. A otimização simultânea das respostas permitiu obter as condições ótimas para o processamento do tomate seco. O processo apresentou desejabilidade global de 62,43%, sendo os níveis dos fatores definidos na seguinte condição: concentração da solução osmótica de 15,5%, tempo de imersão de 12,8 minutos e a temperatura de secagem de 67 °C. Nestas condições foi possível obter tomate seco com o teor de umidade de 10,68%, luminosidade de 31,80, índice de croma de 33,20, ângulo de cor de 35,31, teores de licopeno e vitamina C de 144,80 ug/g e 4,19 mg/100g, respectivamente. O tomate seco armazenado por sessenta dias em embalagem com ar e a vácuo, não apresentou alterações significativas no teor de umidade e vitamina C. Em contrapartida, o licopeno apresentou diminuição durante o armazenamento, acarretando a perda da intensidade e mudança de cor constatada pela diminuição da coordenada C\* e aumento do h\*. Além disso, observou-se redução no parâmetro L\*, indicando o escurecimento do tomate seco. Portanto, foi possível obter tomate seco com qualidade.

Palavras-chave: *Lycopersicon esculentum* Mill; cor; licopeno; qualidade; solução osmótica.

# OPTIMIZATION OF THE PROCESS OF DEHYDRATION OSMO-CONVECTIVE FOR PRODUCTION OF DRY TOMATO

## ABSTRACT

The tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) is a vegetable widely cultivated and consumed worldwide. Plantations of tomatoes intended for processing industry and fresh market. The increasing consumption of tomato can be related to be a versatile food with high nutritional value and can be eaten fresh or processed. Therefore, the aim of this research was to evaluate the processing of dried tomatoes using experimental design to obtain the best conditions and analyze the storage for sixty days seeking a quality product. We used tomato kepper variety of Revelation, in the mature stage, cleaned and cut into two pieces without seeds. After immersed in a solution prepared osmotic with sodium chloride (0 to 10%) and sucrose (3.96 to 46%) for a time from 12.8 to 267.8 minutes. Then, the tomatoes were spread on trays and placed into the dryer at temperatures from 56.6 to 73.4 °C until the moisture adequate visual. There were 17 trials, according to the central composite rotational design 23, which evaluated the effect of three factors in processing: concentration of the osmotic solution, immersion time and drying temperature. After analyzed the quality parameters color and lycopene content, and defined the optimum processing conditions to obtain the maximum, through optimization. From the optimum conditions was carried out further processing the dried tomato, which was stored in two types of packaging for sixty days and analyzed parameters of moisture, color, lycopene and vitamin C. In the drying kinetics of tomato, it was observed that the concentration of the osmotic solution had a significant influence on the moisture loss by reducing the drying time. Among the factors evaluated, the osmotic solution concentration and drying temperature had a significant effect only in the color parameters lightness, chroma index and hue angle. In parameter lycopene, the osmotic solution concentration had a significant effect. The simultaneous optimization of the responses yielded the optimum conditions for processing the dried tomatoes. The process presented overall desirability of 62.43%, and the levels of the factors set out in the following condition: the osmotic solution concentration of 15.5%, soaking time of 12.8 minutes and the drying temperature of 67 ° C. Under these conditions it was possible to obtain dried tomatoes with moisture content of 10.68%, 31.80 brightness, chroma index of 33.20, hue angle of 35.31, lycopene and vitamin C from 144.80 ug / g 4.19 mg/100 g respectively. The dried tomatoes stored for sixty days with air and vacuum packaging, no significant changes in moisture content and vitamin C. In contrast, lycopene has decreased during storage, resulting in loss of intensity and color change detected by the coordinate decrease and increase of  $C^* h^*$ . In addition, there was a reduction in the parameter  $L^*$ , indicating the darkening of sun-dried tomatoes. Therefore, it was possible to obtain dried tomato quality.

Keywords: *Lycopersicon esculentum* Mill; color; lycopene; quality; osmotic solution.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>x</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>xi</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>3</b>
2.1 Geral .....	3
2.2 Específicos .....	3
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>4</b>
3.1 Cultivo do tomate .....	4
3.2 Qualidade nutricional do tomate .....	6
3.2.1 Carotenóides .....	8
3.2.2 Licopeno.....	9
3.2.3 Vitamina C.....	11
3.3 Cor como parâmetro de qualidade .....	11
3.4 Desidratação osmótica .....	13
3.5 Processo de secagem .....	16
3.5.1 Secagem osmo-convectiva.....	17
3.6 Planejamento experimental .....	18
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>19</b>
4.1 Processamento do tomate.....	19
4.1.1 Matéria-prima .....	20
4.1.2 Desidratação osmótica .....	20
4.1.3 Secagem convectiva .....	21
4.2 Planejamento experimental .....	22
4.3 Análises de qualidade .....	23
4.3.1 Cor .....	24
4.3.2 Licopeno.....	24
4.4 Otimização do processamento do tomate seco .....	25
4.5 Armazenamento do tomate seco .....	26
4.6 Análise de qualidade do tomate seco armazenado.....	26
4.6.1 Umidade.....	26

4.6.2	Determinação de vitamina C .....	27
4.7	Análise estatística .....	28
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>29</b>
5.1	Caracterização da matéria-prima.....	29
5.2	Processamento do tomate.....	30
5.3	Análise dos efeitos dos tratamentos sobre o parâmetro cor .....	32
5.4	Análise dos efeitos dos tratamentos sobre o parâmetro licopeno .....	40
5.5	Otimização do processamento do tomate seco .....	43
5.6	Qualidade do tomate seco armazenado .....	44
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>48</b>
<b>7</b>	<b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>49</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>50</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b>	Composição do fruto de tomate <i>in natura</i> em 100 gramas .....	8
<b>Tabela 2</b>	Composição da solução osmótica.....	21
<b>Tabela 3</b>	Níveis dos fatores e seus respectivos valores.....	23
<b>Tabela 4</b>	Matriz do planejamento fatorial DCCR 2 <sup>3</sup> com os níveis codificados e os valores reais entre parênteses .....	23
<b>Tabela 5</b>	Médias dos dados experimentais de luminosidade (L*), índice de croma (C*), ângulo de coloração (h*) e determinação do teor de licopeno do tomate <i>in natura</i> .....	29
<b>Tabela 6</b>	Médias dos dados experimentais de luminosidade (L*), índice de croma (C*) e ângulo de coloração (h*) dos tomates secos obtidos nas diferentes condições experimentais.....	33
<b>Tabela 7</b>	Efeitos principais do delineamento composto central rotacional 2 <sup>3</sup> para o parâmetro luminosidade do tomate seco.....	35
<b>Tabela 8</b>	Resumo da análise de variância do modelo para o parâmetro luminosidade (L*) do tomate seco.....	35
<b>Tabela 9</b>	Efeitos principais do delineamento composto central rotacional 2 <sup>3</sup> para o parâmetro índice de croma (C*) do tomate seco .....	36
<b>Tabela 10</b>	Resumo da análise de variância do modelo para o parâmetro índice de croma (C*) do tomate seco .....	37
<b>Tabela 11</b>	Efeitos principais do delineamento composto central rotacional 2 <sup>3</sup> para o parâmetro ângulo de coloração (h*) do tomate seco .....	38
<b>Tabela 12</b>	Resumo da análise de variância do modelo para o parâmetro ângulo de coloração (h*) do tomate seco .....	39
<b>Tabela 13</b>	Médias dos dados experimentais de licopeno (ug/g) dos tomates secos obtidos nas diferentes condições experimentais .....	40
<b>Tabela 14</b>	Efeitos principais do delineamento composto central rotacional 2 <sup>3</sup> para o parâmetro licopeno do tomate seco .....	41
<b>Tabela 15</b>	Resumo da análise de variância do modelo para o parâmetro licopeno do tomate seco .....	42
<b>Tabela 16</b>	Valores codificados e reais para os fatores do processamento do tomate seco resultantes da otimização global do processo.....	43
<b>Tabela 17</b>	Teor de umidade dos tomates secos armazenados durante o período de 60 dias em dois tipos de embalagens .....	45
<b>Tabela 18</b>	Teor de licopeno e vitamina C dos tomates secos armazenados durante o período de 60 dias em dois tipos de embalagens .....	47

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Produção mundial de tomate em 2011.....	5
<b>Figura 2</b>	Estrutura química do licopeno.....	9
<b>Figura 3</b>	Esquema para medição das cores pelo CIELAB 1976: L* (branco-preto), a* (verde-vermelho) e b* (azul-amarelo). ....	12
<b>Figura 4</b>	Geometria do modelo de cor CIELAB 1976: L* (claro-escuro), H* (ângulo de coloração), C* (índice de croma), a* (verde-vermelha) e b* (azul-amarelo)...	12
<b>Figura 5</b>	Fluxograma do processamento de secagem de tomate com pré-tratamento osmótico. ....	19
<b>Figura 6</b>	Tomate cortado em duas partes sem sementes.....	20
<b>Figura 7</b>	Caixa de polipropileno com a solução.....	21
<b>Figura 8</b>	Tomates imersos na solução. ....	21
<b>Figura 9</b>	Tomates sobre papel toalha.....	22
<b>Figura 10</b>	Tomates distribuídos nas bandejas.....	22
<b>Figura 11</b>	Leitura da cor com colorímetro.....	24
<b>Figura 12</b>	Tomate seco embalado e armazenado, sendo A pacote de polipropileno e B pacote a vácuo.....	26
<b>Figura 13</b>	Curva de secagem da temperatura em relação à concentração da solução osmótica (%), para as temperaturas de: 60 °C (a), 70 °C (b), 65 °C (c; d), 56,6 °C (e) e 73,4 °C (f). ....	31
<b>Figura 14</b>	Aspecto visual dos 17 ensaios de tomate seco, processados conforme planejamento experimental. ....	34
<b>Figura 15</b>	Superfície de resposta para o parâmetro luminosidade, em função dos fatores temperatura de secagem (°C) e solução osmótica (%). ....	36
<b>Figura 16</b>	Superfície de resposta para o parâmetro índice de croma, em função dos fatores temperatura de secagem (°C) e solução osmótica (%). ....	37
<b>Figura 17</b>	Superfície de resposta para o parâmetro ângulo de coloração (h*), em função dos fatores temperatura de secagem (°C) e solução osmótica (%). ....	39
<b>Figura 18</b>	Influência da concentração da solução osmótica (%) no teor de licopeno (ug/g). ....	42
<b>Figura 19</b>	Análise de desejabilidade do processamento de tomate seco, em função dos fatores solução osmótica (%), tempo de imersão (minutos) e temperatura de secagem (C°). ....	44
<b>Figura 20</b>	Análise dos parâmetros de cor L*, C* e h* dos tomates secos armazenados durante o período de 60 dias, em dois tipos de embalagem. ....	46

## 1 INTRODUÇÃO

A cadeia produtiva do tomate apresenta grandes avanços na produção de tomate para mesa e industrial, desde a década de 1990. A melhoria promovida pelas pesquisas relacionadas ao cultivo do tomate contribuiu para o crescimento desta cadeia, na qual o melhoramento das variedades adequadas ao clima, solo, tipo de manejo e avanços na tecnologia deram um impulso significativo no aumento da produção.

A produção nacional de tomate totalizou 4,4 milhões de toneladas em 2011, ocupando o oitavo lugar no ranking mundial (FAOSTAT, 2013). As áreas tradicionais de plantio de tomate de mesa estão localizadas nos estados de São Paulo, Minas Gerais, Goiás, Rio de Janeiro, Espírito Santo, Bahia, Pernambuco e Ceará. Também novas áreas em expansão vêm surgindo, nos últimos anos, em Santa Catarina, Paraná, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul.

A busca por alimentos saudáveis contribuiu para o aumento do consumo de tomate, pois além de ser um fruto versátil utilizado na culinária do mundo todo é também um alimento com alto valor nutricional e funcional. Possui vitaminas, minerais e licopeno, substância responsável pela coloração vermelha com ação antioxidante, prevenindo a formação de radicais livres atuando na prevenção do câncer e doenças cardiovasculares (SERRA; CAMPOS, 2006; SHAMI; MOREIRA, 2004).

Tomates colhidos verdes apresentam maior vida pós-colheita e maior resistência ao transporte, porém, normalmente são frutos de qualidade inferior aos colhidos com um estágio de maturação mais avançado. No entanto, apesar dos frutos colhidos maduros apresentarem uma qualidade sensorial superior, eles são muito perecíveis, possuindo uma vida pós-colheita curta (BRACKMANN *et al.*, 2007).

Na agroindústria existe uma demanda por itens processados de maior valor agregado com aroma, sabor e elevada pigmentação vermelha da polpa. A combinação destes fatores é essencial para alavancar os produtos de derivados de tomate aos níveis de qualidade necessários para atingir nichos de elevado padrão de exigência, tanto no mercado nacional quanto no exterior (CARVALHO *et al.*, 2006).

O tomate seco é um produto nobre que está presente em cardápios de diversos restaurantes (TONON; BARONI; HUBINGER, 2006). É obtido pela desidratação do fruto até umidade intermediária com alteração do sabor e textura, podendo ser consumido como tal ou envasado em óleo vegetal com ervas aromática, com um paladar exótico muito apreciado pelos consumidores (CAMARGO; HAJ-ISA; QUEIROZ, 2007; VENSKE *et al.*, 2004).

O consumo de tomate seco vem crescendo no Brasil, porém a sua fabricação é realizada somente por pequenas empresas que utilizam equipamentos artesanais, sendo necessária sua importação para atender parte da demanda nacional (MELO; VILELA, 2005).

Segundo Pena (1999), a secagem do tomate é um desafio, devido ao alto teor de umidade, próximo a 95%, e a sua característica textural. A secagem de tomate deve ser realizada com temperaturas inferiores a 65 °C para preservar a cor e o sabor, tornando o processo demorado, exigindo um tempo superior a 10 horas para se obter uma umidade final inferior a 8%, para um armazenamento adequado.

Sabendo que o processo de secagem do tomate é demorado e de difícil padronização, no qual a manutenção da cor e sabor do produto final são características fundamentais, foi estabelecido como finalidade desta pesquisa o estudo da secagem de tomate, utilizando como pré-tratamento a desidratação osmótica, visando melhorar a qualidade do produto final.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

Avaliar a qualidade de tomate seco obtido por meio da desidratação osmótica e secagem, utilizando o planejamento experimental.

### **2.2 Específicos**

- a) Realizar um planejamento experimental para avaliar os efeitos dos fatores que contribuem para a qualidade do tomate seco;
- b) Definir as melhores condições para a secagem do tomate através da otimização;
- c) Avaliar a qualidade do tomate seco em condições otimizadas e armazenado, utilizando os parâmetros de umidade, cor, licopeno e vitamina C;
- d) Avaliar dois tipos de embalagem, durante o armazenamento do tomate seco.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Cultivo do tomate

O tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) é uma hortaliça da família das solanáceas originária da região centro-oeste da América do Sul (planalto Peruano-Equatoriano-Boliviano), mais precisamente a região compreendida entre o Equador até o norte do Chile. O centro de domesticação do tomate foi o México há vários séculos, na região de Puebla e Vera Cruz. O tomate foi levado do Peru para a Europa pouco depois de 1535, mas seu consumo foi amplamente difundido a partir do século XIX, pois antes desse período havia a crença de que o tomate era venenoso sendo utilizado somente como planta ornamental.

No Brasil, o cultivo do tomate foi introduzido somente no final do século XIX com a vinda dos imigrantes europeus, principalmente italianos, espanhóis e portugueses. A difusão e o incremento no consumo começaram a ocorrer após a Primeira Guerra Mundial, por volta de 1930 (MINAMI; HAAG, 1989).

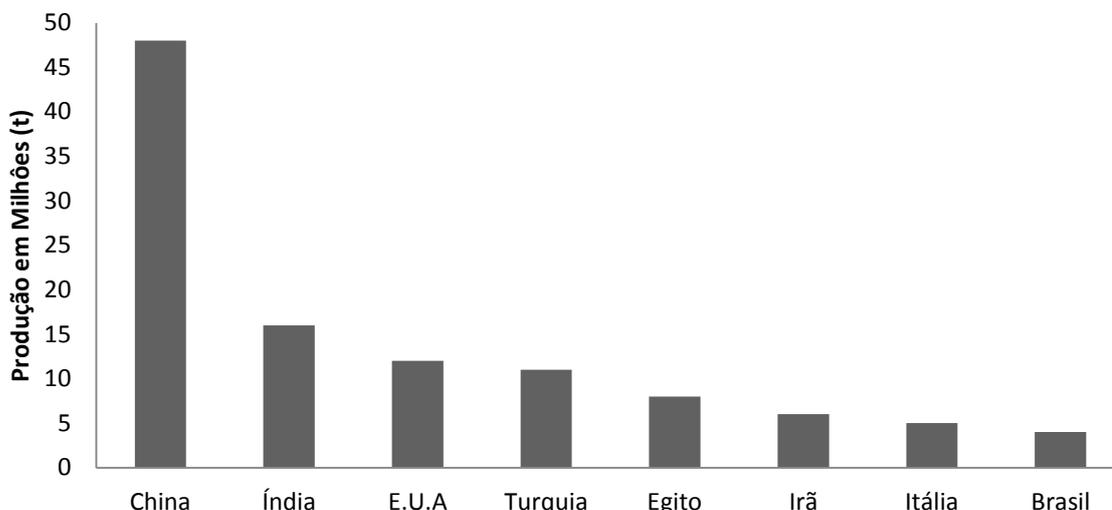
O tomateiro é uma hortaliça de larga adaptação climática. O cultivo pode ser realizado o ano todo, desde que em regiões de clima ameno. As temperaturas muito baixas ou o calor excessivo prejudicam o crescimento, desenvolvimento, coloração dos frutos e a sua produção final. Temperaturas noturnas entre 14 e 17 °C e diurnas de 19 a 24 °C favorecem o crescimento e a produção dos frutos (ALVARENGA, 2004; BOITEUX; GIORDANO, 2010).

A cultura do tomate tem um ciclo relativamente curto e sensível a numerosas doenças, por isso requer cuidados especiais desde a formação da muda até a colheita. Os custos de produção se tornam elevadíssimos, devido à necessidade de altas dosagens de adubos, irrigações frequentes e controle semanal de doenças e pragas (PEREIRA *et al.*, 2007).

O tomate é amplamente cultivado e consumido, destinando-se à indústria de processamento (tomate rasteiro) e ao mercado de consumo *in natura* (tomate de mesa, estaqueado ou envarado) (CAMARGO FILHO; MAZZEI, 2002). É a segunda hortaliça cultivada no mundo cuja quantidade produzida é superada somente pela batata (FAOSTAT, 2013).

Em 2011, a produção mundial de tomate totalizou 159 milhões de toneladas (t) em área cultivada de 4,7 milhões de hectare (ha) e produtividade média de 33,8 t/ha<sup>1</sup>. O maior produtor mundial foi a China com 48 milhões de t, seguida da Índia, dos Estados Unidos da

América, da Turquia e do Egito, dentre outros. O Brasil ocupa o oitavo lugar no ranking da produção mundial, conforme demonstrado na Figura 1 (FAOSTAT, 2013).



