

**SECAGEM DE PASTA DE VEGETAIS: ANÁLISE DA OPERAÇÃO EM LEITO DE  
JORRO E CARACTERIZAÇÃO DO PRODUTO FINAL**

**Eng<sup>a</sup> de Alimentos Ana Paula Quites Larrosa**  
**Prof<sup>o</sup>. Dr<sup>o</sup>. Luiz Antônio de Almeida Pinto**

Dissertação apresentada para obtenção do  
título de Mestre em Engenharia e Ciência  
de Alimentos.

**Rio Grande**  
**2012**

*Dedico este trabalho  
aos meus pais, Isabel e Paulo,  
pelo grande incentivo,  
educação, carinho, amor e compreensão.  
Amo vocês !!*

*“Quando amamos e acreditamos do fundo de nossa alma, em algo, nos sentimos mais fortes que o mundo, e somos tomados de uma serenidade que vem da certeza de que nada poderá vencer a nossa fé. Esta força estranha faz com que sempre tomemos a decisão certa, na hora exata e, quando atingimos nossos objetivos ficamos surpresos com nossa própria capacidade.”*

*Paulo Coelho*

## AGRADECIMENTOS

À Deus, por todas as coisas boas que vivi, conheci e aprendi nesta vida. Como também por ter encontrado pessoas que me apoiaram e me ajudaram a desenvolver este trabalho.

À minha família, meus pais e irmãos, que sempre estiveram ao meu lado, agradeço todo apoio, carinho e amor de vocês. Agradeço a compreensão pela minha ausência durante a minha dedicação aos estudos.

Ao meu namorado Cláudio, agradeço todo o incentivo, amor, carinho e companheirismo. Agradeço também a paciência e compreensão pela minha dedicação ao meu trabalho. *Obrigada por fazer parte da minha vida.*

Ao meu orientador Luiz Antônio de Almeida Pinto, pela amizade, confiança, compreensão, pelo exemplo de profissional e de vida, por todo o conhecimento que adquiri pelos seus ensinamentos e pela oportunidade de desenvolver este trabalho.

Aos meus alunos de iniciação científica, Stelamaris Spies, Henrique Gracia e Maira Savedra. Agradeço pela amizade, pela atenção e dedicação. Como também os meus ex-alunos de iniciação científica Jéssica Baranzelli, Bruna Ferrer e Rogério Lisboa, que apesar de não estarem mais presentes no laboratório, agradeço a dedicação que vocês tiveram. Agradeço a todos pela contribuição que cada um pôde dar.

Aos colegas e amigos do laboratório de Operações Unitárias, pela amizade, apoio, ajuda e convivência durante esses anos.

Ao pessoal dos laboratórios de Tecnologia de Alimentos, Ciência de Alimentos e Bioprocessos que me ajudaram a realizar parte desse trabalho.

À Michele Moraes de Souza pela dedicação e paciência em me ajudar nos experimentos iniciais analíticos.

Aos colegas da pós-graduação, pela amizade e pela agradável convivência.

Aos professores do curso de mestrado pelos conhecimentos e aprendizado adquirido.

À Islanda, pela atenção e ajuda.

À Universidade Federal de Rio Grande pela formação profissional.

À Capes pelo apoio financeiro.

## SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS.....</b>	<b>iv</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>ix</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>xi</b>
<b>NOMENCLATURA.....</b>	<b>xiv</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>1</b>
<b>RESUMO GERAL.....</b>	<b>2</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>3</b>
<b>1 INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>4</b>
1.1 OBJETIVOS.....	6
1.1.1 Objetivo geral.....	6
1.1.2 Objetivos específicos.....	6
1.2 RELEVÂNCIA DO TEMA.....	7
<b>CAPÍTULO II:.....</b>	<b>9</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>10</b>
2.1 VEGETAIS.....	10
2.1.1 Produção e consumo.....	10
2.1.2 Composição Química.....	11
2.1.3 Compostos antioxidantes.....	12
2.2 PROPRIEDADES FUNCIONAIS DAS PROTEÍNAS.....	14
2.3 SECAGEM.....	15
2.3.1 Definição e considerações gerais.....	15
2.3.2 Secagem em leite de jorro.....	17
2.4 EFEITO DA SECAGEM NAS CARACTERÍSTICAS DOS ALIMENTOS DESIDRATADOS.....	24
2.5 PROGRAMAÇÃO LINEAR.....	26
<b>CAPÍTULO III:.....</b>	<b>29</b>
<b>3. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO.....</b>	<b>30</b>

<b>ARTIGO I: USO DA PROGRAMAÇÃO LINEAR PARA FORMULAÇÃO DE PASTA DE VEGETAIS MAXIMIZANDO A ATIVIDADE ANTIOXIDANTE E ANÁLISE DA SECAGEM EM LEITO DE JORRO.</b>	<b>31</b>
<b>RESUMO</b>	<b>31</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>32</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>33</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>34</b>
2.1 OBTENÇÃO DA PASTA DE VEGETAIS	34
2.2 SECAGEM EM LEITO DE JORRO	38
2.3 MÉTODOS ANALÍTICOS	41
2.3.1 Composição dos macronutrientes	41
2.3.2 Cor	41
2.3.3 Compostos Fenólicos Totais	42
2.3.4 Atividade antioxidante	42
2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA	43
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>43</b>
3.1 FORMULAÇÃO DA PASTA DE VEGETAIS	43
3.2 COMPOSIÇÃO PROXIMAL DA PASTA <i>IN NATURA</i> E DESIDRATADA	46
3.3 CARACTERIZAÇÃO DO PRODUTO	47
<b>4. CONCLUSÃO</b>	<b>51</b>
<b>5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>52</b>
<b>ARTIGO II: EFEITO DAS CONDIÇÕES OPERACIONAIS DA SECAGEM DE PASTA DE VEGETAIS EM LEITO DE JORRO NAS PROPRIEDADES FUNCIONAIS E FÍSICO-QUÍMICAS DO PRODUTO.</b>	<b>56</b>
<b>RESUMO</b>	<b>56</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>57</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>58</b>
<b>2. MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>59</b>
2.1 MATÉRIA-PRIMA	59
2.2 SECAGEM EM LEITO DE JORRO	60
2.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA	61
2.4 MÉTODOS ANALÍTICOS	63

2.4.1 Umidade .....	63
2.4.2 Compostos fenólicos totais .....	63
2.4.3 Atividade antioxidante .....	63
2.4.4 Solubilidade protéica .....	64
2.4.5 Cor .....	64
2.5 REIDRATAÇÃO .....	65
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>66</b>
3.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	66
3.2 PARÂMETROS DA COR, UMIDADE E RETENÇÃO DE SÓLIDOS NA SECAGEM DE PASTA EM LEITO DE JORRO .....	80
3.3 REIDRATAÇÃO DO PRODUTO DESIDRATADO .....	84
<b>4. CONCLUSÃO .....</b>	<b>85</b>
<b>5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>86</b>
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>91</b>
4.1 CONCLUSÃO GERAL .....	92
4.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	93
<b>CAPÍTULO V .....</b>	<b>94</b>
<b>5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS GERAL .....</b>	<b>95</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>109</b>
APÊNDICE I: Gráficos da curva padrão de ácido gálico, fluidodinâmica do leite de jorro cônico e cone-cilíndrico e figura do produto desidratado. ....	110
APÊNDICE II: Tabelas referentes à formulação da pasta de vegetais, resultados da umidade, retenção de sólidos e dados de temperaturas, e umidade do ar nos experimentos realizados em leite de jorro cônico e cone-cilíndrico .....	113
APÊNDICE III: Produção bibliográfica da dissertação .....	127
<b>ANEXOS .....</b>	<b>128</b>

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO II

Figura 1: Curva da taxa de secagem (N) em função da umidade da material (X).....	16
Figura 2: Esquema do movimento de partículas no leito de jorro. ....	20
Figura 3: Curva fluidodinâmica genérica do leito de jorro do tipo CSB.....	21

#### **ARTIGO I: USO DA PROGRAMAÇÃO LINEAR PARA FORMULAÇÃO DE PASTA DE VEGETAIS MAXIMIZANDO A ATIVIDADE ANTIOXIDANTE E ANÁLISE DA OPERAÇÃO DE SECAGEM EM LEITO DE JORRO.**

Figura 1: Fluxograma do processo de obtenção da pasta de vegetais.....	37
Figura 2: Esquema do equipamento de secagem de leito de jorro utilizado. ....	40

#### **ARTIGO II: EFEITO DAS CONDIÇÕES OPERACIONAIS NAS PROPRIEDADES FUNCIONAIS E FÍSICO-QUÍMICAS DO PRODUTO DESIDRATADO NA SECAGEM DE PASTA DE VEGETAIS EM LEITO DE JORRO.**

Figura 1: Esquema do equipamento de secagem de leito de jorro utilizado. ....	61
Figura 2: Esquema do sistema adotado para determinar a taxa de reidratação. ....	65
Figura 3: Gráfico de Pareto da secagem de pasta de vegetais em leito de jorro para a resposta compostos fenólicos. ....	70
Figura 4: Gráfico de Pareto da secagem de pasta de vegetais em leito de jorro para a resposta atividade antioxidante. ....	70
Figura 5: Gráfico de Pareto da secagem de pasta de vegetais em leito de jorro para a resposta solubilidade protéica. ....	71
Figura 6: Gráfico de Pareto da secagem de pasta de vegetais em leito de jorro para a resposta alteração da cor. ....	71
Figura 7: Gráfico dos efeitos principais da secagem de pasta de vegetais em leito de jorro para compostos fenólicos.....	73
Figura 8: Gráfico dos efeitos principais da secagem de pasta de vegetais em leito de jorro para atividade antioxidante. ....	74
Figura 9: Gráfico dos efeitos principais da secagem de pasta de vegetais em leito de jorro para solubilidade protéica. ....	75

Figura 10: Gráfico dos efeitos principais da secagem de pasta de vegetais em leite de jorro para alteração da cor ( $\Delta E$ ).....	76
Figura 11: Cubo de resposta da secagem de pasta de vegetais em leite de jorro para os compostos fenólicos. ....	77
Figura 12: Cubo de resposta da secagem de pasta de vegetais em leite de jorro para atividade antioxidante.....	77
Figura 13: Cubo de resposta da secagem de pasta de vegetais em leite de jorro para solubilidade protéica. ....	78
Figura 14: Cubo de resposta da secagem de pasta de vegetais em leite de jorro para alteração da cor ( $\Delta E$ ). ....	78
Figura 15: Curvas da umidade do produto desidratado em função do tempo dos ensaios de reidratação. ....	84

## APÊNDICE I

Figura A 1.1: Curva padrão de ácido gálico, para a determinação do teor de compostos fenólicos das amostras.....	110
Figura A 1.2: Curva do branco para a fluidodinâmica do leite de jorro cônico – Artigo I. ....	110
Figura A 1.3: Curva do branco para a fluidodinâmica do leite de jorro cone-cilíndrico (CSB) – Artigo II.....	111
Figura A 1.4: Curva para fluidodinâmica do leite de jorro cônico – Artigo I. ....	111
Figura A 1.5: Curva fluidodinâmica do leite de jorro cone-cilíndrico – Artigo II.....	112
Figura A 1.6: Foto ilustrativa do produto desidratado à base de vegetais. ....	112

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO III

#### **ARTIGO I: USO DA PROGRAMAÇÃO LINEAR PARA FORMULAÇÃO DE PASTA DE VEGETAIS MAXIMIZANDO A ATIVIDADE ANTIOXIDANTE E ANÁLISE DA OPERAÇÃO DE SECAGEM EM LEITO DE JORRO.**

Tabela 1: Restrições para formulação da pasta de vegetais. ....	35
Tabela 2: Teor de compostos fenólicos totais e atividade antioxidante dos extratos metanólicos dos constituintes vegetais. ....	44
Tabela 3: Quantidade de constituintes otimizados para formulação da pasta de vegetais em base úmida. ....	45
Tabela 4: Nutrientes, valor calórico e otimização da formulação otimizada da pasta de vegetais. ....	46
Tabela 5: Composição da pasta <i>in natura</i> e desidratada (100 mL h <sup>-1</sup> a 100°C) ....	47
Tabela 6: Medidas de cor da pasta de vegetais <i>in natura</i> e dos produtos secos em leite de jorro. ....	48
Tabela 7: Medidas da cor e retenção do material no leite de jorro. ....	49
Tabela 8: Compostos fenólicos e atividade antioxidante (AA) da pasta de vegetais <i>in natura</i> e dos produtos secos em leite de jorro. ....	50

#### **ARTIGO II: EFEITO DAS CONDIÇÕES OPERACIONAIS NAS PROPRIEDADES FUNCIONAIS E FÍSICO-QUÍMICAS DO PRODUTO DESIDRATADO NA SECAGEM DE PASTA DE VEGETAIS EM LEITO DE JORRO.**

Tabela 1: Fatores e respectivos níveis de estudo para secagem de pasta de vegetais em leite de jorro. ....	62
Tabela 2: Matriz do planejamento fatorial completo 2 <sup>3</sup> na forma codificada para a realização dos experimentos. ....	62
Tabela 3: Resultados da matriz do planejamento experimental da secagem de pasta de vegetais em leite de jorro. ....	66
Tabela 4: Análise de variância dos efeitos da secagem de pasta de vegetais em leite de jorro para a resposta compostos fenólicos. ....	67

Tabela 5: Análise de variância dos efeitos da secagem de pasta de vegetais em leito de jorro para a resposta atividade antioxidante. ....	67
Tabela 6: Análise de variância dos efeitos da secagem de pasta de vegetais em leito de jorro para a resposta solubilidade protéica. ....	68
Tabela 7: Análise de variância dos efeitos da secagem de pasta de vegetais em leito de jorro para a resposta alteração da cor. ....	68
Tabela 8: Resultados para os parâmetros da cor do produto desidratado nos experimentos realizados. ....	80

## APÊNDICE II

Tabela A 2.1: Nutrientes e valor calórico dos constituintes utilizados na programação linear. ....	113
Tabela A 2.2: Resultados de umidade do produto desidratado e retenção de sólidos no leito. ....	113
Tabela A 2.3: Temperaturas do ar de secagem em leito de jorro cônico na condição 100mL h <sup>-1</sup> e 90°C. ....	114
Tabela A 2.4: Temperaturas do ar de secagem em leito de jorro cônico na condição 100mL h <sup>-1</sup> e 100°C. ....	115
Tabela A 2.5: Temperaturas do ar de secagem em leito de jorro cônico na condição 200mL h <sup>-1</sup> e 90°C. ....	116
Tabela A 2.6: Temperaturas do ar de secagem em leito de jorro cônico na condição 200mL h <sup>-1</sup> e 100°C. ....	118
Tabela A 2.7: Temperaturas do ar de secagem em leito de jorro cone-cilíndrico na condição de 400mL h <sup>-1</sup> , 90°C e 5%. ....	119
Tabela A 2.8: Temperaturas do ar de secagem em leito de jorro cone-cilíndrico na condição de 600 mL h <sup>-1</sup> , 90°C e 5%. ....	120
Tabela A 2.9: Temperaturas do ar de secagem em leito de jorro cone-cilíndrico na condição de 400 mL h <sup>-1</sup> , 110°C e 5%. ....	121
Tabela A 2.10: Temperaturas do ar de secagem em leito de jorro cone-cilíndrico na condição de 600 mL h <sup>-1</sup> , 110°C e 5%. ....	122
Tabela A 2.11: Temperaturas do ar de secagem em leito de jorro cone-cilíndrico na condição de 400 mL h <sup>-1</sup> , 90°C e 10%. ....	123
Tabela A 2.12: Temperaturas do ar de secagem em leito de jorro cone-cilíndrico na condição 600mL h <sup>-1</sup> , 90°C e 10%. ....	124

Tabela A 2.13: Temperaturas do ar de secagem em leito de jorro cone-cilíndrico na condição $400\text{mL h}^{-1}$ , $110^{\circ}\text{C}$ e 10%.....	125
Tabela A 2.14: Temperaturas do ar de secagem em leito de jorro cone-cilíndrico na condição $600\text{mL h}^{-1}$ , $110^{\circ}\text{C}$ e 10%.....	126

## NOMENCLATURA

AA	Atividade antioxidante	(%)
AA <sub>i</sub>	Atividade antioxidante de cada constituinte	(%)
AA <sub>t</sub>	Atividade antioxidante total	(%)
AA <sub>1</sub>	Valor mínimo de atividade antioxidante	(%)
AA <sub>2</sub>	Valor máximo de atividade antioxidante	(%)
a*	Cromaticidade do verde ao vermelho	(adimensional)
b*	Cromaticidade do azul ao amarelo	(adimensional)
C	Carboidratos	
C	Concentração de sólidos da pasta	(%)
C*	Índice de saturação	(adimensional)
C <sub>bs</sub>	Quantidade de sólidos em base seca	(g)
c <sub>i</sub>	Teor de carboidratos de cada constituinte	(g 100g <sup>-1</sup> )
C <sub>1</sub>	Valor mínimo de carboidratos	(g 100g <sup>-1</sup> )
C <sub>2</sub>	Valor máximo de carboidratos	(g 100g <sup>-1</sup> )
CF	Compostos fenólicos	(ug <sub>EQA</sub> g <sub>amostra b.s</sub> <sup>-1</sup> )
D <sub>c</sub>	Diâmetro da célula de leite de jorro	(m)
D <sub>i</sub>	Diâmetro do orifício de entrada do leite de jorro	(m)
EAG	Equivalente de ácido gálico	
F	Teste de Fisher	
GL	Graus de liberdade	
L	Lipídios	
L*	Luminosidade	(adimensional)
l <sub>i</sub>	Teor de lipídios de cada constituinte	(g 100g <sup>-1</sup> )
L <sub>1</sub>	Valor mínimo de lipídios	(g 100g <sup>-1</sup> )
L <sub>2</sub>	Valor máximo de lipídios	(g 100g <sup>-1</sup> )
m	Quantidade máxima do constituinte	(g)
m <sub>fi</sub>	Massa de inertes após a secagem	(g)
m <sub>i</sub>	Quantidade de constituintes em base seca	(g)
m <sub>ii</sub>	Massa de inertes antes da secagem	(g)
MQ	Média dos quadrados	
ORAC	Oxygen Radical Absorbance Capacity	
P	Proteínas	
P	Significância da análise	

$p_i$	Teor de proteínas de cada constituinte	(g 100g <sup>-1</sup> )
$P_1$	Valor mínimo de proteínas	(g 100g <sup>-1</sup> )
$P_2$	Valor máximo de proteínas	(g 100g <sup>-1</sup> )
SP	Solubilidade protéica	(%)
SQ	Soma dos quadrados	
T	Temperatura do ar de entrada	(°C)
V	Vazão de alimentação da pasta	(mL h <sup>-1</sup> )
$V_c$	Valor calórico	
$vc_i$	Valor calórico de cada constituinte	(kcal 100g <sup>-1</sup> )
$V_{c1}$	Valor mínimo de calorias	(kcal 100g <sup>-1</sup> )
$V_{c2}$	Valor máximo de calorias	(kcal 100g <sup>-1</sup> )
$V_{jm}$	Velocidade de jorro mínimo	(m/s)
$V_{mf}$	Velocidade mínima de fluidização	(m/s)
$\alpha$	Ângulo de Hue	(°)
$\Delta E$	Alteração da cor	(adimensional)
$\Delta L$	Variação da luminosidade	(adimensional)
$\Delta a$	Variação da cromaticidade a*	(adimensional)
$\Delta b$	Variação da cromaticidade b*	(adimensional)
$\Delta P_m$	Queda de pressão máxima	(Pa)



## **CAPÍTULO I**

(RESUMO GERAL, ABSTRACT, INTRODUÇÃO GERAL)

## RESUMO GERAL

Este trabalho teve como objetivo analisar a operação de secagem de pasta de vegetais em leite de jorro, priorizando a manutenção das propriedades funcionais dos componentes do produto final. A pasta de vegetais foi formulada através da programação linear maximizando a atividade antioxidante. A pasta de vegetais foi obtida através de trituração e homogeneização de constituintes como cebola branca, tomate, batata inglesa, cenoura, couve e óleo de soja comercial. A viabilidade da técnica da secagem da pasta de vegetais em leite de jorro foi realizado em uma célula cônica, com 0,50 kg de partículas de polietileno, avaliando a temperatura do ar de entrada (90 e 100°C) e a vazão de alimentação da pasta (100 e 200 mL h<sup>-1</sup>). O produto final apresentou tonalidade amarelo-esverdeada, com umidade abaixo de 10% (b.u). Os teores de compostos fenólicos e a atividade antioxidante total foram afetados pela secagem ao nível de 95% de significância ( $p < 0,05$ ), apresentando uma faixa de (4126±79) a (5615±45  $\mu\text{g}_{\text{EAG}} \text{g}_{\text{amostra seca}}^{-1}$ ) e de (75,8±0,1) a (83,4±0,2%), respectivamente, em relação à pasta de alimentação. A condição de operação de 100 mL h<sup>-1</sup> a 100°C obteve menor retenção de material no leite, como também menor alteração da cor, menores perdas nos teores de compostos fenólicos e atividade antioxidante total, sendo próximos à pasta *in natura*. Também foi analisado o efeito da vazão de alimentação (400 e 600 mL h<sup>-1</sup>), temperatura de entrada do ar (90 e 110°C) e concentração de sólidos da pasta (5 e 10%) em leite de jorro cone-cilíndrico, avaliando propriedades do produto desidratado como compostos fenólicos, atividade antioxidante, solubilidade protéica e alteração da cor. A condição operacional com vazão de 400 mL h<sup>-1</sup>, concentração de sólidos de 10% e temperatura do ar de 110°C, foi o que apresentou valores mais adequados das respostas para o produto final tais como teor de compostos fenólicos de (6868±57  $\mu\text{g}_{\text{EAG}} \text{g}_{\text{amostra seca}}^{-1}$ ), atividade antioxidante de (61±0,2%), alteração da cor de (18±0,8%) e solubilidade protéica de (20,9±0,6%). Nesta condição obteve uma retenção de sólidos de (21,9±1,0%), e o produto final com umidade de (9,9±1,0%), tonalidade amarela-esverdeada, e reidratação de 85,4 % em relação à pasta *in natura*.

Palavras-chave: compostos antioxidantes, leite de jorro, propriedades funcionais, secagem de alimentos, vegetais.

## ABSTRACT

This study aimed to analyze the operation of vegetables paste in spouted bed drying, prioritizing maintaining the functional properties of the components of the final product. The vegetables paste was formulated by linear programming maximizing antioxidant activity. The vegetables paste was obtained through grinding and mixing of constituents such as onion white, tomato, potato, carrot, kale and soybean oil commercial. The viability of the drying technique of vegetables paste in spouted bed was evaluated in a conical cell, with 0.5kg of polyethylene particles. The inlet air temperature (90 and 100°C) and flow rate of paste (100 and 200mL h<sup>-1</sup>) were studied. The final product showed yellow-greenness color, with moisture content below of 10% (w.b). The levels of phenolics and total antioxidant activity were affected by drying conditions at 95% of level of significance (p<0.05), with a range from (4126±79) to (5615±45) µg<sub>EAG</sub> g<sub>dry sample</sub><sup>-1</sup>, and (75.8±0.1) to (83.4±0.2)%, respectively, in relation to the vegetables paste feed. In the operation condition of 100mL h<sup>-1</sup> at 100°C was obtained the lower retention of material in the spouted bed, as well as decreased color change, and the lower losses in the content of phenolic compounds and total antioxidant activity; these values were near of the vegetables paste *in nature*. Also, it was analyzed the effect of paste flow rate (400 and 600 mL h<sup>-1</sup>), inlet air temperature (90 and 110°C) and paste solids concentration (5 and 10%) in spouted bed cone-cylinder, evaluating the properties of the dehydrated product as phenolic compounds, antioxidant activity, protein solubility and change of color. The operation condition with flow rate of 400 mL h<sup>-1</sup>, solids concentration of 10% and air temperature of 110°C, showed the most suitable values of the final product such as phenolic compounds content (6868±57 µg<sub>GAE</sub>/g<sub>dry sample</sub>), antioxidant activity (61±0.2%), change of color (18±0.8%) and protein solubility (20.9±0.6%). In this condition the solid retention in bed was of 21.9±1.0% and the obtained final product with the moisture content of 9.9±1.0% and yellow-greenness color, and the rehydration of 85.4% in relation to fresh vegetables paste.

Keywords: antioxidant compounds, drying foods, functional properties, spouted bed, vegetables.

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

Os vegetais são importantes na dieta, pois apesar de possuírem pouca proteína na sua composição e apresentarem pouca gordura e calorias, são ricos em carboidratos e fibras, e fornecem níveis significativos de micronutrientes (FAVELL, 1998). Além disso, possuem uma variedade de compostos funcionais como os compostos antioxidantes, destacando-se os compostos fenólicos, carotenóides, vitamina C e vitamina E (PODSEDEK, 2007). No entanto, os vegetais são extremamente perecíveis devido ao seu elevado conteúdo de umidade, assim a obtenção de vegetais desidratados seria uma alternativa para aumentar a vida útil desses alimentos, como também para evitar as perdas pós-colheita. O desenvolvimento de produtos para consumo humano como, por exemplo, as sopas desidratadas seria uma das melhores possibilidades para aproveitamento do potencial destes materiais.

A secagem é uma importante operação no processamento de alimentos, pois apresenta como objetivo básico a diminuição do teor de água do material até um percentual mínimo desejável para a inibição da atividade microbiológica, além de minimizar mudanças químicas e físicas durante seu armazenamento (FORTES & OKOS, 1980). Como a secagem é um processo que utiliza temperaturas elevadas, pode ocorrer alguns danos na estrutura, mudanças na composição e valor nutricional, como também mudanças nas propriedades físicas e na qualidade dos produtos (GUINÉ & BARROCA, 2012).

Diversos métodos de secagem que têm sido utilizados para conservação de frutas e vegetais, no entanto, o secador de bandejas é a técnica mais comumente utilizada pela sua simplicidade e baixo custo (NINDO *et al.*, 2003). No entanto, pode resultar em produtos de baixa qualidade pela degradação de nutrientes e alteração de propriedades funcionais (HSU *et al.*, 2003). A secagem em leito de jorro apresenta-se como uma alternativa à secagem em bandejas, devido ao reduzido tempo de residência do produto no equipamento, obtendo uma melhor conservação das suas características sensoriais, nutricionais e tecnológicas (SHUHAMA *et al.*, 2003).

O leito de jorro tem sido amplamente estudado em diversas pesquisas, onde tem sido apontado como um dos equipamentos mais apropriados para secagem de pastas e suspensões em pequena escala. Ele possui baixo custo de montagem, operação, manutenção e pequena demanda de espaço físico, entre outras vantagens

(DE ALMEIDA, 2009). Dentre os estudos sobre secagem de pastas destacam-se as soluções de sangue animal, ovo homogeneizado e goma xantana (SPITZER NETO, CUNHA & FREIRE, 2002); soluções químicas (PASSOS *et al.*, 2004); polpas de frutas (MEDEIROS *et al.*, 2002); amido (BENALI & AMAZOUZ, 2006); *Spirulina platensis* (OLIVEIRA *et al.*, 2008); extratos de plantas medicinais (SOUZA & OLIVEIRA, 2009; SOUZA, *et al.*, 2008); quitosana (DOTTO, SOUZA & PINTO, 2011) e muitos outros.