**Figura 1** Produção mundial de tomate em 2011.

**Fonte:** FAOSTAT (2013).

O tomate é cultivado praticamente em todas as regiões brasileiras, destacando-se em área cultivada, produtividade, diferentes regiões, climas e tipos de manejo. No decênio de 2002 a 2011, a produção de tomate aumentou de 3,6 milhões de toneladas (2002) para 4,4 milhões de toneladas (2011), a área cultivada de 62,6 mil ha para 69,5 mil ha, a produtividade passou de 58,4 mil kg/ha para 63,8 mil kg/ha. Os estados produtores de tomate com maior participação na safra nacional foram Goiás, São Paulo e Minas Gerais com 33, 20 e 11%, respectivamente. O estado do Paraná ocupa o 4º lugar, com a produção de 347 mil toneladas, representando 8% da produção nacional (IBGE, 2012).

Após a colheita, o tomate apresenta-se como um fruto altamente perecível. O fruto maduro possui uma vida média de prateleira de uma semana, com perdas variando entre 25% e 50%, enquanto o fruto parcialmente maduro apresenta uma vida útil de até duas semanas, com 20% a 40% de perdas pós-colheita (BARRETT REINA, 1990). Portanto, é necessário o uso de tecnologias de conservação para retardar o seu amadurecimento, manter a sua qualidade e, conseqüentemente, prolongar a sua duração (MOURA; SARGENT; OLIVEIRA, 1999).

No Brasil, o tomate para processamento industrial é cultivado desde o início do século XX e vem sendo importante em várias regiões como no Sudeste, no estado de São Paulo, na década de 1950; no Nordeste, na década de 1980; mais recentemente, no Centro-Oeste. O Brasil é o maior produtor de tomate para processamento industrial e o maior consumidor de produtos derivados de tomate na América do Sul (SILVA; GIORDANO, 2011).

Um dos principais fatores da expansão da produção do tomate é o crescimento do consumo, pois, entre os anos 1985 e 2005, a produção mundial *per capita* aumentou cerca de 36%, passando de 14 kg para 19 kg por pessoa/ano, segundo dados da Organização das Nações Unidas da Agricultura e Alimentação – FAO/ONU (CARVALHO; PAGLIUCA, 2007).

Segundo Carvalho *et al.* (2006), a produção de tomate no Brasil é de, aproximadamente, 3 milhões de toneladas ao ano. A industrialização ocorreu por ser o tomate um fruto perecível e climatérico, com amadurecimento rápido, diferentemente de outros vegetais (CAMARGO *et al.*, 2006, SANCHEZ *et al.*, 2006). Da produção total de tomate, 70% são destinados ao consumo *in natura* e o restante como matéria-prima para elaboração de diversos produtos como extratos, molhos, sucos, tomate seco e outros, garantindo um maior tempo para seu consumo (CAMARGO; QUEIROZ, 2003; MAKISHIMA; MELO, 2005).

Existem mais de mil variedades de tomate com formas, tamanhos e cores diversas, oferecendo um aporte significativo de nutrientes para a população de várias regiões do planeta. Os tomates podem ser divididos em diversas variedades, de acordo com seu formato e sua finalidade de uso:

- Santa Cruz, tradicional na culinária, utilizado em saladas e molhos e de formato oblongo;
- Caqui, utilizado em saladas e lanches, de formato redondo;
- Saladete, utilizado em saladas, de formato redondo e oblongo;
- Italiano, utilizado principalmente para molhos, podendo ainda fazer parte de saladas. Seu formato é oblongo, tipicamente alongado;
- Cereja, utilizado como aperitivo ou em saladas. É um "minitomate", com tamanho pequeno, redondo ou oblongo (WIKIPÉDIA, 2012).

Na última década, a introdução de tomates tipo longa vida para o consumo *in natura* foi importante, porém a qualidade gustativa foi alvo de críticas, devido às alterações indesejáveis no sabor, aroma, textura e teor de licopeno (MELO, 2003). Diante disso, as empresas do setor sementeiro estão investindo em maior diversificação varietal, com objetivo de oferecer ao consumidor tipos de tomate com melhor qualidade sensorial e diferenciado em tamanho, cor (rosado, amarelo e laranja), formato (oblongo e redondo), firmeza e textura (DORAIS; GOSELIN; PAPADOPOULOS, 2001).

### **3.2 Qualidade nutricional do tomate**

Por ser um fruto climatérico, no período pós-colheita à medida que aumenta a temperatura de exposição ocorre uma série de transformações físico-químicas no tomate,

caracterizadas por alterações fisiológicas e bioquímicas no fruto, como: mudança de cor, aparência, firmeza, perda de peso, aumento de sólidos solúveis totais, pH e acidez titulável, servindo como parâmetro de qualidade do fruto (FERREIRA, 2004). O ponto de colheita é muito importante, pois influencia diretamente na vida pós-colheita do tomate, processo de amadurecimento e qualidade do produto que chega até o consumidor (MOURA; SARGENT; OLIVEIRA, 1999).

A composição do tomate varia de acordo com a cultivar, nutrição, condições e manejo do cultivo e com as condições ambientais nas quais foi produzido (ALVARENGA, 2004; SUÁREZ; RODRÍGUEZ; ROMERO, 2008).

A determinação do sabor dos frutos está relacionada com o grau de maturação, quantidade de sólidos, principalmente açúcares, ácidos orgânicos e compostos voláteis. O fruto maduro é constituído por 93% a 95% de água, sendo apenas a pequena quantidade da matéria seca que determina sua qualidade. A matéria seca é composta, aproximadamente, de 50% de açúcares redutores, como glicose e frutose, e 10% de ácidos orgânicos, principalmente cítricos e málicos (SHI; MAGUER, 2000). Segundo Hobson e Grierson (1993), a determinação do sabor ocorre quando o teor de açúcares alcança um pico, enquanto o ácido málico cai rapidamente e o ácido cítrico se mantém estável no período de amadurecimento.

O tomate é um alimento funcional com pouca caloria, com vitaminas do complexo B, vitaminas C e E, minerais potássio e fósforo e também é fonte de carotenóides, principalmente licopeno e  $\beta$  caroteno, além de compostos fenólicos como os flavonóides (PEREIRA; FONTES, 2003; TACO, 2006). Na Tabela 1 é apresentada a composição nutricional do tomate maduro *in natura*.

**Tabela 1** Composição do fruto de tomate *in natura* em 100 gramas

Produto	Índice
Água	93 a 97%
Matéria seca	5 a 7%
Sólidos solúveis	3,5 a 6,0%
Caloria	18 a 20
Fibras	0,5 a 0,6%
Proteína	0,7 a 1,1 g
Gordura	0,13 a 0,30 g
Cálcio	6,02 a 34 mg
Cobre	0,05 a 0,33 mg
Enxofre	6,72 a 10,3 mg
Ferro	0,29 a 0,44 mg
Fósforo	17,4 a 43 mg
Magnésio	7,06 a 8,53 mg
Potássio	25 a 190 mg
Sódio	1,09 a 2,08 mg
Zinco	0,12 a 0,19 mg
Manganês	0,06 a 0,17 mg
Vitamina A ( $\beta$ -caroteno)	900 – 1271 I.U.*
Vitamina B1 (tiamina)	50 – 60 mg
Vitamina B2 (riboflavina)	20 – 50 mg
Vitamina B3 (niacina)	50 – 750 mg
Vitamina B6 (ácido pantotênico)	80 – 110 mg
Vitamina B7 (biotina)	1,2 – 4,0 mg
Vitamina B9 (ácido fólico)	6,4 – 20 mg
Vitamina C	15000 – 23000 mg
Vitamina E ( $\alpha$ tocoferol)	40 – 1200 mg

**Nota:** \* 1 U.I. (unidade internacional) = 0,6 mg de  $\beta$  caroteno.

**Fonte:** Alvarenga (2004); Silva e Giordano (2011).

### 3.2.1 Carotenóides

Os carotenóides compõem um dos mais importantes grupos de pigmentos difundidos na natureza, devido à larga distribuição, diversidade estrutural e inúmeras funções. São compostos responsáveis pelas cores amarela, laranja e vermelha de frutas, hortaliças, flores, algas, bactérias, fungos, alguns peixes e pássaros. Os carotenóides são obtidos a partir do consumo de alimentos fontes (GROSS, 1991; RODRIGUEZ-AMAYA, 1999; RIBEIRO; SERAVALLI, 2004).

São classificados quimicamente em dois grupos. O primeiro grupo corresponde aos hidrocarbonetos, que são compostos altamente insaturados e que não contêm oxigênio, normalmente apresentam cor laranja ou vermelha. Licopeno,  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$ -caroteno são alguns exemplos de hidrocarbonetos. O segundo grupo é formado por carotenóides que contêm um ou mais grupos oxigenados em sua estrutura e são conhecidos como xantofilas ou oxicarotenóides. Luteína, b-criptoxantina e zeaxantina fazem parte deste grupo (RODRIGUEZ-AMAYA, 1999). São necessárias no mínimo sete ligações conjugadas para

que a cor amarela apareça. O aumento no número de ligações conjugadas resulta em maiores comprimentos de onda e os carotenóides tornam-se mais vermelhos (RIBEIRO; SERAVALLI, 2004).

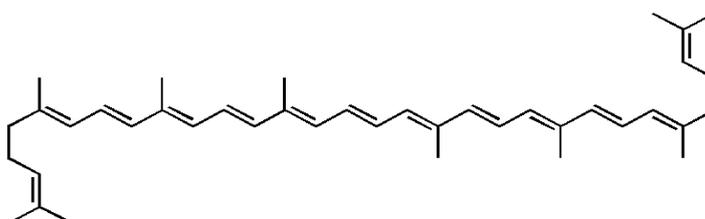
Existem em torno de 600 tipos de carotenóides conhecidos na natureza, no entanto, somente 20 tipos são encontrados em tecidos e plasma humano. Os principais carotenóides encontrados em humanos são: alpha-caroteno, betacaroteno, beta-criptoxantina, luteína, licopeno e zeaxantina (CAMARGO, 2005).

Os carotenóides podem ser classificados como pró-vitamínicos com atividade pró-vitamina A ou carotenóides inativos que apresentam atividade antioxidante ou corante (OLSON, 1999). São considerados nutrientes muito importantes à dieta humana, devido ao elevado poder antioxidante que possuem relacionados à sua capacidade de seqüestrar os radicais livres, interrompendo a propagação da reação de radicais livres em cadeia (PORCU, 2004).

O tomate é uma importante fonte de carotenóides, principalmente o licopeno e quanto mais intensa for a cor vermelha mais rico em antioxidantes. Os antioxidantes combatem os radicais livres que causam o envelhecimento, doenças cardiovasculares e câncer, inclusive o de próstata (GIOVANUCCI *et al.*, 1995; WONG, 1995).

### 3.2.2 Licopeno

O crescente consumo de tomate pode estar relacionado ao fato de ser um alimento versátil com alto valor nutricional, podendo ser consumido *in natura* ou em molhos. O licopeno presente no tomate é um carotenóide sem a atividade pró-vitamina A, lipossolúvel, composto por onze ligações conjugadas e duas ligações duplas não conjugadas (Figura 2). O licopeno é tido como o carotenóide que possui a maior capacidade sequestradora do oxigênio singlete, possivelmente devido à presença das duas ligações duplas não conjugadas, o que lhe oferece maior reatividade, conferindo propriedade antioxidante (SHAMI; MOREIRA, 2004).



**Figura 2** Estrutura química do licopeno.

**Fonte:** Berlinck (2013).

A propriedade antioxidante refere-se à capacidade de interromper as reações causadas pelos radicais livres (reações de oxidação), que podem ser gerados pela poluição, más condições de sono, *stress*, cigarro, herbicidas e falta de exercícios, podendo ser gerados pelo próprio organismo humano. Os radicais livres podem destruir o DNA entre outras moléculas do organismo. Essas espécies são altamente reativas e possuem oxigênio em sua estrutura, nas formas triplete ( $^3\text{O}_2^-$ ) e singlete ( $^1\text{O}_2^-$ ) do oxigênio e radicais hidroxila ( $\text{OH}^\cdot$ ) (PIMENTEL; FRANCKI; GOLLUCKE, 2005).

Os carotenóides, especialmente o licopeno e betacaroteno, atuam como antioxidantes e protegem o organismo humano contra os radicais livres, ulcera gástrica, doenças cardiovasculares, certos tipos de câncer e contra desordens neurológicas; fortalecem o sistema imunológico e atuam contra a degeneração muscular relacionada à idade e a doença ocular cataratas, na ativação genética e nos processos inflamatórios, por modularem a lipoxigenase (GAMA; SYLOS, 2007).

Conforme o grau de amadurecimento do tomate, a concentração de licopeno varia. O tomate vermelho maduro possui maior quantidade de licopeno do que de betacaroteno, sendo responsável pela cor vermelha predominante. As cores das espécies de tomate diferem do amarelo para o vermelho alaranjado, dependendo da razão licopeno/betacaroteno da fruta (SHAMI; MOREIRA, 2004).

A quantidade de licopeno nos frutos também depende da variedade do fruto, sua fase de maturação, ambiente, cultivo e o tipo de processamento. Normalmente, o teor de licopeno em tomates vermelhos maduros é 30-80 mg / kg de produto fresco, mas em algumas espécies pode ser mais do que 150-300 mg / kg (SHAMI; MOREIRA, 2004).

Como a maioria dos pigmentos naturais, o licopeno é sensível a variações de temperatura e luz (WISSGOTT; BORTLIK, 1996). Alves e Silveira (2002) observaram menor redução de licopeno após secagem de tomate precedida de desidratação osmótica.

O tomate e seus derivados são a mais rica fonte de licopeno, entre os alimentos consumidos pela população mundial em geral, fornecendo cerca de 85% de todo o licopeno no organismo humano. O fruto, da família das solanáceas, apresenta altos níveis deste componente que, aparentemente, tem sua disponibilidade aumentada com o processamento e aquecimento do tomate. Cerca de 90% do conteúdo de carotenóides no tomate é devido ao licopeno (RAO; WASEEM; AGARWAL, 1998).

Algumas pesquisas indicam que a ingestão de licopeno presente no fruto do tomate é mais eficiente na prevenção de certos tipos de câncer do que a administração do licopeno purificado via cápsulas (BOILEAU *et al.*, 2003). A principal fonte de licopeno na dieta humana é o fruto do tomate e seus derivados tais como sucos, sopas, molhos, catchups, tomate seco e outros (CARVALHO *et al.*, 2005).

### 3.2.3 Vitamina C

A vitamina C ou ácido ascórbico é um importante nutriente para o organismo. É representada por dois componentes que possuem atividade biológica: o ácido ascórbico (AA), principal componente e o ácido desidroascórbico (DHA). Ambos previnem o escorbuto, causado por dietas pobres em frutas e vegetais fontes desta vitamina (DEUTSCH, 2000).

Além da prevenção do escorbuto, a vitamina C apresenta benefícios ligados à sua capacidade antioxidante. Os benefícios são a prevenção de danos e doenças, como as cardiovasculares, certas complicações pré-natais, tumores malignos, inflamações, catarata, mal de Parkinson e Alzheimer, bem como aceleração do processo de envelhecimento celular (SIKORA; CIESLIK; LESZCZYNSKA, 2008). Atua ainda junto à formação de tecido conjuntivo e transporte de íons (BARATA-SOARES *et al.*, 2004).

As hortaliças fornecem quantidades menores de vitamina C comparada às frutas, mas são consumidas amplamente sendo considerados alimentos fontes (LEE; KADER, 2000). A quantidade depende de vários fatores, como diferentes genótipos, condições climáticas pré-colheita e procedimentos pós-colheita (CORDENUNSI *et al.*, 2002).

Além disso, a vitamina C é um nutriente sensível às condições de processamento e de armazenagem e a sua degradação está relacionada com diversos fatores, como a presença de oxigênio, pH, luz, temperatura e conteúdo de umidade. Por isso, existe uma maior preocupação tanto dos consumidores quanto dos fabricantes em relação à qualidade nutricional dos alimentos (GABAS; TELIS-ROMERO; MENEGALLI, 2003).

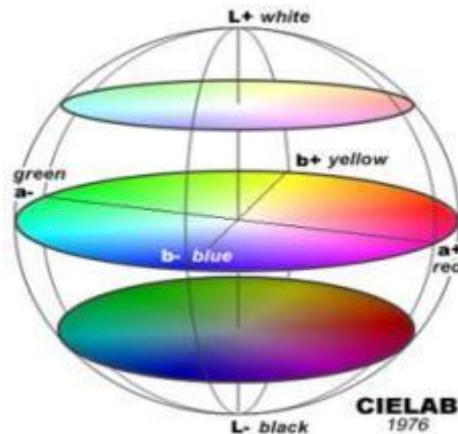
### 3.3 Cor como parâmetro de qualidade

O mercado consumidor está cada vez mais exigente com a qualidade dos produtos secos. Do ponto de vista dos consumidores, a qualidade dos produtos secos depende essencialmente dos aspectos nutricionais e a cor é o critério mais avaliado numa apreciação global do produto (ALVES; SILVEIRA, 2002).

A medida de cor é um parâmetro objetivo usado como índice de qualidade para os alimentos *in natura* ou processados, bem como para a avaliação de mudanças na qualidade em consequência de processamento, armazenamento ou outros fatores (GIESE, 2000).

Em 1976, o Comitê Internacional de Iluminantes (CIE) recomendou a CIE L\* a\* b\* ou CIELAB, uma escala de cores, com a qual se pretendia proporcionar um padrão de escala de cores uniforme e que poderia ser utilizado por todos, de modo que os valores de cor pudessem ser facilmente comparados.

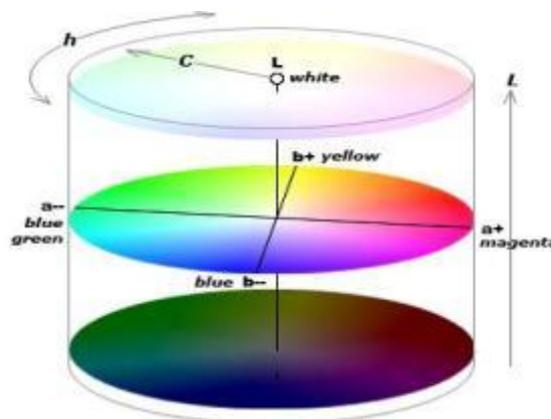
Na escala de cores CIELAB, as diferenças entre os pontos no espaço de cores correspondem a diferenças visuais entre as cores. O espaço de cor CIELAB é organizado em forma de cubo. O eixo  $L^*$  é executado de cima para baixo. O valor máximo para  $L^*$  é de 100, o que representa um refletor perfeito. O mínimo para  $L^*$  é zero, o que representa preto. O  $a^*$  e  $b^*$  são eixos que não têm limites numéricos específicos. O  $a^*$  positivo representa a cor vermelha e o  $a^*$  negativo a cor verde. O  $b^*$  positivo representa a cor amarelo e o  $b^*$  negativo a cor azul. O espaço de cor CIELAB está representado na Figura 3 (HUNTERLAB, 2012).



**Figura 3** Esquema para medição das cores pelo CIELAB 1976:  $L^*$  (branco-preto),  $a^*$  (verde-vermelho) e  $b^*$  (azul-amarelo).