A programação linear, técnica matemática utilizada para resolver problemas de otimização, tem sido utilizada em formulações de alimentos destinados tanto para consumo humano quanto animal, sendo comumente aplicada a fim de minimizar custos e/ou maximizar lucros de produção. Em estudos anteriores por Sousa (2004), e Larrosa, Muszinski & Pinto (2011), a programação linear foi utilizada como ferramenta matemática para formular uma pasta de vegetais com o objetivo de maximizar o valor calórico. Porém, atualmente se tem relatado em diversos trabalhos, que a ingestão de vegetais está associada a uma redução nos riscos de uma variedade de doenças crônicas (SILVA *et al.*, 2010), seria interessante utilizar essa técnica matemática para formular uma pasta de vegetais baseada na maximização da atividade antioxidante de cada constituinte presente.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

O trabalho tem como objetivo analisar as condições operacionais da secagem em leite de jorro de pasta de vegetais, obtida por programação linear com a maximização da atividade antioxidante, e avaliar as características físico-químicas e funcionais do produto final.

### 1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste trabalho se baseiam em:

- Utilizar a técnica da programação linear para formular a pasta de vegetais, otimizando a quantidade de constituintes, visando à maximização da atividade antioxidante;
- Caracterizar a pasta *in natura* e pasta desidratada quanto à composição proximal e comparar com a pasta obtida pela programação linear;
- Avaliar a viabilidade da secagem da pasta de vegetais utilizando a técnica em leite de jorro de geometria cônica;
- Analisar o efeito da temperatura do ar de entrada, vazão de alimentação da pasta e concentração de sólidos em leite de jorro cone-cilíndrico buscando ampliação de escala e;
- Avaliar as características físico-químicas e funcionais do produto final desidratado como, compostos fenólicos, atividade antioxidante, solubilidade protéica, alteração de cor, e percentual de reidratação.

## 1.2 RELEVÂNCIA DO TEMA

A escolha do tema deste trabalho foi baseada através de pesquisas que relatam que o consumo diário de vegetais pode reduzir uma série de doenças degenerativas como câncer. Isso se deve a presença de substâncias com ação antioxidante que retardam ou inibem a formação de radicais livres.

Em vista de que a técnica de programação linear possa maximizar uma determinada função sob equações e/ou inequações lineares através de restrições, e que existem poucos estudos utilizando esta técnica para formular alimentos com qualidade nutricional e funcional, sem se preocupar com questões de custo de produção, o uso dessa técnica para formular uma pasta de vegetais maximizando a atividade antioxidante, torna-se um desafio.

Outro tema importante é sobre a influência da secagem em leito de jorro nos compostos funcionais presentes nos alimentos, principalmente em termos de compostos antioxidantes, que ainda existem poucos trabalhos relacionados. Além disso, o leito de jorro é um equipamento de baixo custo de operação e manutenção e obtém um produto de qualidade similar ao equipamento de alto investimento (spray dryer). E quando se trata de alimentos, a maior preocupação é obter condições ótimas de operação de secagem sem comprometer as características físico-químicas e funcionais do produto final desidratado.

A secagem em leito de jorro tem sido estudada no laboratório de Operações Unitárias, da Escola de Química e Alimentos/FURG, desde o ano de 1997 até os dias atuais, com aplicações para fins de recobrimento de partículas, secagem de grãos e secagem de pastas e suspensões. Dentre os estudos já realizados podem ser destacados a secagem de plasma bovino, arroz parboilizado, enriquecimento de farelo de arroz com sangue bovino, quitosana, *Spirulina plantensis*, gelatina, cebola, alho e excedentes de vegetais. Sendo estes estudos desenvolvidas em teses de doutorado e dissertações de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos (PPG-ECA), em projetos de graduação dos cursos de graduação de Engenharia de Alimentos e Engenharia Química, e em trabalhos de Iniciação Científica - IC (CNPq, FAPERGS, FURG, Voluntários). Os resultados destas pesquisas foram publicados em vários periódicos internacionais e nacionais, como também diversos eventos científicos (nacionais, regionais e locais).

Em relação aos estudos desenvolvidos da secagem de pastas de vegetais utilizando a técnica de leito de jorro, podem ser destacados os seguintes trabalhos:

Sousa (2004), em sua dissertação de mestrado, avaliou a programação linear maximizando no valor calórico da pasta constituída por couve, batata e óleo de soja e, definiu através da secagem em leito de jorro cônico os melhores resultados para produção e umidade do produto final. Também foi comparado a capacidade de produção em leito de jorro convencional (CSB) e o leito diluído (JSB). Muszinski (2009) desenvolveu na dissertação de mestrado, a secagem em leito de jorro cone-cilíndrico da pasta de vegetais utilizando diferentes constituintes (batata, alface, tomate, beterraba, couve e óleo de soja) na programação linear, para maximização do valor calórico. Neste estudo foi avaliada a melhor condição de secagem da pasta de vegetais para as respostas produção, solubilidade protéica em meio aquoso, capacidade de retenção de água, índice de solubilidade em água e cor. Larrosa, Oliveira & Da Silva (2009), no projeto de graduação (TCC), estudaram a secagem dessa pasta de vegetais em leito de jorro de geometria retangular, visando ampliação de escala, avaliando as mesmas respostas do produto final.

Diante do histórico apresentado pelos trabalhos desenvolvidos no laboratório de Operações Unitárias, pode-se dizer que o estudo deste trabalho possui uma grande contribuição científica.

**CAPÍTULO II:**  
(REVISÃO BIBLIOGRÁFICA)

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Neste capítulo serão abordadas diversas informações relacionadas ao trabalho desenvolvido para um melhor entendimento sobre os vegetais (produção, consumo, composição química e compostos funcionais), secagem (aspectos gerais e relacionados ao leite de jorro) e efeito da secagem na qualidade de produtos desidratados.

### **2.1 VEGETAIS**

O termo vegetal, derivado do latim *vegetale*, é relativo ou procedente de plantas, e no caso de alimentos, alguns autores utilizam o termo hortaliça para designar os vegetais cultivados em hortas ou como nome genérico das verduras e legumes (ORNELLAS, 2006).

Segundo a Resolução RDC nº 272 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) define que, “hortaliça é a planta herbácea da qual uma ou mais partes utilizadas como alimento na sua forma natural”. Em outras palavras, as hortaliças compreendem as partes comestíveis das plantas, como raízes, tubérculos, rizomas, caules, flores, frutos e sementes (BRASIL, 2005).

As hortaliças recebem diversas designações tais como: verduras, quando utilizadas as partes verdes; legumes, quando utilizados os frutos ou as sementes, principalmente das leguminosas e raízes; tubérculos e rizomas, quando são utilizadas as partes subterrâneas (BRASIL, 2005).

#### **2.1.1 Produção e consumo**

A produção de vegetais, ou hortaliças, no Brasil tem aumentado nos últimos anos, onde em 2008, houve um acréscimo de apenas 3,8% nas áreas cultivadas, o que correspondeu um aumento de 68% equivalendo a 19,3 milhões de toneladas (MELO, 2010). A maior parte da produção de hortaliças está concentrada nas regiões Sul e Sudeste, tendo destaque para tomate, batata, cebola, cenoura e melancia (IBGE, 2010; MELO, 2010).

Um fator desfavorável que se observa no agronegócio de hortaliças são os altos índices de perdas pós-colheita, que reduzem sensivelmente a disponibilidade interna dos produtos hortícolas. Entre todos os grupos de hortaliças, as folhosas são as que apresentam maior perecibilidade (VILELA & HENZ, 2000).

O consumo atual no Brasil de hortaliças nos últimos dez anos teve um aumento de apenas 21% correspondendo a 132 g/pessoa/dia, sendo que a OMS recomenda o consumo de 400 g/pessoa/dia (MELO, 2010). Entre os fatores determinantes dessa condição, incluem-se os próprios hábitos socioculturais da população. Além disso, o crescimento nos níveis de consumo está condicionado à elevação da renda da população (VILELA & HENZ, 2000).

O mercado de vegetais vem se estruturando em diversos segmentos, onde além dos produtos *in natura*, tem se ampliado o processamento destes alimentos como conservas, congelados, desidratados, liofilizados e minimamente processados. Os vegetais desidratados e liofilizados apresentam um consumo anual da ordem de 1.300 toneladas sendo a produção destinada à fabricação de sopas e molhos (VILELA & HENZ, 2000).

### **2.1.2 Composição Química**

A composição química das hortaliças varia significativamente segundo sua procedência. A matéria seca oscila em média de 10 a 20% e seus componentes são: de 1 a 5% de compostos nitrogenados, de 3 a 20% de carboidratos, de 0,1 a 0,9% de gordura, 1% de fibra bruta e 1% de substâncias minerais (BELITZ & GROSCH, 1988).

As hortaliças também são ricas em vitaminas destacando a vitamina A (carotenóides), vitamina E (tocoferóis), vitamina K, vitaminas do complexo B e vitamina C. Esses nutrientes podem ser encontrados em maior quantidade na cenoura, na abóbora, no tomate, na batata, e nos vegetais folhosos verdes escuros como brócolis, espinafre e couve (ORNELLAS, 2006).

### 2.1.3 Compostos antioxidantes

Além dos nutrientes tradicionais encontrados nos vegetais, estudos têm evidenciado o efeito benéfico de fitonutrientes com relação a certas doenças. Os fitoquímicos são substâncias encontradas em vegetais e frutas, as quais podem ser ingeridas diariamente em determinadas quantidades, que mostrem um potencial para modificar o metabolismo humano de maneira favorável à prevenção de câncer, doenças cardiovasculares e entre outras doenças degenerativas (ARABBI, 2001). Os mecanismos pelos quais estas patologias se desenvolvem, geralmente envolvem alterações oxidativas de moléculas consideradas críticas, incluindo proteínas, carboidratos, ácidos nucléicos além das substâncias envolvidas na modulação da expressão gênica e em respostas inflamatórias. Esse estresse oxidativo é causado pelo desbalanço entre os sistemas antioxidantes e a produção de compostos oxidativos (radicais livres, espécies reativas de oxigênio) (KAWANISHI *et al.*, 2002; LAGUERRE, LECOMTE & VILLENEUVE, 2007).

Um dos principais aspectos relacionados ao efeito protetor desses alimentos tem sido atribuído, em parte, a presença de compostos antioxidantes, dentre os quais se destacam os compostos fenólicos, além dos bem conhecidos como carotenóides, vitamina C e vitamina E (KIM, GIRAUD & DRISKELL, 2007). Esses antioxidantes absorvem radicais livres e inibem a cadeia de propagação das reações oxidativas promovidas pelos radicais (PODSEDEK, 2007).

Os compostos fenólicos são originados do metabolismo secundário das plantas, sendo essenciais para o seu crescimento e reprodução, os quais se polimerizam em condições de estresse como, infecções, ferimentos, radiações UV, dentre outros (NACZK & SHAHIDI, 2004). Em alimentos, são responsáveis pela cor, adstringência, aroma e estabilidade oxidativa (PELEG, BODIN & NOBLE, 1998).

Quimicamente, os compostos fenólicos são definidos como substâncias que possuem anel aromático com um ou mais substituintes hidroxílicos, incluindo seus grupos funcionais, possuem estrutura variável e com isso, são multifuncionais (LEE *et al.*, 2005). Os compostos fenólicos apresentam uma diversidade de classes e divide-se em flavonóides (polifenóis) e não-flavonóides (fenóis simples ou ácidos). Os flavonóides compreendem um grupo de compostos fenólicos amplamente distribuídos nas frutas e nos vegetais, apresentando-se sob muitas variações como flavonóis, flavonas, flavanonas, catequinas, antocianinas, entre outros. Na classe dos não-flavonóides estão os derivados dos ácidos hidroxicinâmico (ésteres dos ácidos caféico, cumárico e felúrico)

e hidroxibenzóico (ácido salicílico, gálico, elágico, protocatéico e vanílico) (SILVA *et al.*, 2010).

Os compostos antioxidantes podem ser definidos como qualquer substância que, presente em baixas concentrações quando comparada a um substrato oxidável, atrasa ou inibe a oxidação desses substratos de maneira eficaz. O sistema de defesa antioxidante é formado por compostos enzimáticos e não-enzimáticos, estando presentes tanto no organismo como nos alimentos ingeridos (SHAMI & MOREIRA, 2004). Os antioxidantes agem nos organismos vivos por meio de diferentes mecanismos, e impedem que o oxigênio se combine com moléculas suscetíveis ou neutralizam a formação de radicais livres e espécies ativas de oxigênio, formando compostos menos reativos (GOTTLIEB *et al.*, 2009).

Os antioxidantes fenólicos funcionam como seqüestradores de radicais e algumas vezes como quelantes de metais, agindo tanto na etapa de iniciação como na propagação do processo oxidativo (SHAHIDI *et al.*, 1992). Os produtos intermediários, formados pela ação destes antioxidantes, são relativamente estáveis devido à ressonância do anel aromático apresentada por estas substâncias (NAWAR, 1985).

A capacidade antioxidante dos compostos fenólicos presente nos vegetais pode ser influenciada por vários fatores, sejam, genética, época de plantio, características de produção, condições de armazenamento, comercialização e processo (CHU *et al.*, 2002). Para melhor preservação dos compostos fenólicos, os vegetais devem ser mantidos em atmosfera controlada e sem luminosidade. Tanto a utilização de baixas temperaturas para armazenamento, como a utilização de tratamento térmico podem preservar os compostos fenólicos, entretanto esses métodos podem variar de vegetal para vegetal (LUPETTI *et al.*, 2005).

Vários ensaios vêm sendo utilizados para avaliar a capacidade antioxidante, no entanto, por causa da variedade de mecanismos e locais de atuação, é difícil definir qual o melhor método a ser empregado. Dentre os métodos mais usados podem-se citar aqueles que medem a habilidade de um antioxidante de reduzir um radical livre por doação de hidrogênio ou elétron e impedir a reação do radical com o substrato, tais como: ensaio do DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil), ORAC (capacidade de absorção do radical oxigênio), TRAP (capacidade antioxidante total), ensaio com ABTS (2,2-azinobis-3-etilbenzotiazolina-6-sulfonato, sal de diamônio). Outro método também muito utilizado é a capacidade de inibir a oxidação lipídica acoplada ao sistema do  $\beta$ -caroteno/ácido

linoléico. Este método se baseia na descoloração do  $\beta$ -caroteno induzida pelos produtos da degradação oxidativa do ácido linoléico (CAMPOS *et al.*, 2008). Métodos que utilizam o poder redutor e capacidade quelante de íons ferrosos também são usados para estudo da avaliação da atividade antioxidante.

Em função da diversidade química existente, particularmente, entre os compostos fenólicos, os ensaios que mais se destacam para avaliar a capacidade antioxidante destes compostos são os ensaios DPPH e peroxidação lipídica. Por ação de um antioxidante (AH) ou uma espécie radicalar ( $R^*$ ), o DPPH\* é reduzido formando difenilpicril-hidrazina, de coloração amarela, com conseqüente desaparecimento da absorção, podendo a mesma ser monitorada pelo decréscimo da absorbância (SOUSA *et al.*, 2007) Enquanto que no método da peroxidação lipídica, ocorre a perda da coloração alaranjada característica do sistema, e é monitorada espectrofotometricamente de modo a quantificar o grau de inibição da oxidação pelo antioxidante (HUANG, OU & PRIOR, 2005).

## **2.2 PROPRIEDADES FUNCIONAIS DAS PROTEÍNAS**

Além dos compostos antioxidantes, as proteínas presentes nos alimentos também podem exercer uma funcionalidade ao produto final. O termo funcional é definido como toda propriedade não nutricional que influi no comportamento durante o processamento, estocagem e preparação, controla sua conveniência como ingrediente alimentar e influencia na aceitação e no consumo do produto final (ORDONEZ, 2005). As proteínas convencionais quando substituídas por proteínas vegetais deverão manter ou melhorar a qualidade e aceitabilidade dos produtos aos quais foram incorporadas (EL NASR & EL TINAY, 2007).

A utilização de produtos protéicos pela indústria alimentícia tem mostrado aumento significativo em virtude de suas características funcionais. A capacidade que as proteínas possuem para desempenhar certas funções em determinado sistema alimentar, tais como, absorção de água, formação e estabilidade de emulsão, formação de gel e espuma, dentre outras, depende de numerosos fatores como conteúdo protéico, solubilidade, pH, concentração de sal e métodos de processamento; fatores que afetam as propriedades funcionais das proteínas (WANG, FERNANDES & CABRAL, 2000;

SGARBIERI, 1996). A solubilidade dos ingredientes de um alimento como sopa é muito importante, uma vez que poderá influenciar no sabor e textura do alimento.

A hidratação das proteínas e as propriedades relacionadas à hidratação como solubilidade, capacidade de absorção de água, propriedades ligadas aos lipídios, capacidade de formação de espuma e estabilidade, viscosidade e gelatinização, são algumas das propriedades que têm impacto significativo na qualidade do produto. A partir destas propriedades é possível otimizar características sensoriais em formulações alimentícias, melhorando a qualidade do produto, assim como para torná-lo um alimento funcional (SZE-TAO & SATHE, 2000).

## **2.3 SECAGEM**

### **2.3.1 Definição e considerações gerais**

A secagem é definida, geralmente, como a remoção de líquido de um material por evaporação. Na operação de secagem, o material úmido entra em contato com o ar insaturado e se obtém como resultado, a diminuição do conteúdo de umidade deste material e a umidificação do ar. Logo, os dois estágios que definem o processo total de secagem com o ar aquecido são: o aquecimento do material e a evaporação de umidade deste (STRUMILLO & KUDRA, 1986; PERRY & CHILTON, 1980).

De acordo com o apresentado na literatura, a operação de secagem é dividida em um período de taxa constante e um ou dois períodos de taxa decrescente, (STRUMILO & KUDRA, 1986; CHIRIFE, 1983; FORTES & OKOS, 1980). A Figura 1 apresenta uma ilustração da curva de taxa de secagem e seus respectivos períodos.

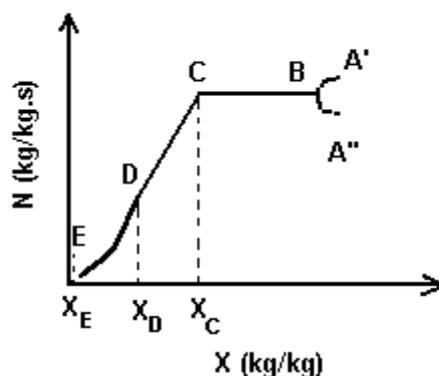


Figura 1: Curva da taxa de secagem (N) em função da umidade da material (X).

Legenda: A – Período inicial; B-C – Período Constante; D-E – Período decrescente.

Fonte: Strumilo & Kudra (1986).

- Período inicial: Imediatamente após o contato entre a amostra e o meio secante, a temperatura do sólido ajusta-se até atingir um regime permanente. Na Figura 1, o teor de umidade livre inicial no tempo zero é mostrado no ponto A'. No início, o sólido está normalmente em uma temperatura abaixo da temperatura de equilíbrio, que normalmente é igual à temperatura de bulbo úmido do ar. Neste caso, a taxa de evaporação aumenta. Eventualmente, se o sólido estiver numa temperatura superior à de equilíbrio, o período inicial de secagem é representado pela linha tracejada A''B da Figura 1 (FORTES & OKOS, 1980).

- Período de taxa constante: Está representado pelo segmento B-C na Figura 1. A superfície do sólido apresenta-se encoberta por uma película de umidade e a água evapora do material à mesma temperatura de bulbo úmido do ar. O calor para a transferência de massa do material é transferido para a superfície do sólido somente por convecção, ou seja, todo o calor cedido pelo ar de secagem é utilizado para a evaporação da umidade livre, permanecendo constante a temperatura do sólido e a taxa de secagem apresenta-se como uma linha horizontal (FORTES & OKOS, 1980). Na secagem de alimentos, o período de taxa constante só tem relativa importância quando o teor de umidade inicial do sólido é muito alto ou quando o potencial de secagem do ar é muito baixo (CHIRIFE, 1983).

O término do período de taxa constante é alcançado quando a migração interna de água para a superfície não consegue mais suprir a taxa de evaporação da água livre da superfície. O valor da umidade deste estado é denominado de umidade crítica, no ponto C da Figura 1 (FORTES & OKOS, 1980).

- Período de taxa decrescente: O período de secagem com taxa decrescente, representada pelo trecho C-E da Figura 1, se caracteriza por apresentar ou não duas fases bem diferenciadas em um determinado tempo, evidenciada por uma ou mais mudanças de inflexão, ou mudanças na inclinação, chamadas de transição. Este período ocorre quando a migração interna de água começa a controlar a operação de secagem (PERRY & CHILTON, 1980). Na primeira etapa, trecho C-D da Figura 1, a superfície do material apresenta diversas áreas secas que se amplia à medida que a secagem prossegue. A evaporação continua a se processar na superfície do sólido e a resistência à difusão interna do líquido é pequena comparada com a resistência para remover o vapor da superfície. A temperatura do sólido aumenta, pois recebe a mesma quantidade de ar de secagem, porém sua área de superfície de evaporação processa cada vez menos a evaporação de água. O calor transferido ao sólido excede ao da vaporização da água, e assim é absorvido por este (CHIRIFE, 1983). O segundo movimento interno de umidade, representado pelo segmento D-E da Figura 1, é a etapa que determina a operação de secagem, onde o fluxo interno controla a taxa de secagem (TOBINAGA & PINTO, 1992).

No ponto E da Figura 1 é alcançada a umidade de equilíbrio ( $X_E$ ) entre o conteúdo de umidade do material e a umidade relativa do ar de secagem, onde a pressão de vapor iguala-se à pressão parcial de vapor do ar seco, não ocorrendo mais a secagem do material (CHIRIFE, 1983).

### **2.3.2 Secagem em leito de jorro**

A técnica de leito de jorro foi desenvolvida em 1954 no Canadá por pesquisadores, quando testavam um leito fluidizado com maior capacidade para secagem de trigo (FREIRE & OLIVEIRA, 1992). Na tentativa de minimizar o problema da formação de grandes bolhas de ar nas condições de operação acima da mínima fluidização, os pesquisadores Mathur e Gishler, bloquearam a área do distribuidor de ar até reduzi-la a uma pequena abertura central na base da coluna. Com isso, observaram

um novo tipo de escoamento fluido-partícula denominando-o de regime de jorro (SOUZA, 2009).

As primeiras unidades comerciais de secadores de leite de jorro foram instaladas em 1962 para partículas granulares como ervilhas, lentilhas e linho. Desde então, as unidades foram sendo construídas em outros países para uma variedade de aplicações incluindo secagem de soluções, suspensões e pastas com partículas inertes, como também para sólidos de mistura, resfriamento, recobrimento e granulação (EPSTEIN & GRACE, 2011).

O leite de jorro, em suas diversas configurações, tem sido aplicado com sucesso em uma grande variedade de processos que vão desde a mistura de sólidos até situações mais complexas como reações heterogêneas e secagem de materiais granulares, o que estimula o aprimoramento deste equipamento visando sua aplicação em escala industrial (FREIRE & FERREIRA, 2009). Esta técnica proporciona excelente grau de mistura e efetivo contato entre fluido e partícula, resultando em altas taxas de transferência de calor e massa entre fases, promove o atrito entre as partículas e a parede do equipamento devido às colisões das partículas e à alta velocidade no jorro (SOUZA, 2009).

Embora não muito estudado, o leite de jorro com alimentação contínua de sólidos se mostra uma alternativa promissora para aplicação industrial, por apresentar características interessantes que possibilitam uma maior capacidade de processamento e também menores custos de operação, além de proporcionar uma boa mistura de fase sólida, o que leva à obtenção de um produto final mais homogêneo (FREIRE & FERREIRA, 2009).

Além das vantagens já descritas, existem algumas limitações no seu uso, como por exemplo, essa técnica é raramente aplicada em processos de escala industrial devido à dificuldade de “scale-up” em função da inabilidade de se obter um jorro de boa qualidade em vasos de grande porte; elevada perda de carga antes de atingir o jorro estável; grande faixa de tempo de residência das partículas; e existência de uma altura máxima de jorro estável que limita a capacidade do equipamento (DOGAN *et al.*, 2000). Além disso, o diâmetro médio das partículas de inertes recomendado é maior ou igual a 1 mm, onde partículas menores que este valor tendem a formar um regime de jorro instável (SOUZA, 2009).

Estudos sobre secagem em leito de jorro têm sido realizados usando desde o leito de jorro tradicional “conventional spouted bed” (CSB) até o leito de jorro menos denso, com alta porosidade ( $\epsilon > 85\%$ ), denominado “jet spouted bed” (JSB), (MARKOWSKI & KAMINSKI, 1983). Outra variação de geometria é o leito cônico, cujas partículas estão todas na base cônica do equipamento, enquanto que no leito convencional, a maior parte das partículas encontra-se no corpo cilíndrico do equipamento (FREITAS & FREIRE, 2000). Uma das mais promissoras modificações do leito de jorro clássico é o leito de jorro retangular (bidimensional) em que o problema de ampliação de escala se reduz à simples extensão da espessura do leito, causando um aumento na sua capacidade volumétrica (COSTA, 1998).

### 2.3.2.1 Operacionalidade do leito de jorro

O princípio de funcionamento do leito de jorro consiste na injeção do fluido no leito de partículas por um orifício, geralmente localizado no centro da base da coluna. Esse jato fluido irá quebrar o leito na região central e arrastará as partículas em direção ao topo da coluna, formando a região de jorro, ou de baixa concentração de sólidos ( $\epsilon > 0,7$ ). As partículas arrastadas são desaceleradas em sua trajetória ascendente até alcançar a fonte, região acima do leito caracterizada pela mudança de direção no movimento das partículas sólidas. Estas partículas são direcionadas para a região anular, ou região de alta concentração de sólidos ( $\epsilon < 0,7$ ), reiniciando seu movimento lento e ascendente de retorno ao jorro, o que favorece o contato entre o sólido e o fluido e, qualquer processo de transferência de massa e/ou energia entre estas duas fases (FREIRE, 1992).

O início da circulação dos sólidos, que caracteriza o leito de jorro, acontece quando a vazão de ar torna-se suficiente para arrastar pneumáticamente as partículas acima do nível do leito (LOURENÇO, 2006). Essas partículas passarão durante sua trajetória por três regiões distintas características do jorro:

- Região central (jorro central): ocorre o transporte pneumático das partículas devido à grande velocidade do fluido.

- Região da fonte: região acima do leito onde as partículas advindas da região central movimentam-se em regime desacelerado caindo na região anular.

- Região anular (deslizante): regiões laterais com alta concentração de sólidos, onde as partículas que saem da região de jorro deslizam novamente para a base do leito.

A Figura 2 mostra o esquema do movimento de partículas no leito de jorro com as regiões já descritas cima.

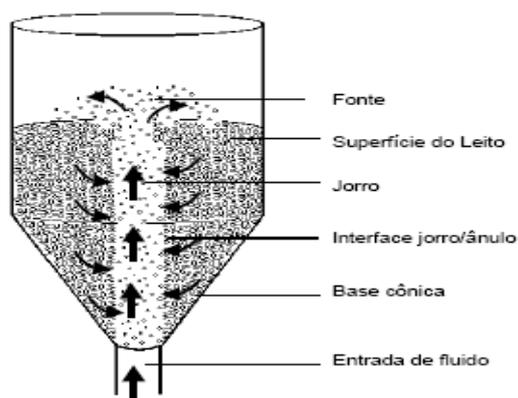


Figura 2: Esquema do movimento de partículas no leito de jorro.

Fonte: Fernandes (2005).

### 2.3.2.2 Fluidodinâmica do leito de jorro

A estabilidade de um leito de jorro depende das dimensões do leito e das propriedades das partículas. Para cada tipo de partícula e cada leito de jorro é possível determinar experimentalmente o seu diagrama de fase. Do ponto de vista fluidodinâmico, os principais parâmetros ligados ao projeto de secador de leito de jorro são: a perda de carga no leito (em função da vazão de fluido), a perda de carga máxima, a perda de carga no jorro estável, a velocidade de jorro mínimo e a altura máxima de jorro estável. Além destes parâmetros, é conveniente ter-se uma idéia do perfil de velocidade do gás no leito, do movimento das partículas e de sua circulação (FREIRE, 1992).

Definição dos parâmetros fluidodinâmicos do leito de jorro:

- Velocidade de jorro mínimo: defini-se como sendo o jorro que ocorre com a menor velocidade superficial, na qual a fonte ainda exista. Este parâmetro depende da geometria do sistema bem como das características físicas do fluido e das partículas.

- Altura de jorro estável: define-se como a altura de leito que qualquer valor superior a esta prejudicará a estabilidade do jorro. A importância desta informação está no fato de poder estimar a quantidade total de material que será processada em cada corrida de um determinado equipamento.

- Perda de carga no jorro estável: É a queda de pressão que ocorre durante o funcionamento estável do leito. A estabilidade de um leito de jorro depende das dimensões do leito e das propriedades das partículas.

- Queda de pressão máxima: É a perda que ocorre um pouco antes do jorro ser estabelecido. Esta perda de carga, juntamente com o valor da velocidade de jorro mínimo, fornece dados necessários para a especificação do soprador.

Para determinar as características de cada equipamento de secagem em particular, é necessário fazer-se o uso da curva fluidodinâmica característica, que é uma representação gráfica da relação entre a velocidade de escoamento do fluido de secagem e a perda de carga na célula de secagem.

A Figura 3 apresenta uma curva fluidodinâmica genérica característica com a perda de carga no leito em função da velocidade.

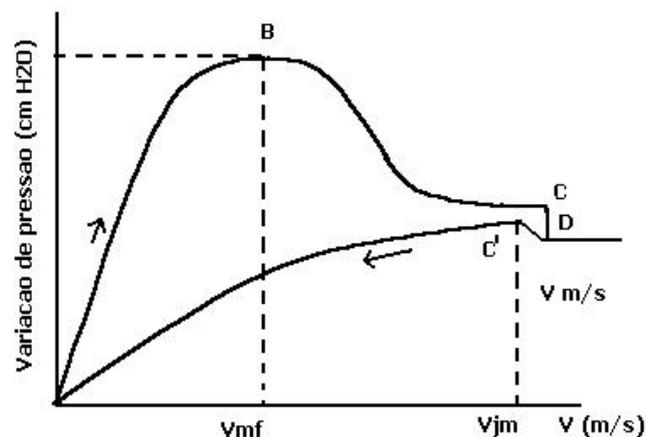


Figura 3: Curva fluidodinâmica genérica do leito de jorro do tipo CSB

Fonte: Freire (1992).

Segundo Freire (1992), analisando-se a curva da Figura 3 pode-se notar os seguintes destaques: ponto B onde ocorre a velocidade de mínima fluidização ( $v_{mf}$ ) e a perda de pressão máxima ( $\Delta P_m$ ), ponto C é o ponto de fluidização incipiente, o ponto D é o ponto de início do jorro e o ponto C' representa as condições mínimas de velocidade ( $v_{jm}$ ) para existir o jorro.

Em pequenas vazões de ar, este apenas circula sem perturbar as partículas permanecendo um leito fixo. Com o aumento da vazão, as partículas mais próximas ao orifício de entrada do ar se deslocam, surgindo uma cavidade circundada por uma camada sólida compacta resistente à passagem do ar, que acarretará em uma maior queda de pressão no leito. À medida que se aumenta a vazão, a cavidade vai se alongando devido à formação de jorro interno e a queda de pressão continua a aumentar até atingir seu valor máximo, exemplificado no ponto B. A partir deste ponto, o efeito do jorro interno é maior que o da camada sólida que limita a cavidade, e conseqüentemente, a queda de pressão diminui. No ponto C, a quantidade de partículas deslocadas do núcleo central já é suficiente para provocar uma expansão do leito. Um pequeno aumento na vazão do ar além do ponto C corresponde ao jorro incipiente, faz com que a queda de pressão diminua até o ponto D, no qual o jorro aflora na superfície. Neste ponto D, a queda de pressão torna-se constante e o aumento da vazão do ar só provocaria a elevação da fonte. No ponto C', a vazão de ar é reduzida lentamente para se obter o jorro estável (MEDEIROS, 2001).

### **2.3.2.3 Secagem de pastas em leito de jorro**

A secagem de pastas ou suspensões é realizada na presença de partículas inertes, das quais servem de suporte para a pasta e uma fonte de calor para a secagem (EPSTEIN & GRACE, 2011). A pasta é alimentada no interior do leito de jorro e recobre as partículas de inerte de um modo praticamente uniforme, formando um filme. A alimentação da pasta é feita normalmente por meio de um bico atomizador de simples ou duplo-fluido, ou simplesmente usando-se um gotejador. Com relação à posição, a alimentação pode ser efetuada acima da superfície do leito, na região da entrada de ar no sistema ou dentro do próprio leito (FREIRE & SILVEIRA, 2009).

Assim que a pasta adere à superfície das partículas inertes, o filme passa a ser seco através do próprio contato com as partículas aquecidas, que transmitem calor por

condução, e também pelo ar quente que alimenta o jorro, que transmite calor por convecção. À medida que o filme é seco, torna-se quebradiço e as colisões entre as partículas e entre estas e as paredes do equipamento promovem energia suficiente para fraturar o filme. Este se solta das partículas e é carregado pelo ar, sendo coletado usualmente através de um ciclone. Como a pasta é alimentada continuamente no secador, a produção do filme, sua secagem, fratura e elutriação do pó ocorrem simultaneamente no leito de jorro (FREIRE & SILVEIRA, 2009). O tempo necessário para completar o ciclo depende das características reológicas da pasta, da sua ligação com a superfície do inerte, das taxas de atrição partícula-partícula e partícula-parede. A secagem e a taxa de remoção do filme deve ser alta o suficiente para evitar a aglomeração de pasta acumulada no leito (EPSTEIN & GRACE, 2011).

A forma do produto final pode variar desde um pó finamente disperso (partículas de tamanho menores do que 10  $\mu\text{m}$ ), pós granulados grosseiros (partículas com tamanho entre 10-200  $\mu\text{m}$ ), grânulos (partículas entre 0,2-5 mm) e até pós aglomerados (FREIRE, 1992).

Diferentemente da secagem de sólidos granulares, a secagem de pastas em leitos de jorro ocorre principalmente a uma taxa constante, isto é, a evaporação é a etapa limitante do processo, uma vez que as pastas que são alimentadas normalmente possuem alta umidade e é esperado que o filme formado seja fino bastante para minimizar a etapa da difusão (SPITZNER NETO, 2001).

A acumulação do material dentro do leito é um indicador de regime transiente e, segundo Mujumdar (1989), depende de uma série de fatores, tais como: vazões de suspensão e do ar, propriedades do material, localização da alimentação, características da atomização, entre outros.

Quanto à qualidade do pó produzido, conforme dados levantados por Passos *et al.* (1997), esta se mantém a mesma nos secadores de leito de jorro e do tipo *spray*, desde que as condições de operação sejam otimizadas. Entretanto, a aglomeração de partículas, causada pela presença de suspensão, pode vir a comprometer seriamente a capacidade de evaporação da água e a de remoção do pó nos secadores de leitos de jorro (OLIVEIRA, 1994).

## 2.4 EFEITO DA SECAGEM NAS CARACTERÍSTICAS DOS ALIMENTOS DESIDRATADOS

A crescente demanda por aumento de vida útil de vegetais desidratados requer a otimização das condições do processo de secagem, especialmente a temperatura, com a finalidade de realizar não apenas a eficiência do processo, mas também a qualidade final do produto seco (BANGA *et al.*, 2003). Um método de preservação adequado deve diminuir a atividade de água até valores mínimos onde a microbiota e reações são minimizadas, e manter a textura, propriedades mecânicas, valores nutricionais, propriedades físicas, etc. (CHENLO *et al.*, 2006)

O alimento ao ser seco, perde um certo teor de umidade, contribuindo para um aumento na concentração dos nutrientes por unidade de peso, comparado com o produto fresco. Quando reconstituído ou reidratado, assemelha-se bastante ao produto natural, mas nunca chega a se igualar, devido às perdas de certos constituintes, principalmente as vitaminas (SOUZA, 2002), como também compostos voláteis (OETTERER, REGITANO-D'ARCE & SPOTO, 2006). A reidratação é um processo complexo que objetiva a restauração das propriedades do produto *in natura*. É tipicamente composta por três processos simultâneos: a embebição do material seco; o inchamento do produto reidratado e a migração do solúvel. Além disso, em produtos como as sopas instantâneas, os fatores adicionais de capacidade de reidratação e velocidade devem ser considerados. Conseqüentemente, o objetivo é obter produtos que, quando reconstituídos mostram as características de texturas adequadas, e tão rápido quanto possível (SANJUÁN *et al.*, 1999).

A oxidação das vitaminas e dos lipídios durante o armazenamento ocorre devido à estrutura porosa dos alimentos desidratados permitir acesso ao oxigênio. A velocidade de deterioração é determinada pela temperatura de armazenagem e pela atividade de água no alimento (OETTERER, REGITANO-D'ARCE & SPOTO, 2006). Apesar de que a maioria dos vegetais contém pouco lipídio, pode ocorrer a oxidação dos ácidos graxos insaturados que produz hidroperóxidos e reagem por polimerização, desidratação ou oxidação. Além disso, produzem aldeídos, cetonas e ácidos, que promovem odores rançosos e indesejáveis (OETTERER, REGITANO-D'ARCE & SPOTO, 2006).

Produtos com alto teor de proteína podem passar por modificações de suas propriedades funcionais, em especial da capacidade de gelificação, durante este tipo de processamento (FRANKE & KIEBLING, 2002). Isso ocorre devido à desnaturação parcial

ou total das proteínas, quando submetidas a altas temperaturas, expondo grupos reativos e levando a diferentes comportamentos de agregação e, conseqüentemente, funções estruturais (HANDA *et al.*, 2001).

As reações de escurecimento não enzimáticas mais importantes são as reações de Maillard, que envolvem aminoácidos e açúcares redutores, e a caramelização de açúcares. O escurecimento, devido à reação de Maillard em alimentos vegetais, depende da atividade de água e da temperatura de armazenamento, aumentando progressivamente com a elevação da temperatura, quando a umidade excede 4 a 5% e com a temperatura acima de 38°C (OETTERER, REGITANO-D'ARCE & SPOTO, 2006).

A cor é um atributo muito importante para qualquer alimento por ser o fator inicial na escolha do produto pelo consumidor. Ao se aplicar um processo tecnológico sobre um alimento, deve-se ter o cuidado de conferir uma aparência desejável ao produto final. No caso da secagem, deve-se utilizar uma combinação tempo/ temperatura que seja eficaz na remoção da água, para aumentar a vida de prateleira do alimento, mas que não escureça demais o produto (REIS, MASSON & WASZCZYNSKYJ, 2006).

A secagem pode causar tanto um aumento, quanto uma diminuição nos compostos fitoquímicos presentes nos vegetais, onde este efeito irá depender da temperatura, do tempo, e do método de secagem, como também depende da estrutura química e da concentração desses compostos e fatores relacionados à matéria-prima. Diante disso podem ser citados diversos trabalhos com resultados diferenciados:

- Nindo *et al.*, (2003), verificou que a temperatura de 60°C resultou na maior retenção da atividade antioxidante de aspargos utilizando leito de jorro com micro-ondas.

- Chang *et al.* (2006) observou em tomates desidratados, um aumento no teor de flavonóides, compostos fenólicos e licopeno, causando um aumento da atividade antioxidante;

- Georgetti *et al.*, (2008), na secagem em *spray drying* de isoflavonas, observaram que a temperatura do ar mostrou efeito significativo no conteúdo total de polifenóis, e uma redução na atividade antioxidante nas temperaturas mais elevadas;

- Negri, Possamai & Nakashima (2009), verificaram que menores temperaturas apresentaram elevada atividade antioxidante em folhas de plantas;

- Souza *et al.*, (2009), na secagem de extrato de *Bauhinia forficata* ocorreram menores perdas dos flavonóides totais em leito jorro do que em *spray drying*. Na atividade antioxidante, foi observada pequena redução em relação ao extrato *in natura*.

- Kha, Nguyen & Roach, (2010) no estudo da secagem da fruta Gac em *spray drying*, à temperatura de 120°C, foram preservadas a cor, atividade antioxidante e conteúdo de carotenóides da fruta;

- Yang *et al.* (2010), analisaram a secagem de batata doce, mostrando que as amostras secas em microondas apresentaram maiores atividades antioxidantes do que em amostras secas em bandejas. O conteúdo de fenóis foi correlacionado positivamente com o seqüestro do radical DPPH.

## 2.5 PROGRAMAÇÃO LINEAR

A programação linear, uma das técnicas utilizadas na pesquisa operacional, é um método que busca a otimização de um determinado problema que possui muitas soluções possíveis, através da maximização ou minimização de uma função linear (OENNING *et al.*, 2004). Segundo Prado (1999), a programação linear é um ramo de pesquisa operacional que permite estabelecer a “mistura” ótima de diversas variáveis, segundo uma função linear de efetividade, e satisfazendo a um conjunto de restrições lineares para estas variáveis.

A técnica de programação linear foi consolidada em 1947, quando se desenvolvia técnicas de otimização para problemas militares, por meio do método simplex, capaz de resolver qualquer problema desta natureza. Atualmente, a programação linear tem larga aplicação em diversas áreas como: decisões de investimentos, políticas de estoques, orçamentos de capital, fluxos de caixa, *mix* de produção, organização de transportes, localização industrial e fluxo de redes, dentre outros (MIRANDA *et al.*, 2007).

Existem alguns estudos sobre a utilização dessa técnica, como à maximização de lucros em indústrias processadoras de soja (SBARDELOTTO & LEANDRO, 2008), definição do nível ótimo de transformação de passa e bala de banana visando à maximização de lucros (SOUZA *et al.*, 1999), como também otimização de custos envolvidos em processos de fabricação de biscoitos tipo *cracker* visando aumento de produtividade (MELO *et al.*, 2004).

A solução ótima de um modelo de programação linear, desde que exista, será conseguida usando o método simplex (PUCCINI & PIZZOLATO, 1987). Os modelos de Programação Linear são identificados pelas seguintes características:

- Um critério de escolha das variáveis de decisão constituído por uma função linear das variáveis. Esta função é chamada de função objetiva e seu valor deve ser otimizado;

- As relações de interdependência entre as variáveis de decisão se expressam por um conjunto de equações e ou inequações lineares. Essas relações são denominadas de restrições;

- As variáveis de decisão são positivas ou nulas.

O aspecto matemático do modelo de programação linear está ilustrado a seguir. O modelo consiste em achar  $x_1, x_2, \dots, x_n$  que otimize a função objetiva, satisfazendo diversas inequações lineares (restrições) apresentadas nas Equações de 1 a 5:

$$Z = c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_n x_n, \quad \text{sujeito as restrições:} \quad (1)$$

$$a_{11} x_1 + a_{12} x_2 + \dots + a_{1n} x_n \quad (\geq \text{ ou } \leq \text{ ou } =) \quad b_1 \quad (2)$$

$$a_{21} x_1 + a_{22} x_2 + \dots + a_{2n} x_n \quad (\geq \text{ ou } \leq \text{ ou } =) \quad b_2 \quad (3)$$

$$a_{m1} x_1 + a_{m2} x_2 + \dots + a_{mn} x_n \quad (\geq \text{ ou } \leq \text{ ou } =) \quad b_m \quad (4)$$

$$\text{e que } x_1 \geq 0 ; x_2 \geq 0 ; \dots ; x_n \geq 0 \quad (5)$$

O método simplex consistirá nas seguintes etapas (PUCCINI & PIZZOLATO, 1987):

1. Para ser iniciado, há necessidade de conhecer uma solução básica factível (chamada solução inicial do sistema), que se resolvido algebricamente consiste em arbitrar valores às variáveis excedentes de modo que o número de incógnitas seja igual ao número de equações, e com isso resolvendo o sistema chega-se à solução básica;

2. Verificar se a solução encontrada é ótima; se for, o processo está encerrado. Se não for ótima, é porque uma das soluções adjacentes à solução atual fornece um valor maior (no caso de maximização) para função objetivo. Então o simplex adota essa nova solução do sistema e novamente compara com as soluções adjacentes e assim sucessivamente até que o resultado da função objetiva converge para um valor de ótimo.

**CAPÍTULO III:**  
(DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO)

### **3. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO**

Os artigos elaborados estão apresentados neste capítulo, na seguinte ordenação e propósito:

**ARTIGO I:** USO DA PROGRAMAÇÃO LINEAR PARA FORMULAÇÃO DE PASTA DE VEGETAIS MAXIMIZANDO A ATIVIDADE ANTIOXIDANTE E ANÁLISE DA OPERAÇÃO DE SECAGEM EM LEITO DE JORRO.

Este trabalho teve como objetivos utilizar a técnica de Programação Linear para formular uma pasta de vegetais com máxima atividade antioxidante, e analisar a viabilidade da técnica de secagem em leito de jorro de geometria cônica nas características do produto final desidratado como: cor, compostos fenólicos e atividade antioxidante.

**ARTIGO II:** EFEITO DAS CONDIÇÕES OPERACIONAIS NAS PROPRIEDADES FUNCIONAIS E FÍSICO-QUÍMICAS DO PRODUTO DESIDRATADO NA SECAGEM DE PASTA DE VEGETAIS EM LEITO DE JORRO.

Este trabalho teve como objetivo analisar o efeito da vazão de alimentação da pasta, temperatura do ar de entrada e a concentração de sólidos da pasta de vegetais nas propriedades funcionais como compostos fenólicos, atividade antioxidante, solubilidade protéica e físico-químicas como cor e reidratação do produto final.

## ARTIGO I: USO DA PROGRAMAÇÃO LINEAR PARA FORMULAÇÃO DE PASTA DE VEGETAIS MAXIMIZANDO A ATIVIDADE ANTIOXIDANTE E ANÁLISE DA SECAGEM EM LEITO DE JORRO.

### RESUMO

O objetivo deste trabalho foi utilizar a programação linear para formular a pasta de vegetais visando à maximização da atividade antioxidante, e avaliar a secagem em leito de jorro da pasta obtida, através das características do produto final desidratado, como variação de cor, teor de compostos fenólicos e atividade antioxidante. A otimização utilizando a programação linear para formulação da pasta de vegetais foi baseada em equações e inequações lineares sob diversas restrições. A pasta de vegetais foi obtida triturando e homogeneizando os constituintes: cebola branca, tomate, batata inglesa, cenoura, couve e óleo de soja comercial. A secagem foi realizada em leito de jorro cônico, onde foram analisados os efeitos da temperatura do ar de entrada (90 e 100°C) e da vazão de alimentação da pasta (100 e 200 mL h<sup>-1</sup>) nas características do produto seco. O produto final apresentou tonalidade amarelo-esverdeada, com umidade abaixo de 10% (b.u.). Os teores de compostos fenólicos e a atividade antioxidante total foram afetados pela secagem ao nível de 95% de significância (p<0,05) em relação à pasta *in natura*, apresentando valores em uma faixa de 4126±79 a 56145±45 µg<sub>EAG</sub> g<sub>amostra seca</sub><sup>-1</sup> e de 75,8±0,1 a 83,4±0,2%, respectivamente. Na condição de operação de 100 mL h<sup>-1</sup> a 100°C foram obtidas os menores valores de retenção de material no leito, alteração da cor, perda no teor de compostos fenólicos e atividade antioxidante total, sendo estes próximos à pasta *in natura*.

Palavras-chave: capacidade antioxidante, compostos fitoquímicos, formulação de alimentos, secagem de vegetais.

## ABSTRACT

The aim of this work was to use linear programming to formulate the vegetables paste in order to maximize the antioxidant activity, and to evaluate the drying in spouted bed of the obtained paste by the characteristics of the dried product as color change, content of phenolic compounds and antioxidant activity. Optimization by linear programming of vegetables paste formulation was based on linear equations and inequations under various restrictions. The vegetables paste was obtained by grinding and mixing of constituents: onion white, tomatoes, potatoes, carrots, kale and soybean oil trade. Drying was carried out in conical spouted bed where the study variables were the inlet air temperature (90 and 100°C) and paste flow rate (100 and 200 mL h<sup>-1</sup>) in the characteristics of the dried product. The final product showed yellow-green color, with moisture content below 10% (w.b.). The levels of phenolics and total antioxidant activity were affected by drying the 95% level of significance (p<0,05) in relation to the paste *in nature*, with a range from 4126±79 to 5615±45 µg<sub>GAE</sub>/g<sub>dry sample</sub> and 75.8±0,1 to 83.4±0,2%, respectively,. In the operation condition of 100mL h<sup>-1</sup> at 100°C were obtained the lower material accumulated in the bed, lower color change, lower losses in the content of phenolic compounds and total antioxidant activity, and the values were near the *in nature*.

Key-words: antioxidant capacity, drying of vegetables, formulation of food, phytochemicals compounds.

## 1 INTRODUÇÃO

Estudos epidemiológicos têm constatado que o consumo regular de vegetais proporciona uma ação benéfica à saúde do homem, onde o efeito protetor exercido por esses alimentos ocorre pela presença de compostos fitoquímicos com ação antioxidante. Segundo Melo *et al.* (2009), os compostos fenólicos são integrantes de um amplo e complexo grupo de fitoquímicos, sendo considerados como produtos secundários do metabolismo vegetal, com destaque para os ácidos fenólicos e os flavonóides, classes dos polifenóis que se encontram largamente distribuídos na natureza.

Os vegetais são alimentos altamente perecíveis e uma maneira de aumentar a vida útil e agregar valor ao produto, seria a secagem do material. A secagem é uma operação na qual a água é removida até um percentual desejável, a fim de inibir ou diminuir o crescimento de micro-organismos, como também a ocorrência de reações químicas (VEJA-MERCAD, GÓNGORA-NIETO & BARBOSA-CÁNOVAS, 2001). No entanto, diversos estudos têm relatado que os compostos antioxidantes presentes nos vegetais podem ser afetados pelo processamento térmico, podendo haver um aumento ou redução desses compostos. Dependendo do tipo de processo, os compostos bioativos presentes podem ser afetados quanto ao seu conteúdo, a atividade e a biodisponibilidade (MAIA *et al.*, 2007; NICOLI *et al.*, 1999).

O leito de jorro tem sido apontado como um dos equipamentos mais apropriados para secagem de pastas e suspensões em pequena escala, e possui baixo custo de montagem, operação, manutenção e pequena demanda de espaço físico (DE ALMEIDA, 2009). Além disso, pode-se trabalhar com temperaturas elevadas obtendo um produto final de qualidade, com características semelhantes aos secadores *spray* (MEDEIROS *et al.*, 2004). A secagem em leito de jorro apresenta-se assim como uma alternativa aos secadores tradicionais, devido ao reduzido tempo de residência do produto no equipamento, obtendo uma melhor conservação das suas características sensoriais (SHUHAMA *et al.*, 2003).

A programação linear é um método matemático interessante para resolver problemas em que se tenha um objetivo a ser atingido de maximizar, minimizar ou igualar, mas sujeito à restrições (SACALABRIN *et al.*, 2006). Segundo García (1998), é uma técnica ideal para definir a melhor combinação entre as variáveis de decisão que proporcione maximizar, minimizar ou igualar certo item. A programação linear é

utilizada em formulações de alimentos destinados tanto ao consumo humano quanto animal, sendo comumente aplicada a fim de minimizar custos e/ou maximizar lucros de produção.

Em vista de que a ferramenta matemática da programação linear se emprega para obter formulações de interesse (MUSZINSKI, 2009; SOUSA, 2004) e que, a operação de secagem pode afetar a estrutura dos compostos fitoquímicos presentes nos vegetais, o objetivo deste trabalho foi utilizar a programação linear para formular uma pasta de vegetais, maximizando a atividade antioxidante, por meio do seqüestro de radicais livres pelo método do DPPH (2,2 difenil-1-picrilhidrazil) e, avaliar o efeito da secagem da pasta em leite de jorro nas características do produto final desidratado.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 OBTENÇÃO DA PASTA DE VEGETAIS**

Para a obtenção da pasta de vegetais, inicialmente foi realizado uma otimização da formulação, utilizando a técnica da programação linear a fim de maximizar a atividade antioxidante. A partir de testes preliminares foram analisados seis vegetais (no laboratório de Operações Unitárias), sendo os mesmos adquiridos em mercados da cidade de Rio Grande (RS). Aqueles que atendessem às restrições de nutrientes, valor calórico e atividade antioxidante seriam selecionados e otimizadas suas quantidades.

Os vegetais selecionados foram: abóbora cabotian (*Cucurbita maxima*), batata inglesa (*Solanum tuberosum*), cebola (*Allium cepa* L.), cenoura (*Daucus carota* L.) couve (*Brassica oleracea*) e tomate (*Lycopersicum esculentum*). A escolha destes vegetais foi baseada na presença de atividade antioxidante de compostos fenólicos relatada na literatura, na facilidade de extração da amostra e aquisição no mercado local. Também foram realizados testes de obtenção de extratos metanólicos em beterraba e berinjela, porém foram observados alguns problemas analíticos durante a extração, o que resultou na eliminação destes vegetais para a otimização da formulação da pasta.

A Tabela 1 mostra as restrições que foram utilizadas para a formulação da pasta de vegetais a ser otimizada.

Tabela 1: Restrições para formulação da pasta de vegetais.