**Fonte:** Handprint (2012).

Nesse sistema de cores, o  $L^*$  representa a luminosidade ( $L^* = 0$  – preto e  $L^* = 100$  – branco) e  $a^*$  e  $b^*$  são as coordenadas de cores responsáveis pela cromaticidade. O parâmetro Cromo ( $C^*$ ), que indica a cromaticidade ou intensidade de cor é definido pela distância do centro do diagrama tridimensional, representado na Figura 4.



**Figura 4** Geometria do modelo de cor CIELAB 1976:  $L^*$  (claro-escuro),  $H^*$  (ângulo de coloração),  $C^*$  (índice de croma),  $a^*$  (verde-vermelha) e  $b^*$  (azul-amarelo).

**Fonte:** Handprint (2012).

O ângulo de coloração ou tom ( $H^*$ ) é o aspecto da cor mais familiar que pode ser descrito, pois identifica cores como vermelho, verde, azul ou amarelo (Figura 3). Inicia no eixo  $+a^*$  e é expresso em graus:  $0^\circ$  para vermelho ( $+a^*$ ),  $90^\circ$  para amarelo ( $+b^*$ ),  $180^\circ$  para verde ( $-a^*$ ) e  $270^\circ$  para azul ( $-b^*$ ). O índice de croma ( $C^*$ ) indica a intensidade ou pureza do tom, independente de quão clara ou escura é a cor. Quanto maior é o seu valor, mais intensa ou altamente cromática é a cor, parecendo luminosa ou concentrada, enquanto que valores baixos (acromático) indicam cor acinzentada, fraca ou diluída (HILL; ROGER; VORHAGEN, 1997; GONNET, 1998).

A maneira mais apropriada para a interpretação dos resultados é por meio de transformação em coordenadas polares, conforme as equações 1 e 2:

$$H^* = \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (1)$$

Em que:

- $H^*$  = ângulo de coloração ou tonalidade cromática;
- $a^*$  = componente de cor vermelho-verde;
- $b^*$  = componente de cor amarelo-azul.

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (2)$$

Em que:

- $C^*$  = índice de cromaticidade;
- $b^*$  = componente de cor vermelho-verde;
- $a^*$  = componente de cor amarelo-azul.

### 3.4 Desidratação osmótica

O processo de desidratação osmótica é utilizado na remoção parcial de água, no qual os alimentos inteiros ou fatiados são imersos em soluções hipertônicas contendo um ou mais solutos (açúcares, cloreto de sódio), considerados agentes desidratantes, originando dois fluxos simultâneos opostos: saída de água do produto para a solução e migração de solutos da solução para o produto. Há um terceiro fluxo que consiste na perda de alguns sólidos naturais do alimento, como açúcares, minerais, entre outros nutrientes. Embora este fluxo seja insignificante, comparando aos dois fluxos principais, pode ser importante para as

qualidades sensoriais (aroma, cor, textura) e nutricionais do produto (RAOULT-WACK, 1994).

A desidratação osmótica tem sido utilizada em frutas, vegetais, carnes e peixes. A diferença da desidratação osmótica para os processos convencionais é que o produto submetido a este processo, além da desidratação, apresenta um efeito de formulação direta com a incorporação dos solutos presentes na solução. Além disso, a desidratação não resulta em produtos estáveis, sendo necessário um processamento complementar como secagem, congelamento, pasteurização, liofilização ou adição de agentes de preservação ao alimento (RAOULT-WACK, 1994).

Os tratamentos osmóticos constituem simples de processamento, realizadas em temperatura ambiente ou controladas, alcançando um grau significativo de desidratação. Neste sentido, são utilizados como um pré-tratamento introduzido em alguns processos convencionais com objetivo de melhorar a qualidade do produto final (SERENO *et al.*, 2001). As vantagens deste tratamento são a inibição do escurecimento enzimático com retenção da cor natural sem a utilização de sulfitos e maior retenção de componentes voláteis durante a secagem, com menor consumo de energia (SOUSA *et al.*, 2003).

A transferência de massa durante a desidratação osmótica pode ser influenciada pelos parâmetros de concentração da solução (viscosidade e densidade), temperatura, pressão, tempo de contato do produto com a solução, nível de agitação, tamanho e geometria da amostra, proporção amostra, solução, natureza e peso molecular do soluto e estrutura do produto a ser desidratado (RASTOGI *et al.*, 2002).

No processo osmótico são utilizadas soluções com um ou mais solutos que apresentam viscosidade elevada. A viscosidade exerce influência no nível de agitação necessário ao processo e afeta a taxa de transferência de massa. Quando o meio osmótico é altamente viscoso, a transferência de massa pode ser dificultada e a consideração que a resistência externa à transferência de massa é desprezível (CHENLO *et al.*, 2002).

Normalmente, este processo é conduzido sob agitação para minimizar os efeitos da resistência externa da transferência de massa, pois quando a fruta começa a perder água para o meio hipertônico um perfil de concentração do soluto se forma a partir da superfície para o seio do fluido, com isso a diminuição na concentração diminui a força motriz para a transferência de massa. A agitação do meio hipertônico torna a solução mais homogênea e aumenta a força motriz nas regiões próximas da superfície da fruta (MOREIRA; SERENO, 2003).

De acordo com Lenart (1996), existem duas tendências na aplicação da desidratação osmótica como pré-tratamento para a secagem: desidratação a baixas temperaturas por um longo período de tempo e desidratação a altas temperaturas por um curto período de tempo.

Segundo Tonon (2005), o aumento da temperatura exerce influência significativa, pois acarreta uma redução da viscosidade da solução osmótica. Isso causa permeabilidade

da membrana celular, facilitando o transporte da água e dos solutos através dela, resultando em maiores coeficientes globais de transferência de massa e menores atividades de água e maior proximidade do equilíbrio.

Além da remoção de água e diminuição do tempo de secagem, a desidratação osmótica melhora a qualidade do produto, em relação à textura comparada à secagem com ar sem pré-tratamento. A presença do soluto tem um efeito protetor sobre a estrutura natural da superfície do alimento limitando o rompimento das células durante a secagem e melhorando também sua reidratação (RAOULT-WACK, 1994; KARATHANOS; KOSTAROPOULOS, 1995; LENART, 1996).

Corrêa *et al.* (2008) avaliaram a cinética de redução do teor de umidade e do ganho de sólidos em tomates com o tempo em desidratação osmótica em diferentes concentrações e observaram uma redução do teor de umidade e aumento no ganho de sólidos com o aumento do período de desidratação.

Diversos autores já discutiram a influência do tipo de soluto utilizado na desidratação osmótica, pois, quanto maior a massa molar, maior a desidratação e menor a absorção (BARONI, 2004). A escolha do tipo e concentração do agente desidratante é uma questão complexa. As mudanças nos valores nutricionais e nas propriedades organolépticas do produto final, além do custo, são indicadores essenciais para a avaliação da utilização de cada solução osmótica (LENART, 1996).

A solução osmótica deve possuir uma baixa atividade de água e os solutos não podem alterar a qualidade do produto e ter um bom sabor (LERICI *et al.*, 1985). Dentre os solutos a sacarose é considerada a melhor substância desidratante, principalmente quando a desidratação é utilizada como pré-tratamento para a secagem. Entretanto, seu uso em vegetais é limitado, devido ao sabor doce que pode ser conferido (LENART, 1996).

Segundo Ponting *et al.* (1966), a utilização da sacarose para desidratar frutas, não só reduz o teor de água, mas também protege a qualidade do produto pela alta concentração de açúcar ao redor da fruta que previne o escurecimento causado por enzimas oxidativas.

O cloreto de sódio é também considerado um excelente desidratante para vegetais, porém sua utilização na desidratação de frutas é limitada, devido ao sabor salgado concebido ao alimento. Nesse caso, o produto apresenta um ganho de soluto muito alto, provavelmente devido ao baixo peso molecular do sal (LERICI *et al.*, 1985; LENART, 1996).

Na superfície do produto, ocorre a formação de uma barreira sólida pela sacarose impedindo a entrada do cloreto de sódio, que mantém a atividade de água da solução baixa, possibilitando a contínua saída de água com entrada marginal do soluto (LAZARIDES; MAVROUDIS, 1996). Segundo Azoubel (1999), a fruta que sofre o pré-tratamento com desidratação osmótica seguida da secagem convectiva é caracterizada por ter uma estrutura flexível, macia com diminuição do encolhimento.

### 3.5 Processo de secagem

A desidratação é uma das mais antigas formas de preservação de alimentos, e tem sido utilizada para preservar vegetais, frutas, café, cereais e peixes (MACCARTHY, 1985). Teve início com a secagem ao sol, para preservar os excedentes das colheitas a serem consumidos no período de escassez. Não existem registros da sua origem, mas muitos dos seus métodos são utilizados até hoje, constituindo base para as tecnologias atuais de processamento (TRAVAGLINI; AGUIRRE; SILVEIRA, 2001).

A secagem consiste em um processo que utiliza energia térmica para remoção parcial ou quase total da água contida no interior dos alimentos, diminuindo sua massa, atividade de água e prolongando a sua vida útil (TRAVAGLINI, AGUIRRE; SILVEIRA, 2001). Além de preservar, auxilia na inibição da ação de microrganismos, na manutenção dos minerais, na redução dos custos de transporte, manuseio e estocagem, sendo uma alternativa para reduzir perdas pós-colheita e, também, porque muitas enzimas que poderiam causar mudanças químicas não reagem sem a presença de água livre (TRAVAGLINI, AGUIRRE; SILVEIRA, 2001; MOURA, 2004; CAMARGO; HAJ-ISA; QUEIROZ, 2007).

Durante o processo de secagem normalmente ocorrem mudanças significativas na cor, sabor e textura do produto desidratado, quando comparado à fruta fresca. A fruta é desidratada inteira ou em pedaços até atingir uma umidade final que varia de 15% a 25% (TRAVAGLINI; AGUIRRE; SILVEIRA, 2001). Segundo El-Aouar (2001), durante a secagem a perda de água e o aquecimento causam um estresse na estrutura celular do produto modificando sua forma e diminuindo sua dimensão.

No secador contendo bandeja de superfície contínua e circulação de ar, o calor é transferido do equipamento para o produto pelo mecanismo de convecção (ar quente) e condução (superfície aquecida). Quando o alimento úmido é aquecido, a água nele presente passa ao estado de vapor, sendo arrastada pelo ar em movimento e o gradiente de pressão de vapor gerado entre o ar e o alimento proporciona uma força impulsora que permite a eliminação de mais água a partir do alimento. Com a intensificação da secagem, a água migra para a superfície do alimento em velocidade menor, comparada à água que evapora a partir da superfície. Nesta fase, caracterizada também pelo ressecamento na superfície do alimento e o aumento da sua temperatura, ocorre uma maior redução na qualidade do produto alimentício. Os defeitos comuns apresentados são a dureza excessiva, a dificuldade de reidratação, a rugosidade na superfície do produto que denigre sua aparência, bem como a degradação da cor, aroma e sabor (FELLOWS, 2006).

A perda da qualidade durante a desidratação ou secagem pode ser minimizada por meio de técnicas de seleção e padronização do material, do controle operacional nas etapas

do processo e das condições de armazenamento do produto (WATADA; QI, 1999; PESIS *et al.*, 2000).

Park, Bin e Brod (2001) estudaram, pela aplicação de um secador convectivo vertical de bandejas, as curvas de secagem da pêra bartlett nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, em três velocidades do ar 0,5, 1,0 e 1,5 m.s<sup>-1</sup>. Eles observaram que os valores de difusividade aumentaram com o aumento da temperatura do ar, mostrando a diminuição da resistência interna do alimento.

A temperatura de secagem é fator essencial para a manutenção das propriedades dos alimentos. De acordo com Nicoleti *et al.* (2007), a secagem convectiva de caquis inteiros com altas temperaturas do ar, para manter a temperatura interna constante do fruto, foram responsáveis pela maior taxa de degradação de ácido ascórbico independente do tempo de processamento.

Dewanto *et al.* (2002), ao estudarem a perda de vitamina C no tomate durante o processamento térmico, observaram que apesar da perda significativa da vitamina ocorreu um aumento do conteúdo de flavonóides disponíveis, que possuem uma considerável atividade antioxidante.

### **3.5.1 Secagem osmo-convectiva**

A secagem osmo-convectiva representa a secagem convectiva com pré-tratamento osmótico que vem sendo realizada por diversos autores (GARCIA DE LA CRUZ, 1998; AZOUBEL, 1999; EL-AOUAR, 2001; ALVES, 2003; MOURA, 2004; CÓRDOVA, 2006), com o objetivo de preservar as características sensoriais dos alimentos. A desidratação osmótica é utilizada como um pré-tratamento, com o intuito de melhorar as condições nutricionais, sensoriais e funcionais dos alimentos (TORREGGIANI, 1993).

Durante o processo de desidratação osmótica, o soluto da solução impregna-se em maior concentração na região próxima à superfície do alimento, podendo facilitar a formação de uma crosta endurecida que oferece resistência à secagem e dificulta a absorção do vapor de água no sólido. Este aspecto pode ser benéfico pela menor quantidade de água a ser removida durante a secagem, devido à redução no tratamento osmótico prévio. O processamento combinado é baseado na qualidade superior atribuída aos aspectos sensoriais e físicos do produto final (DUMOULIN; BIMBENET, 1998).

Sanjinez-Argandoña (1999), estudando a desidratação de goiabas por osmo-convectividade (desidratação osmótica e secagem convectiva), observou que temperaturas elevadas de secagem modificam a textura e a cor do produto, apresentando maior rigidez e escurecimento que comprometem a qualidade do produto final.

Alves e Silveira (2002) utilizaram a secagem osmo-convectiva de tomates com objetivo de aumentar a vida de prateleira. Foram utilizados como desidratante osmótico a

sacarose e o cloreto de sódio, com agitação e temperaturas variadas. Um secador de bandejas e uma estufa a vácuo foram testados, sendo que o primeiro trabalhou em temperaturas de 45, 55 e 65 °C e velocidade do ar de 1,5, 2,0 e 2,5 m.s<sup>-1</sup> e o segundo com pressão de vácuo 5, 16 e 25 inHg. Compararam a eficiência de pré-tratamento osmótico com o tomate seco e sem pré-tratamento osmótico e concluíram que a taxa de desidratação é influenciada pela concentração da solução osmótica e a temperatura do processo, sendo que a temperatura exerceu maior influência na cinética de secagem do que a velocidade e pressão de vácuo. As amostras desidratadas osmoticamente secaram em menor tempo do que as amostras não desidratadas.

### **3.6 Planejamento experimental**

O planejamento experimental, baseado nos fundamentos estatísticos, é uma ferramenta para chegar às condições otimizadas de um processo, desenvolvimento da formulação de produtos dentro de especificações desejadas ou simplesmente para avaliar os efeitos ou impactos que os fatores têm nas respostas desejadas.

A crescente necessidade da otimização de produtos e processos, minimizando custos e tempo, maximizando rendimento, produtividade e qualidade de produtos, tem levado profissionais de diferentes formações a buscarem técnicas sistemáticas de planejamento experimental (RODRIGUES; IEMMA, 2009).

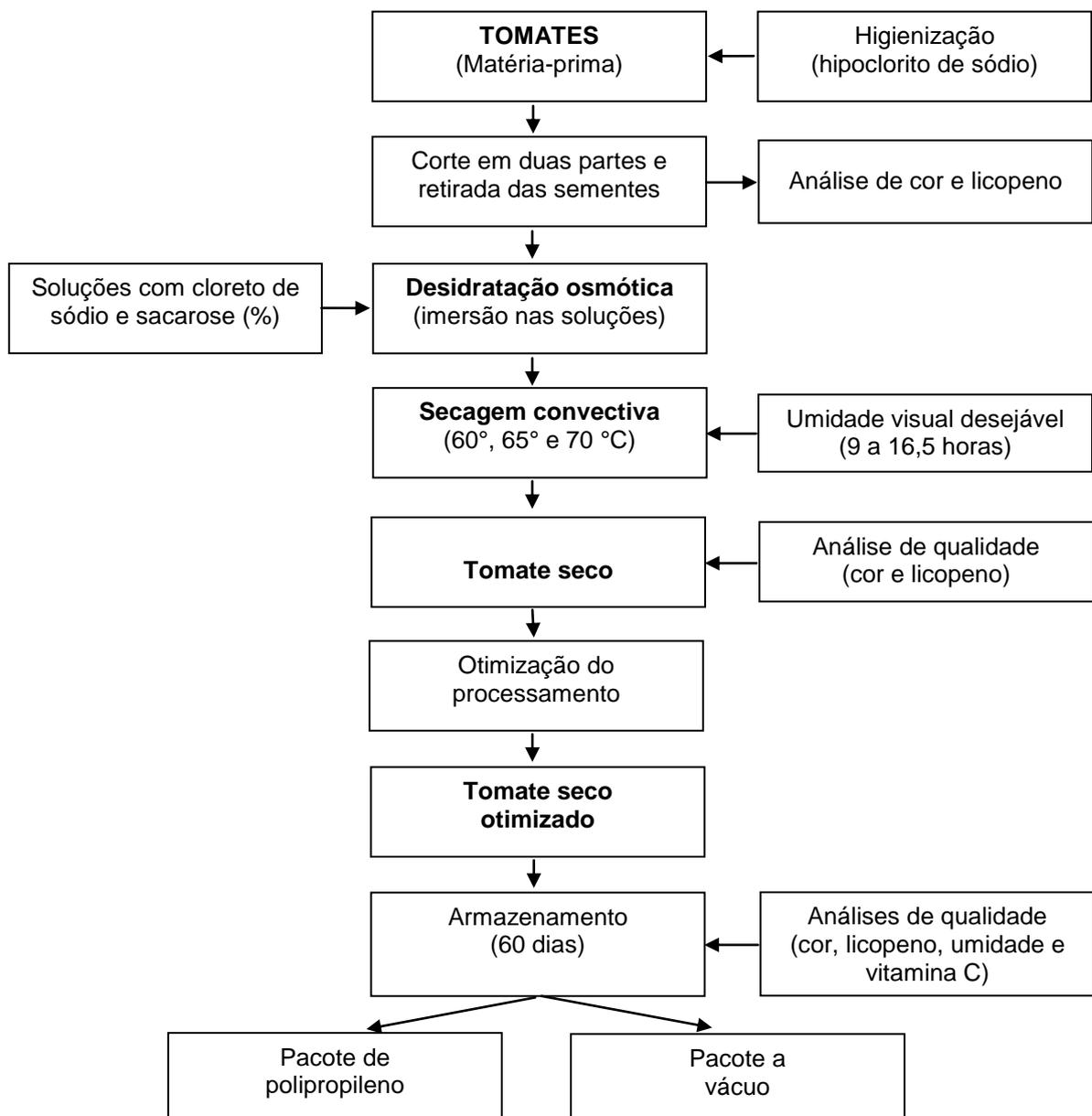
Dentre os diversos tipos de planejamento experimental, os sistemas de planejamento fatorial destacam-se, pois permitem avaliar simultaneamente o efeito de um grande número de variáveis, a partir de um número reduzido de ensaios experimentais, quando comparados aos processos univariados (PERALTA-ZAMORA; MORAIS; NAGATA, 2005).

Segundo Barros Neto, Scarminio e Bruns (2010), planejar experimentos é definir uma sequência de coleta de dados para atingir os objetivos, sendo o planejamento fatorial o mais indicado, quando se deseja estudar os efeitos de duas ou mais variáveis de influência, em que todas as combinações possíveis dos níveis de cada variável são investigadas.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Processamento do tomate

O experimento foi realizado no Laboratório de Controle de Qualidade de Produtos Agrícolas (LACON) da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), localizado no *campus* de Cascavel. O processamento do tomate seco com pré-tratamento osmótico está descrito na Figura 5.



**Figura 5** Fluxograma do processamento de secagem de tomate com pré-tratamento osmótico.

#### 4.1.1 Matéria-prima

Como matéria-prima, foi utilizado o tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) rasteiro da variedade Ap, cultivado em sistema convencional no município de Cristalina em Goiás, adquirido na Centrais de abastecimento do Paraná – Ceasa, em Cascavel – PR.

Os tomates foram selecionados de acordo com o tamanho, aparência (frutos sadios), forma (uniforme), ausência de injúrias e grau de maturação, para se obter amostras homogêneas. Os frutos apresentaram estágio maduro, ou seja, com a cor do epicarpo completamente vermelha, seguindo o padrão de cores disponibilizado na carta de comercialização do Programa Horti & Fruti de produtos hortigranjeiros (CEAGESP, 2005).

Os tomates foram higienizados com solução de hipoclorito de sódio (solução 1%) por, aproximadamente, 10 minutos e, em seguida, enxaguados em água corrente. Após foram cortados manualmente com auxílio de uma faca no sentido do eixo central em duas partes com a retirada das sementes (Figura 6).



**Figura 6** Tomate cortado em duas partes sem sementes.

#### 4.1.2 Desidratação osmótica

O processo de desidratação osmótica foi realizado em caixa de polipropileno com capacidade de 38 litros (Figura 7). As metades dos tomates foram colocadas na caixa com a solução osmótica em temperatura ambiente e imersos com auxílio de uma grelha perfurada (Figura 8).

A solução osmótica foi preparada com água, sacarose comercial (Alto Alegre®) e cloreto de sódio comercial (Zaeli®). A quantidade de cada soluto variou de 0 a 10% e de 3,96 a 46% para o cloreto e a sacarose, respectivamente (Tabela 2). A relação utilizada para amostra:solução foi de 1:3 (p/p), a fim de garantir que a concentração da solução osmótica permanecesse constante ao longo do processo.

O tempo de imersão e a concentração da solução osmótica estão de acordo com os níveis estabelecidos no planejamento experimental adotado (Tabela 4).



**Figura 7** Caixa de polipropileno com a solução.



**Figura 8** Tomates imersos na solução.

**Tabela 2** Composição da solução osmótica

Níveis	Cloreto de sódio (%)	Sacarose (%)	Total
-α	0	3,96	3,96
-1	2	12,5	14,5
0	5	25	30
1	8	37,5	45,5
+α	10,04	46	56,04

#### 4.1.3 Secagem convectiva

O processo de secagem foi realizado em estufa com circulação de ar da marca Tecnal e ventilação interna no sentido horizontal.

A secagem foi realizada após a desidratação osmótica. Os tomates foram colocados sobre papel toalha para absorver o excesso da solução, depois distribuídos em bandejas de

inox perfuradas e levados para a estufa até atingir umidade visual adequada (Figuras 9 e 10). As temperaturas utilizadas foram de 60, 65 e 70 °C, conforme planejamento experimental (Tabela 4). Para avaliação da secagem, foram retiradas amostras em intervalos regulares e pesadas.



**Figura 9** Tomates sobre papel toalha.



**Figura 10** Tomates distribuídos nas bandejas.

#### 4.2 Planejamento experimental

No processo de desidratação e secagem foi utilizado um planejamento fatorial, que teve por objetivo avaliar o efeito de três fatores na qualidade de tomate seco. Sendo utilizado o delineamento composto central rotacional  $2^3$ , incluindo seis pontos axiais ( $\pm 1,68$ ) e três repetições no ponto central. Na Tabela 3 são apresentados os fatores do planejamento fatorial e seus níveis.

**Tabela 3** Níveis dos fatores e seus respectivos valores

Fatores	Níveis				
	- $\alpha$	-1	0	+1	+ $\alpha$
Solução osmótica de cloreto de sódio e sacarose (%)	3,96	14,5	30	45,5	56,04
Tempo de imersão (minutos)	12,8	40	125	210	267,8
Temperatura de secagem (°C)	56,6	60	65	70	73,4

**Nota:**  $\alpha = \pm 1,68$ .

A Tabela 4 apresenta a matriz do planejamento composto central rotacional com seus valores reais entre parênteses e codificados. Foram realizados de forma aleatória oito ensaios principais ( $\pm 1$ ), três repetições no ponto central (0) e seis nos pontos axiais ( $\pm \alpha$ ), totalizando 17 ensaios.

**Tabela 4** Matriz do planejamento fatorial DCCR  $2^3$  com os níveis codificados e os valores reais entre parênteses

Ensaio*	Fatores		
	Solução osmótica (%)	Tempo de imersão (minutos)	Temperatura de secagem (°C)
01	-1 (14,5)	-1 (40)	-1 (60)
02	+1 (45,5)	-1 (40)	-1 (60)
03	-1 (14,5)	+1 (210)	-1 (60)
04	+1 (45,5)	+1 (210)	-1 (60)
05	-1 (14,5)	-1 (40)	+1 (70)
06	+1 (45,5)	-1 (40)	+1 (70)
07	-1 (14,5)	+1 (210)	+1 (70)
08	+1 (45,5)	+1 (210)	+1 (70)
09	0 (30)	0 (125)	0 (65)
10	0 (30)	0 (125)	0 (65)
11	0 (30)	0 (125)	0 (65)
12	- $\alpha$ (3,96)	0 (125)	0 (65)
13	+ $\alpha$ (56,04)	0 (125)	0 (65)
14	0 (30)	- $\alpha$ (12,8)	0 (65)
15	0 (30)	+ $\alpha$ (267,8)	0 (65)
16	0 (30)	0 (125)	- $\alpha$ (56,6)
17	0 (30)	0 (125)	+ $\alpha$ (73,4)

**Nota:** \* O número do ensaio não significa a ordem que ele foi realizado.

### 4.3 Análises de qualidade

As análises de qualidade foram realizadas no tomate *in natura* e nos 17 ensaios após a secagem.

### 4.3.1 Cor

A cor foi determinada por leitura direta do tomate seco em colorímetro Minolta CR-200, o qual considera no seu sistema as coordenadas L\* (luminosidade), a\* (intensidade de vermelho) e b\* (intensidade de amarelo). O aparelho foi previamente calibrado em superfície branca de acordo com padrões pré-estabelecidos (Figura 11). As análises em cada amostra foram realizadas com cinco repetições, obtendo-se valores médios e desvio padrão dos parâmetros da Luminosidade (L\*) (ARIAS *et al.*, 2000). Os valores de H\* (hue) e C\* (Chroma) foram calculados de acordo com as equações 1 e 2.



**Figura 11** Leitura da cor com colorímetro.

### 4.3.2 Licopeno

O licopeno é o carotenóide predominante no tomate. A determinação de carotenóides foi baseada na quantificação do licopeno, seguindo o procedimento descrito por Rodriguez-Amaya (2001), sendo modificado conforme a necessidade de melhorar a extração. As análises foram realizadas em triplicata.

O tomate seco foi cortado em pequenos pedaços homogêneos. Amostras de 1 g foram pesadas e colocadas em Erlenmeyer envolto de papel alumínio para evitar a foto-oxidação dos pigmentos. Em cada amostra foram adicionados 40 mL de acetona, ficando em contato com o solvente por 23 horas, armazenada em geladeira para melhor extração dos pigmentos.

Depois as amostras foram homogeneizadas utilizando-se Mesa Agitadora Orbital TE-141 (Tecnal) a 200 rpm por 1 hora. Em seguida, procedeu-se a filtragem a vácuo com o auxílio do *Vacuum Manifold* SPE.

Os filtrados combinados, contendo os pigmentos dissolvidos em acetona, foram transferidos para o funil de separação, contendo 45 mL de éter de petróleo em pequenas frações, seguidos de água destilada para retirada da acetona, descartando-se a fase inferior. As amostras foram lavadas por quatro vezes para remoção total da acetona.

A solução de éter com os pigmentos foi transferida para um balão volumétrico, completando-se o volume para 100 mL com éter de petróleo.

A leitura foi realizada por espectrofotômetro SP 2000UV (Bell® Photonics), utilizando-se o comprimento de onda 470 nm. A quantificação foi obtida aplicando-se a Equação (3):

$$Lycopeno(\mu g / g) = \frac{(A \times V \times 1.000.000)}{(A_{1cm}^{1\%} \times M \times 100)} \quad (3)$$

Em que:

$A$  = absorvância da solução no comprimento de onde 470 nm;

$V$  = volume final da solução (mL);

$A_{1cm}^{1\%}$  = coeficiente de extinção ou absortividade molar de um pigmento em determinado solvente específico. Para o licopeno em éter de petróleo o valor do coeficiente de extinção é 3450;

$M$  = massa da amostra (g).

#### 4.4 Otimização do processamento do tomate seco

A otimização do processamento do tomate seco foi realizada pelo método estatístico desejabilidade, sendo utilizado para definir as melhores condições no processamento do tomate seco. Optando-se pelos maiores valores de licopeno e Chroma (intensidade de cor) e menores valores de luminosidade e Hue (ângulo de coloração), correlacionando-os com os níveis da solução osmótica, tempo de imersão e temperatura de secagem. A análise foi realizada pelo *Software* STATISTIC (STATSOFT, 2007).

#### 4.5 Armazenamento do tomate seco

Os tomates secos produzidos em condições otimizadas foram armazenados por um período de 60 dias. Utilizando-se dois tipos de embalagens: pacotes de polipropileno selados (com ar) e pacotes a vácuo (sem ar), como demonstrado na Figura 12.



**Figura 12** Tomate seco embalado e armazenado, sendo A pacote de polipropileno e B pacote a vácuo.

#### 4.6 Análise de qualidade do tomate seco armazenado

O tomate seco armazenado foi submetido à análise inicial (tempo 0) e final (tempo 60 dias). As análises realizadas foram cor, licopeno, determinação da umidade e do teor de vitamina C.

##### 4.6.1 Umidade

A umidade foi determinada de acordo como os procedimentos descritos pelo Instituto Adolfo Lutz (2008). Fundamenta-se na evaporação da água presente no alimento e pesagem do resíduo sólido. Os cadinhos foram previamente tarados em estufa a 105 °C por 4 a 6 horas antes da pesagem. Em seguida, foi adicionado 1 g da amostra e levada à estufa por 24 horas com temperatura de 65 °C. Após este procedimento, efetuou-se a pesagem novamente. Por diferença entre peso inicial e final calculou o teor de umidade.

#### 4.6.2 Determinação de vitamina C

A determinação da vitamina C foi realizada por método titulométrico, seguindo o procedimento descrito pela *Association of Official Analytical Chemists – AOAC* (1984) e modificada por Benassi e Antunes (1988). Este método baseia-se na dosagem de vitamina C, através da titulação com 2,6-Diclorofenol Indofenol (DCFI), um indicador colorido que é reduzido pelo ácido ascórbico (AA). A reação é realizada na presença de solução de ácido oxálico 2% para evitar a auto-oxidação do AA em pH elevado. O ponto final da titulação é detectado pelo aparecimento da coloração rosada no titulado, que caracteriza o excesso de DCFI não reduzido em solução ácida.

Inicialmente, foram preparadas a solução de DCFI, a solução de ácido oxálico 2% e o padrão de ácido ascórbico. A solução de DCFI foi preparada com 100 mg de 2,6 DCFI e 210 mg de bicarbonato de sódio PA, diluídos em água destilada e completado o balão volumétrico de 1 L. A solução de ácido oxálico 2% foi preparada com 20 g de ácido oxálico PA, diluído em água destilada e completado o balão volumétrico de 1 L. A solução padrão de ácido ascórbico foi preparada com 125 mg de ácido ascórbico PA, diluída em ácido oxálico 2% e completado o balão volumétrico de 50 mL.

Em seguida, para a padronização da solução de DCFI, foram retirados 2 mL da solução padrão de ácido ascórbico e transferidos para balão volumétrico de 50 mL, completando-se o volume com ácido oxálico 2%. Após retirou-se uma alíquota de 10 mL dessa solução que foi colocada em um erlenmeyer para fazer a titulação com a solução de DCFI. A titulação foi realizada até o ponto de viragem (coloração rosada). A padronização foi feita em triplicata, sendo calculada a média dos valores de DCFI gastos na titulação.

Após a padronização da solução, a amostra foi pesada na balança analítica 50 g de ácido oxálico 2% em béquer de 250 mL. Dentro do béquer com ácido oxálico foi colocada 1,2 g de amostra. Homogeneizou-se esta solução (amostra + ácido oxálico) com bastão de vidro. Em outro béquer, foi pesado 20 g dessa solução, transferida para o balão volumétrico, completado com ácido oxálico até 50 mL. A solução foi homogeneizada e filtrada a vácuo. Foi pipetada uma alíquota de 10 mL do filtrado em erlenmeyer e titulada com a solução de DCFI até o ponto de viragem (coloração rosada). A quantidade de DCFI gastos na titulação foi anotada. Essa análise foi realizada em triplicata.

A quantificação de vitamina C foi obtida utilizando a Equação (4):

$$\text{Vitamina C (mg/100g)} = \frac{\text{DCFI amostra (mL)}}{\text{DCFI padrão (mL)}} \times \frac{100\text{g}}{\text{amostra (g)}} \times \frac{\text{ácido+ amostra tratada (g)}}{\text{alíquota ácido + amostra (g)}} \times \frac{V(50\text{mL})}{V \text{alíquota (10mL)}} \quad (4)$$

Em que:

*DCFI amostra (mL)* = Diclorofenol Indofenol gastos na titulação;

*DCFI padrão (mL)* = Diclorofenol Indofenol gastos na padronização;

*Amostra (g)* = quantidade de amostra em gramas;

*Ácido + amostra tratada (g)* = Peso da amostra com o ácido;

*Alíquota do ácido + amostra (g)* = Peso do ácido com amostra;

*V* = Volume.

#### 4.7 Análise estatística

O experimento foi conduzido com a utilização do delineamento composto central rotacional  $2^3$ , com objetivo de avaliar o efeito de três fatores na qualidade de tomate seco. Para a análise estatística, foram calculados os efeitos dos fatores lineares, quadráticos e das interações sobre as respostas estudadas, assim como o erro, o coeficiente t e a significância estatística ( $p < 0,1$ ). Estes fatores foram calculados pelo SS Residual, que gera um modelo a partir dos pontos experimentais e calcula o desvio padrão a partir deste modelo.

Os modelos obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), na qual foi possível verificar a validade estatística e a capacidade de predição dos modelos matemáticos obtidos para as respostas, pelo valor da relação entre F calculado/F tabelado. Quanto maior é o F calculado, em relação ao F tabelado, melhor é o ajuste do modelo matemático aos dados experimentais.

Para definir as melhores condições no processamento do tomate seco, utilizou-se a metodologia de otimização pelo método de Derringer e Suich (1980), que está baseada na definição de uma função de desejabilidade para cada resposta, com valores restritos ao intervalo  $[0,1]$ , sendo zero um valor inaceitável e um o valor mais desejável (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2010). Sendo possível estabelecer os valores otimizados para os fatores avaliados: solução osmótica, tempo de imersão e temperatura de secagem. A análise estatística foi realizada com o programa STATISTICA v. 8.0 (STATSOFT, 2007).

A etapa de armazenamento foi conduzida em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial  $2 \times 2$  (duas embalagens e dois períodos de armazenamento) com três repetições. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e teste de comparação de médias pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade, utilizando o programa estatístico R versão 2.13.0 (2011).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Caracterização da matéria-prima

A qualidade de um alimento é avaliada principalmente pela aparência, sendo a cor um atributo relacionado com o sabor. O licopeno tem relação direta com a aparência do tomate, pois é o carotenóide responsável pela coloração vermelha. Na Tabela 5 são apresentadas as médias da cor (luminosidade, índice de croma e ângulo de coloração) e licopeno do tomate *in natura*.

**Tabela 5** Médias dos dados experimentais de luminosidade (L\*), índice de croma (C\*), ângulo de coloração (h\*) e determinação do teor de licopeno do tomate *in natura*

Parâmetros	Valor médio*
Luminosidade (L*)	39,77
Índice de croma (C*)	46,36
Ângulo de coloração (°)	30,83
Licopeno (µg/g)	104,77

**Nota:** \* Média de cinco leituras para análise da cor e triplicata para o licopeno.

A luminosidade (grau de brilho) do tomate apresentou valor médio de 39,77. Este parâmetro pode variar entre zero (preto) e cem (branco). Segundo López Camelo e Gómez (2004), o valor de L\* reduz à medida que os frutos amadurecem devido à síntese de carotenóides, ocasionando a perda de brilho.

Carvalho *et al.* (2005) avaliaram a luminosidade de três híbridos de tomate de mesa em diferentes estádios de maturação, verificando valores médios para o estágio vermelho que variaram entre 36,65 e 37,01.

O índice de croma (C\*) representa a intensidade da cor, no qual quanto maiores os valores, maior é a intensidade da cor das amostras percebida pelos seres humanos. Isso se deve ao espaço de cor utilizado que converte as coordenadas cilíndricas em retangulares e quanto mais os valores se afastam do centro, mais puras ou mais fortes são as cores; ao contrário quanto mais se aproxima do centro, mais mescladas estas se tornam, até se tornar uma única cor cinza (GRANATTO; MASSON, 2010). Para o tomate *in natura* observou-se valor alto, ou seja, um tom de cor mais perceptível ao olho humano.

O ângulo de coloração (h\*) caracteriza a formação das cores entre vermelho, amarelo, verde e azul. O parâmetro h\* apresentou valor baixo, podendo caracterizar a cor

vermelha. Fabri (2009) avaliou os parâmetros  $L^*$ ,  $C^*$  e  $h^*$  de tomates variedade Debora sem irradiação, obtendo valores médios de 43,08, 36,76 e 47,21, respectivamente.

A determinação do teor de licopeno foi de 104,77  $\mu\text{g/g}$ . Esse valor pode variar de acordo com a variedade, clima, estágio de maturação e outros fatores; em geral, quanto mais avermelhado for o tomate, maior será sua concentração de licopeno (RODRIGUEZ-AMAYA, 1999; SHAMI; MOREIRA, 2004).