Constituintes	Limite mínimo	Limite máximo
Carboidratos (g 100g <sup>-1</sup> )*	50	70
Proteínas (g 100g <sup>-1</sup> )*	5	15
Lipídios (g 100g <sup>-1</sup> )*	2	2
Calorias (kcal/100g)*	200	400
Ativid. Antioxidante (%)**	70	100

\*Fonte: IBGE (1999). \*\* % de inibição ao radical DPPH.

Os valores das restrições mostrados na Tabela 1 foram baseados através de uma formulação de sopa desidratada segundo dados do IBGE (1999). Para a atividade antioxidante, foram estabelecidos valores a partir de 70% de inibição do radical livre DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil), a fim de buscar valores máximos de atividade na pasta de vegetais. Os limites, mínimo e máximo, de lipídios foram de 2% (utilizando óleo de soja), pois estudos anteriores desenvolvidos no laboratório verificaram que essa concentração não causava colapso no leite, e permitia uma melhor escoabilidade das partículas de inertes.

A formulação da pasta foi obtida utilizando o aplicativo Solver do Excel, tendo como função objetiva a maximização da atividade antioxidante. Para isso, foi necessária a determinação da atividade antioxidante do teor de compostos fenólicos totais de cada vegetal individualmente. A função objetiva é uma equação linear que relaciona os constituintes disponíveis com seus respectivos valores de atividade antioxidante segundo a Equação (1).

$$AA_T = \sum_{i=1}^n m_i \cdot AA_i \quad (1)$$

onde  $AA_T$  é a função objetiva a ser maximizada,  $m_i$  é a quantidade de cada vegetal e  $AA_i$  a atividade antioxidante de cada vegetal.

As funções de restrição (Equações (2) a (14)) são equações e inequações que limitam a função que se quer otimizar. A Equação (2) relaciona o somatório da quantidade total de sólidos da pasta, composta pelos sete constituintes, em base seca.

As inequações (3) e (4) limitam o conteúdo de carboidratos ( $C$ ); as inequações (5) e (6) limitam o conteúdo de proteínas ( $P$ ); as inequações (7) e (8) limitam o conteúdo de lipídios ( $L$ ); as inequações (9) e (10) limitam o valor calórico; as inequações (11) e (12) limitam a atividade antioxidante; as inequações (13) e (14) restringem a possibilidade matemática de valores negativos para quantidade mássica e dos constituintes com quantidade máxima pré-estabelecida.

Os valores  $c_i, p_i, l_i, vc_i$ , são as composições de cada constituinte (seis vegetais e óleo de soja), como carboidratos, proteínas, lipídios e valor calórico, respectivamente. Os valores  $C_1, P_1, L_1, Vc_1$  e  $AA_1$ , representam os valores mínimos e  $C_2, P_2, L_2, Vc_2$  e  $AA_2$  representam os valores máximos estabelecidos aos carboidratos ( $C$ ), proteínas ( $P$ ), lipídios ( $L$ ), valor calórico ( $Vc$ ) e atividade antioxidante ( $AA$ ).

$$C_{bs} = m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_5 + m_6 + m_7 \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^{i=7} m_i c_i \geq C_1 \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^{i=7} m_i c_i \leq C_2 \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^{i=7} m_i p_i \geq P_1 \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^{i=7} m_i p_i \leq P_2 \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^{i=7} m_i l_i \geq L_1 \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^{i=7} m_i l_i \leq L_2 \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^{i=7} m_i vc_i \leq Vc_1 \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^{i=7} m_i vc_i \leq Vc_2 \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^{i=7} m_i AA_i \leq AA_1 \quad (11)$$

$$\sum_{i=1}^{i=7} m_i AA_i \leq AA_2 \quad (12)$$

$$m_i \geq 0 \quad (13)$$

$$m_i \leq m \quad (14)$$

Após a otimização da formulação e definição dos vegetais a serem constituídos na pasta, foram realizadas as seguintes etapas descritas na Figura 1.

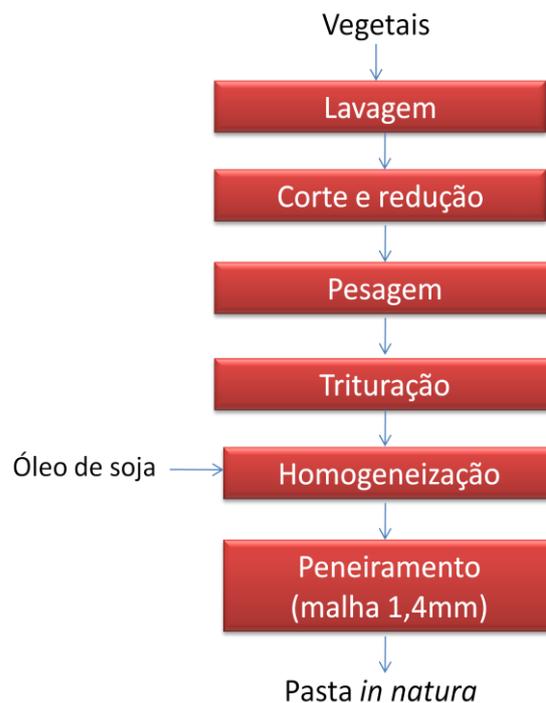


Figura 1: Fluxograma do processo de obtenção da pasta de vegetais.

De acordo com a Figura 1, a preparação da pasta formulada consistiu primeiramente na lavagem dos vegetais com água corrente, seguida do corte e redução de tamanho e pesagem. Depois de ocorrido essas etapas, os vegetais foram triturados em uma centrífuga doméstica para obter a maior extração do suco e ter o maior aproveitamento dos nutrientes. Em seguida, foi utilizado um multiprocessador de alimentos de pequeno porte, colocando o sólido restante juntamente com o suco extraído para facilitar a obtenção de uma pasta. Em seguida, a pasta foi homogeneizada em um liquidificador doméstico com adição de óleo de soja comercial, e peneirada (malha de 1,4 mm) para reter sementes, obtendo uma pasta em torno de 10% de concentração de sólidos.

## **2.2 SECAGEM EM LEITO DE JORRO**

Para a secagem da pasta de vegetais foi utilizada uma célula de secagem de geometria cônica, onde o diâmetro da célula era de 17,5 cm, com bases inferior e superior de vidro com ângulo incluído de 60° e altura de 15 cm cada. O diâmetro de entrada era de 2,9 cm sendo a relação ( $D_e/D_i$ ) igual a 6,0. O suporte de inertes foi constituído por 0,5 kg de partículas de polietileno, com diâmetro médio de 3,2 mm, esfericidade 0,7 e densidade de 0,96. Na base inferior e no topo da célula foram colocadas telas metálicas para evitar que partículas do leito de inertes fossem arrastadas ou penetrassem na tubulação de transporte do ar quente.

O fluido utilizado na secagem foi ar, proveniente de um soprador radial (Ibram, CR0850, Brasil) de 6 kW, e aquecido por um sistema de três resistências de 800 W cada uma. As determinações de vazão de ar foram feitas por meio de placa de orifício acoplada a um manômetro de tubo em “U”, e as medidas de temperaturas para acompanhar a operação de secagem foram feitas por termopares cobre-constantan acoplados a um medidor de temperatura com precisão de 1°C (Contemp CSC99, Brasil).

A velocidade mínima de jorro e a queda de pressão foram determinadas através das curvas fluidodinâmicas, em todas as temperaturas utilizadas nos experimentos, a fim de garantir a estabilidade do leito. Foi utilizada uma taxa de circulação de sólidos de 100% acima da velocidade de jorro mínimo indicado para secagem de pastas, conforme Mathur & Epstein (1974).

Para avaliar a viabilidade da secagem de pasta de vegetais em leito de jorro, foi necessário estudar condições de operação que melhor preservassem as características do produto final. Estudos realizados anteriormente demonstraram que, a temperatura do ar de entrada e a vazão de alimentação da pasta eram fatores muito importantes na operação (MUSZINSKI, 2009; SOUSA, 2004). Diante disso, foram escolhidas estas variáveis no presente estudo, sendo os valores para a temperatura do ar de entrada de 90 e 100°C, e a vazão de alimentação da pasta de 100 e 200 mL h<sup>-1</sup>. A temperatura do ar é um fator que interfere nas características do produto final, enquanto que a vazão de alimentação interfere na estabilidade do jorro. A vazão de alimentação foi estabelecida através da taxa de alimentação de 0,2 e 0,4 kg<sub>pasta</sub> kg<sub>inerte</sub><sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, fixando a carga de inertes de 0,5 kg de partículas de polietileno.

A secagem da pasta de vegetais no leito de jorro ocorre pelo contato entre fluido e partícula e também pelo atrito entre as partículas dos inertes, provocadas pela alta taxa de circulação das mesmas no interior do leito. Quando as condições operacionais desejadas eram atingidas, o sistema de alimentação da pasta de vegetais era acionado e introduzida para o interior da célula por um sistema semi-contínuo com auxílio de uma seringa com capacidade de 50 mL, em intervalos de 1 a 2 min, utilizando ar comprimido para a atomização a uma pressão de 200 kPa absoluta. O estabelecimento do regime de jorro era alcançado, quando a temperatura de saída do ar de secagem tornava-se constante. A pasta desidratada na forma de pó era arrastada pneumáticamente pelo ar de secagem e recolhida no recipiente de vidro acoplado no ciclone *Lapple*.

O regime da operação foi garantido pelo controle da temperatura a cada 2 min até atingir 30 min, e após transcorrido este tempo, foi controlado a cada 5 min de operação. Os experimentos foram realizados em duplicata, onde o primeiro experimento era controlado a produção a cada 30 min e, na réplica foi descartada os primeiros 30 min de operação e coletou-se o restante final no tempo total de 4 h. Este tempo foi estabelecido através de testes preliminares a fim de obter uma quantidade de produto suficiente para as análises.

O esquema do equipamento de leito de jorro pode ser visualizado na Figura 2.

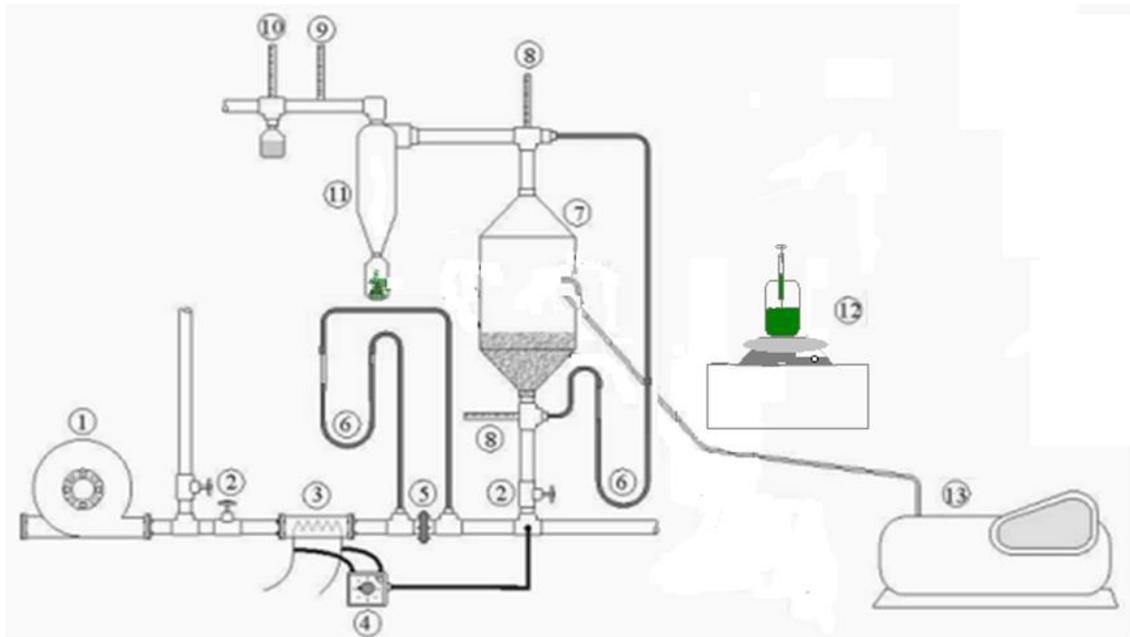


Figura 2: Esquema do equipamento de secagem de leito de jorro utilizado.

Onde: (1) soprador radial; (2) válvulas de regulagem de vazão de ar; (3) sistema de aquecimento do ar constituído de três resistências independentes de aquecedores do tipo quartzo; (4) controlador de temperatura; (5) placa de orifício; (6) manômetro de tubo em U; (7) célula de secagem; (8) termopares de entrada e saída do tipo cobre-constantan; (9) bulbo seco; (10) bulbo úmido; (11) ciclone tipo Lapple; (12) reservatório da pasta; (13) compressor de ar.

A retenção de material no leito foi determinada segundo a Equação 15.

$$%Ac = \frac{(mfi - mi\ddot{i})(1 - Uf)}{mi\ddot{i}} \times 100 \quad (15)$$

onde  $mfi$  é a quantidade de inerte após a secagem,  $mi\ddot{i}$  é a quantidade inicial de inerte antes da secagem e  $Uf$  é a umidade final do pó aderido às partículas de inerte.

## 2.3 MÉTODOS ANALÍTICOS

### 2.3.1 Composição dos macronutrientes

As composições proximais da pasta *in natura* e produto desidratada foram determinadas a partir das seguintes análises:

Umidade: determinada gravimetricamente à 105°C, segundo a metodologia n° 925.10 (AOAC, 1995).

Cinzas: determinada de acordo com a metodologia n° 923.03 (AOAC, 1995).

Carboidratos: determinado por diferença.

Nitrogênio total (proteína bruta): determinado pelo método de Kjeldahl n° 960.20 (AOAC, 1995).

Lipídios totais: determinado pelo extrator de Soxhlet de acordo com a metodologia 032/IV (IAL, 2004).

### 2.3.2 Cor

A cor da pasta *in natura* e da pasta desidratada foi mensurada utilizando um Colorímetro Minolta (CR-300, Osaka, Japão), a partir de um diagrama tridimensional de cores ( $L^*-a^*-b^*$ ), onde  $L^*$  indica a luminosidade,  $a^*$  indica a cromaticidade tendendo do verde (-) até vermelho (+) e  $b^*$  indica a cromaticidade que varia do azul (-) até amarelo (+). Os valores numéricos de  $a^*$  e  $b^*$  foram convertidos no ângulo Hue ( $\alpha$ ), conforme Equação (16). O ângulo Hue é o valor em graus correspondente ao diagrama tridimensional de cores: 0° (vermelho), 90° (amarelo), 180° (verde) e 270° (azul). A variação da cor ( $\Delta E$ ) relaciona as variações entre a amostra *in natura* e a amostra desidratada de acordo com a Equação (17) e, o índice de saturação ( $C^*$ ), indicado na Equação (18), representa a saturação da cor na amostra.

$$\alpha = \tan^{-1} \left( \frac{b^*}{a^*} \right) \quad (16)$$

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (17)$$

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (18)$$

### 2.3.3 Compostos Fenólicos Totais

Para realizar a determinação dos compostos fenólicos totais dos vegetais, da pasta *in natura* e do produto desidratado, foi necessário obter um extrato fenólico segundo a metodologia de Oliveira *et al.*, (2007). Este método se baseia na adição de álcool metílico a frio, seguida de agitação, partição com hexano e clarificação com hidróxido de bário 0,1 M e sulfato de zinco 5% (p/v). Os extratos metanólicos foram também concentrados sob pressão reduzida (700 mmHg) a 60°C em um evaporador rotativo.

A quantificação dos compostos fenólicos totais foi realizada pelo método espectrofotométrico (Bioespectro SP-22, Brasil) utilizando o reagente Folin-Ciocalteu, no comprimento de onda de 750nm, empregando-se uma curva padrão de ácido gálico (0 a 20 µg mL<sup>-1</sup>) e os resultados foram expressos em µg de fenólicos totais em equivalente de ácido gálico (EAG) por grama de amostra em base seca.

### 2.3.4 Atividade antioxidante

A atividade antioxidante dos extratos metanólicos dos vegetais, da pasta *in natura* e do produto desidratado, foi determinada pela capacidade de seqüestrar o radical estável 1,1-difenil-2-picrihidrazil (DPPH), segundo o método descrito por Brand-Williams, Cuvelier & Berset (1995), modificado por Miliauskas, Venskutonis & Van Beek (2004). A análise se baseou em alíquotas (0,5 mL) do extrato metanólico da

amostra, as quais foram colocadas em diferentes tubos de ensaio. Em seguida, cerca de 3,5 mL da solução de DPPH em metanol ( $5 \times 10^{-5}$  M) foram adicionados aos tubos e, após agitação, foram deixados em repouso ao abrigo da luz. A absorbância foi medida a 515 nm em um espectrofotômetro de UV visível e a leitura foi realizada após 60 min. A capacidade de seqüestrar o radical foi expressa em percentual, calculada em relação ao controle (sem antioxidante), segundo a Equação (19):

$$\% \text{inibição} = \frac{\text{Absorbância}_{\text{controle}} - \text{Absorbância}_{\text{amostra}}}{\text{Absorbância}_{\text{controle}}} \times 100 \quad (19)$$

## 2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise estatística das respostas de cor, compostos fenólicos e atividade antioxidante dos ensaios de secagem foi realizada pelo teste de Tukey a um nível de 95% de confiança ( $p < 0,05$ ), utilizando o programa Statistica 6.0 (StatSoft Inc., Tulsa, OK, USA).

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 FORMULAÇÃO DA PASTA DE VEGETAIS

Ao realizar os ensaios de quantificação do teor de compostos fenólicos totais pelo reagente Folin-Ciocalteu e determinação da atividade antioxidante pela redução do radical livre DPPH, pôde-se analisar os vegetais individualmente a fim de obter uma pasta com maior potencial antioxidante de acordo com as restrições estabelecidas para otimização da formulação pela programação linear. Os resultados dos extratos metanólicos dos vegetais referentes a essas análises estão mostrados na Tabela 2.

Tabela 2: Teor de compostos fenólicos totais e atividade antioxidante dos extratos metanólicos dos constituintes vegetais.

Vegetais	Compostos fenólicos* ( $\mu\text{g}_{\text{EAG}} \text{g}_{\text{amostra seca}}^{-1}$ )	Atividade antioxidante* (% inibição DPPH)
Abóbora cabotian	7224±150	65,5±0,8
Batata inglesa	3721±31	86,3±0,9
Cenoura	4710±300	80,7±0,7
Couve	11900±200	88,7±0,8
Cebola branca	9824±70	95,2±0,5
Tomate	5852±17	92,2±0,7

\* Valor médio±erro padrão.

Os extratos metanólicos dos vegetais avaliados apresentaram uma faixa de 3721 a 11900  $\mu\text{g}_{\text{EAG}} \text{g}_{\text{amostra seca}}^{-1}$ , no entanto, no extrato metanólico com maior teor de compostos fenólicos não correspondeu a uma maior inibição do radical DPPH. Isso indica que o(s) composto(s) ativo(s) dos extratos atua(m) como doador de hidrogênio ao radical DPPH de forma diferenciada e independente de sua concentração. Portanto, dependendo da estrutura química do componente ativo do extrato, determina a eficácia do antioxidante natural. Sendo no caso dos compostos fenólicos, os fatores como a posição e o número de hidroxilas presentes na molécula dos polifenóis são relevantes para esta atividade (SHAHIDI *et al.*, 1992). Reforçando que a atividade antioxidante de um extrato nem sempre pode ser explicada apenas pelo seu teor de compostos fenólicos totais, mas sim necessitando da caracterização da estrutura do composto ativo (HEINONEM *et al.*, 1998).

A maioria dos extratos metanólicos apresentou uma faixa superior a 80% de inibição ao seqüestro do radical livre, com exceção da abóbora que foi inferior a 70%, especialmente porque os compostos determinantes do seu potencial oxidante são carotenóides e possivelmente inibem de outra forma o processo oxidativo. Os resultados se mostraram próximos à literatura, como por exemplo, Melo *et al.* (2006) encontraram resultados de inibição superior a 70% para batata, couve e tomate e, ação antioxidante moderada de 60-70% para cebola e inferior a 60% para cenoura; Smail *et al.* (2004) encontraram resultados elevados para cebola branca; Ou *et al.* (2002) obtiveram extratos metanólicos de maior atividade exibidos pela cebola branca, tomate e cenoura, utilizando o método ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity) . Logo, percebe-se que a capacidade do extrato metanólico de exibir maior

ou menor inibição depende não só do tipo de vegetal, da sua variedade, fatores genéticos, condições climáticas em que foi cultivado, como também do método de extração da amostra e de avaliação da capacidade antioxidante do extrato.

Com os resultados da atividade antioxidante dos vegetais apresentados na Tabela 2, foi realizada a otimização da formulação da pasta de vegetais pela programação linear. A Tabela 3 mostra as quantidades dos componentes na formulação da pasta de vegetais em base úmida.

Tabela 3: Quantidade de constituintes otimizados para formulação da pasta de vegetais em base úmida.

Constituintes	Quantidade (g)
Oleo de soja	0,5
Abóbora	0
Batata	175,4
Cenoura	42,2
Couve	117,2
Cebola	270,3
Tomate	300,0

Pode-se observar através da Tabela 3 que, dentre os vegetais selecionados, somente a abóbora não foi otimizada a sua quantidade. Isso ocorreu devido à atividade antioxidante obtida ter sido inferior ao limite mínimo estabelecido como mostrado na Tabela 1. Além disso, pode-se observar que cada constituinte representou proporções diferenciadas na formulação, pois, dependendo da composição de nutrientes, valor calórico e principalmente da atividade antioxidante de cada vegetal interfere na quantidade otimizada. O tomate e a cebola, por exemplo, apresentaram maiores valores em relação aos demais constituintes, devido à sua elevada atividade antioxidante, como também apresentam a maioria dos nutrientes e valor calórico na faixa estabelecida pelas restrições. Portanto, dependendo da interação das restrições inseridas na formulação, e se estiverem dentro das faixas estabelecidas, a quantidade de cada vegetal que constituirá a pasta irá atingir maiores valores.

Além disso, cabe salientar que os limites mínimos e máximos de cada restrição podem ser alterados, assim como as próprias restrições podem sofrer alterações de acordo com a necessidade de obter uma determinada característica do produto final.

A Tabela 4 apresenta a composição da formulação otimizada de acordo com os limites mínimos e máximos pré-estabelecidos das restrições obtida pela programação linear para produção de 100g de produto desidratado. Sendo que somente a atividade antioxidante foi analisada analiticamente, enquanto que os demais componentes foram tabelados através da tabela de composição de alimentos (TACO, 2006)

Tabela 4: Nutrientes, valor calórico e otimização da formulação otimizada da pasta de vegetais.

Componentes	Quantidade
Carboidratos (g/100g)	67,4
Proteínas (g/100g)	15,0
Lipídios (g/100g)	2,0
Valor calórico (kcal/100g)	312,7
Atividade antioxidante (%)	80,8

De acordo com os resultados da Tabela 4, pode-se observar que os valores otimizados ficaram dentro dos limites estabelecidos nas restrições, mostrando que a técnica da Programação Linear se mostrou adequada para a formulação da pasta de vegetais através da maximização da atividade antioxidante.

### **3.2 COMPOSIÇÃO PROXIMAL DA PASTA *IN NATURA* E DESIDRATADA**

A Tabela 5 mostra a composição proximal da pasta *in natura* e desidratada realizada experimentalmente.

Tabela 5: Composição da pasta *in natura* e desidratada (100 mL h<sup>-1</sup> a 100°C)

Composição	Pasta <i>in natura</i> *	Pasta desidratada*
Umidade (%)	90,7±0,1	8,2 ±0,8
Cinzas (%)	0,72±0,1	6,3±0,2
Proteína (%)	1,42±0,1	12,0±0,8
Lipídios (%)	0,80±0,2	1,6±0,3
Carboidratos(%)	7,1±0,4	78,2±1,1

\*Valor médio±erro padrão (duplicata).

Os componentes majoritários encontrados na pasta *in natura* e na pasta desidratada foram os carboidratos. Comparando os resultados obtidos experimentalmente nesta Tabela com os resultados obtidos pela programação linear (Tabela 4), observa-se que os valores de proteínas e lipídios foram próximos, enquanto que o teor de carboidratos obteve um maior valor experimental, visto que foi obtido por diferença. Como a pasta *in natura* é composta por diversos vegetais classificados como frutos, folhas, tubérculos e bulbos, possuem diferentes carboidratos, ou seja, a matriz é muito complexa para se ter uma análise que defina o teor de carboidratos totais.

### 3.3 CARACTERIZAÇÃO DO PRODUTO

A Tabela 6 mostra os resultados obtidos para análise dos parâmetros da cor da pasta *in natura* e do produto desidratado a fim de avaliar o efeito da secagem nos pigmentos característicos através da luminosidade, cromaticidades e índice de saturação.

Tabela 6: Medidas de cor da pasta de vegetais *in natura* e dos produtos secos em leite de jorro.

Tratamentos (n°)	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$C^*$
(1) 100 mL h <sup>-1</sup> e 90°C	60,5±0,6 <sup>a</sup>	-5,3±0,6 <sup>a</sup>	33,1±0,1 <sup>a</sup>	33,5±1,2 <sup>a</sup>
(2) 100 mL h <sup>-1</sup> e 100°C	52,5±0,8 <sup>b</sup>	-1,5±0,2 <sup>b</sup>	30,8±0,2 <sup>b</sup>	30,8±0,1 <sup>b</sup>
(3) 200 mL h <sup>-1</sup> e 90°C	59,4±1,3 <sup>a</sup>	-5,8±0,1 <sup>a</sup>	33,2±0,4 <sup>a</sup>	33,7±1,1 <sup>a</sup>
(4) 200 mL h <sup>-1</sup> e 100°C	59,1±1,2 <sup>a</sup>	-3,9±0,2 <sup>c</sup>	33,8±0,7 <sup>a</sup>	34,1±0,7 <sup>a</sup>
Pasta <i>in natura</i>	42,1±0,4 <sup>c</sup>	-9,0±0,1 <sup>d</sup>	24,3±0,1 <sup>c</sup>	25,9±0,1 <sup>c</sup>

\*Valor médio ± erro padrão. Letras diferentes na mesma coluna apresentam diferença significativa ( $p < 0,05$ ).

Os parâmetros avaliados para a cor do produto final, como luminosidade ( $L^*$ ), cromaticidades ( $a^*$ ,  $b^*$ ) e índice de saturação ( $C^*$ ), mostraram diferença significativa ao nível de 95% de significância ( $p < 0,05$ ) nos tratamentos em relação à pasta *in natura*.

Para a resposta luminosidade ( $L^*$ ), houve um aumento dos valores determinados, o que significa que o produto final ficou mais claro que a pasta de alimentação, visto que quanto mais próximo de 100 mais claro é a amostra. Além disso, cabe salientar que um aumento da luminosidade está relacionada com a refração determinada na radiação eletromagnética pela água presente no produto *in natura*.