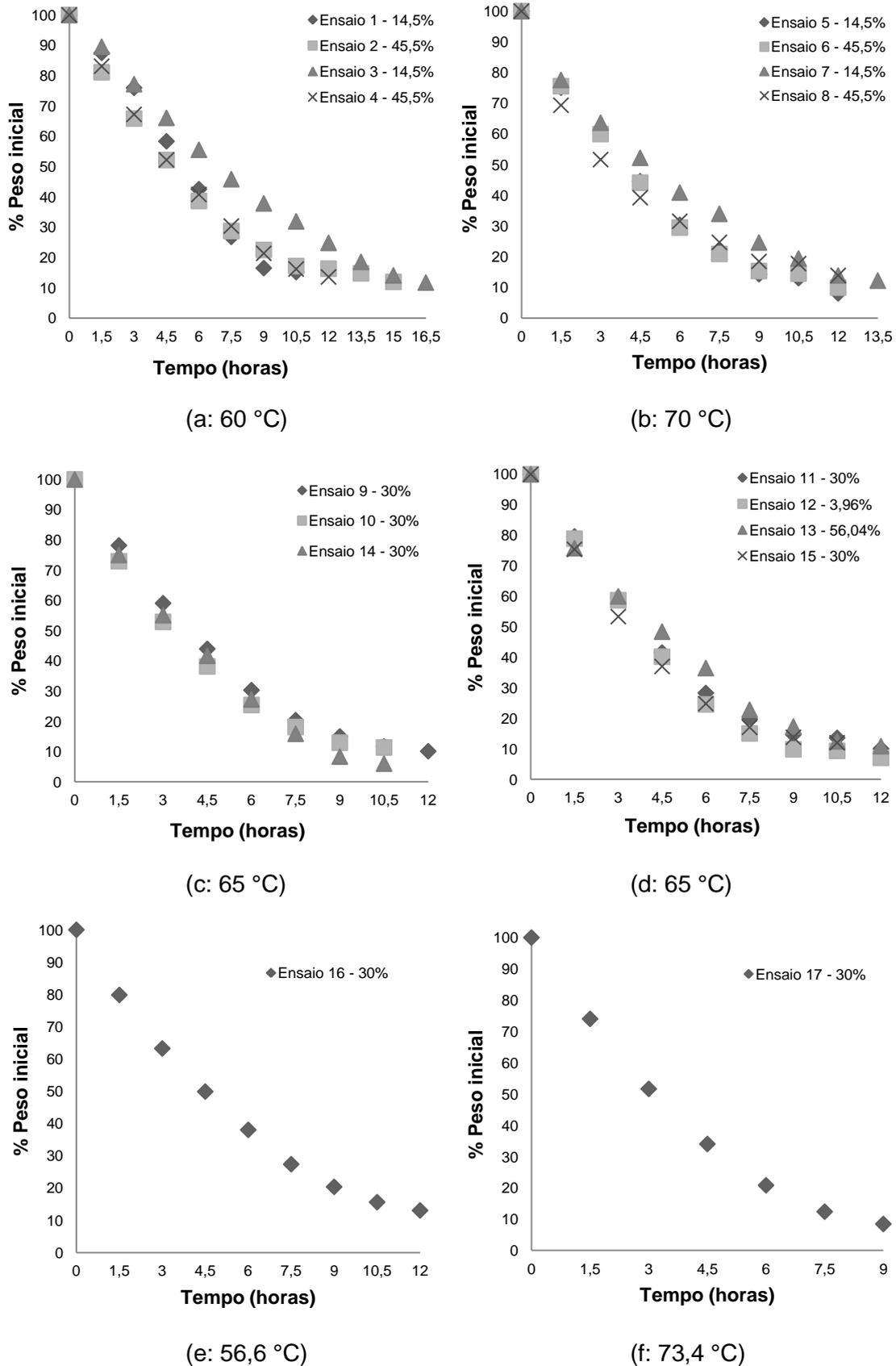
Tonon (2005) avaliou o teor de licopeno de 17 amostras de tomate *in natura* da variedade Deborah, os resultados obtidos foram de 75,17 a 96,98  $\mu\text{g/g}$ . Carvalho *et al.* (2005) avaliaram três híbridos de tomate de mesa que apresentaram valores entre 82,32 e 105,94  $\mu\text{g/g}$ .

## 5.2 Processamento do tomate

Na Figura 13 estão apresentadas as curvas da cinética de secagem do tomate, em função das temperaturas de 56,6, 60, 65, 70 e 73,4 °C, em relação à concentração da solução osmótica, avaliando-se o peso (%) e o tempo (minutos). Observa-se que somente a maior temperatura de secagem (73,4 °C) teve influência na redução do tempo (Figura 13e) em comparação com os outros ensaios (Figura 13a; Figura 13b; Figura 13c; Figura 13d).

No ensaio 16, com a menor temperatura de secagem (56,6 °C), chega-se a 12 horas de secagem (Figura 13e). O ensaio 3 (60 °C) apresentou o maior tempo: 16,5 horas (Figura 13a). Essa diferença pode estar relacionada à concentração de sacarose e cloreto de sódio que ocasionou perda de água e difusão dos solutos para amostra reduzindo o tempo de secagem. Diante disso, observa-se que as amostras de tomate apresentaram comportamento cinético similar, sendo que a concentração da solução osmótica teve influência significativa.

Verifica-se na Figura 13 que, após as 10,5 horas de processo, os ensaios 1, 2 e 4 obtiveram um equilíbrio cinético (Figura 13a). Nas primeiras horas de secagem o ensaio 8 apresentou maior perda de peso; após 6 horas os ensaios 5 e 6 demonstraram um equilíbrio (Figura 13b). Os ensaios 9, 10 e 14 foram desidratados com a mesma concentração da solução e, nas primeiras 6 horas de secagem, apresentaram uma perda de água equilibrada (Figura 13c). Nas primeiras 4,5 horas de secagem, o ensaio 15 teve maior perda de peso em comparação com o ensaio 13 com maior concentração da solução que se manteve com menor redução de peso até o final da secagem. O ensaio 12, a partir de 6 horas de secagem, apresentou perda de peso maior em relação aos outros ensaios (Figura 13d). Ao se comparar os ensaios 16 (Figura 13e) e 17 (Figura 13f) em que se aplicou a mesma concentração da solução, verifica-se que apresentaram perda de peso e tempo de secagem diferente por causa das temperaturas de secagem utilizadas.



**Figura 13** Curva de secagem da temperatura em relação à concentração da solução osmótica (%), para as temperaturas de: 60 °C (a), 70 °C (b), 65 °C (c; d), 56,6 °C (e) e 73,4 °C (f).

Durante o processo de secagem ocorrem modificações na estrutura vegetal do tomate, influenciadas pela perda de peso, em consequência dos diferentes tratamentos utilizados para os tempos de secagem. A concentração da solução osmótica de 30% (5% cloreto de sódio/ 25% sacarose) teve efeito mais acentuado na perda de peso com redução do tempo de secagem (Figura 13c; Figura 13d), ou seja, a concentração da solução com 45,5% (8% cloreto de sódio/37,5% sacarose) apresentou maior tempo de secagem (Figura 13a; Figura 13b) com diferentes temperaturas. O tempo de secagem no processamento dos tomates seco variaram de 9 a 16,5 horas.

Sanjinez-Argandoña *et al.* (2011) obtiveram tomates com 45% de umidade sem pré-tratamento osmótico, avaliando as temperaturas de secagem de 60 e 70 °C para amostras, tomates cortados em metades, em tempos de secagem de 21,4 e 16,5 horas, respectivamente.

Corrêa *et al.* (2008) verificaram que a utilização da solução osmótica com a concentração maior de sacarose (10%) e menor de cloreto de sódio (7,5%) leva a uma diminuição do teor de umidade e aumento de ganho de sólidos. Segundo Falade e Igbeka (2007), os açúcares apresentam moléculas maiores que os sais, difundem menos para dentro do alimento e promovem uma maior perda de umidade, mas em soluções com maior concentração ocorre maior ganho de sólidos.

De acordo com Souza (2002), a utilização do pré-tratamento osmótico com soluções contendo 5% de cloreto de sódio e 35% de sacarose reduziu o tempo de secagem do tomate para atingir uma umidade intermediária de 20%, empregando temperaturas de 50 e 60 °C, resultando nas faixas de 5 e 3,5 horas, respectivamente. O menor tempo de secagem é porque o tomate foi cortado em oito partes semelhantes.

Queji e Pessoa (2011) avaliaram concentrações de cloreto de sódio, sacarose, tempo de imersão e secagem a 60 °C e obtiveram uma redução mais acentuada da umidade utilizando 10% de cloreto de sódio e 35% de sacarose em 120 minutos de imersão, com tempo final de 8 horas de secagem.

### **5.3 Análise dos efeitos dos tratamentos sobre o parâmetro cor**

A cor é o parâmetro utilizado para a seleção de produtos em classes e categorias comerciais, sendo relacionada à aparência global avaliada pelo consumidor no momento de adquiri-lo (CHITARRA; CHITARRA, 2005). No presente experimento, os índices de cor dos tomates secos obtidos nas diferentes condições experimentais estão apresentados na Tabela 6 e podem ser visualizados na Figura 14.

**Tabela 6** Médias dos dados experimentais de luminosidade (L\*), índice de croma (C\*) e ângulo de coloração (h\*) dos tomates secos obtidos nas diferentes condições experimentais

Ensaio	Variáveis independentes			Variáveis dependentes*		
	SO	T	TS	L*	C*	h*
1	14,5	40	60	31,56	31,32	34,37
2	45,5	40	60	31,43	33,14	33,90
3	14,5	210	60	30,08	29,98	31,57
4	45,5	210	60	29,93	30,71	30,28
5	14,5	40	70	31,25	31,74	37,38
6	45,5	40	70	31,32	30,23	34,45
7	14,5	210	70	33,39	38,05	35,53
8	45,5	210	70	32,22	32,53	39,06
9	30,0	125	65	29,05	31,43	30,17
10	30,0	125	65	28,41	29,29	31,16
11	30,0	125	65	27,59	29,41	27,53
12	3,96	125	65	30,22	35,61	34,14
13	56,04	125	65	29,50	32,16	31,41
14	30	12,8	65	29,54	33,48	29,07
15	30	267,8	65	26,99	28,06	25,69
16	30	125	56,6	28,43	30,86	25,91
17	30	125	73,4	32,43	32,52	37,47

**Notas:** SO = solução osmótica (%); T = tempo (minutos); TS = temperatura de secagem (°C);  
\* Médias de cinco repetições.

De acordo com as condições utilizadas no processamento do tomate seco, verificou-se que a média geral para luminosidade, índice de croma e ângulo de coloração, foi de 30,20, 31,79 e 32,30, respectivamente (Tabela 6).

Os menores valores obtidos para os parâmetros L\*, C\* e h\* correspondem ao ensaio 15, sendo 26,99, 28,06 e 25,69, respectivamente. Esses valores indicam um maior escurecimento por estarem próximos ao parâmetro zero (preto) com tonalidade opaca e tons de cinza. O ensaio 7 apresenta os maiores valores para L\* (33,39) e C\*(38,05), caracterizando escurecimento com tonalidade opaca. O maior valor do h\* (39,06) corresponde ao ensaio 8, o que caracteriza que a cor pode estar entre o vermelho e amarelo.

Os resultados obtidos foram similares aos relatados por Silva *et al.* (2010), na secagem de tomate, utilizando concentração de 5% cloreto de sódio, 10% sacarose e temperatura de 65°C, obtendo valores de 31,55 para L\* e 32,08 para C\*.

Os valores obtidos pelos ensaios (9, 10 e 11) no ponto central apresentaram pequenas variações (Tabela 6), indicando uma boa repetibilidade. Na Figura 14 pode-se observar o aspecto visual do tomate seco processado, conforme planejamento experimental.



**Figura 14** Aspecto visual dos 17 ensaios de tomate seco, processados conforme planejamento experimental.

Dentre todos os ensaios, verifica-se que os ensaios 10, 11, 12, 14 e 16 apresentaram a melhor aparência global.

Na Tabela 7 são apresentados os valores dos efeitos lineares dos fatores, desvio padrão, teste t, p-valor e intervalos de confiança para o parâmetro de cor luminosidade. A análise dos efeitos lineares dos fatores avaliados foi realizada ao nível de 10% de significância.

**Tabela 7** Efeitos principais do delineamento composto central rotacional  $2^3$  para o parâmetro luminosidade do tomate seco

Fatores	Efeitos	Erro Padrão	t (7)	p - valor	Limite de confiança -90%	Limite de confiança +90%
Média	28,23	0,832	33,93	0,000	26,65	29,80
1) Solução osmótica	-0,35	0,851	-0,42	0,689	-1,97	1,26
2) Tempo de imersão	-0,64	0,846	-0,76	0,472	-2,24	-0,96
3) Temperatura secagem	1,77*	0,846	2,09	0,075	0,16	3,37
Interação 1 x 2	-0,36	1,170	-0,30	0,769	-2,57	1,86
Interação 1 x 3	-0,16	1,170	-0,14	0,894	-2,38	2,05
Interação 2 x 3	1,46	1,161	1,26	0,247	-0,73	3,66

**Nota:** \*Coeficientes estatisticamente significativos ( $p < 0,10$ ).

Somente o fator temperatura de secagem teve efeito significativo e positivo sobre a variável resposta luminosidade. A Equação 5 com os parâmetros significativos prediz a luminosidade ( $L^*$ ) dos tomates secos processados, em função da solução osmótica (SO) e da temperatura de secagem (TS):

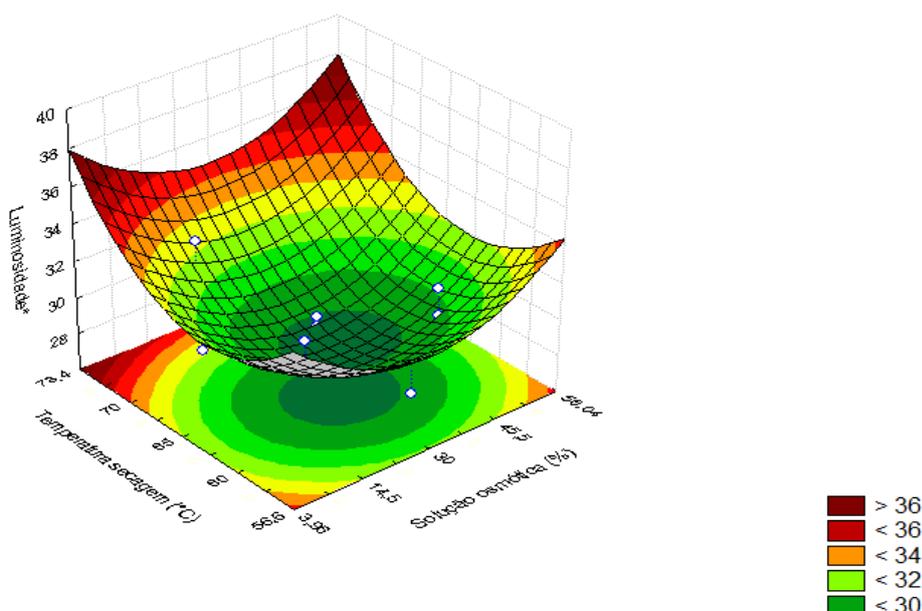
$$L = 28,70 + 0,83SO^2 + 0,87 TS + 1,03TS^2 \quad (5)$$

O modelo foi avaliado por meio da análise de variância apresentada na Tabela 8. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) apresentou valor igual a 0,5522, considerado de baixa qualidade por não explicar 44,78% do processo. Porém, a regressão foi considerada significativa, porque o valor de F calculado ( $F_c$ ) é maior que o valor de F tabelado ( $F_{tab}$ ) (Tabela 8). Diante disso, o modelo é considerado preditivo, sendo possível mostrar a tendência do comportamento por meio do gráfico de superfície de resposta (Figura 15).

**Tabela 8** Resumo da análise de variância do modelo para o parâmetro luminosidade ( $L^*$ ) do tomate seco

Fonte de variação	Soma Quadrática	Graus de liberdade	Quadrado Médio	$F_c$	$F_{tab}$
Regressão	28,02	3	9,34	5,34	2,56
Resíduo	22,72	13	1,75		
Total	50,74	16			

**Notas:** Coeficiente correlação: 55,22%;  $F_c$ : valor calculado;  $F_{tab}$ : 10% de significância.



**Figura 15** Superfície de resposta para o parâmetro luminosidade, em função dos fatores temperatura de secagem (°C) e solução osmótica (%).

Na Figura 15 visualiza-se a superfície de resposta correspondente ao parâmetro luminosidade do tomate seco. É possível observar o aumento no índice de luminosidade, em função do aumento da temperatura de secagem. Por outro lado, a solução osmótica exerceu baixa influência sobre a luminosidade, demonstrando que somente a temperatura de secagem exerceu influência sobre este parâmetro de cor. O aumento do índice de luminosidade caracteriza o brilho opaco, prejudicando a aparência do tomate seco, portanto temperaturas superiores a 73,4 °C não são recomendáveis.

Na Tabela 9 são apresentados os valores dos efeitos lineares dos fatores, desvio padrão, teste t, p-valor e intervalos de confiança para o parâmetro de cor croma. A análise dos efeitos lineares dos fatores avaliados foi realizada ao nível de 10% de significância.

**Tabela 9** Efeitos principais do delineamento composto central rotacional  $2^3$  para o parâmetro índice de croma ( $C^*$ ) do tomate seco

Fatores	Efeitos	Erro padrão	t (7)	p - valor	Limite de confiança -90%	Limite de confiança +90%
Média	30,01	0,905	33,15	0,000	28,29	31,72
1) Solução osmótica	-1,99*	0,925	-2,15	0,069	-3,74	-0,23
2) Tempo de imersão	-1,32	0,920	-1,44	0,194	-3,07	0,42
3) Temperatura secagem	2,19*	0,920	2,38	0,049	0,45	3,93
Interação 1 x 2	-0,45	1,273	-0,35	0,733	-2,86	1,96
Interação 1 x 3	-3,22*	1,273	-2,53	0,039	-5,63	-0,81
Interação 2 x 3	1,90	1,263	1,51	0,175	-0,48	4,30

**Nota:** \*Coeficientes estatisticamente significativos ( $p < 0,10$ ).

Pode-se verificar que os fatores solução osmótica, temperatura de secagem e a interação da solução osmótica com a temperatura de secagem exerceram efeitos lineares significativos sobre o parâmetro índice de croma (Tabela 8).

A Equação 6 descreve o índice de croma ( $C^*$ ) dos tomates secos processados, em função da solução osmótica (SO) e da temperatura de secagem (TS):

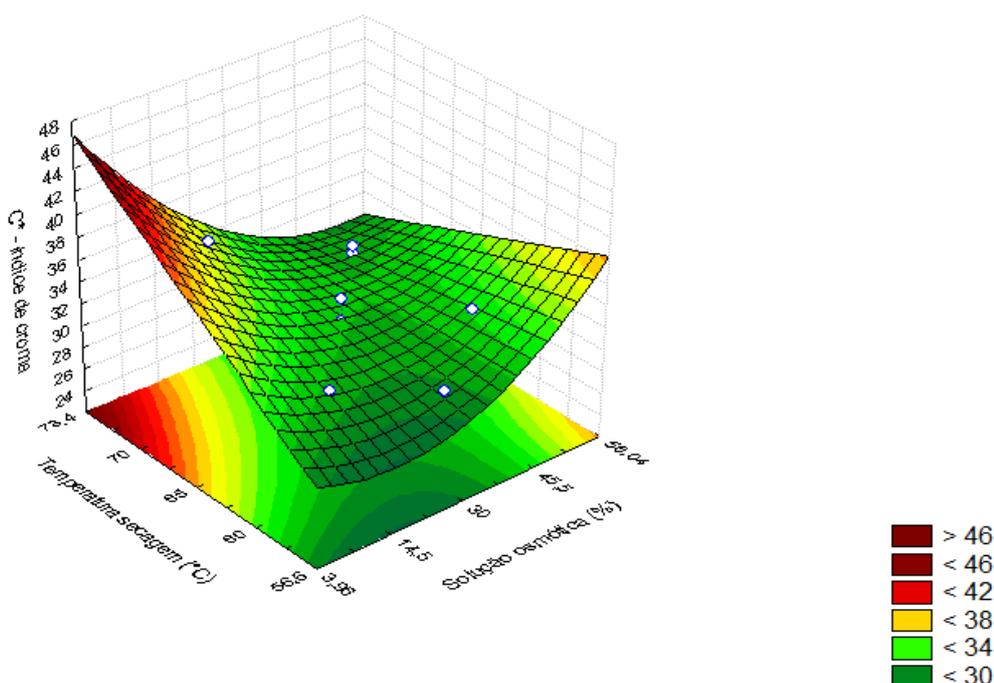
$$C = 31,10 - 1,01SO + 1,25SO^2 + 1,13TS - 1,63SO \times TS \quad (6)$$

O modelo para o índice de croma foi avaliado por meio da análise de variância (Tabela 10). O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) apresentou valor igual a 0,6061, considerado de baixa qualidade por não explicar 39,39% do processo. Porém, a regressão foi considerada significativa ( $F_c > F_{tab}$ ) e o modelo considerado preditivo, gerando o gráfico de superfície de resposta (Figura 16).