Quanto aos valores de cromaticidades apresentados na Tabela 6, para a cromaticidade  $a^*$ , tanto nos tratamentos quanto na pasta *in natura* foram obtidos valores negativos, mostrando uma tendência da tonalidade verde. Porém, o produto final em todas as condições apresentou uma diminuição desta tonalidade. A cromaticidade  $b^*$  mostrou tendência à tonalidade amarela devido aos valores positivos, no entanto, a secagem proporcionou um aumento desta tonalidade. O índice de saturação ( $C^*$ ) mostrou um comportamento similar à cromaticidade  $b^*$ , onde o produto desidratado em todas as condições de operação mostrou um aumento da intensidade da coloração em relação à pasta *in natura*.

O tom verde determinado pela clorofila, pode ter sido afetada em sua estrutura pela oxidação do  $Mg^{++}$ , coordenador do complexo em meio ácido e temperatura. A acidez do meio é proveniente da descompartmentalização das estruturas vegetais, em especial da cebola que perfaz 29,8% da formulação.

Diante da análise da Tabela 6, pode-se dizer que o tratamento nº 2 (100 mL h<sup>-1</sup> à 100°C) obteve melhores resultados nos parâmetros avaliados de cor, pois se mostraram mais próximos à *in natura*. Apesar da temperatura de saída ter sido elevada, nesta condição obteve melhores resultados devido à pasta de vegetais ter ficado pouco tempo no leite, evitando maiores degradações do produto por ação física, química ou enzimática.

Os valores de ângulo Hue ( $\alpha$ ) estão apresentados na Tabela 7, juntamente com os resultados de alteração da cor ( $\Delta E^*$ ) do produto final e da retenção de material no leite de jorro.

Tabela 7: Medidas da cor e retenção do material no leite de jorro.

Tratamentos (nº)	Hue (°)*	$\Delta E^*$	Retenção (%)*
(1) 100 mL h <sup>-1</sup> e 90°C	99,1±1,1 <sup>a</sup>	20,8±0,1 <sup>a</sup>	4,1±0,3 <sup>a</sup>
(2) 100 mL h <sup>-1</sup> e 100°C	92,7±0,1 <sup>b</sup>	14,5±0,4 <sup>b</sup>	3,5±0,1 <sup>b</sup>
(3) 200 mL h <sup>-1</sup> e 90°C	99,9±0,4 <sup>a</sup>	19,8±0,6 <sup>a</sup>	9,2±1,0 <sup>c</sup>
(4) 200 mL h <sup>-1</sup> e 100°C	96,5±0,8 <sup>c</sup>	20,3±0,5 <sup>a,c</sup>	9,3±0,5 <sup>c</sup>
Pasta <i>in natura</i>	109,4±0,9 <sup>d</sup>	-	-

\*Valor médio ± erro padrão. Letras diferentes na mesma coluna apresentam diferença significativa ( $p < 0,05$ ).

Observa-se na Tabela 7 que, tanto para o produto final quanto para a pasta de alimentação, foram obtidos valores de ângulo Hue superiores a 90°. Sendo que numa faixa de 90° a 180° representa a tonalidade amarela-esverdeada. Quanto à alteração da cor, observa-se que a condição que proporcionou menor degradação foi no tratamento nº 2, que corresponde à menor vazão de alimentação da pasta e maior temperatura de entrada do ar, pois neste experimento obteve menores valores de

luminosidade e cromaticidades. Isso também pode estar relacionado com os resultados apresentados pela retenção de material no leite. Observa-se que os melhores resultados de retenção foram na condição de menor vazão de alimentação da pasta de vegetais ( $100 \text{ mL h}^{-1}$ ) independente da temperatura de entrada do ar. Os tratamentos nº 3 e nº 4, que correspondem a maior vazão de alimentação, obtiveram maior quantidade de massa acumulada. Isso ocorreu pelo fato de que, ao aumentar a quantidade de sólidos, resulta em um aumento da camada que recobre a superfície das partículas de inertes, ocasionando um aumento de umidade do leite, formando pequenos aglomerados e aumentando a possibilidade de ocorrência da reação de Maillard.

A Tabela 8 mostra os resultados para o teor de compostos fenólicos totais e atividade antioxidante da pasta de vegetais *in natura* e dos produtos secos em leite de jorro.

Tabela 8: Compostos fenólicos e atividade antioxidante (AA) da pasta de vegetais *in natura* e dos produtos secos em leite de jorro.

Tratamentos (nº)	Comp. Fenólicos ( $\mu\text{g}_{\text{EAG}} \text{g}_{\text{amostra seca}}^{-1}$ )*	AA (% inibição)*
(1) $100 \text{ mL h}^{-1}$ e $90^\circ\text{C}$	$4126 \pm 79^{\text{a}}$	$83,4 \pm 0,2^{\text{a}}$
(2) $100 \text{ mL h}^{-1}$ e $100^\circ\text{C}$	$4929 \pm 16^{\text{b}}$	$81,6 \pm 0,3^{\text{b}}$
(3) $200 \text{ mL h}^{-1}$ e $90^\circ\text{C}$	$4254 \pm 33^{\text{c}}$	$75,8 \pm 0,1^{\text{c}}$
(4) $200 \text{ mL h}^{-1}$ e $100^\circ\text{C}$	$5615 \pm 45^{\text{d}}$	$77,7 \pm 0,4^{\text{d}}$
Pasta <i>In natura</i>	$8795 \pm 192^{\text{e}}$	$81,3 \pm 1,4^{\text{b}}$

\* Valor médio  $\pm$  erro padrão. Letras diferentes na mesma coluna apresentam diferença significativa ( $p < 0,05$ ).

O teor de compostos fenólicos totais apresentou diferença significativa ao nível de 95% significância ( $p < 0,05$ ) em relação à pasta *in natura*, sendo que a secagem proporcionou uma redução nestes compostos. Isso ocorreu devido à reações oxidativas e degradação de compostos termolábeis induzidas pelo calor (SOUZA *et al.*, 2009). Além disso, verifica-se que as menores perdas foram atingidas no tratamento nº 4 seguido do tratamento nº 2, que correspondem a maior temperatura de

entrada do ar. De acordo com Ungar *et al.*, (2003), a secagem provocou perdas em compostos bioativos em isoflavonas e, Vega-Galvez *et al.* (2009), observaram que o pimentão vermelho, após a secagem, apresentou redução do teor de ácido ascórbico como também no teor de compostos fenólicos, na faixa de temperatura de 50 a 90°C.

Os resultados da atividade antioxidante apresentaram diferença significativa ao nível de 95% de significância ( $p < 0,05$ ), com exceção do tratamento nº 2, mostrando que nesta condição de operação o produto manteve a atividade antioxidante próxima à pasta *in natura*. Além disso, os resultados apresentaram tanto um aumento quanto uma diminuição em relação à pasta de alimentação. Este comportamento pode ocorrer, pois, irá depender do estado de oxidação que os compostos antioxidantes estão presentes. Segundo Mrkic *et al.*, (2006), durante a secagem, observaram que os polifenóis presentes na amostra podem apresentar estados de oxidação que podem exibir elevada atividade de seqüestrar o radical do que os polifenóis não-oxidados.

A redução da atividade antioxidante foi observada nos tratamentos que correspondem à maior vazão de alimentação da pasta de vegetais (Tabela 8). Apesar de que vazões maiores atingem menores temperaturas de saída do ar de secagem em relação à condição de menor vazão de alimentação, o material no leito estaria mais úmido e com isso implicaria um maior tempo de secagem deste material aderido nas partículas do inerte. Segundo Garau *et al.*, (2007), longo tempo de secagem em temperaturas baixas, promove uma diminuição da atividade antioxidante. Vega-Gálvez *et al.*, (2009), observaram na secagem de pimentão vermelho que em temperaturas elevadas (80 e 90°C) mostraram maiores atividade antioxidante do que em baixas temperaturas (50, 60 e 70°C).

#### **4. CONCLUSÃO**

A formulação da pasta de vegetais utilizando a ferramenta matemática da programação linear, tendo como restrições os nutrientes, valor calórico e atividade antioxidante, se mostrou adequada para selecionar dentre as matérias-primas disponíveis, as que conferiram maior atividade antioxidante exibida pelo método de seqüestro do radical estável DPPH.

A técnica de secagem em leito de jorro mostrou-se adequada na secagem da pasta de vegetais, pois nas condições operacionais estudadas não foi verificado colapso do leito. O produto final apresentou tonalidade amarela-esverdeada com maior intensidade do que a pasta *in natura*, com umidade abaixo de 10% em base úmida. Os compostos fenólicos e a atividade antioxidante do produto desidratado foram afetados pela secagem em todas as condições de operação ao nível de 95% de significância ( $p < 0,05$ ). Os teores de compostos fenólicos totais apresentaram uma diminuição numa faixa de 36% a 53% em relação à pasta *in natura*, enquanto que a atividade antioxidante apresentou tanto um aumento quanto uma redução em relação à pasta de alimentação.

A condição de operação de vazão de alimentação da pasta de vegetais de  $100 \text{ mL h}^{-1}$  e temperatura de entrada do ar de  $100^\circ\text{C}$  apresentou menor retenção de material no leito e um produto final com menor alteração de cor, menor perda no teor de compostos fenólicos e atividade antioxidante próxima à pasta *in natura*.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (A.O.A.C.). (1995). *Official Methods of Analysis*. 14<sup>a</sup> ed., v.1.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. (1995). Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT – Food Science and Technology*, v. 8, p.25-30.

DE ALMEIDA, A. R. F. (2009). *Análise da secagem de pastas em leito de jorro*. São Carlos, Tese (Doutorado em Engenharia Química), Universidade Federal de São Carlos, SP, 202p.

GARAU, M. C.; SIMAL, S.; ROSELLÓ, C.; FEMENIA, A. (2007). Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties of dietary fibre and antioxidant capacity of orange (*Citrus aurantium* v. Canoneta) by-products. *Food Chemistry*, 104, p.1014–1024.

GARCÍA, N. (1998). *Contabilidade de gestão*. Córdoba. Universidade de Córdoba. Argentina.

HEINONEN, M.; LEHTONEN, P.J.; HOPIA, A. (1998). Antioxidative activity of berry and fruit wines and liquor. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46, p.25-31.

I.A.L. (2004). Instituto Adolfo Lutz. *Métodos físico-químicos para análise de alimentos*. 4ed., 1032 p., São Paulo, SP.

IBGE. (1999). *Tabelas de composição de alimentos*. 5 ed., 137 p. Rio de Janeiro, RJ.

ISMAIL, A.; MARJAN, Z. M.; FOONG, C. W. (2004). Total antioxidant and phenolic content in selected vegetables. *Food Chemistry*, 87, p.581-586.

MAIA, G.A.; SOUSA, P.H.M.; SANTOS, G.M.; SILVA, D.S.; FERNANDES, A.G.; PRADO, G.M. (2007). Effect of the processing on some components of acerola juice. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 27, p.130-134.

MATHUR, K. B.; EPSTEIN, N. (1974). *Spouted beds*. New York, Academia Press, 304p.

MEDEIROS, M. F. D.; ALSINA, O.L. S.; ROCHA, S. C. S.; JERÔNIMO, C. E. M.; MEDEIROS, U. K. L. (2004). Drying of pastes in spouted beds: influence of the paste composition on the material retention in the bed. *Proceedings of the 14<sup>th</sup> International Drying Symposium (IDS)*, vol. C., p.1529-1536.

MELO, E. A.; MACIEL, M. I. S.; LIMA, V. L. A. G.; LEAL, F. L. L.; CAETANO, A. C. S.; NASCIMENTO, R. J. (2006). Capacidade antioxidante de hortaliças usualmente consumidas. *Ciência Tecnologia de Alimentos*, 26(3): p.639-644.

MELO, E. A.; MACIEL, M. I. S.; LIMA, V. L. A. G.; SANTANA, A. P. M. (2009). Capacidade antioxidante de hortaliças submetidas a tratamento térmico. *Nutrire: Revista da Sociedade Brasileira de Alimentos e Nutrição. Journal of Brazilian Society of Food and Nutrition.*, 34, p.85-95.

MILIAUSKAS, G.; VENSKUTONIS, P. R.; VAN BEEK, T. A. (2004). Screening of radical scavenging activity of some medicinal and aromatic plant extracts. *Food Chemistry*, 85, p.231-237.

MRKÌC, V.; COCCI, E.; DALLA ROSA, M.; SACCHETTI, G. (2006). Effect of drying conditions on bioactive compounds and antioxidant activity of broccoli (*Brassica oleracea* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86, p.1559-1566.

MUSZINSKI, P. (2009). *Sopa desidratada de hortigranjeiros obtida em leite de jorro: Avaliação da operação e características físico-químicas do produto final*. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos), Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, RS, 65p.

NICOLI, M.C.; ANESE, M.; PARPINEL, M. (1999). Influence of processing on the antioxidant properties of fruit and vegetables. *Trends in Food Science and Technology*, New York, 10, (3), p.94-100.

OLIVEIRA, M. S.; DORS, G. C.; SOUZA-SOARES, L. A.; BADIALE-FURLONG, E. (2007). Antifungal and antioxidant activity of vegetables extracts. *Food and Nutrition*, 18, p.267-275.

OU, B.; HUANG, D.; HAMPSCH-WOODILL, M.; FLANAGAN, J. A.; DEEMER, E. K. (2002). Analysis of antioxidant activities of common vegetables employing oxygen radical absorbance capacity (ORAC) and ferric reducing antioxidant power (FRAP) assays: a comparative study. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, p.3122-3128.

SCALABRIN, I.; MORES, C. J.; BODANESE, R. E. OLIVEIRA, J. A. (2006). Programação Linear: estudo de caso com utilização do Solver da Microsoft Excel. *Universo Contábil*, 2, p.54-66.

SHAHIDI F.; JANITHA P. K.; WANASUNDARA P. D. (1992). Phenolic antioxidants. *Critical Review Food Science and Nutrition*, 32 (1), p.67-103.

SHUHAMA, I. K.; AGUIAR, M. L.; OLIVEIRA, W. P.; FREITAS, L. A. P. (2003). Experimental production of annatto powders in spouted bed dryer. *Journal of Food Engineering*, 59, p.93-97.

SOUSA, L. F. M. (2004). *Obtenção de sopa desidratada a partir de rejeitos hortigranjeiros: avaliação da secagem em leite de jorro*. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos), Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, RS, 88p.

SOUZA, C. R. F.; GEORGETTI, S. R.; SALVADOR, M. J; FONSECA, M. J. V.; OLIVEIRA, W. P. (2009). Antioxidant activity and physical-chemical properties of spray and spouted bed dried extracts of *Bauhinia forficata*. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 45, p.209-218.

TABELA BRASILEIRA DE COMPOSIÇÃO DE ALIMENTOS. TACO. (2006), NEPA, UNICAMP, versão II, 2 ed., Campinas, SP.

UNGAR, Y., OSUNDAHUNSI, O. F., & SHIMONI, E. (2003). Thermal stability of genistein and daidzein and its effect on their antioxidant activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, p.4394–4399.

VEGA-GÁLVEZ, A.; DI SCALA, K.; RODRÍGUEZ, K.; LEMUS-MONDACA, R.; MIRANDA, M.; LÓPEZ, J.; PEREZ-WON. M.; (2009). Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties, antioxidant capacity, colour and total phenolic content of red pepper (*Capsicum annuum*, L. var. Hungarian). *Food Chemistry*, 117, p.647–653.

VEJA-MERCADO, H.; GÓNGORA-NIETO, M. M.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. (2001). Advances in dehydration of foods. *Journal of Food Engineering*, 49 p.271-289.

## ARTIGO II: EFEITO DAS CONDIÇÕES OPERACIONAIS DA SECAGEM DE PASTA DE VEGETAIS EM LEITO DE JORRO NAS PROPRIEDADES FUNCIONAIS E FÍSICO-QUÍMICAS DO PRODUTO.

### RESUMO

O objetivo do trabalho foi analisar os efeitos das condições operacionais da secagem de pasta de vegetais em leito de jorro nas características do produto final. A pasta foi obtida através da trituração e homogeneização dos seguintes constituintes: cebola, tomate, couve, cenoura, batata e óleo de soja. A secagem foi realizada em leito de jorro convencional (CSB), com geometria cone-cilíndrica, utilizando um planejamento fatorial tipo  $2^3$ , tendo como variáveis a vazão de alimentação da pasta (400 e 600 mL  $h^{-1}$ ), temperatura de entrada do ar (90 e 110°C) e concentração de sólidos da pasta (5 e 10%). O produto final foi analisado quanto o teor de compostos fenólicos, atividade antioxidante, parâmetros da cor e solubilidade protéica. Também foram avaliados o teor de umidade e a reidratação do produto. Os resultados mostraram que o efeito principal da concentração de sólidos da pasta foi o fator que mais influenciou nas características funcionais e físico-químicas do produto final à 95% de confiança ( $p < 0,05$ ). O experimento de secagem com vazão de 400 mL  $h^{-1}$ , concentração de 10% e temperatura de 110°C, foi o que apresentou valores mais adequados para as respostas do produto final tais como: teor de compostos fenólicos de  $(6868 \pm 57 \mu g_{EAG} g_{amostra\ seca}^{-1})$ , atividade antioxidante de  $(61 \pm 0,2\%)$ , alteração da cor de  $(18 \pm 0,8\%)$  e solubilidade protéica de  $(20,9 \pm 0,6\%)$ . Nesta condição operacional de secagem o produto final apresentou um teor de umidade de  $(9,9 \pm 1,0\%)$ , tonalidade amarela-esverdeada, e reidratação de  $(85,4\%)$  em relação à pasta *in natura*.

Palavras-chave: características funcionais, compostos antioxidantes, secagem de alimentos.

## ABSTRACT

The aim of this work was to analyze the effects of operation conditions for drying vegetables paste in spouted bed in the final product characteristics. The paste was obtained by grinding and mixing the following constituents: onions, tomatoes, kale, carrot, potato and soybean oil. Drying was carried out in conventional spouted bed (CSB), with cone-cylindrical geometry, using a factorial design type  $2^3$ , with the variable flow rate to the paste (400 and 600 mL.h<sup>-1</sup>), inlet air temperature (90 and 110°C) and paste solids concentration (5 and 10%). The final product were analysed for phenolic compounds, antioxidant activity, color parameters and protein solubility. Also were analyzed the moisture content and rehydration of product. The results showed that the main effect of paste solids concentration was the factor of higher influence in the functional characteristics and physic-chemical properties of the final product at 95% confidence ( $p < 0.05$ ). The drying experiment at a flow rate of 400 mL h<sup>-1</sup>, concentration of 10% and temperature of 110°C, showed the most suitable valued of the responses to the final product such as phenolic compounds content of (6868±57  $\mu\text{GAE g}_{\text{dry sample}}^{-1}$ ), antioxidant activity of (61±0.2%), color change of (18±0.8%), and protein solubility of (20.9±0.6%). This drying operation condition the final product showed the moisture content of (9.9±1.0%), yellow-greenness color and rehydrations of 85,4% in relation to vegetables paste *in natura*.

Key-words: antioxidant compounds, drying foods, functional characteristics.

## 1 INTRODUÇÃO

Os vegetais são boas fontes de antioxidantes naturais tais como vitaminas, carotenóides, flavonóides e outros compostos fenólicos, onde são capazes de exercer proteção contra radicais livres como espécies reativas de oxigênio no corpo humano (NILSSON, STEGMARK, & AKESSON, 2004). Atualmente, a extração de componentes bioativos de vegetais é relatado na literatura como uma maneira interessante de aumentar o valor agregado ao produto (LLORACH, TOMAS-BARBERAN & FERRERES, 2004).

A secagem é um dos métodos mais utilizados como preservação em frutas e vegetais, devido à remoção do conteúdo de água livre, minimizando a deterioração por micro-organismos como também por reações químicas e enzimáticas. No entanto, durante a secagem por ar quente, podem ocorrer mudanças físicas, estruturais, químicas como também nutricionais nos vegetais que podem afetar atributos de qualidade (DI SCALA & CAPRISTE, 2008). A secagem em leito de jorro apresenta-se como uma alternativa de baixo custo, pois apesar de poder trabalhar com temperaturas elevadas, obtém-se um produto final de qualidade com características semelhantes aos secadores *spray* (MEDEIROS *et al.*, 2004).

A técnica de leito de jorro possui diversas aplicações com destaque ao recobrimento de partículas, secagem de grãos e secagem de pastas e suspensões. A secagem de pastas em leito de jorro com partículas de inertes apresenta vantagens adicionais, se comparado às outras aplicações deste secador, pois permite a secagem de material termicamente sensível, como pastas alimentícias, devido à temperatura média das partículas ser mais baixa do que a temperatura do ar de secagem. (FREIRE & SILVEIRA, 2009). Segundo Adeodato (2003), a estabilidade do jorro é influenciada por diversas variáveis relacionadas à geometria do leito, propriedades do sólido e do fluido, como também às características físicas da pasta.

A aceitabilidade de produtos secos depende principalmente de suas propriedades estruturais, visto que durante a secagem, podem ocorrer mudanças físicas e estruturais causados pela destruição celular no produto seco (CAPRISTE, 2000). O comportamento da reidratação, por exemplo, tem sido considerado como uma medida do dano induzido no material durante a secagem, como perda da integridade e redução das propriedades hidrofílicas, as quais diminuem a habilidade de reidratação (MARQUES, PRADO & FREIRE, 2009). Outro aspecto referente à

qualidade, e que deve ser considerado em produtos em pó, é o conhecimento do comportamento da solubilidade do produto em função do solvente em que será utilizado, pois assegura sua aceitabilidade perante o consumidor (HALL, 1996). A solubilidade é uma propriedade física e funcional muito importante, que influencia em diferentes graus nas propriedades das proteínas nos alimentos, como capacidade de gelificação, emulsificação ou formação de espuma (SGARBIERI, 1998).

A cor é um dos atributos mais importante para qualquer alimento por ser o fator inicial na aceitação do produto pelo consumidor. Na secagem, deve-se utilizar uma combinação tempo/temperatura que seja eficaz na remoção da água, para aumentar a vida útil do alimento, mas que não escureça demais o produto (REIS, MASSON & WASZCZYNSKYJ, 2006).

Como a secagem de pastas em leite de jorro com partículas inertes é influenciada por variáveis operacionais como também pelas propriedades do material a ser seco, o objetivo do trabalho foi analisar os efeitos da temperatura de entrada do ar, vazão de alimentação e concentração de sólidos da pasta, na secagem de pasta de vegetais em leite de jorro avaliando as propriedades funcionais e físico-químicas do produto final.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1 MATÉRIA-PRIMA**

A matéria-prima utilizada na secagem em leite de jorro foi uma pasta de vegetais, a qual teve sua formulação otimizada pela programação linear, maximizando a atividade antioxidante (conforme o Artigo 1). A pasta foi constituída pelos seguintes constituintes: batata inglesa (*Solanum tuberosum*), cebola (*Allium cepa* L.), cenoura (*Daucus carota* L.), couve (*Brassica oleracea*), tomate (*Lycopersicon esculentum*) e óleo de soja comercial. Os vegetais foram triturados, homogeneizados e peneirados (malha 1,4mm), tendo uma concentração de 10% de sólidos.

## 2.2 SECAGEM EM LEITO DE JORRO

A secagem da pasta de vegetais foi realizada em uma célula de leito de jorro de geometria cone-cilíndrica. As bases cônicas, tanto inferior quanto superior, eram constituída de vidro com ângulo incluso de 60°. As bases possuíam diâmetro de 17,5 cm e 15 cm de altura, e a coluna cilíndrica com diâmetro de 17,5 m e altura de 75 cm. A célula de jorro possuía uma relação de 1:6 entre o diâmetro do orifício de entrada do ar ( $D_i$ ) e o diâmetro da coluna ( $D_c$ ).

O leito de partículas de inertes, utilizado como suporte para secagem da pasta de vegetais, foi constituído por partículas de polietileno (diâmetro médio de 3,2 mm, esfericidade 0,7 e densidade de 0,96) com uma carga de 2,0 kg. O fluido utilizado na secagem foi ar aquecido por um sistema de três resistências de 800 W cada uma. As determinações de vazão de ar foram feitas por meio de placa de orifício acoplada a um manômetro de tubo em “U”, e as medidas de temperaturas para acompanhar a operação de secagem foram feitas por termopares cobre-constantan acoplados a um medidor de temperatura com precisão de 1°C (Contemp CSC99, Brasil).

Assim que as condições operacionais dos experimentos forem atingidas, o sistema de alimentação da pasta de vegetais foi acionado e introduzido para o interior da célula por meio de uma bomba peristáltica, utilizando ar comprimido para sua atomização à uma pressão de 200 kPa absoluta. Utilizou-se uma taxa de circulação de sólidos de 100% acima da velocidade de jorro mínimo, indicado para secagem de pastas, conforme Mathur & Epstein (1974). O produto desidratado foi coletado no ciclone *Lapple* e conduzido para posteriores análises.

Os experimentos foram conduzidos em duplicata com duração de 2 h, sendo que a primeira meia hora foi descartada, pois o equipamento ainda não estava em regime. O estabelecimento do regime de jorro foi alcançado quando a temperatura de saída do ar de secagem tornava-se constante, garantindo assim a estabilidade do processo.

A velocidade do ar de secagem utilizada nos experimentos foi estabelecida a partir da velocidade de jorro mínimo, determinada pela fluidodinâmica do equipamento, de forma a garantir a estabilidade do jorro em todos os ensaios realizados.

O esquema do equipamento de secagem em leito de jorro está apresentado na Figura 1.

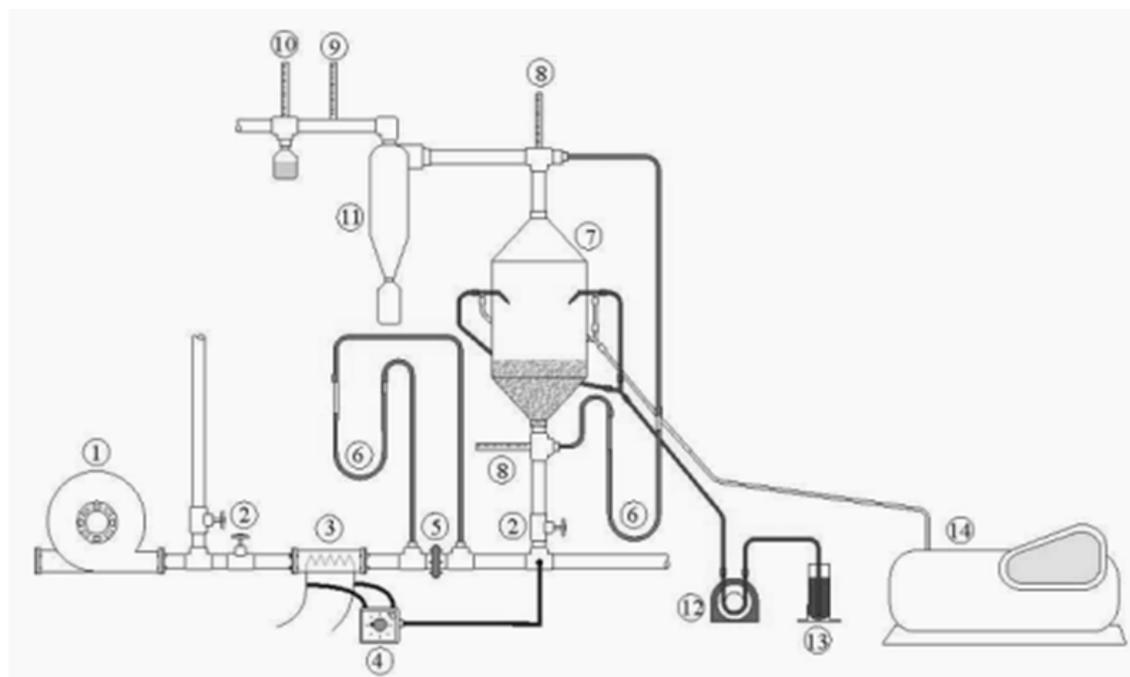


Figura 1: Esquema do equipamento de secagem de leito de jorro utilizado.