**Tabela 10** Resumo da análise de variância do modelo para o parâmetro índice de croma ( $C^*$ ) do tomate seco

Fonte de variação	Soma Quadrática	Graus de liberdade	Quadrado Médio	$F_c$	$F_{tab}$
Regressão	56,73	4	14,18	4,62	2,48
Resíduo	36,86	12	3,07		
Total	93,59	16			

**Notas:** Coeficiente correlação: 60,61%;  $F_c$ : valor calculado;  $F_{tab}$ : 10% de significância.



**Figura 16** Superfície de resposta para o parâmetro índice de croma, em função dos fatores temperatura de secagem ( $^{\circ}\text{C}$ ) e solução osmótica (%).

Através da superfície de resposta (Figura 16), pode-se observar a influência da temperatura de secagem e da solução osmótica no índice de croma do tomate seco. Os maiores valores obtidos para índice de croma foram observados quando foi utilizada a concentração da solução osmótica mais baixa combinada com a alta temperatura de secagem (73,4 °C). Por outro lado, verifica-se que o aumento na concentração da solução osmótica teve uma influência significativa na redução do valor de croma.

A temperatura durante a secagem de tomate tem influência significativa nos teores de licopeno, devido ao fato de o processamento térmico promover a quebra das paredes celulares causando o enfraquecimento das ligações com o licopeno, tornando-o mais acessível (CHANG *et al.*, 2006). Portanto, o aumento da disponibilidade de licopeno ocasionou um aumento na intensidade da cor ( $C^*$ ), conforme se pode observar na Figura 16.

Na Tabela 11 são apresentados os valores dos efeitos lineares dos fatores, desvio padrão, teste t, p-valor e intervalos de confiança para o parâmetro de cor ângulo de coloração ( $h^*$ ). A análise dos efeitos lineares dos fatores avaliados foi realizada ao nível de 10% de significância.

**Tabela 11** Efeitos principais do delineamento composto central rotacional  $2^3$  para o parâmetro ângulo de coloração ( $h^*$ ) do tomate seco

Fatores	Efeitos	Erro padrão	t (7)	p - valor	Limite de confiança - 90%	Limite de confiança +90%
Média	29,38	1,834	16,02	0,000	25,90	32,85
1) Solução osmótica	0,02	1,875	0,01	0,991	-3,53	3,57
2) Tempo de imersão	-1,05	1,865	-0,56	0,590	-4,59	2,48
3) Temperatura secagem	4,92*	1,865	2,64	0,033	1,39	8,45
Interação 1 x 2	-0,06	2,580	-0,02	0,981	-4,95	4,82
Interação 1 x 3	2,06	2,580	0,80	0,450	-2,82	6,95
Interação 2 x 3	2,83	2,559	1,11	0,305	-2,01	7,68

**Nota:** \*Coeficientes estatisticamente significativos ( $p < 0,10$ ).

A temperatura de secagem exerceu efeitos lineares significativos sobre o parâmetro ângulo de coloração (Tabela 11).

A Equação 7 descreve o ângulo de coloração ( $h^*$ ) dos tomates secos processados, em função da solução osmótica (SO) e da temperatura de secagem (TS):

$$H = 31,01 + 1,60SO^2 + 2,62TS \quad (7)$$

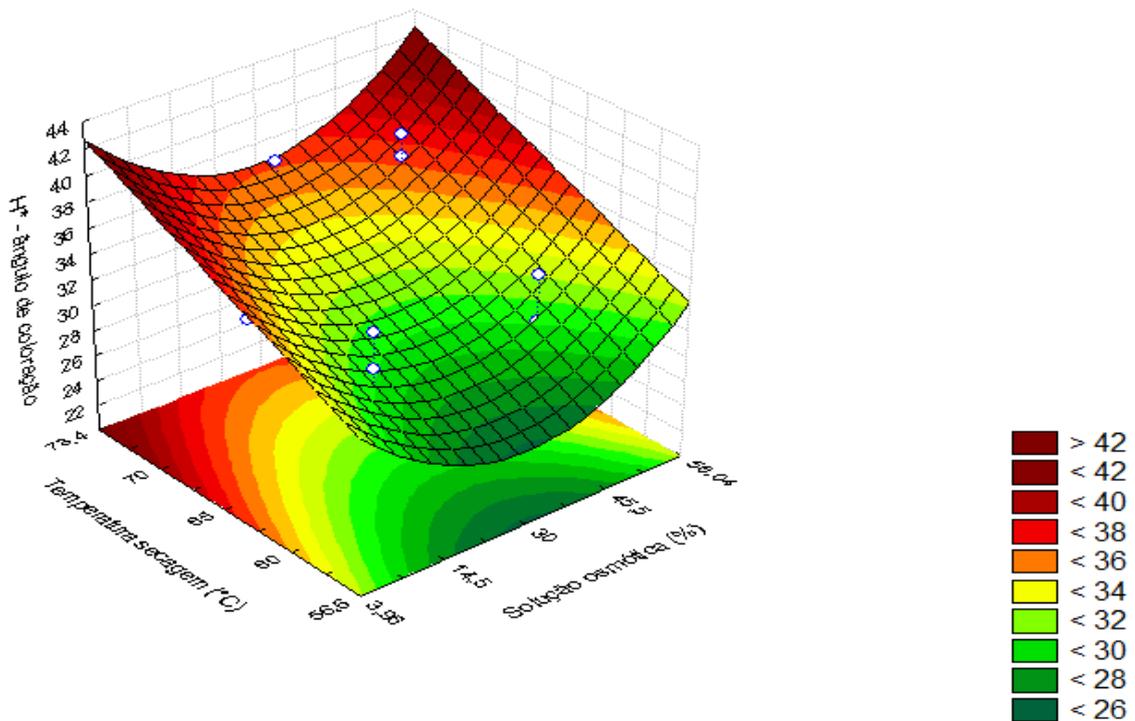
O modelo para o ângulo de coloração foi avaliado por meio da análise de variância (Tabela 12). O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) apresentou valor igual a 0,7191, considerado de baixa qualidade por não explicar 28,09% do processo. Porém, a regressão

foi considerada significativa ( $F_c > F_{tab}$ ) e o modelo foi considerado preditivo, gerando o gráfico de superfície de resposta (Figura 17).

**Tabela 12** Resumo da análise de variância do modelo para o parâmetro ângulo de coloração ( $h^*$ ) do tomate seco

Fonte de variação	Soma Quadrática	Graus de liberdade	Quadrado Médio	$F_c$	$F_{tab}$
Regressão	126,94	2	63,47	7,07	2,73
Resíduo	125,53	14	8,97		
Total	252,47	16			

**Notas:** Coeficiente correlação: 71,91%;  $F_c$ : valor calculado;  $F_{tab}$ : 10% de significância.



**Figura 17** Superfície de resposta para o parâmetro ângulo de coloração ( $h^*$ ), em função dos fatores temperatura de secagem ( $^{\circ}\text{C}$ ) e solução osmótica (%).

Na Figura 17 está demonstrada a superfície de resposta para o ângulo de coloração ( $h^*$ ), em função dos fatores temperatura de secagem e solução osmótica. Com o aumento da temperatura de secagem ocorrem acréscimos no valor do ângulo de cor, podendo ocasionar uma mudança da tonalidade de cor vermelha para amarela, não sendo indicada para o tomate seco. Verifica-se que a condição de processo que minimiza esse aumento do ângulo de coloração é dada por temperaturas de secagem abaixo de  $73,4^{\circ}\text{C}$  e concentração da solução osmótica maior que 3,96%.

#### 5.4 Análise dos efeitos dos tratamentos sobre o parâmetro licopeno

O tomate é considerado um alimento funcional devido à concentração de licopeno, é o carotenóide responsável pela cor vermelha, com ação antioxidante associada à prevenção de doenças. A quantidade de licopeno (ug/g) nos tomates secos obtidos nas diferentes condições experimentais analisadas é apresentada na Tabela 13.

**Tabela 13** Médias dos dados experimentais de licopeno (ug/g) dos tomates secos obtidos nas diferentes condições experimentais

Ensaio	Variáveis independentes			Variável dependente
	SO	T	TS	Licopeno (ug/g)*
1	14,5	40	60	48,03
2	45,5	40	60	35,46
3	14,5	210	60	38,92
4	45,5	210	60	14,74
5	14,5	40	70	55,42
6	45,5	40	70	35,31
7	14,5	210	70	39,08
8	45,5	210	70	32,50
9	30	125	65	78,95
10	30	125	65	58,47
11	30	125	65	157,10
12	3,94	125	65	254,33
13	56,04	125	65	82,86
14	30	13	65	195,46
15	30	268	65	122,51
16	30	125	57	86,77
17	30	125	74	51,38

**Notas:** SO = solução osmótica (%); T = tempo (minutos); TS = temperatura de secagem (°C);  
\* = Médias de cinco repetições.

De acordo com as condições utilizadas no processamento do tomate seco, verificou-se que a média geral para licopeno foi de 81,61 ug/g. Pode-se observar que os valores encontrados ficaram entre a faixa de 14,74 a 254,33 ug/g. De acordo com Rodriguez-Amaya (1999), a extração de carotenóides de amostras processadas é mais fácil em comparação com alimentos *in natura* que têm a proteção física ou combinação com outros componentes do alimento.

Kobori *et al.* (2010) avaliaram cinco amostras de tomate seco por meio de cromatografia líquida de alta eficiência e obtiveram valor médio de 361,3 ug/g. As diferenças nos valores obtidos de licopeno se devem, provavelmente, ao ponto de maturação do tomate e às diferentes condições experimentais analisadas.

Na Tabela 14 são apresentados os valores dos efeitos lineares dos fatores, desvio padrão, teste t, p-valor e intervalos de confiança para o parâmetro licopeno. A análise dos efeitos lineares dos fatores avaliados foi realizada ao nível de 10% de significância.

**Tabela 14** Efeitos principais do delineamento composto central rotacional  $2^3$  para o parâmetro licopeno do tomate seco

Fatores	Efeitos	Erro Padrão	t (7)	p - valor	Limite de confiança -90%	Limite de confiança +90%
Média	103,32	40,242	2,57	0,037	27,07	179,56
1) Solução osmótica	-76,20*	41,149	-1,85	0,106	-154,16	1,76
2) Tempo de imersão	-48,35	40,929	-1,18	0,276	-125,90	29,19
3) Temperatura secagem	18,18	40,929	0,44	0,670	-59,36	95,73
Interação 1 x 2	42,57	56,614	0,75	0,477	-64,69	149,83
Interação 1 x 3	-39,57	56,614	-0,70	0,507	-146,84	67,69
Interação 2 x 3	-36,91	56,151	-0,66	0,531	-143,30	69,47

**Nota:** \*Coeficientes estatisticamente significativos ( $p < 0,10$ ).

A solução osmótica exerceu efeitos lineares significativos sobre o parâmetro licopeno (Tabela 14). Dentre diversos processos de desidratação estudados por Shi *et al.* (1999), a osmótica foi a que garantiu menor perda de licopeno em tomates.

A utilização de temperaturas elevadas no processo de secagem pode provocar a degradação e a oxidação de alguns nutrientes. Neste sentido, a desidratação osmótica atua como eficiente pré-tratamento, o qual promove melhora na qualidade do produto final, acarretando uma redução da perda de nutrientes como vitaminas, minerais e licopeno (SHI *et al.*, 1999). A Equação 8 descreve o licopeno dos tomates secos processados, em função da solução osmótica (SO):

$$L = 85,15 - 30,12SO \quad (8)$$

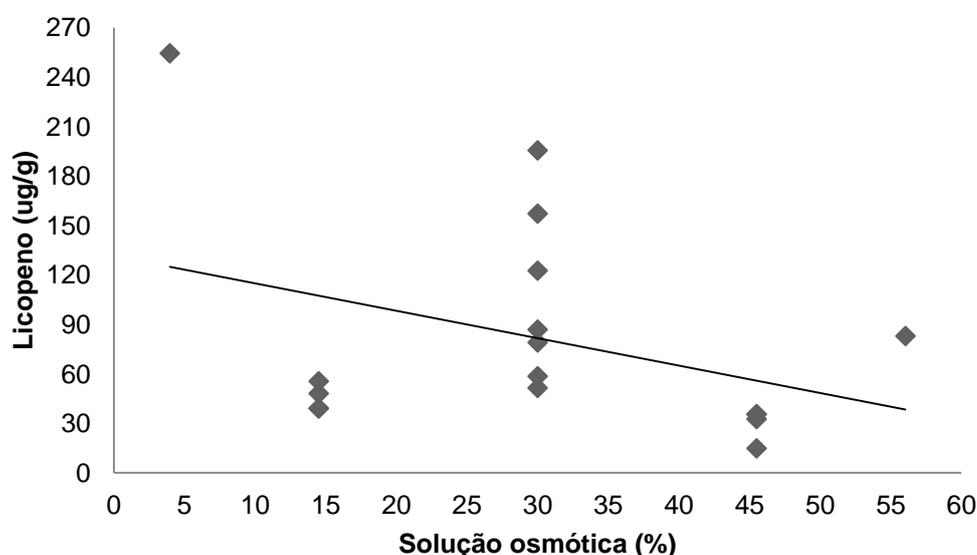
O modelo para o licopeno foi avaliado por meio da análise de variância (Tabela 15). O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) apresentou valor igual a 0,4998, considerado de baixa qualidade por não explicar 50,02% do processo. Porém, a regressão foi considerada significativa ( $F_c > F_{tab}$ ), mas o modelo apresenta somente um fator significativo, não sendo possível gerar o gráfico de superfície de resposta.

**Tabela 15** Resumo da análise de variância do modelo para o parâmetro licopeno do tomate seco

Fonte de variação	Soma Quadrática	Graus de liberdade	Quadrado Médio	F <sub>c</sub>	F <sub>tab</sub>
Regressão	12,16	1	12,16	3,25	3,07
Resíduo	56,09	15	3,74		
Total	68,25	16			

**Notas:** Coeficiente correlação: 49,98%; F<sub>c</sub>: valor calculado; F<sub>tab</sub>: 10% de significância.

A Figura 18 demonstra a influência da concentração da solução osmótica no teor de licopeno (ug/g) nas 17 amostras de tomate seco.



**Figura 18** Influência da concentração da solução osmótica (%) no teor de licopeno (ug/g).

Como pode ser observado na Figura 18, os maiores teores de licopeno estão presente nas amostras de tomate seco processadas com a concentração da solução osmótica de 30% (5% cloreto de sódio/25% sacarose), no entanto, as concentrações de 3,94 (3,94% sacarose) e 56,04 (10,04% cloreto de sódio/46% sacarose) apresentaram teores significativos: 254,33 e 82,86 ug/g, respectivamente. Diante disso, verifica-se que existe uma tendência linear relacionando a menor concentração da solução osmótica com maiores teores de licopeno. Porém, alguns aspectos devem ser considerados como o ponto de maturação do tomate, a época de colheita, o tipo de solo cultivado e erros experimentais, durante a extração e separação dos carotenóides que exigem ausência de luz, de calor e um tempo de análise pequeno.

## 5.5 Otimização do processamento do tomate seco

A utilização do delineamento composto central rotacional (DCCR2<sup>3</sup>) permitiu avaliar a concentração da solução osmótica, tempo de imersão e temperatura de secagem no processamento de tomate seco. Para avaliar os resultados e encontrar as condições ótimas de processamento das variáveis independentes foi utilizada a metodologia estatística denominada desejabilidade.

No método de desejabilidade os valores são indicações relacionadas às respostas, sendo que quanto mais próximo de 1 a resposta é altamente desejada e quando este valor se aproxima de zero é totalmente indesejada. Assim sendo, os valores desejáveis foram definidos em função de serem as melhores condições na qualidade do tomate seco, na qual o índice de coroma e o teor de licopeno foram considerados as respostas de maior importância com valor desejável igual a 1 ( $d = 1$ ). Para as respostas luminosidade e ângulo de coloração, o valor desejável foi igual a 0 ( $d = 0$ ).

Para a luminosidade e o ângulo de coloração não foi escolhido o valor desejável superior a 0, devido ao fato de que valores superiores influenciariam na qualidade do tomate seco de forma significativa.