Onde: (1) soprador radial; (2) válvulas de regulação de vazão de ar; (3) sistema de aquecimento do ar constituído de três resistências independentes de aquecedores do tipo quartzo; (4) controlador de temperatura; (5) placa de orifício; (6) manômetro de tubo em U; (7) célula de secagem; (8) termopares de entrada e saída; (9) bulbo seco; (10) bulbo úmido; (11) ciclone tipo Lapple; (12) bomba peristáltica; (13) reservatório da pasta e (14) compressor de ar.

### 2.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A secagem da pasta de vegetais em leito de jorro foi realizado em um planejamento fatorial  $2^3$ , tendo três variáveis de estudo em dois níveis de operação. Os fatores de estudo foram a vazão de alimentação da pasta de vegetais, a temperatura de entrada do ar de secagem e a concentração de sólidos da pasta. O conhecimento destas variáveis e das interações entre as mesmas sobre o desempenho da secagem é de fundamental importância para o domínio do processo. O efeito dessas variáveis de estudo foram analisados através das seguintes respostas

relacionadas ao produto final: compostos fenólicos, atividade antioxidante, solubilidade protéica em meio aquoso e alteração de cor.

Os fatores de estudo e seus níveis estão representados na Tabela 1, e a matriz dos experimentos que foi utilizada no planejamento fatorial completo  $2^3$  está apresentada de forma codificada na Tabela 2.

Tabela 1: Fatores e respectivos níveis de estudo para secagem de pasta de vegetais em leite de jorro.

Fator de estudo	Nível inferior (-1)	Nível superior (+1)
Vazão de alimentação (mL h <sup>-1</sup> )	400	600
Temperatura do ar (°C)	90	110
Concentração de sólidos (%)	5	10

Tabela 2: Matriz do planejamento fatorial completo  $2^3$  na forma codificada para a realização dos experimentos.

Experimentos	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>
1	-1	-1	-1
2	1	-1	-1
3	-1	1	-1
4	1	1	-1
5	-1	-1	1
6	1	-1	1
7	-1	1	1
8	1	1	1

\* X<sub>1</sub> a variável codificada da vazão de alimentação da pasta de vegetais, X<sub>2</sub> a variável codificada da temperatura de entrada do ar no leite, e X<sub>3</sub> a variável codificada da concentração de sólidos da pasta de vegetais.

## 2.4 MÉTODOS ANALÍTICOS

### 2.4.1 Umidade

A umidade da pasta *in natura* e do produto final desidratado foi determinada gravimetricamente a 105°C segundo a metodologia da AOAC (1995).

### 2.4.2 Compostos fenólicos totais

Para a determinação dos compostos fenólicos totais da pasta *in natura* e do produto desidratado, foi necessário obter um extrato fenólico segundo a metodologia de Oliveira *et al.*, (2007). Este método se baseia na adição de álcool metílico a frio, seguida de agitação, partição com hexano e clarificação com hidróxido de bário 0,1 M e sulfato de zinco 5% (p/v). Os extratos metanólicos foram também concentrados sob pressão reduzida (700 mmHg) a 60°C em um evaporador rotativo.

A quantificação dos compostos fenólicos totais foi realizada pelo método espectrofotométrico (Bioespectro SP-22, Brasil) utilizando o reagente Folin-Ciocalteu, no comprimento de onda de 750 nm, empregando-se uma curva padrão de ácido gálico (0 a 20 µg mL<sup>-1</sup>) e os resultados foram expressos em µg de fenólicos totais em equivalente de ácido gálico por grama de amostra em base seca.

### 2.4.3 Atividade antioxidante

A atividade antioxidante dos extratos metanólicos da pasta *in natura* e do produto desidratado, foi determinada pela capacidade de seqüestrar o radical estável 1,1-difenil-2-picrihidrazil (DPPH), segundo o método descrito por Brand-Williams, Cuvelier & Berset (1995), modificado por Miliauskas, Venskutonis & Van Beek (2004). A análise se baseou em alíquotas (0,5 mL) do extrato metanólico da amostra, as quais foram colocadas em diferentes tubos de ensaio. Em seguida, cerca de 3,5 mL da solução de DPPH em metanol ( $5 \times 10^{-5}$  M) foram adicionados aos tubos e, após agitação, foram deixados em repouso ao abrigo da luz. A absorbância foi medida a 515 nm em um espectrofotômetro de UV visível, e a leitura foi realizada após 60 min.

A capacidade de seqüestrar o radical foi expressa em percentual, calculada em relação ao controle (sem antioxidante), segundo a Equação (1):

$$\%inibição = \frac{Absorbância_{controle} - Absorbância_{amostra}}{Absorbância_{controle}} \times 100 \quad (1)$$

#### 2.4.4 Solubilidade protéica

A determinação da solubilidade protéica, em meio aquoso, do produto desidratado foi realizada pelo método de Morr (1985), usando água como solvente. Essa determinação se baseou em adicionar 50 mL de água destilada em aproximadamente 2,5 g de amostra, a seguir levou-se ao agitador magnético por 15 min e posterior centrifugação a 3500 x g por 15 min. Após a centrifugação, filtrou-se o conteúdo dos tubos, e procedeu-se a determinação de proteína do sobrenadante pelo método Kjeldahl (AOAC, 1995).

#### 2.4.5 Cor

A cor da pasta *in natura* e da produto desidratado foi mensurada utilizando um Colorímetro Minolta (CR-300, Osaka, Japão), a partir de um diagrama tridimensional de cores ( $L^*-a^*-b^*$ ), onde L indica luminosidade,  $a^*$  indica cromaticidade tendendo do verde (-) até vermelho (+) e  $b^*$  indica a cromaticidade que varia do azul (-) até amarelo (+). Os valores numéricos de  $a^*$  e  $b^*$  foram convertidos no ângulo Hue ( $\alpha$ ), conforme Equação (2). O ângulo Hue é o valor em graus correspondente ao diagrama tridimensional de cores: 0° (vermelho), 90° (amarelo), 180° (verde) e 270° (azul). A variação da cor ( $\Delta E$ ) relaciona as variações entre a amostra *in natura* e a amostra desidratada de acordo com a Equação (3) e, o índice de saturação ( $C^*$ ), indicado na Equação (4), representa a saturação da cor na amostra.

$$\alpha = \tan^{-1} \left( \frac{b^*}{a^*} \right) \quad (2)$$

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (3)$$

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (4)$$

## 2.5 REIDRATAÇÃO

A reidratação do produto desidratado foi analisada através da modificação do aparelho de Baumann efetuada por Torgensen & Toledo (1977). O aparelho consiste de um funil conectado a um capilar horizontal (pipeta de 10 mL, graduada em centésimos de mL). A amostra (1 g) foi espalhada em um papel de filtro Whatman nº 1, umedecido, colocado no topo de um funil de Büchner com água ao nível da placa perfurada, tomando-se o cuidado de retirar o excedente de água, com papel absorvente. Os ensaios foram conduzidos à temperatura ambiente e, a medida que o produto desidratado adsorvia cada décimo de mL de água, registrava-se o tempo através de um cronômetro. Desta forma, pôde-se construir a curva da taxa de reidratação.

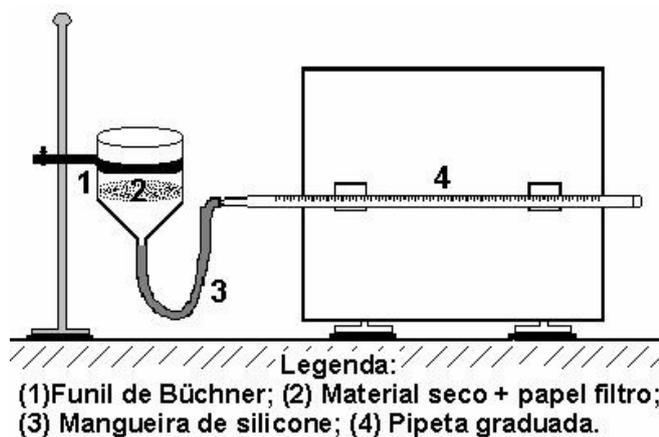


Figura 2: Esquema do sistema adotado para determinar a taxa de reidratação.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados obtidos nos experimentos de secagem de pasta de vegetais em leite de jorro para as respostas compostos fenólicos, atividade antioxidante, solubilidade protéica e alteração da cor ( $\Delta E$ ), estão apresentados na Tabela 3. Como a secagem ocorre em temperaturas elevadas e que associada à vazão de alimentação da pasta como também a concentração de sólidos, interfere no tempo de residência do material dentro do leite, podem ocorrer alterações e degradações nos componentes sensíveis à ação do calor como compostos fenólicos, proteínas, carboidratos e lipídios. Com isso, a atividade antioxidante dos compostos fenólicos presentes podem ser afetados, assim como a solubilidade protéica que pode indicar possível desnaturação das proteínas e a alteração da cor que resultaria na oxidação de lipídios, caramelização de carboidratos e reação de Maillard.

Tabela 3: Resultados da matriz do planejamento experimental da secagem de pasta de vegetais em leite de jorro.

Experimentos (nº)	Compostos fenólicos* ( $\mu\text{g}_{\text{EAG}} \text{g}_{\text{amostra}}^{-1}$ )	Atividade antioxidante* (%)	Solubilidade protéica* (%)	$\Delta E^*$
1	2838±190	47,3±1,8	14,1±0,8	27,4±1,0
2	3841±28	38,6±0,5	12,0±0,6	26,0±0,5
3	2592±20	47,2±2,0	13,0±0,2	12,4±0,1
4	4384±42	57,0±3,2	15,4±0,7	18,9±1,2
5	4173±111	69,2±1,2	15,3±1,0	17,4±0,9
6	3340±111	63,7±0,2	14,7±0,7	18,1±0,2
7	6868±57	61,0±0,2	20,9±0,6	18,0±1,0
8	5581±70	56,9±0,1	17,5±0,7	18,9±0,5

\*Média ± erro padrão (para as duas repetições).

A pasta *in natura* com concentração de sólidos de 5% foram obtidos umidade de  $94,0\pm 1^\circ\text{C}$ , teor de compostos fenólicos de  $5174\pm 56 \mu\text{g}_{\text{EAG}} \text{g}_{\text{amostra}}^{-1}$  e atividade antioxidante de  $57,8\pm 2,7\%$ . Enquanto que a pasta com concentração de sólidos de

10%, o conteúdo de umidade foi de 90,1±1%, teor de compostos fenólicos de 8290±170 µg<sub>EAG</sub> g<sub>amostra</sub><sup>-1</sup> e atividade antioxidante de 79,5±2,5%.

Nas Tabelas 4, 5, 6 e 7 apresentam a análise de variância dos efeitos principais e suas interações, da secagem de pasta de vegetais em leite de jorro, para as respostas compostos fenólicos, atividade antioxidante, solubilidade protéica e alteração da cor, respectivamente.

Tabela 4: Análise de variância dos efeitos da secagem de pasta de vegetais em leite de jorro para a resposta compostos fenólicos.

Variável	SQ	GL	MQ	Teste F	P
V	114752	1	114752	6,421	0,0350
T	6847381	1	6847381	383,155	<0,0001
C	9946139	1	9946139	556,550	<0,0001
V×T	27973	1	27973	1,565	0,2462
V×C	6035621	1	6035621	337,732	<0,0001
T×C	5378921	1	5378921	300,985	<0,0001
V×T×C	385952	1	385952	21,597	0,0016
Erro puro	142969	8	17871		
Total	28879705	15			

Tabela 5: Análise de variância dos efeitos da secagem de pasta de vegetais em leite de jorro para a resposta atividade antioxidante.

Variável	SQ	GL	MQ	Teste F	P
V	17,640	1	17,640	4,280	0,0724
T	2,722	1	2,723	0,661	0,4398
C	921,123	1	921,123	223,506	<0,0001
V×T	99,003	1	99,003	24,022	0,0012
V×C	28,623	1	28,623	6,945	0,0299
T×C	275,560	1	275,560	66,863	<0,0001
V×T×C	73,960	1	73,960	17,946	0,0028
Erro puro	32,970	8	4,121		
Total	1518,440	15			

Tabela 6: Análise de variância dos efeitos da secagem de pasta de vegetais em leite de jorro para a resposta solubilidade protéica.

Variável	SQ	GL	MQ	Teste F	P
V	6,676	1	6,376	7,281	0,0271
T	36,301	1	36,301	41,457	0,0002
C	39,376	1	39,376	44,968	0,0015
V×T	2,326	1	2,326	2,656	0,1418
V×C	7,980	1	7,980	9,114	0,0166
T×C	13,876	1	13,876	15,846	0,0040
V×T×C	8,851	1	8,851	10,108	0,0130
Erro puro	7,005	8	1,758		
Total	122,089	15			

Tabela 7: Análise de variância dos efeitos da secagem de pasta de vegetais em leite de jorro para a resposta alteração da cor.

Variável	SQ	GL	MQ	Teste F	P
V	11,560	1	11,560	10,345	0,0123
T	106,090	1	106,090	94,935	<0,0001
C	38,440	1	38,440	34,398	0,0004
V×T	16,000	1	16,000	14,318	0,0053
V×C	3,240	1	3,240	2,899	0,1270
T×C	136,890	1	136,890	122,467	<0,0001
V×T×C	15,210	1	15,210	13,611	0,0061
Erro puro	8,940	8	0,713		
Total	336,370	15			

Para a resposta compostos fenólicos (Tabela 4) com exceção da interação (V×T), entre a vazão de alimentação da pasta (V) e a temperatura do ar de secagem (T), os demais efeitos principais e suas interações foram significativos ao nível de 95% de confiança ( $p < 0,05$ ). A equação do modelo estatístico para os compostos fenólicos (CF) é dada pela Equação (5), cujo coeficiente de determinação foi de 0,99.

$$CF = 4202 + 84,7 V + 654,2 T + 788,4 C - 614,2 V \times C + 579,8 T \times C - 155,3 V \times T \times C$$

(5)

Para a atividade antioxidante, representada na Tabela 5, somente os efeitos principais como vazão de alimentação (V) e temperatura do ar de secagem (T), não foram significativos ao nível de 95% de confiança ( $p>0,05$ ). A equação do modelo estatístico para a atividade antioxidante (AA) é dada pela Equação (6), apresentando um coeficiente de determinação de 0,96.

$$AA = 55,10 + 7,59 C + 2,49 V \times T - 1,34 V \times C - 4,15 T \times C - 2,15 V \times T \times C$$

(6)

Para a resposta solubilidade protéica, a Tabela 6 mostra que somente a interação ( $V \times T$ ), entre a vazão de alimentação da pasta (V) e a temperatura do ar de secagem (T), não foi significativo ao nível de 95% de confiança ( $p<0,05$ ). O modelo estatístico obtido pela Equação (7) apresentou um coeficiente de determinação de 0,92.

$$SP = 15,19 - 0,63 V + 1,51 T + 1,57 C - 0,71 V \times C + 0,93 T \times C - 0,74 V \times T \times C$$

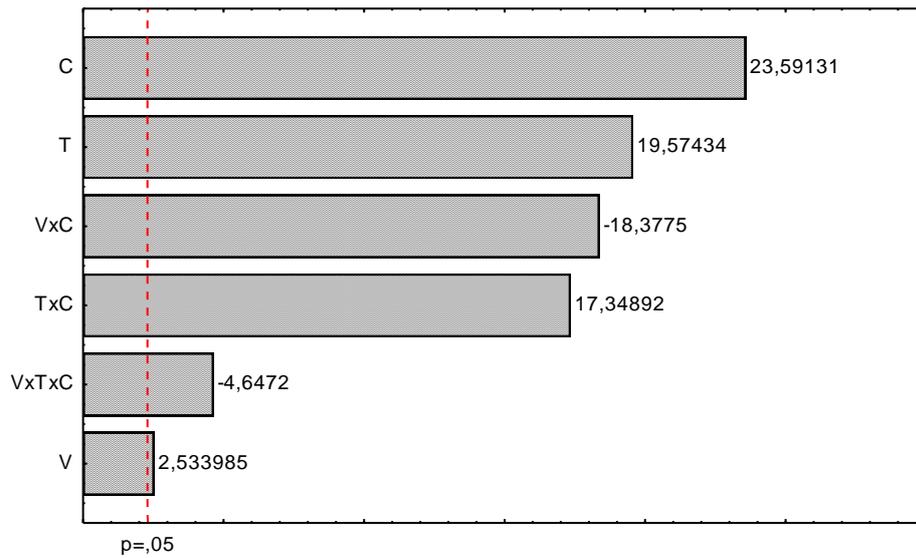
(7)

Na resposta alteração da cor, observa-se na Tabela 7, que somente a interação ( $V \times C$ ), entre vazão de alimentação (V) e concentração da pasta (C) não foi significativa ao nível de 95% de confiança ( $p>0,05$ ). O modelo estatístico está representado na Equação (8), apresentando um coeficiente de determinação de 0,96.

$$\Delta E = 19,63 + 0,85V - 2,58 T - 1,55 C + 1,00 V \times T + 2,93 T \times C - 0,98 V \times T \times C$$

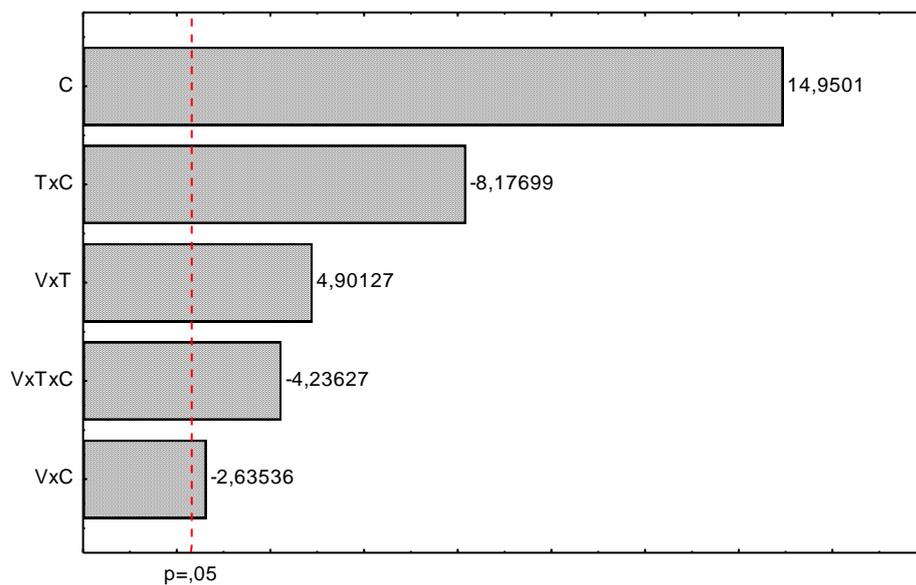
(8)

As Figuras 3, 4, 5 e 6 mostram os gráficos de Pareto dos efeitos das variáveis de estudo e suas interações para as respostas compostos fenólicos, atividade antioxidante, solubilidade protéica e alteração da cor. Os fatores de estudo foram analisados ao nível de 95% de significância ( $p<0,05$ ), representado pela linha vertical nos gráficos.



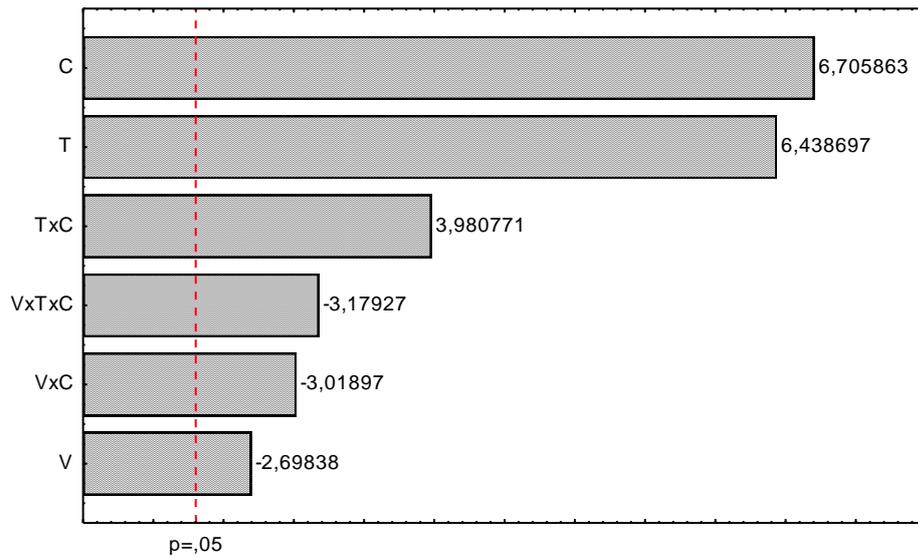
**Efeitos Estimados**

Figura 3: Gráfico de Pareto da secagem de pasta de vegetais em leito de jorro para a resposta compostos fenólicos.



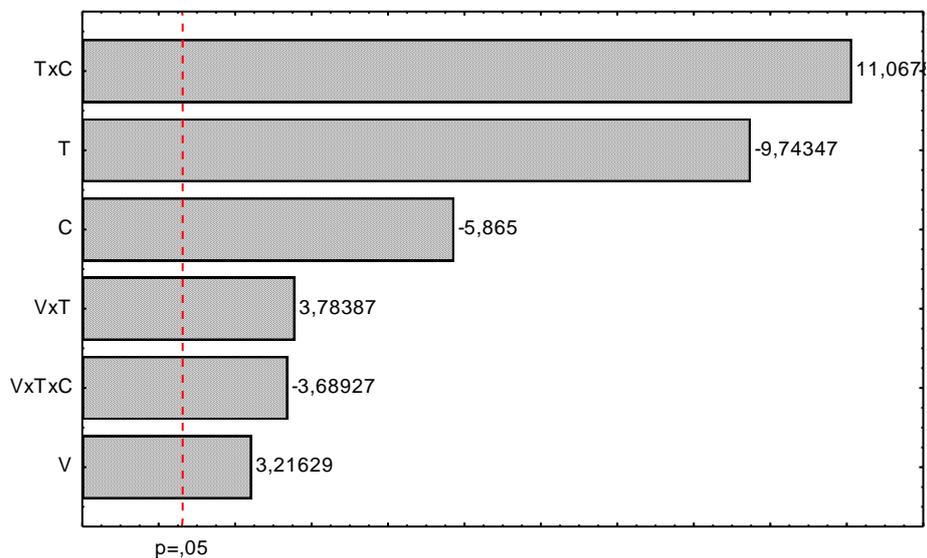
**Efeitos estimados**

Figura 4: Gráfico de Pareto da secagem de pasta de vegetais em leito de jorro para a resposta atividade antioxidante.



**Efeitos Estimados**

Figura 5: Gráfico de Pareto da secagem de pasta de vegetais em leite de jorro para a resposta solubilidade protéica.



**Efeitos Estimados**

Figura 6: Gráfico de Pareto da secagem de pasta de vegetais em leite de jorro para a resposta alteração da cor.

As Figuras 3, 4, 5 e 6, mostram que a maioria das repostas do produto desidratado que o efeito principal mais significativo ( $p < 0,05$ ) foi a concentração da pasta (C). Para a alteração da cor, a interação entre a concentração da pasta (C) e a temperatura (T) foi mais significativa ( $p < 0,05$ ), seguido dos efeitos principais como temperatura do ar (T) e também a concentração de sólidos da pasta (C). Além disso, o efeito principal da temperatura do ar de secagem (T) também foi bastante significativo ( $p < 0,05$ ) no teor de compostos fenólicos e na solubilidade protéica do produto desidratado. O efeito principal da vazão de alimentação da pasta de vegetais (V), com exceção da atividade antioxidante, apresentou uma menor significância ( $p < 0,05$ ) nas características do produto, comparado aos outros efeitos principais.

De acordo com as Figuras 3, 4, 5 e 6, um aumento da concentração da pasta e um aumento da temperatura do ar de secagem, influenciaram positivamente no teor de compostos fenólicos e na solubilidade protéica. Enquanto que na alteração da cor, o aumento destes parâmetros mostrou um efeito negativo, mostrando que quanto maior a concentração de sólidos e maior a temperatura do ar, menores alterações nos pigmentos. A vazão de alimentação mostrou um efeito positivo para compostos fenólicos e alteração da cor, e um efeito negativo para solubilidade protéica.

As Figuras 7, 8, 9 e 10 representam a análise dos efeitos principais nas repostas como compostos fenólicos, atividade antioxidante, solubilidade protéica e alteração da cor.

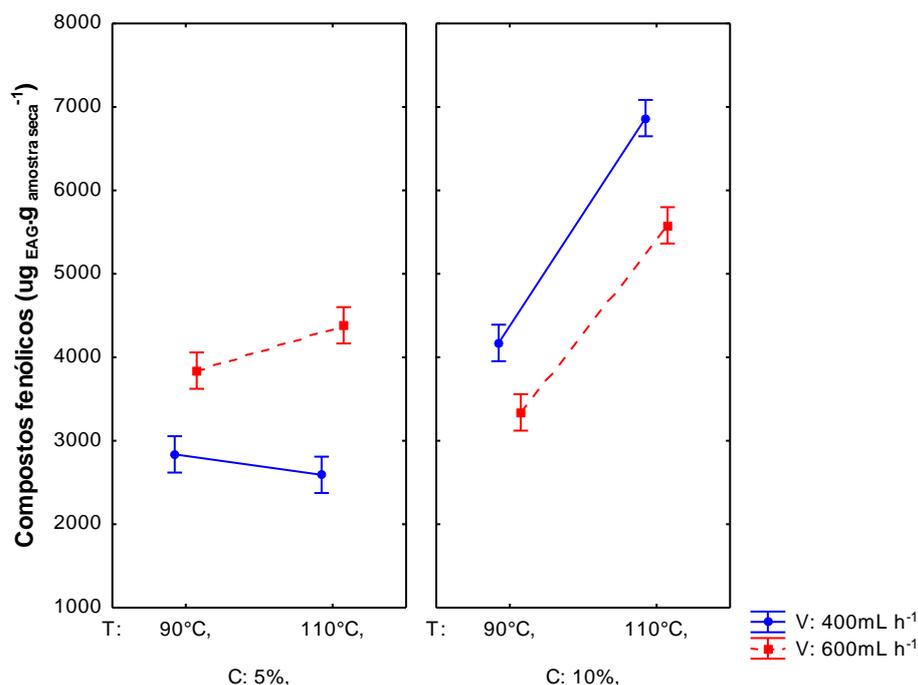


Figura 7: Gráfico dos efeitos principais da secagem de pasta de vegetais em leito de jorro para compostos fenólicos.