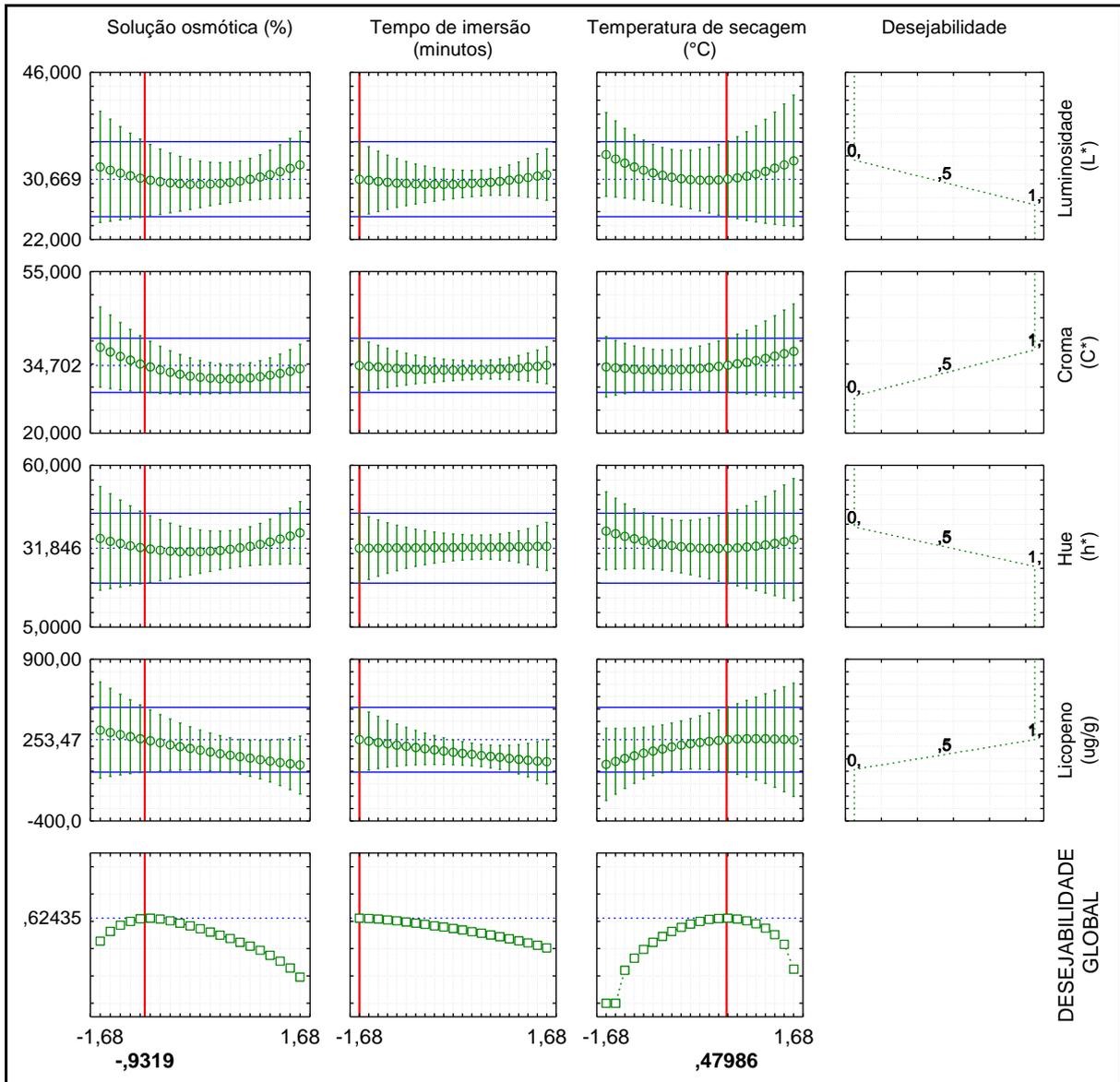
O método de otimização fornece os melhores níveis para as variáveis independentes para gerar as respostas desejadas. Na Figura 19 são apresentadas as condições otimizadas para cada um dos fatores analisados e os valores previstos para as respostas, nos quais se observa ótima desejabilidade global nas condições estabelecidas, com 62,43% das respostas desejadas.

Na Tabela 16 são apresentados os valores otimizados nas condições estabelecidas no processamento do tomate seco, sendo a concentração da solução osmótica de 15,5% (2,2% cloreto de sódio/ 13,3% sacarose), o tempo de imersão de 12,8 minutos e a temperatura de secagem de 67°C.

**Tabela 16** Valores codificados e reais para os fatores do processamento do tomate seco resultantes da otimização global do processo

Fator	Valor codificado	Valor real
Solução osmótica	-0,93	15,5%
Tempo de imersão	-1,68	12,8 minutos
Temperatura de secagem	0,48	67°C

As respostas para estas condições podem ser visualizadas na Figura 19. Foram obtidos os seguintes valores: 31,80 para luminosidade; 33,20 para índice de coroma; 35,31 para ângulo de coloração e 144,8 ug/g para licopeno. Porém, estes valores podem apresentar, nas condições estabelecidas pela Tabela 16, uma variação de 37,57%, devido à desejabilidade global não ter sido igual a 1 (100%).



**Figura 19** Análise de desejabilidade do processamento de tomate seco, em função dos fatores solução osmótica (%), tempo de imersão (minutos) e temperatura de secagem (C°).

A partir desses valores, foi realizado novo processamento de tomate seco, o qual foi armazenado em dois tipos de embalagem por sessenta dias.

## 5.6 Qualidade do tomate seco armazenado

A vida de prateleira de um alimento é um fator de extrema importância, visando à exigência e à segurança do consumidor. Os alimentos são sistemas complexos e sofrem mudanças na qualidade, em função do tempo, devido a diversas reações químicas.

Normalmente as reações de transformação em alimentos incluem a degradação microbiológica, senescência, reações enzimáticas, escurecimento não enzimático, oxidação de lipídeos, degradação de vitaminas, mudanças de cor, alterações sensoriais e físicas. Evidentemente, cada alimento apresenta uma reação mais notável e determinante no tempo de vida de prateleira (CAMARGO, 2005).

Os alimentos desidratados têm o tempo de vida útil prolongados, pois durante o processo de secagem ocorre a remoção da umidade. Assim, a determinação da umidade é fundamental para avaliação da qualidade, pois o alto teor de umidade aumenta a velocidade do escurecimento em vegetais e frutas desidratadas, ocorrendo alteração das características do produto final, durante o armazenamento, como a deterioração por fungo (PARK; ANTONIO, 2006).

Os tomates secos foram elaborados com os valores dos fatores otimizados (Tabela 16). O teor de umidade dos tomates secos armazenados durante 60 dias, utilizando dois tipos de embalagens: pacotes de polipropileno selados (com ar) e pacotes a vácuo (sem ar), está demonstrado na Tabela 17.

**Tabela 17** Teor de umidade dos tomates secos armazenados durante o período de 60 dias em dois tipos de embalagens

Parâmetro	Tempo de armazenamento		
	0 (inicial)	60 dias (com ar)	60 dias (vácuo)
Umidade (%)	10,68 <sup>a</sup>	11,37 <sup>a</sup>	11,20 <sup>a</sup>

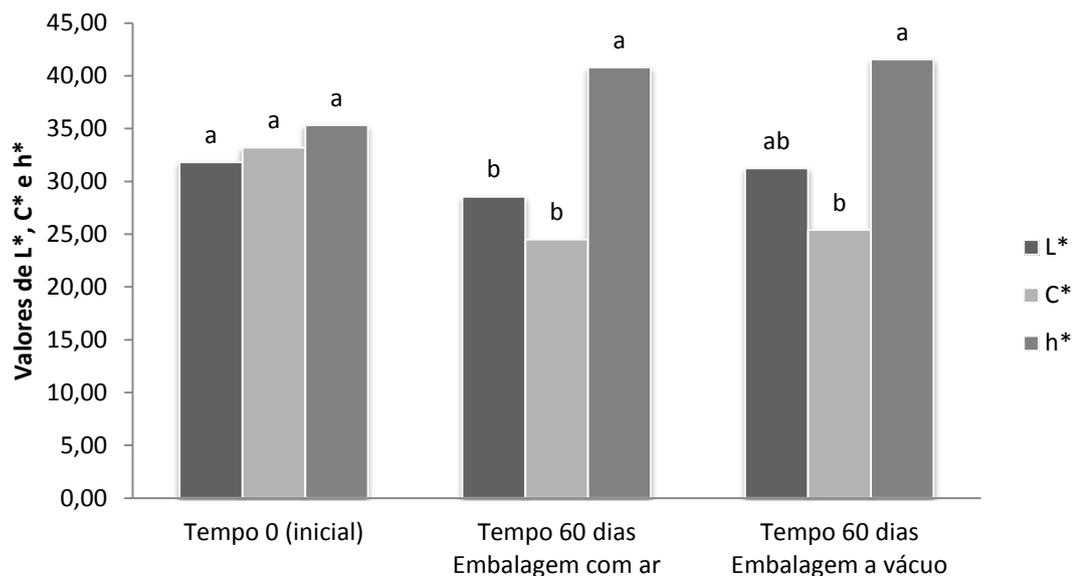
**Nota:** Letras minúsculas iguais indicam que não houve diferenças significativas entre as condições experimentais, ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey.

Os tomates secos armazenados não apresentaram alterações significativas no teor de umidade, comparando-se o tempo inicial nas embalagens com ar e a vácuo, durante o período de 60 dias (Tabela 17). Corroborando dados de Sanguanri *et al.* (1993), que afirmam que para se obter uma estocagem estável de tomates secos sem alteração da qualidade é necessário reduzir a umidade do produto para uma faixa que varia de 11 a 14%.

Pereira, Queiroz e Figueirêdo (2006), ao avaliarem a umidade de tomate seco em pó, armazenado em embalagem de polietileno durante 60 dias, observaram uma diferença significativa no ganho de umidade a partir de 50 dias de armazenamento.

A qualidade dos produtos secos é avaliada do ponto de vista dos consumidores através da aparência, sendo a cor a característica organoléptica que define a sua aquisição. Com o passar do tempo o tomate seco sofre mudanças na cor em decorrência da oxidação dos pigmentos, temperatura de estocagem, contato com oxigênio e tipo de embalagem.

Na Figura 20 está demonstrada a análise dos parâmetros luminosidade, índice de croma e ângulo de coloração da cor instrumental dos tomates secos, armazenados durante 60 dias, utilizando dois tipos de embalagens.



**Figura 20** Análise dos parâmetros de cor L\*, C\* e h\* dos tomates secos armazenados durante o período de 60 dias, em dois tipos de embalagem.

**Nota:** Letras minúsculas (coluna) iguais indicam que não houve diferenças significativas entre as condições experimentais, ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey.

Os parâmetros L\* e C\* apresentaram redução significativa durante os 60 dias de armazenamento na embalagem com ar, indicando o escurecimento do tomate seco. O parâmetro h\* aumentou após os 60 dias de armazenamento, indicando uma diferença na tonalidade da cor (Figura 20).

Camargo (2005) analisou a luminosidade de tomate seco armazenado por 180 dias em embalagem a vácuo, observando um aumento no valor de luminosidade e redução no parâmetro a\*, indicando que a cor vermelha ficou mais clara.

Segundo Kerkhofs, Lister e Savage (2005), a deterioração da cor dos produtos à base de tomate é causada pelo escurecimento enzimático, escurecimento não enzimático (reações de Maillard), oxidação de carotenóides e ácido ascórbico (vitamina C). A remoção de açúcares redutores e aminoácidos responsáveis pelo escurecimento demonstrou que a cor perdida se deve a perdas de licopeno (DIAZ *et al.*, 2010).

O licopeno é resistente ao calor, mas pode se tornar susceptível à isomerização e oxidação durante o processamento e armazenamento (PELISSARI; RONA; MATIOLI, 2008). Na Tabela 18 demonstra-se o teor de licopeno e vitamina C nos tomates secos armazenados durante 60 dias, utilizando dois tipos de embalagens.

O teor de licopeno nos tomates secos reduziu com o tempo de armazenamento de 144,80 ug/g para 94,79 e 88,03, na embalagem com ar e vácuo, respectivamente (Tabela 18). Uma vez que o licopeno é o responsável pela cor vermelha do tomate, a sua diminuição

acarretou uma perda da intensidade e mudança de cor que é constatada na Figura 19 pela diminuição da coordenada C\* e aumento do h\*.

**Tabela 18** Teor de licopeno e vitamina C dos tomates secos armazenados durante o período de 60 dias em dois tipos de embalagens

Parâmetros	Tempo de armazenamento (dias)		
	0 (inicial)	60 dias (com ar)	60 dias (vácuo)
Licopeno (ug/g)	144,80 <sup>a</sup>	94,79 <sup>b</sup>	88,03 <sup>b</sup>
Vitamina C (mg/ 100 g)	4,19 <sup>a</sup>	4,17 <sup>a</sup>	4,08 <sup>a</sup>

**Nota:** Letras minúsculas (linhas) iguais indicam que não houve diferenças significativas entre as condições experimentais, ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey.

Silva *et al.* (2010) avaliaram o teor de licopeno em tomate seco armazenado em azeite de oliva e óleo de girassol durante 45 dias, observando uma redução significativa a partir de 30 dias. Camargo (2005) verificou nos primeiros 30 dias uma grande perda de licopeno durante o armazenamento de tomate seco embalado a vácuo e mantido em temperatura ambiente e sob refrigeração.

A quantificação de vitamina C no tomate *in natura* foi de 16,24 mg/ 100 g, valor próximo ao encontrado por Ferreira (2011) de 19 mg/ 100 g. Após o processamento o tomate seco apresentou 4,19 mg de vitamina C, ocorrendo uma redução de 74%. As perdas de ácido ascórbico durante a secagem ocorrem devido ao efeito do calor combinado com a difusão, degradação química e térmica (SOUZA FILHO *et al.*, 1999).

Na Tabela 18, pode-se observar que o teor de vitamina C no tomate seco apresentou redução não significativa de 4,19 mg/ 100 g para 4,17 e 4,08, na embalagem com ar e vácuo, respectivamente. Pereira, Queiroz e Figueirêdo (2006), estudando o efeito do armazenamento no teor de vitamina C de tomate seco em pó armazenado, não constataram diferenças significativas entre os diferentes tempos.

Ao contrário de Camargo (2005) que obteve uma alta taxa da deterioração de vitamina C durante os 180 dias de armazenamento, observando que o tomate seco armazenado em temperatura ambiente apresentou a maior taxa. Isso se deve ao menor tempo de armazenamento avaliado nesse experimento.

## 6 CONCLUSÕES

As condições de realização deste experimento permitem concluir, para os objetivos propostos, que:

- Nas curvas da cinética de secagem do tomate, o aumento da concentração da solução osmótica utilizada na desidratação osmótica reduziu o tempo de secagem;
- O tempo de imersão não teve influência significativa nos parâmetros de cor e licopeno;
- O aumento da temperatura de secagem combinada com baixa concentração da solução osmótica ocasionou maiores valores de luminosidade, índice de croma e ângulo de cor;
- Nos teores de licopeno, somente a concentração da solução osmótica apresentou efeito significativo;
- O índice de desejabilidade permitiu a avaliação simultânea dos resultados e as condições ótimas para o processamento do tomate, definidas como: concentração da solução osmótica de 15,5% (2,2% cloreto de sódio/ 13,3% sacarose), tempo de imersão de 12,8 minutos e temperatura de secagem de 67°C;
- O tomate seco elaborado com os valores dos fatores otimizados, armazenados por sessenta dias em embalagem com ar e a vácuo, não apresentaram alterações significativas no teor de umidade e vitamina C;
- O licopeno apresentou diminuição no armazenamento, acarretando a perda da intensidade e mudança de cor constatada pela diminuição da coordenada C\* e aumento do h\*;
- Ocorreu a redução no parâmetro L\*, indicando o escurecimento do tomate seco.

## **7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

A condução desta pesquisa e os resultados obtidos nas análises realizadas permitem ainda uma ampliação do estudo para outros fatores e condições de ensaio. Nesse sentido, sugere-se:

- Realizar a análise sensorial dos ensaios otimizados;
- Avaliar o tempo de armazenamento por um período maior.

## REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, M. A. R. **Tomate: produção e campo, em casa de vegetação e em hidroponia**. Lavras: UFLA, 2004. 393 p.
- ALVES, D. G. **Obtenção de acerola (*Malpighia puniceifolia* L.) em passa utilizando processos combinados de desidratação osmótica e secagem**. 2003.149 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP, 2003.
- 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, Seropédica, RJ, v. 21, n. 1, p. 21-30, 2002.
- ARIAS, R.; LEE, T. C.; LOGENDRA, L.; JANES, H. Correlation of lycopene measured by HPLC with the L\*, a\*, b\* color readings of a hydroponic tomato and the relationship or maturity with color and lycopene content. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, California, v. 48, n. 5, p. 1697-1702, 2000.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALITICAL CHEMISTS - AOAC. **Official methods of analysis of AOAC International**, Gaithersburg, MD, USA, Official method 43.064, 1984.
- AZOUBEL, P. M. **Desidratação osmótica e secagem de tomate cereja (*Lycopersicon esculentum*, var. *Cerasiforme*)**. 1999. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP, 1999.
- BARATA-SOARES, A. D.; GOMEZ, M. L. P. A.; MESQUITA, C. H.; LAJOLO, F. M. Ascorbic acid biosynthesis: a precursor study on plants. **Journal of Brazilian Chemical Society**, São Paulo, SP, v. 16, p. 147-154, 2004.
- BARONI, A. F. **Propriedades mecânicas, termodinâmicas e de estado de tomate submetido à desidratação osmótica e secagem**. 2004. 226 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP, 2004.
- BARRETT REINA, L. C. **Conservação Pós colheita de Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) da Cultivar Gigante Kada Submetido a Choque a Frio e Armazenamento com Filme de PVC**. 1990. 114 f. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Alimentos) – Faculdade de Ciência dos Alimentos, Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras – MG, 1990.
- BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos: aplicações na ciência e na indústria**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.
- BENASSI, M.T.; ANTUNES, A. J. A comparison of methaphosphoric and oxalic acids as extractant solutions for the determination of vitamin C in selected vegetables. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, PR, v. 31, p. 507-513, 1988.
- BERLINCK, R. G. S. Pílulas de tomate. 1999. **Química de Produtos Naturais**. [on line] Disponível em: <http://quipronat.files.wordpress.com/2009/09/licopeno.png>. Acesso em: 13 mai. 2013.

BOILEAU, T. W.; LIAO, Z. M.; KIM, S.; LEMESHOW, S.; ERDMAN, J. W.; CLINTON, S.K. Prostate carcinogenesis in N-methyl-Nnitrosourea (NMU), testosterone-treated rats fed with tomato powder, lycopene, or energyrestricted diets. **Journal of the National Cancer Institute**, Oxford, v. 95, n. 21, p. 1578-1586, 2003.

BOITEUX, L. S.; GIORDANO, L. B. **Tomate**. O cultivo exige cuidados, demanda nutrientes e rigor nos tratos culturais, pois a planta é muito sensível a várias pragas e doenças. Disponível em: <http://revistagloborural.globo.com/GloboRural/0,6993,EEC1510079-4529,00.html>. Acesso em 10 dez. 2010.

BRACKMANN, A.; STEFFENS, C. A.; ANDRIOLO, PINTO J. L., VILELA, J. A. Armazenamento de tomate cultivar "Cronus", em função do estágio de maturação e da temperatura. **Ciência Rural** [on line], Santa Maria, RS, v. 37, n. 5, p. 1295-1300, 2007.

CAMARGO FILHO, W. P.; MAZZEI, A. R. Produção de tomate sustentabilidade e preço. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 32, n. 8, p. 45-50, 2002.

CAMARGO, A. M. M. P.; CAMARGO, F. P.; ALVES, H. S.; CAMARGO FILHO, W. P. Desenvolvimento do sistema agroindustrial do tomate. **Informações Econômicas**, São Paulo, v.36, n.6, p. 53-58, 2006.

CAMARGO, G. A. Novas tecnologias e pré-tratamentos: tomate seco embalado a vácuo. 2005. 162 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP, 2005.

CAMARGO, G. A.; HAJ-ISA, N.; QUEIROZ, M. R. Avaliação da qualidade de tomate seco em conserva. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 5, p. 521–526, 2007.

CAMARGO, G. A.; QUEIROZ, M. R. Secagem de tomate para conserva: parâmetros que influenciam a qualidade final. *In*: WORKSHOP TOMATE NA UNICAMP: Pesquisas e perspectivas. 2003. Campinas Universidade Estadual de Campinas, Campinas - SP, 2003.

CARVALHO, J. L.; PAGLIUCA, L. G. Tomate: Um mercado que não pára de crescer globalmente. **Revista Hortifruti Brasil**, São Paulo, v. 6, n. 58, p. 6-14, 2007.

CARVALHO, P. G. B.; MACHADO, C. M. M.; MORETTI, C. L.; FONSECA, M. E. N. Hortaliças como alimentos funcionais. **Horticultura Brasileira** [on line], Brasília, v. 24, n. 4, p. 397-404, 2006.

CARVALHO, W.; FONSECA, M. E. N.; SILVA, H. R.; BOITEUX, L. S.; GIORDANO, L. B. Estimativa indireta de teores de licopeno em frutos de genótipos de tomateiro via análise colorimétrica. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 232, n. 3, p. 819-825, 2005.

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

CHENLO, F.; MOREIRA, G.; PEREIRA, G.; AMPUDIA, A. Viscosities of aqueous solutions of sucrose and sodium chloride of interest in osmotic dehydration processes. **Journal of Food Engineering**, v. 54, n. 4, p. 347-352, 2002.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças**. Lavras: Editora UFLA, 785 p., 2005.

COMPANHIA DE ENTREPÓSITOS E ARMAZÉNS GERAIS DE SÃO PAULO - CEAGESP. **Programa Horti & Fruti Padrão** - Classificação do Tomate. Disponível em: <[www.cati.sp.gov.br/novacati/index.php](http://www.cati.sp.gov.br/novacati/index.php)>. Acesso em: 12 abr. 2005.

CORDENUNSI, B. R.; NASCIMENTO, J. R. O.; GENOVESE, M. I. & LAJOLO, F. M. Influence of Cultivar on Quality Parameters and Chemical Composition of Strawberry Fruits Grown in Brazil. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, California, v. 50, p. 2581-2586, 2002.

CÓRDOVA, K. R. V. **Desidratação osmótica e secagem convectiva de maçã fuji comercial e industrial**. 2006. 148 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR, 2006.

CORRÊA, J. L. G.; SILVA FILHO, E. D.; BATISTA, M. B.; AROLA, F.; FIOREZE, R. Desidratação osmótica de tomate seguida de secagem. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 35-42, 2008.

DERRINGER, G.; SUICH, R. Simultaneous optimization of several response variables. **Journal of Quality Technology**, v. 12, n. 4, p. 214-219, 1980.

DEUTSCH, J. Dehydroascorbic acid - Review. **Journal of Chromatography A**, v. 881, n. 1-2, p. 299-307, 2000.

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

DIAZ, D.; SANTOS, A.; FRANCIS, D.; SAONA, L. Carotenoid Stability During Production and Storage of Tomato Juice Made From Tomatoes with Diverse Pigment Profiles Measured by Infrared Spectroscopy. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, California, v. 58, n. 15, p. 8692–8698, 2010.

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

DUMOULIN, E.; BIMBENET, J. J. Mechanical, physical and chemical phenomena during food drying: consequences on properties of dried products. INTERNATIONAL DRYING SYMPOSIUM, 11 (IDS 98) **Proceedings...** Halkidiki, Greece, 1998. v. A, p.711-718.

EL-AOUAR, A. A. **Avaliação do processo combinado de desidratação osmótica e secagem na qualidade de cubos de Mamão Formosa (*Carica papaya* L.)**. 2001.113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP, 2001.

FABRI, A. D. T. **Estudo da radiação ionizante em tomates *in natura* (*Lycopersicon esculentum* Mill.) e no teor de licopeno do molho**. 2009. 85 f. Tese (Doutorado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear) - Universidade de São Paulo, São Paulo - SP, 2009.

FALADE, K. O.; IGBEKA, J. C. Osmotic Dehydration of Tropical Fruits and Vegetables. **Food Reviews International**, v. 23, p. 373–405, 2007.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e práticos**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.

FERREIRA, J. E. M. **Estabilidade de carotenóides, flavonóides e vitamina C em alimentos submetidos às tecnologias emergentes de processamento.** 2011. 153 f. Doutorado (Tese em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP, 2011.

FERREIRA, S. M. R. **Características de qualidade do tomate de mesa (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado nos sistemas convencional e orgânico comercializado na região metropolitana de Curitiba.** 2004. 231 f. Doutorado (Tese em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR, 2004.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO Statistics Division. **FAOSTAT** Disponível em <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>. Acesso em: 25 fev. 2013.

GABAS, A. L.; TELIS-ROMERO, J.; MENEGALLI, F. C. Cinética de degradação do ácido ascórbico em ameixas liofilizadas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, p. 66-70, 2003.

GAMA, J.J.T.; SYLOS, C.M. Effect of thermal pasteurization and concentration on carotenoid composition of Brazilian Valencia orange juice. **Food Chemistry**, v. 100, p. 1686-1690, 2007.

GARCIA DE LA CRUZ, A. **Desidratação osmótica e secagem de berinjela.** 1998. 155 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP, 1998.

GIESE, J. Color measurements in foods as a quality parameter. **Food Technology**, v. 54, n. 2, p. 62-65; 2000.

GIOVANUCCI, E.; ASCHERIO, A.; RIMM, E. B.; STAMPFER, M. J.; COLDITZ, G. A.; WILLETT, W. C. Increase of carotenoids and retinal in relation to risk of prostate cancer. **Journal of National Cancer institute**, Oxford-UK, 87: 1767-1776, 1995.

GONNET, J. F. Colour effects of co-pigmentation of anthocyanins revisited-1. A colorimetric definition using the CIELAB scale. **Food Chemistry**, v. 63, n. 3, p. 409-415, 1998.

GRANATTO, D.; MASSON, M.L. Instrumental color and sensory acceptance of soy-based emulsions: a response surface approach. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 30, n. 4, p.1090-1096, 2010.

GROSS, J. **Pigments in vegetables: chlorophylls and carotenoids.** New York: Van Nostrand Reinhold, 1991. 351 p.

HANDPRINT. **Modern color models.** Disponível em: <http://www.handprint.com/HP/WCL/color7.html#CIELAB>. Acesso em: 10 dez. 2012.

HILL, B.; ROGER, T. H.; VORHAGEN, F. W. Comparative analysis of the quantization of color spaces on the basis of the CIELAB color-difference formula. **ACM Transactions on Graphics**, v. 16, n. 2, p. 109-154, 1997.

HOBSON, G. E.; GRIERSON, D. Tomato. In: SEYMOUR, G. B.; TAYLOR, J. E.; TUCKER, G. A. **Biochemistry of fruit ripening**, London: Chapman & Hall, 1993. p. 405-442.

HUNTERLAB. **CIE L\*a\*b\* color scale.** Disponível em: [http://www.hunterlab.com/appnotes/an07\\_96a.pdf](http://www.hunterlab.com/appnotes/an07_96a.pdf). Acesso em: 10 fev. 2012.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ - IAL. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. p. 1020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Levantamento sistemático da produção agrícola**. Rio de Janeiro v. 25 n. 9 p.1-88 setembro. 2012 Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa\\_201202.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_201202.pdf)> Acesso em: 25 fev. 2013.

KARATHANOS, V. T.; KOSTAROPOULOS, A. E. Air-drying kinetics of osmotically dehydrated fruits. **Drying Technology**, v. 13, n. 5-7, p. 1503-1521, 1995.

KERKHOF, N. S.; LISTER, C. E.; SAVAGE, G. P. Change in colour and antioxidant content of tomato cultivars following forced-air drying. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 60, p. 117-121, 2005.

KOBORI, C. N.; HUBER, L. S.; KIMURA, M.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Teores de carotenoides em produtos de tomate. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, São Paulo, v. 69, p. 78-83, 2010.

LAZARIDES, H. N.; MAVROUDIS, N. E. Kinetics of Osmotic Dehydration of a Highly Shrinking Vegetable Tissue in a Salt-Free Medium. **Journal of Food Engineering**, v. 30, p. 61-74, 1996.

LEE, S. K.; KADER, A. A. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. **Postharvest Biology and Technology**, v. 20, p. 207-220, 2000.

LENART, A. Omo-convective drying of fruits and vegetables: technology and application. **Drying Technology**, v. 14, n. 2, p. 391-413, 1996.

LERICI, C. R.; PINNAVAIA, G.; DALLA ROSA, M.; BARTOLUCCI, L. Osmotic dehydration of fruits: Influence of osmotic agents on drying behavior and product quality. **Journal of Food Science**, v. 50, p. 1217, 1985.

LÓPEZ CAMELO, A. F.; GÓMEZ, P. A. Comparison of color indexes for tomato ripening. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 3, p. 534-537, 2004.

MACCARTHY, D. Concentration and Drying of Foods. London and New York: **Elsevier Applied Science Publishers**, 1985. 303 p.

MAKISHIMA, N.; MELO, W. F. O Rei das hortaliças. Embrapa hortaliças. **Revista Cultivar Hortaliças e Frutas**, Pelotas, Ed. 29, jan. 2005.

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

MELO, P. C. T.; VILELA, N. J. Desafios e perspectivas para a cadeia brasileira do tomate para processamento industrial. **Horticultura Brasileira**, Campinas, v. 23, n. 1, p. 154-157, 2005.

MINAMI, K.; HAAG, H. P. **O tomateiro**. Campinas: Fundação Cargill, 1989. 325 p.

MOREIRA, R., SERENO, A. M. Evaluation of mass transfer coefficients and volumetric shrinkage during osmotic dehydration of apple using sucrose solutions in static and non-static conditions. **Journal of Food Engineering**, v. 57, p. 25-31, 2003.

MOURA, C. P. **Aplicação de redes neuronais para a predição e otimização do processo de secagem de yacon (*Pilymnia sonchifolia*) com pré-tratamento osmótico**. 2004. 98 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia dos Alimentos) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR, 2004.

MOURA, M. L. ; SARGENT, S. A. ; OLIVEIRA, R. F. Efeito da atmosfera controlada na conservação de tomates colhidos em estágio intermediário de maturidade. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 56, n. 1, p. 135-142, 1999.

NICOLETI, J. F.; SILVEIRA JR., V.; TELIS-ROMERO, J.; TELIS, V. R. N. Influence of drying conditions on ascorbic acid during convective drying of whole persimmons. **Drying Technology**, 25, p. 891-899, 2007.

OLSON, J. A. Carotenoids and human health. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v. 49, n. 1, supl. 1, p. 7-11, 1999.

PARK, K. J.; ANTONIO, G. C. **Análises de materiais biológicos**. Universidade estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, 2006. Disponível em: [http://www.feagri.unicamp.br/ctea/manuais/analise\\_matbiologico.pdf](http://www.feagri.unicamp.br/ctea/manuais/analise_matbiologico.pdf). Acesso em: 29 Abr. 2013.

PARK, K. J.; BIN, A.; BROD, F. P. R. Obtenção de isotermas de sorção e modelagem matemática para a pêra bartlett (*Pyrus sp.*) com e sem desidratação osmótica. **Ciências e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 21, p. 73-77, 2001.

PELLISSARI, F. M.; RONA, M. S. S.; MATIOLI, G. O licopeno e suas contribuições na prevenção de doenças. **Arq Mudi**, Maringá, v. 12, p. 5-11, 2008.

PENA, L. M. R. **Estudo de pré tratamento para a obtenção de tomates em fatias**. 1999. 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas - SP, 1999.

PERALTA-ZAMORA, P.; MORAIS, J. L.; NAGATA, N. Por que otimização multivariada? **Engenharia Sanitária e Ambiental**. Rio de Janeiro, v.10, n.2, p.106-110, 2005.

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**, Campina Grande, PB, v. 6, n. 1, p. 83-90, 2006.

PEREIRA, C. M. M. A.; BARROSO, I. L.; MELO, M. R.; PEREIRA, L. P. DIAS, T. F. Cadeia produtiva de tomate na região de Barbacena sob a ótica da economia dos custos de transação. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 37, n. 12, dez. 2007.

PEREIRA, P. R. G.; FONTES, P. C. R. Nutrição mineral do tomate para mesa. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 24, n. 219, p. 27-34, 2003.

PESIS, E.; AHARONI, D.; AHARON, Z.; BEN-ARIE, R.; AHARONI, N.; FUCHS, Y. Modified atmosphere and modified humidity packaging alleviates chilling injury symptoms in mango fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v. 19, n. 1, p. 93-101, 2000.

PIMENTEL, C. V. M. B.; FRANCKI, V. M.; GOLLUCKE, A. P. B. **Alimentos funcionais: introdução às principais substâncias bioativas em alimentos**. São Paulo: Varela, 2005. 95 p.

PONTING, J. D.; WATTERS, R. R.; FORREY, R.; JACKSON, R.; STANLEY, W. L. Osmotic dehydration of fruits. **Food Technology**, v. 20, n.10, p.1363-1368, 1966.

PORCU, O. M. **Fatores que influenciam na composição de carotenóides em goiaba, acerola, pitanga e seus produtos processados**. 2004. 135 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP, 2004.

QUEJI, M. F. D; PESSOA, L. S. Influência do tratamento osmótico na produção de tomate desidratado. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, Ponta Grossa, v. 5, n. 1: p. 282-292, 2011.

R Foundation for Statistical Computing. **R: a language and environment for statistical computing**. R, version 2.13.0, 2011. Vienna, Áustria: R Foundation for Statistical Computing. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>, 2011.

RAO, A. V.; WASEEM, Z.; AGARWAL, S. Lycopene content of tomatoes and tomato products and their contribution to dietary lycopene. **Food Research International**, v. 31, p. 737-741, 1998.

RAOULT-WACK, A.L. Recent advances in the osmotic dehydration of foods. **Trends in Food Science & Technology**, v. 5, p. 255-260, 1994.

RASTOGI, N. K.; RAGHAVARAO, K. S. M. S.; NIRANJAN, K.; KNORR, D. Recent developments in osmotic dehydration: methods to enhance mass transfer. **Trends in Food Science and Technology**, v. 13, p. 48-59, 2002.

RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, E. A. G. **Química de Alimentos**. 1. ed. São Paulo: Edgard Blücher; Instituto Mauá de Tecnologia, 2004. p. 155-157.

RODRIGUES, M. I.; IEMMA, A. F. **Planejamento de experimentos e otimização de processos**. 2. ed. Campinas: Cárita, 2009. 353 p.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. A Guide to Carotenoid Analysis in Foods. **International Life Sciences Institute Press**, Washington D. C, 2001. 71 p.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Latin American food sources of carotenoids. **Arch Latinoamer Nutr**, v. 49, n. 3, p. 74-84, 1999.

SANCHEZ, A. C.; FERREIRA, M. D.; MAGALHÃES, A. M. ; BRAUNBECK O. A. ; CORTEZ, L. A. B.; MAGALHÃES, P. S. G. Influência do auxílio mecânico na colheita de tomates. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 3, p. 748-754, 2006.

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

SANJINEZ-ARGANDOÑA, E. J. **Desidratação de goiaba por imersão e secagem**. 1999. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.

SANJINEZ-ARGANDOÑA, E. J.; BRANCO, I. G.; BITTENCOURT, T. U; MUNHOZ, C. L. Influência da geometria e da temperatura na cinética de secagem de tomate (*Lycopersicum esculentum*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 31, n. 2, p. 308-312, 2011.

SERENO, A. M.; HUBINGER, M. D. ; COMESAÑA, J. F.; CORREA, A. Prediction of Water Activity of Osmotic Solutions. **Journal of Food Engineering**, Holanda, v. 49, p. 103-114, 2001.

SERRA, S. R.; CAMPOS, R. G. Efeito protetor do licopeno. **Revista Brasileira de Nutrição Clínica**, São Paulo, v. 21, n. 4, p. 326-332, 2006.

SHAMI, N. J. I. E.; MOREIRA, E. A. M. Licopeno como agente antioxidante. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 17, n. 2, p. 227-236, 2004.

SHI, J.; LE MAGUER, M.; KAKUDA, Y.; LIPTAY, A.; NIEKAMP, F. Lycopene degradation and isomerization in tomato dehydration. **Food Research International**, v. 32, n. 1, p. 15-21, 1999.

SHI, J.; MAGUER, M. L. Lycopene in tomatoes: chemical and physical properties affected by food processing. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Boca Raton, v. 40, n. 1, p. 1-42, 2000.

SIKORA, E.; CIESLIK, E.; LESZCZYNSKA, T. The antioxidant activity of selected cruciferous vegetables subjected to aquathermal processing. **Food Chemistry**, v. 107, p. 55-59, 2008.

SILVA, J. B. C.; GIORDANO, L. B. Cultivo de tomate para industrialização. EMBRAPA HORTALIÇAS. Sistema de produção 1ª e 2ª ed. Versão Eletrônica, Dez./2006. Disponível em: [http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Tomate/TomateIndustrial\\_2ed/index.htm](http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Tomate/TomateIndustrial_2ed/index.htm). Acesso em: jun. 2011.

SILVA, V. K. L.; PINHEIRO, E. S.; DOMINGUES, M. A. F.; AQUINO, A. C.; FIGUEIREDO, E. A.; COSTA, J. M. C.; CONSTANT, P. B. L. Efeito da pressão osmótica no processamento e avaliação da vida de prateleira de tomate seco. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, n. 1, p. 55-66, 2010.

SOUSA, P. H. M.; SOUZA NETO, M. A.; MAIA, G. A.; SOUZA FILHO, M. S. M.; FIGUEIREDO, R. W. Desidratação osmótica de frutos. **Boletim SBCTA**, Campinas, v. 37, Suplemento, p. 94-100, 2003.

SOUZA FILHO, M. M.; LIMA, J. R.; SOUZA, A. C. R.; SOUZA NETO, M. A.; COSTA, M. C. Efeito do branqueamento, processo osmótico, tratamento térmico e armazenamento na estabilidade da vitamina C de pedúnculos de caju processados por métodos combinados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 19, n. 2, p. 211-213, 1999.

SOUZA, J. S. **Estudo da desidratação de tomates em pedaços com pré-tratamento osmótico**. 2002. 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal – RN, 2002.

STATSOFT, Inc. **STATISTICA**. Data analysis software system. v. 8.0, 2007. Disponível em: [www.statsoft.com](http://www.statsoft.com). Acesso em: 15 Jun. 2013.

SUÁREZ, M. H.; RODRÍGUEZ, E. M. R.; ROMERO, C. D. Chemical composition of tomato (*Lycopersicon esculentum*) from Tenerife, the Canary Islands. **Food Chemistry**, Barking, v. 106, n. 3, p. 1046-1056, 2008.

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**. 2005. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP, 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**, Campinas, v. 26, n. 3, p. 715-723, 2006.

TORREGGIANI, D. Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. **Food Research International**, v. 26, p. 59-68, 1993.

TRAVAGLINI, D. A.; AGUIRRE, J. M.; SILVEIRA, E. T. Desidratação de frutas. *In: Desidratação de frutas e hortaliças*. Manual Técnico. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 2001. p. 3.1-3.40.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS – UNICAMP. Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação - NEPA. **Tabela brasileira de composição de alimentos** - TACO. Versão II. Campinas: NEPA-UNICAMP, 2006.

VENSKE, C.; SANTOS, J.; RAUPP, D.S.; Gardingo, J. R.; BORSATO, A. V. Influência do grau de maturação nas características sensoriais do tomate seco envasado em óleo. **Ciências Exatas e da Terra, Agrárias e Engenharias**, Ponta Grossa, v. 10, n. 3, p. 33-40, 2004.

WATADA, A. E.; QI, L. Quality of fresh-cut produce. **Postharvest Biology and Technology**, v. 15, n. 3, p. 201-205, 1999.

WIKIPÉDIA. **Tomate**. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Tomate>. Acesso em: mar. 2012.

WISSGOTT, U; BORTLIK, K. Prospects for new natural food colorants. **Trends in Food Science & Technology**, v. 7, p. 298-302, 1996.

WONG, D. W. S. **Química de los alimentos**: mecanismos y teoría. Zaragoza – ES: Acribia, 1995. 476 p.