A condição de maior temperatura (110°C), menor vazão de alimentação (400 mL h<sup>-1</sup>) e maior concentração de sólidos da pasta (10%), promoveu um aumento no teor de compostos fenólicos do produto desidratado. Esta condição de operação de secagem contribuiu para a obtenção de maior concentração fenólica. Segundo Miranda *et al.*, (2009), maior concentração de compostos fenólicos sugere que a operação de secagem permitiu a ruptura de estruturas internas, propiciando maior extração de compostos químicos durante a obtenção do extrato analítico. Os resultados mostram que essa condição correspondeu à menor redução destes compostos em relação à pasta de alimentação. Segundo, Shih, Kuo & Chiang, (2009), temperaturas do ar de secagem superiores a 60°C é considerado como desfavorável, devido à possibilidade de induzir condensação oxidativa ou decomposição de compostos termolábeis. Logo, constata-se que a secagem da pasta de vegetais pode ter favorecido alguma reação de degradação de compostos fenólicos. Wojdylo *et al.*, (2009) afirmaram que apesar de ocorrer rompimento celular e liberação de enzimas hidrolíticas, as quais são capazes de oxidar polifenóis endógenos, a exposição da matéria-prima em temperaturas elevadas em pouco tempo pode ocorrer a inativação destas enzimas, protegendo a maior decomposição destes compostos químicos.

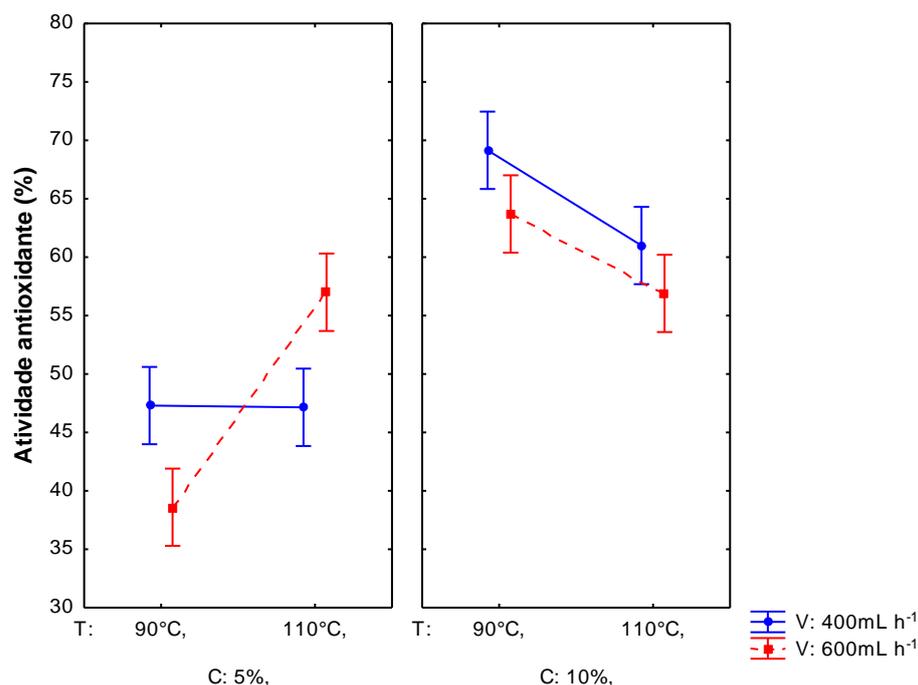


Figura 8: Gráfico dos efeitos principais da secagem de pasta de vegetais em leito de jorro para atividade antioxidante.

De acordo com a Figura 8, observa-se que a atividade antioxidante do produto desidratado apresentou melhores resultados na maior concentração de sólidos da pasta (10%), na menor vazão de alimentação (400 mL h<sup>-1</sup>) e na menor temperatura (90°C). Ao contrário do comportamento exibido pelos compostos fenólicos, a maior temperatura nessa condição reduziu a atividade antioxidante. Porém, essa redução foi bem inferior aos resultados apresentados nas outras condições. Além disso, constata-se que a atividade antioxidante do produto desidratado foi reduzida em relação à pasta *in natura* de alimentação. Estudos realizados por Souza *et al.* (2009) e Georgetti *et al.* (2008), mostraram que a atividade antioxidante do produto desidratado é afetada pela secagem.

Como já foi dito anteriormente, os compostos fitoquímicos que possuem ação antioxidante, são termolábeis, podendo ser oxidados. Além disso, os resultados mostram ainda que a relação entre os compostos fenólicos e atividade antioxidante foi conflitante, ou seja, a maior concentração de fenóis não correspondeu ao maior valor de atividade antioxidante. Isso pode ser explicado pelo estado de oxidação que estes compostos apresentam e que podem exibir elevada atividade de seqüestrar o radical do que fenóis não-oxidados (MRKÌC *et al.*, 2006). Manzocco, *et al.*, (2001) relatam que os efeitos da secagem na atividade antioxidante e no conteúdo total de compostos

fenólicos de vegetais podem ser conflitantes devido a vários fatores, como método de secagem, tipo de extração do solvente, ensaios de atividade utilizados como também as interações de várias reações antioxidantes.

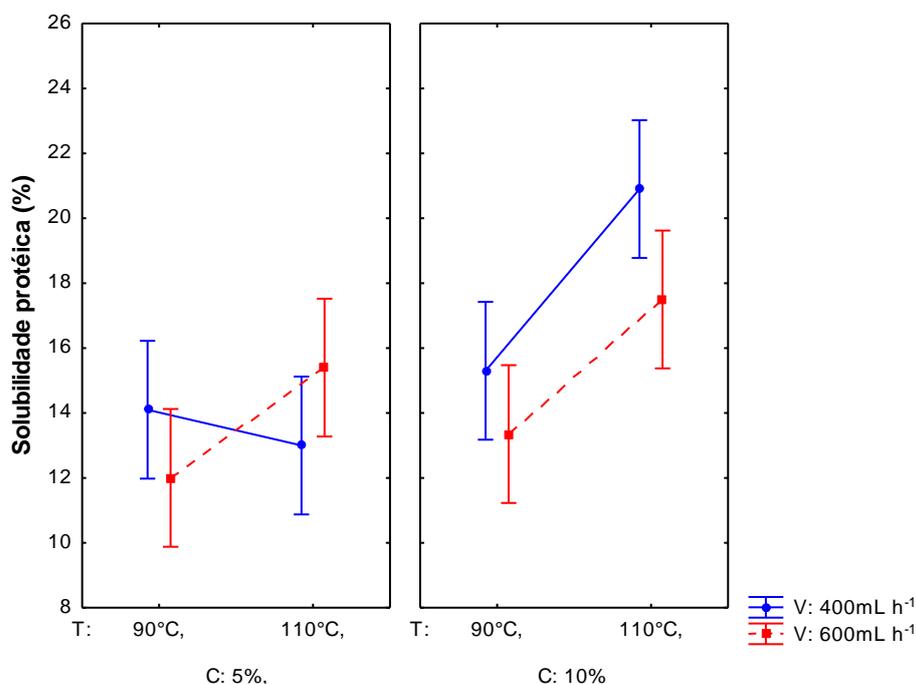


Figura 9: Gráfico dos efeitos principais da secagem de pasta de vegetais em leito de jorro para solubilidade protéica.

A Figura 9 mostra que a solubilidade protéica em meio aquoso do produto desidratado foi melhor na maior concentração de sólidos da pasta (10%), na maior temperatura (110°C) e na menor vazão de alimentação (400 mL h<sup>-1</sup>). Como a vazão de alimentação da pasta de vegetais era menor, mesmo na temperatura mais elevada, a pasta permanecia no leito por curto período de tempo, comparado à condição de maior vazão de alimentação, fazendo com que ocorressem menores alterações na funcionalidade da proteína presente no produto desidratado. Cabe salientar que, segundo Sgarbieri (1996), a solubilidade das proteínas aumenta até uma faixa de temperatura de 40-50°C e acima desta, as proteínas sofrem desnaturação e diminuição das suas funcionalidades. Como a secagem do material em leito de jorro ocorre um pouco acima da temperatura de bulbo úmido do ar, o experimento em que obteve a maior solubilidade estava em torno de 35±1°C, portanto, não causou

alteração da conformação original da proteína, ou seja, as propriedades funcionais não foram afetadas.

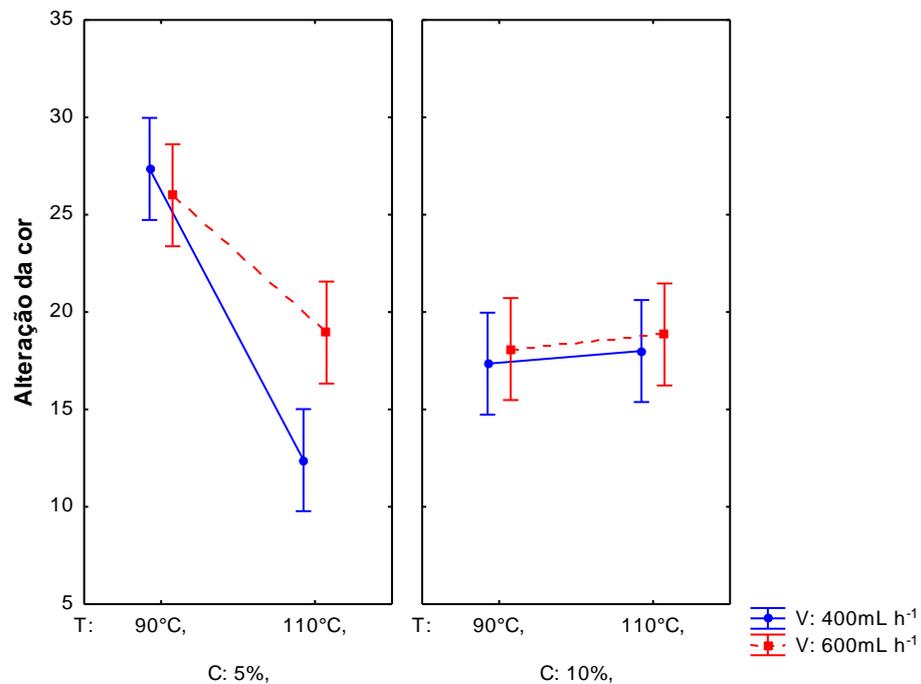


Figura10: Gráfico dos efeitos principais da secagem de pasta de vegetais em leito de jorro para alteração da cor ( $\Delta E$ ).

Pode-se observar na Figura 10, que a alteração da cor foi maior nos níveis inferiores da concentração da pasta (5%), da vazão de alimentação (400 mL h<sup>-1</sup>) e da temperatura do ar de secagem (90°C). Porém, maior alteração da cor indica que a condição operacional realizada causou uma degradação ou alteração dos pigmentos presentes no produto desidratado. Logo, a condição operacional na maior concentração da pasta (10%) e na menor temperatura do ar (90°C) favoreceria uma melhor preservação dos pigmentos característicos do produto desidratado. Segundo Adam *et al.*, (2000), durante a secagem pode ocorrer alterações ou variações na cor, as quais podem ser atribuídas às reações de escurecimento como as reações de Maillard.

A região de trabalho mais adequada foi definida através da análise dos cubos de resposta (Figuras 11, 12, 13 e 14), onde os três fatores de estudo, em seus respectivos níveis codificados, encontram-se relacionados nas arestas. As respectivas

respostas obtidas pelos modelos estatísticos (Equações 5 a 8) para compostos fenólicos, atividade antioxidante, solubilidade protéica e alteração da cor, estão colocadas nos vértices dos cubos.

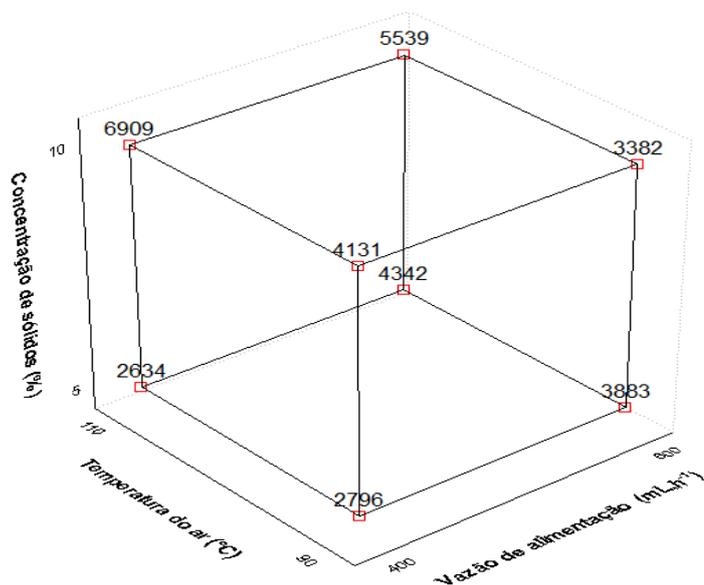


Figura 11: Cubo de resposta da secagem de pasta de vegetais em leite de jorro para os compostos fenólicos.

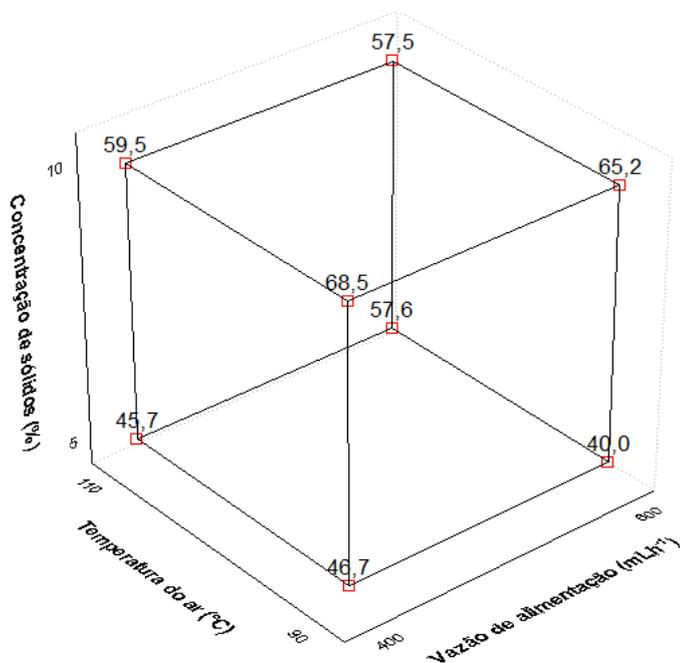


Figura 12: Cubo de resposta da secagem de pasta de vegetais em leite de jorro para atividade antioxidante.

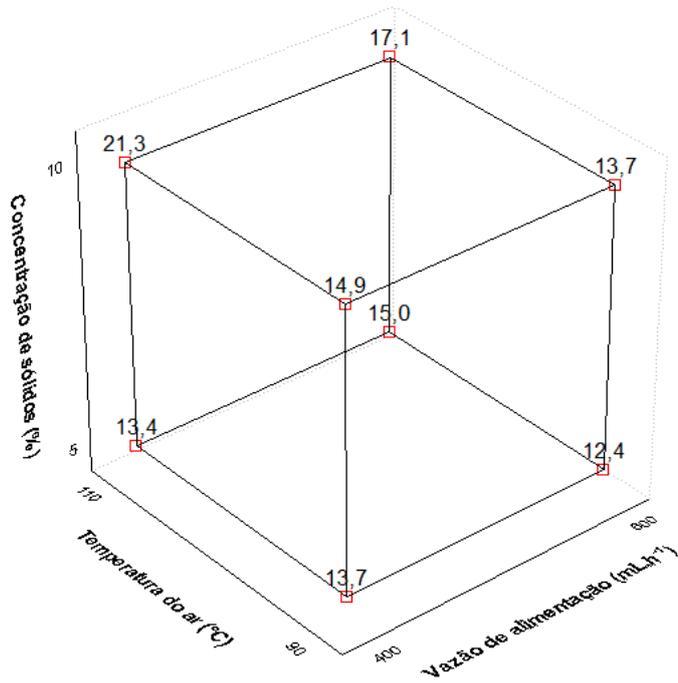


Figura 13: Cubo de resposta da secagem de pasta de vegetais em leite de jorro para solubilidade protéica.

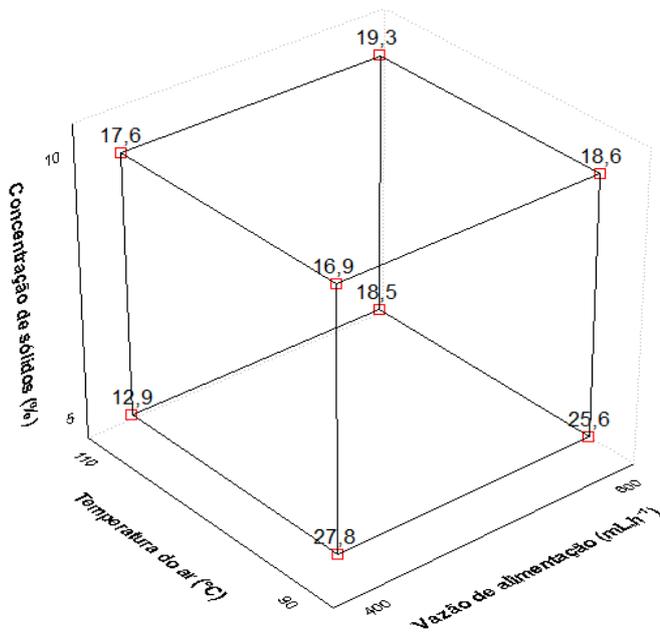


Figura 14: Cubo de resposta da secagem de pasta de vegetais em leite de jorro para alteração da cor ( $\Delta E$ ).

A partir da análise estatística realizada, pode-se dizer que a condição de operação mais adequada para a secagem de pasta de vegetais em leito de jorro, através dos cubos de respostas (Figuras 11, 12, 13 e 14), foi na vazão de alimentação de  $400 \text{ mL h}^{-1}$ , temperatura do ar de entrada de  $110^\circ\text{C}$  e concentração de pasta de 10%. Esta condição mostrou que mesmo com a temperatura de entrada elevada, obteve-se resultados satisfatórios em relação às propriedades funcionais e físico-químicas do produto desidratado. Isso se justifica pelo fato da quantidade de pasta úmida que foi alimentada no leito ter sido menor, o produto ficou pouco tempo aderido às partículas de inerte.

Um aumento da concentração da pasta no leito significa que está sendo alimentada uma quantidade maior de sólidos. Logo, a pasta com concentração de 10% formaria uma película mais espessa envolvendo as partículas de inertes do que a pasta com 5% de sólidos. Como a pasta de menor concentração tem mais água na sua composição, ou seja, a quantidade de sólidos que ficaria aderida aos inertes seria menor, logo, a película envolvida nos inertes seria mais úmida do que espessa. Com isso, o material aderido no inerte ficaria pouco tempo no leito e obteria um produto mais úmido. Por esse motivo, fez com que atingisse resultados inferiores aos ensaios realizados com uma concentração de pasta de 10%. Resultados como nas respostas compostos fenólicos e atividade antioxidante também mostram que a diluição da pasta de vegetais provocou uma redução no teor de compostos fenólicos e conseqüentemente também afetou a sua capacidade antioxidante.

O efeito da temperatura associada à vazão de alimentação influencia no tempo de residência do produto no leito, e afeta diretamente as características do produto final. Portanto, temperaturas elevadas e menor vazão de alimentação contribuem para um menor recobrimento de sólidos nas partículas, e promove a secagem do material mais rápida do que temperaturas mais baixas, obtendo uma maior preservação da qualidade do produto. Além disso, a facilidade do desprendimento do pó que recobre os inertes e a sua elutriação é favorecida, obtendo produto mais seco.

### 3.2 PARÂMETROS DA COR, UMIDADE E RETENÇÃO DE SÓLIDOS NA SECAGEM DE PASTA EM LEITO DE JORRO

A Tabela 8 apresenta os resultados obtidos nos parâmetros da cor como a luminosidade, cromaticidades, ângulo de Hue e índice de saturação do produto desidratado nos experimentos realizados e da pasta de alimentação.

Tabela 8: Resultados para os parâmetros da cor do produto desidratado nos experimentos realizados.

Experimento	$L^*$	$a^*$	$b^*$	Hue* (°)	$C^*$
1	58,1±1,0	0,3±0,1	29,0±1,1	89,4±0,2	29,0±0,1
2	56,6±0,5	1,9±0,1	30,2±0,8	86,4±0,1	30,3±0,8
3	36,3±0,1	7,2±0,2	26,3±1,0	74,7±0,2	27,3±1,0
4	48,2±1,3	5,7±0,1	30,6±0,2	79,4±0,1	31,1±0,1
5	58,5±0,4	-4,4±0,1	34,0±1,1	97,3±0,2	34,3±1,1
6	59,0±0,1	-2,9±0,2	34,1±0,2	94,9±0,3	34,2±0,2
7	58,8±0,5	-0,4±0,1	32,0±1,5	90,7±0,1	32,0±1,5
8	58,9±0,1	-0,7±0,1	34,5±1,0	91,2±0,2	34,5±1,0
Pasta 5%	48,5±0,3	-2,8±0,1	30,0±0,4	95,3±0,1	3,1±0,4
Pasta 10%	43,0±0,6	-7,0±0,4	26,7±0,5	105,0±1,1	27,6±0,4

\*Média ± erro padrão (para as duas repetições).

Os dados experimentais na Tabela 8 mostram que a luminosidade foi maior nos experimentos realizados na concentração de 10% de sólidos da pasta, o que significa que o produto final ficou mais claro que a pasta de alimentação, visto que quanto mais próximo de 100, mais clara é a amostra. Apesar de que a secagem da pasta de vegetais obteve produtos mais claros em relação à pasta *in natura* na maioria dos experimentos, um aumento da luminosidade pode indicar reações oxidativas de pigmentos presentes, assim como uma menor luminosidade pode indicar reações de caramelização e reações de Maillard. O ideal é que o processo térmico em que a matéria-prima está submetida afete menos suas características funcionais e físico-químicas, as quais sejam próximas à pasta original.

Em relação aos dados da luminosidade da menor concentração da pasta, verifica-se que nos experimentos nº 1 e nº 2 obtiveram maiores valores, enquanto que o experimento nº 3 foi menor e o experimento nº 4 foi próximo à pasta *in natura*. Na

menor temperatura (90°C), a luminosidade diminuiu com o aumento da vazão de alimentação, enquanto que na maior temperatura (110°C) o parâmetro diminuiu com a menor vazão de alimentação. Ao aumentar a quantidade de sólidos na menor temperatura do ar, a temperatura de saída é mais baixa do que na menor vazão de alimentação, com isso o tempo de residência da pasta em contato com as partículas de inertes é maior, obtendo produtos mais úmidos. Logo, conclui-se que apesar da temperatura de saída do experimento nº 1 ter sido maior que o experimento nº 2, o produto ficou menos tempo no leito, causando menores alterações nos seus pigmentos. No caso da maior temperatura, pode-se dizer que a temperatura de saída do experimento nº 3 estava tão elevada que o tempo que o produto estava em contato com o ar quente foi suficiente para alterar os pigmentos mais sensíveis à temperatura.

Em relação às cromaticidades (Tabela 8), verifica-se que na menor concentração de pasta utilizada, o produto final apresentou valores positivos para a cromaticidade  $a^*$  que tende a tonalidade vermelha, enquanto que na maior concentração de pasta a cromaticidade  $a^*$  foi negativa, mostrando a tendência da tonalidade verde. Já a cromaticidade  $b^*$  para todos os experimentos realizados obteve valores positivos, o que indica a tonalidade amarela do produto final em todas as condições. Para a pasta com 5% de sólidos, a secagem causou uma alteração na cromaticidade  $a^*$ , pois a pasta apresentava uma tonalidade amarelo-esverdeada e o produto ficou com tonalidade amarelo-avermelhada. Como a pasta com concentração de 5% de sólidos era mais diluída, a quantidade de sólidos que ficava envolta aos inertes era tão pouca, comparada à pasta com 10% de sólidos, que o tempo que ficava exposto ao ar de secagem alterava a pigmentação do produto final. Essa alteração pode ser causada pela destruição ou alteração da estrutura química das clorofilas, que são pigmentos majoritários em plantas e instáveis em processos térmicos (STREIT *et al.*, 2005).

Através dos resultados das cromaticidades  $a^*$  e  $b^*$ , pôde-se obter os valores do ângulo de Hue e do índice de saturação. O ângulo de Hue do produto desidratado nas condições operacionais de 5% de sólidos apresentou valores inferiores a 90°. Enquanto que o produto seco nas condições realizadas com a pasta de 10% de sólidos e as pastas de alimentação tanto 5% quanto 10%, apresentaram valores superiores a 90°. Sabendo que numa faixa de 0 a 90° compreende a região do vermelho e, numa faixa de 90 a 180° compreende a região do amarelo, pode-se dizer

que o produto final seco na concentração de 10% de sólidos da pasta ficou na mesma região de tonalidade do que o produto seco na condição da pasta mais diluída.

O índice de saturação da amostra representa o quanto a tonalidade apresentada está saturada, ou seja, o quão intensa é essa cor. Diante disso, o produto final na concentração de pasta de 10% apresentou melhores resultados de índice de saturação, mostrando que nestes experimentos o produto apresentou a tonalidade amarelo-esverdeada mais intensa do que a pasta *in natura*. Já nos experimentos que correspondem à menor concentração da pasta, o produto apresentou menor ou intensidade próxima à pasta de alimentação.

Os dados referentes ao conteúdo de umidade do produto desidratado (Tabela A2) mostram que a umidade aumenta com a vazão de alimentação e com a menor temperatura. Isso pode ser explicado, pois vazões mais altas, numa mesma temperatura, promovem um resfriamento do leite e a secagem do material ocorre em temperaturas mais baixas, obtendo produtos mais úmidos. O uso de temperaturas mais elevadas obtém produtos mais secos, pois, permite uma maior taxa de evaporação de água da pasta alimentada, como também há um aumento da transferência de calor por condução na interface pasta-inerte.

Os experimentos que correspondem à menor concentração de sólidos da pasta obtiveram um aumento de umidade do produto desidratado. Como a pasta contém mais água do que sólidos, e considerando que a taxa de transferência de calor do ar para a pasta seja constante, assim como a taxa de água evaporada é a mesma, a pasta mais diluída fornece um pó mais úmido. Portanto, pode-se dizer que a diluição da pasta de vegetais para 5% foi um pouco acima da umidade comercial.

A retenção de sólidos no leite de partículas obteve maiores resultados na condição de maior vazão de alimentação e maior concentração de sólidos. Apesar de que, um aumento no teor de água na pasta implicaria em um maior acúmulo de material no leite, isso não ocorreu neste trabalho. O leite ficou mais pesado com o aumento de sólidos do que com o aumento de umidade. Isso pode ser explicado, devido à maior quantidade de sólidos da pasta que permitia a formação de uma camada mais espessa envolta à superfície dos inertes, formando um leite mais denso. Como a pasta com 5% de sólidos tinha mais água, a quantidade de sólidos que secava e ficava interagindo com as partículas de inertes era tão pequena que não era suficiente para formar aglomerados mais densos.

Apesar da menor retenção na pasta de 5% de sólidos, a escoabilidade das partículas de inertes foi mais dificultada, devido à aderência de algumas partículas na parede do equipamento, como também entre as partículas. Isso pode ser explicado pela elevada concentração de carboidratos que o produto possui, ocorrendo possíveis fenômenos de transição vítrea. Estudos como Medeiros *et al.*, (2004), analisaram o efeito da concentração de açúcares em polpas de frutas e verificaram que elevadas concentrações promovem acúmulo de material no leito e formação de películas fortemente aderidas à superfície das partículas. Segundo esses autores, a característica grudenta dos açúcares pode formar aglomerados de partículas, que comprometem a qualidade do jorro, provocando problemas de instabilidade. Xavier *et al.* (2005) verificaram na secagem de biopesticidas em leito de jorro, que as soluções diluídas podem apresentar perdas de pó, pela elutriação de finos no ciclone e aderência de material às paredes do secador e retenção no leito de inertes contribuem para a baixa eficiência de produção.

O efeito da vazão de alimentação está diretamente relacionado com a relação entre a quantidade de pasta e a quantidade de inerte utilizada. Nos experimentos realizados, a retenção foi maior na relação  $0,3 \text{ kg}_{\text{pasta}} \text{ kg}_{\text{inerte}}^{-1} \text{ h}^{-1}$ , ou seja, a menor vazão de alimentação que corresponde ao nível (-1) que possui uma menor relação de  $0,2 \text{ kg}_{\text{pasta}} \text{ kg}_{\text{inerte}}^{-1} \text{ h}^{-1}$ , acarretou em uma menor saturação da pasta no leito, onde a estabilidade do jorro foi maior, evitando formação de grumos e aderência de pó na parede do equipamento. Esse mesmo comportamento foi relatado por Andrade *et al.*, (2005) na secagem de leite em leito de jorro.

Os resultados obtidos neste trabalho sobre a quantidade de material acumulado no leito estão de acordo com a literatura de secagem de pastas em leito de jorro apresentando uma faixa de 10,5 a 30,9%. Souza & Oliveira (2009) com retenções entre 11,32 e 40,72% na secagem de extrato de ervas; Oliveira *et al.* (2008) com 65% de retenção na secagem de *Spirulina platensis*; Souza *et al.*, 2007, na secagem de misturas de polpas de frutas, cujas retenções ficaram entre 15 e 60%, Andrade Júnior *et al.*, (2005) na secagem de leite apresentando valores de 17,17 e 26,6%

### 3.3 REIDRATAÇÃO DO PRODUTO DESIDRATADO

Os experimentos de reidratação foram realizados utilizando as amostras obtidas de diferentes ensaios de secagem da pasta de vegetais em leito de jorro. As curvas que descrevem o comportamento da reidratação do produto desidratado à base de vegetais em leito de jorro estão apresentadas na Figura 15.

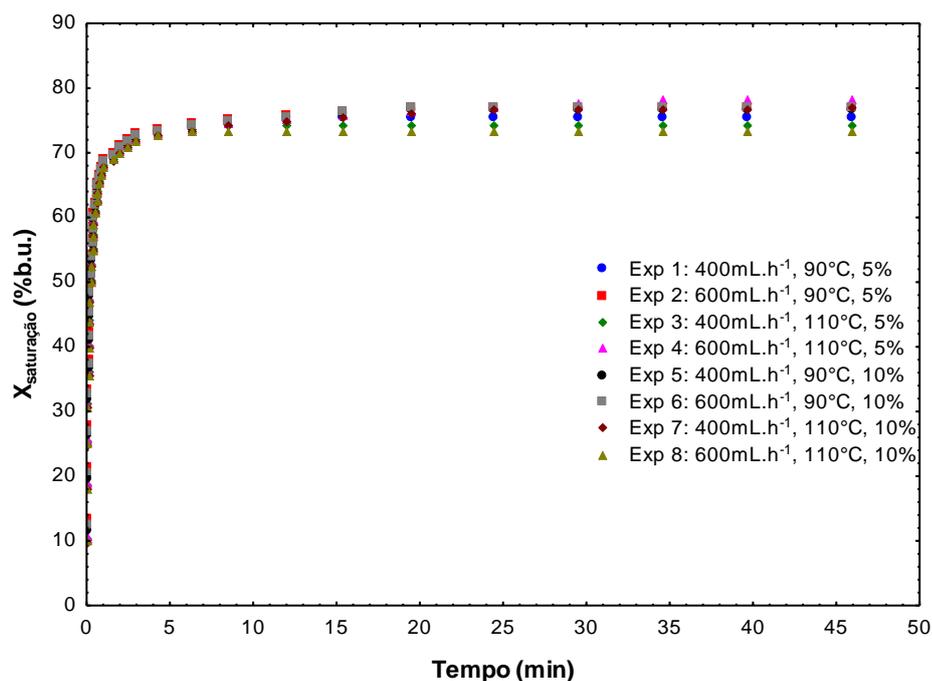


Figura 15: Curvas da umidade do produto desidratado em função do tempo dos ensaios de reidratação.

O período de transição na reidratação das amostras desidratadas em leito de jorro foi em torno de 70% de umidade (em base úmida). As amostras desidratadas foram reidratadas em menos de 5 min iniciais em todos os experimentos, mostrando que o produto desidratado em todos os experimentos apresenta um fenômeno instantâneo na primeira etapa da reidratação. Como o produto está na forma de pó, a área de exposição torna-se maior, o que permite uma maior e mais rápida adsorção de água livre pelo material seco que representou 73,7 a 77,7% (base úmida) da umidade total do produto reidratado. Na segunda etapa da adsorção de água, observa-se que foi mais lentamente, devido ao efeito da difusão de água, visto que a quantidade de água adsorvida representou apenas de 6 a 10% da umidade total do produto reidratado. A reidratação rápida do produto desidratado pode também ser explicado

em função dos componentes presentes na batata (amido) e no tomate (pectina), cujas características de interação com a água foram preservadas.

A umidade de saturação das amostras apresentou uma faixa de 73,6 a 78,3%. Os experimentos nº 6 e nº 7 obtiveram maiores valores de percentuais médios de reidratação em relação à pasta *in natura*, que foi em torno de 85,6% e 85,4%, respectivamente. Estes valores indicam que o processo de secagem da pasta de vegetais foi irreversível, ou seja, a umidade de saturação do produto reidratado não atingiu à umidade da pasta *in natura*, o que significa que a estrutura celular foi afetada. Resultados como esse foi encontrado por Kokrida & Marinos-Kouris (2003). Segundo Senadeera *et al.* (2000) citado por Vega-Galvéz *et al.* (2009), caso não houvesse efeitos adversos sobre a integridade do tecido vegetal, o material desidratado deveria absorver água suficiente para atingir o teor de umidade igual ao produto inicial antes da secagem. Algumas reações químicas podem ocorrer durante a secagem que afetam a estabilidade do material seco, pois o processo de reidratação é afetado por fatores dependentes de forças da estrutura interna do tecido ou sobre as interações entre a matriz e os seus arredores. (WITROWA-RAJCHERT & LEWICKI, 2006).

#### **4. CONCLUSÃO**

Neste trabalho pôde-se avaliar o efeito das condições operacionais na secagem de pasta de vegetais em leito de jorro, onde a concentração de sólidos foi o fator mais significativo para as características do produto desidratado ao nível de 95% de significância ( $p < 0,05$ ).

Através da análise estatística realizada foi definida a melhor condição de trabalho para a secagem da pasta de vegetais em leito de jorro, como a vazão de alimentação da pasta de  $400\text{mL h}^{-1}$ , a temperatura do ar de entrada de  $110^{\circ}\text{C}$  e a concentração de sólidos da pasta de 10%. Além disso, fatores importantes como o conteúdo de umidade do pó e o acúmulo de material no leito de partículas também foram considerados para essa escolha. Nesta condição obteve-se um produto com o teor de compostos fenólicos de  $6868 \pm 57 \mu\text{g}_{\text{EAG}}/\text{g}_{\text{amostra seca}}$ , atividade antioxidante de  $61 \pm 0,2\%$ , solubilidade protéica de  $20,9 \pm 0,6\%$  e alteração da cor de  $18 \pm 0,8\%$ . A umidade do produto desidratado obtida foi de  $9,9 \pm 1,0\%$  e retenção de sólidos de  $21,9 \pm 1,0\%$ . A cor do produto desidratado nesta condição apresentou tonalidade amarela-esverdeada mais intensa e com maior brilho do que a pasta de alimentação.

O produto final obtido na melhor condição durante a reidratação alcançou uma umidade de saturação de 77% (b.u.), sendo este valor 85,4% da umidade da pasta in natura. Em todas as condições operacionais estudadas na secagem de pasta de vegetais em leite de jorro, foi observado que o produto desidratado apresentou um curto tempo de reconstituição de adsorção de água, o que indica ser apropriado para o desenvolvimento de produtos instantâneos como sopas desidratadas.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAM, E., MÜHLBAUER, W., ESPER, A., WOLF, W., SPIESS, W. (2000). Quality changes of onion (*Allium cepa* L.) as affected by the drying process. *Nahrung* , 44, p.32–37.

ADEODATO, M. G. (2003). *Análise da fluidodinâmica de Leite de jorro durante o recobrimento de partículas*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Campinas – SP.

ANDRADE JÚNIOR, W. M., XAVIER, C. H., ARAÚJO, A. A. L., JÁCOME, B. C., MEDEIROS, U. K.L., PEDRINI, M. R. S. E MEDEIROS, M. F. D. (2005). Secagem de leite em leite de jorro. VI Congresso Brasileiro de Engenharia Química em iniciação científica. *Anais ...* , Unicamp, Campinas.

ARAÚJO, V. P. U.; SOUZA, J. S.; ROCHA, S. C. S.; MEDEIROS, M. F. D. (2007). Estudo de secagem de misturas de polpas de frutas tropicais. VII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica DEQ/UFSCar. *Anais...* São Carlos, SP.

DI SCALA, K. C.; CRAPISTE, G. H. (2008). Drying kinetics and quality changes during drying of red pepper. *LWT- Food Science and Technology*, 41(5), p.789–795,

DOTTO, G. L.; SOUZA, V. C.; MOURA, J. M.; MOURA, C. M.; PINTO, L. A. A. (2011). Influence of drying techniques on the characteristics of chitosan and the quality of biopolymer films. *Drying Technology*, 29 (15), p.1784-1791.

FREIRE, J. T.; FERREIRA, M. C. (2009). Aplicações em sistemas particulados. In: ROSA, C. A.; FREIRE, J. T. *Secagem de material particulado em leite de jorro contínuo*, Cap. 5, São Carlos, SP, 380 p.

FREIRE, J. T.; SILVEIRA, A. M. (2009). Fenômenos de Transporte em sistemas particulados: fundamentos e aplicações. In: FREIRE, J. T., FERREIRA, M. C., FREIRE, F. B. *Secagem de pastas em leito de jorro*, Cap. 4, São Carlos, SP, 424 p.

GEORGETTI, S. R.; CASAGRANDE, R.; SOUZA, C. R. F.; OLIVEIRA, W. P.; FONSECA, M. J. V. (2008). Spray drying of the soybean extract: Effects on chemical properties and antioxidant activity. *LWT- Food Science and Technology*, 41, p.1521-1527.

HALL, G. M. (1996). Methods of testing protein functionality. *Blackie Academic & Professional*. 225p.

KOKRIDA, M. K., MARINOS-KOURIS. (2003). Rehydration kinetics of dehydrated products. *Journal of Food Engineering*, 57, p.1-7.

LLORACH, R., TOMAS-BARBERAN, F. A., FERRERES, F. (2004). Lettuce and chicory byproducts as a source of antioxidant phenolic extracts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52, p.5109–5116.

MANZOCCO, L., CALLIGARIS, S., MASTROCOLA, D., NICOLI, M., & LERICI, C. (2001). Review of non-enzymatic browning and antioxidant capacity in processed foods. *Trends in Food Science and Technology*, 11, p.340-346.

MARCIANO, L. A., MEDEIROS, U. K. L., MEDEIROS, M. F. D., PASSOS, M. L. A. (2007). Estudo da retenção de sólidos na secagem de leite de cabra em leito de jorro. VII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica DEQ/UFSCar, *Anais...* São Carlos-SP.

MARQUES, L., PRADO, M., & FREIRE, J. (2009). Rehydration characteristics of freeze-dried tropical fruits. *LWT - Food Science and Technology*, 42(7), p.1232–1237.

MARKOWISKI, A. S. (1993). Quality interaction in a jet spouted bed dryer for bioproducts. *Drying Technology*, 11, p. 369-387.

MEDEIROS, M. F. D.; ALSINA, O.L. S.; ROCHA, S. C. S.; JERÔNIMO, C. E. M.; MEDEIROS, U. K. L. (2004). Drying of pastes in spouted beds: influence of the paste composition on the material retention in the bed. *Proceedings of the 14<sup>th</sup> International Drying Symposium (IDS)*, vol. C., p.1529-1536.

MILIAUSKAS, G.; VENSKUTONIS, P. R.; VAN BEEK, T. A. (2004). Screening of radical scavenging activity of some medicinal and aromatic plant extracts. *Food Chemistry*, 85, p.231-237.

MIRANDA, M., MAUREIRA, H., RODRIGUEZ, K, & VEGA-GÁLVEZ, A. (2009). Influence of temperature on the drying kinetics, physicochemical properties, and antioxidant capacity of Aloe Vera (*Aloe Barbadensis* Miller) gel. *Journal of Food Engineering*, 91(2), p.297-304.

MORR, C.V.; GERMAN, B.; KINSELA, J.E.; REGENSTEIN, J.M.; VAN-BUREN, J.P.; KILARA, A.; LEWIS, B.A.; MAGNINO, M.E. (1985). Collaborative study to develop a standardized food protein solubility procedure. *Journal of Food Science*, v. 50, p.1715-1718.

NAVES, L. P.; CORRÊA, A. D.; ABREU, C. M. P. (2010). Nutrientes e propriedades funcionais em sementes de abóbora (*Cucurbita maxima*) submetidas a diferentes processamentos. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 30, p.185-190.

NICOLI, M. C., ANESE, M., PARPINEL, M. T., FRANCESCHI, S., & LERICI, C. R. (1997). Loss and/or formation of antioxidants during food processing and storage. *Cancer Letters*, 114, p.71-74.

NILSSON, J., STEGMARK, R., & AKESSON, B. (2004). Total antioxidant capacity in different pea (*Pisum sativum*) varieties after blanching and freezing. *Food Chemistry*, 86, p.501-507.

OLIVEIRA, E. G., ROSA, G. S., MORAES, M. A., & PINTO, L. A. A. (2008). Phycocyanin content of *Spirulina platensis* dried in spouted bed and thin layer. *Journal of Food Process Engineering*, 31, p.34-50.

REIS, F. R., MASSON, M. L., WASZCZYNSKYJ, N. (2008). Influence of a blanching pretreatment on color, oil uptake and water activity of potato sticks, and its optimization. *Journal of Food Process Engineering*, 31 (6), p.833-852.

SENADEERA, W., BHANDARI, B., YOUNG, G., & WIJESINGHE, B. (2000). Physical property changes of fruits and vegetables during hot air drying. In A. S. Mujumdar (Ed.), *Drying technology in agriculture and food sciences* (p.149-166). Enfield (NH), USA: Science Publishers, Inc..

SGARBIERI, V. C. (1998). Propriedades funcionais de proteínas em alimentos. Boletim da SBCTA, 32 (1), p.105-126.

SHIH, M. C.; KUO, C. C.; CHIANG, W. (2009). Effects of drying and extrusion on colour, chemical composition, antioxidant activities and mitogenic response of spleen lymphocytes of sweet potatoes. *Food Chemistry*, 117, p.114-121.

SOUZA JÚNIOR., F. E.; SOUZA, J. S.; ROCHA, S.C.S.; MEDEIROS, M. F. D. (2007). Secagem de misturas de polpas de frutas em leito de jorro. Influencia da adição de gorduras e das propriedades das polpas no desempenho do processo. VII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica DEQ/UFSCar, *Anais...* São Carlos-SP.

SOUZA, C. R. F.; GEORGETTI, S. R.; SALVADOR, M. J.; FONSECA, M. J. V.; OLIVEIRA, W. P. (2009). Antioxidant activity and physical-chemical properties of spray and spouted bed dried extracts of *Bauhinia forficata*. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 45 (2), p.209-218.

SOUZA, C. R. F., & OLIVEIRA, W. P. (2009). Drying of herbal extract in a draft-tube spouted bed. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 87, p.279-288.

TORGENSEN, H.; TOLEDO, R. T. (1977). Physical properties of protein preparations related to their functional characteristics in comminuted meat systems. *Journal of Food Science*, 42 (6), p.1.615-1.620.

QUE, F., MAO, L., FANG, X., & WU, T. (2008). Comparison of hot air-drying and freeze-drying on the physicochemical properties and antioxidant activities of pumpkin (*Cucurbita moschata* Duch.) flours. *International Journal of Food Science and Technology*, 43 (7), p.1195-1201.

XAVIER, C. H., ANDRADE JÚNIOR, W. M., ARAÚJO, A. A. L., PEDRINI, M. R. S., MEDEIROS, M. F. D. (2005). Efeitos da alimentação, concentração e adição de adjuvantes na secagem de biopesticidas em leito de jorro com partículas inertes. VI Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica. *Anais...* Unicamp, Campinas.

WITROWA-RAJCHERT, D., LEWICKI, P. P. (2006). Rehydration properties of dried plant tissues. *International Journal of Food Science and Technology*, 41, p.1040-1046.

WOJDYLO, A., FIGIEL, A., & OSZMIAN´SKI, J. (2009). Effect of drying methods with the application of vacuum microwaves on the bioactive compounds, color, and antioxidant activity of strawberry fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57, p.1337-1343.

**CAPÍTULO IV**  
(CONCLUSÃO GERAL)

#### 4.1 CONCLUSÃO GERAL

Nas condições utilizadas neste trabalho, a utilização da Programação Linear para formular a pasta de vegetais se mostrou adequada para maximizar a atividade antioxidante, através do método de seqüestro do radical estável DPPH.

A secagem em leito de jorro da pasta de vegetais se mostrou viável, pois não foi verificado colapso do leito. Nos experimentos conduzidos em leito de jorro cônico, o teor de compostos fenólicos e a atividade antioxidante do produto desidratado foram influenciados pela secagem em todas as condições operacionais ao nível de 95% de confiança ( $p < 0,05$ ), onde houve uma redução de 36% a 53% para os fenóis em relação à pasta *in natura*, enquanto que a atividade antioxidante obteve valores superiores e inferiores à pasta de alimentação. A condição de operação de vazão de alimentação de  $100 \text{ mL h}^{-1}$  e temperatura de  $100^\circ\text{C}$  apresentou menor retenção de material no leito e um produto final com menor alteração de cor, menor perda no teor de compostos fenólicos e atividade antioxidante próxima à pasta *in natura*.

Na secagem da pasta de vegetais em leito de jorro cone-cilíndrico, foi verificado que o efeito da concentração de sólidos foi o mais significativo para as características do produto final ( $p < 0,05$ ). A melhor condição de operação correspondeu a vazão de alimentação de  $400 \text{ mL h}^{-1}$ , temperatura de  $110^\circ\text{C}$  e concentração de sólidos de 10%. Nesta condição foram obtidos: teor de compostos fenólicos de  $6868 \pm 57 \mu\text{g}_{\text{EQA}}/\text{g}_{\text{amostra}}$ , atividade antioxidante de  $61 \pm 0,2\%$ , solubilidade protéica de  $20,9 \pm 0,6\%$  e alteração da cor de  $18 \pm 0,8\%$ . O teor de umidade do produto final ficou dentro da faixa comercial, a umidade de saturação foi de 85,4% em relação à pasta *in natura*, a tonalidade amarela-esverdeada mais intensa e com maior brilho do que a pasta *in natura*.

Nas condições operacionais estudadas na secagem de pasta de vegetais em leito de jorro cone-cilíndrico, foi observado que o produto desidratado apresentou um curto tempo de reconstituição de adsorção de água, o que indica ser apropriado para o desenvolvimento de produtos instantâneos como sopas desidratadas.

## 4.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Diante dos resultados obtidos neste trabalho, foram feitas algumas sugestões para dar continuidade ao tema:

- Analisar a secagem da pasta de vegetais em leito de jorro retangular, buscando maior rendimento e ampliação de escala;
- Estudar o efeito da operação de secagem da pasta de vegetais adicionando coadjuvantes a fim de buscar uma maior eficiência de produção;
- Estudar outras metodologias de atividade antioxidante obtendo diferentes formulações da pasta de vegetais e;
- Enriquecer a formulação da pasta de vegetais com fonte protéica animal ou microbiana, visando obter uma melhoria na qualidade funcional do produto desidratado.

## **CAPÍTULO V**

(REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS)

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS GERAL

ADAM, E., MÜHLBAUER, W., ESPER, A., WOLF, W., SPIESS, W. (2000). Quality changes of onion (*Allium cepa* L.) as affected by the drying process. *Nahrung*, 44, p.32–37.

ADEODATO, M. G. (2003), *Análise da fluidodinâmica de leite de jorro durante o recobrimento de partículas*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Campinas, SP.

ANDRADE JÚNIOR, W. M., XAVIER, C. H., ARAÚJO, A. A. L., JÁCOME, B. C., MEDEIROS, U. K.L., PEDRINI, M. R. S. E MEDEIROS, M. F. D. (2005). Secagem de leite em leite de jorro. VI Congresso Brasileiro de Engenharia Química em iniciação científica, *Anais...* Unicamp, Campinas.

ARAÚJO, V. P. U.; SOUZA, J. S.; ROCHA, S. C. S.; MEDEIROS, M. F. D. (2007). Estudo de secagem de misturas de polpas de frutas tropicais. VII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, *Anais...*, UFSCar - São Carlos-SP.

ARABBI, P. R. (2001). Alimentos funcionais: aspectos gerais. *Nutrire*, São Paulo, v.21, p.87-102.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (A.O.A.C.). (1995). *Official Methods of Analysis*. 14<sup>a</sup> ed., v.1.

BANGA, J.; BALSACANTO, E.; MOLES, C.; ALONSO, A. (2003). Improving food processing using modern optimization methods. *Trends in Food Science and Technology*, 14, p. 131–144.

BELITZ, H. D.; GROSCHE, W. (1988). *Química de los alimentos*. Editorial Acribia, S.A. Espanha.

BENALI, M.; AMAZOUZ, M. (2006). Drying of vegetable starch solutions on inert particles: quality and energy aspects. *Journal of Food Engineering*, 74, p. 484-489.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. (1995). Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT – Food Science and Technology*, v. 8, p.25-30.

BRASIL. Agência Nacional da Vigilância Sanitária – ANVISA. Resolução RDC nº 272 de 22 de setembro de 2005. Regulamento Técnico para Produtos de Vegetais, Produtos de Frutas e Cogumelos Comestíveis, revogando a resolução – CNNPA nº 12, de 24 de julho de 1978. Diário Oficial da União, Brasília 23 de setembro de 2005.

CAMPOS, F. M., MARTINO, H. S. D. SABARENSE, C. M., PINHEIRO-SANT'ANA, H. M. (2008). Estabilidade de compostos antioxidantes em hortaliças processadas: uma revisão. *Alim. Nutric.*, Araraquara, v.19, n.4, p. 481-490.

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

CHENLO, F.; MOREIRA, R.; CHAGURI, L.; SANTOS, F. (2005). Desorption isotherms of Pardon peppers (*Capsicum annuum L. var Longum*). *Cienc.Tecno. Aliment.* 5, p.18–24.

CHIRIFE, J. (1983). Fundamentals of the drying mechanism during air dehydration of foods. In: MUJUMDAR, A. *Advances in drying*. Washington/ New York/ London. Ed. Hemisphere Publishing Corporation, v.3, 73-102.

CHU, Y. F.; SUN, J.; WU, X.; LIU, R. H. (2002). Antioxidant and Antiproliferative Activities of Common Vegetables. *J.Agric.Food Chem.*, v.50, n.23, p.6910-6916.

COSTA, M. A. (1998). *Fluidodinâmica e ampliação de escala de leitos de jorro bidimensionais*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Unicamp, Campinas, SP.

DE ALMEIDA, A. R. F. (2009). *Análise da secagem de pastas em leito de jorro*. São Carlos, Tese (Doutorado em Engenharia Química), Universidade Federal de São Carlos, SP, 202p.

DI SCALA, K. C.; CRAPISTE, G. H. (2008). Drying kinetics and quality changes during drying of red pepper. *LWT- Food Science and Technology*, 41(5), p.789–795,

DOGAN, O. M.; FREITAS, L. A. P.; LIM, C. J.; GRACE, J. R.; LUO, B. (2000). Hydrodynamics and stability of slot-rectangular spouted beds. Part I: Thin bed. *Chem. Eng. Comm.*, vol. 181, p. 255-242.

DOTTO, G. L.; SOUZA, V. C.; MOURA, J. M.; MOURA, C. M.; PINTO, L. A. A. (2011). Influence of drying techniques on the characteristics of chitosan and the quality of biopolymer films. *Drying Technology*, 29:15, p. 1784-1791.

EL NASRI, N. A.; EL TINAY, A. H. Functional properties of fenugreek (*Trigonella foenum graecum*) protein concentrate. *Food Chemistry*, v. 103, p. 582-589, 2007.

EPSTEIN, N.; GRACE, J. R. (2011). *Spouted and Spout-fluid beds: Fundamentals and applications*. Published by Cambridge University Press, 337p.

FAVELL, D. J. (1998). A comparison of the vitamin C content of fresh and frozen vegetables. *Food Chemistry*, 62: p. 59-64.

FERNANDES, C. F. (2005). Análise da eficiência energética da secagem de pastas em leite de jorro. Dissertação ( Mestrado em Engenharia Química), UFSCar, São Carlos, SP, 80 p.

FORTES, M.; OKOS, M. R. (1980). *Drying theories: Their bases and limitations as applied to food and grain*. Advances in Drying. Washington: Ed. Hemisphere Publishing Corporation, v.1, p. 119-154.

FRANKE, K.; KIEBLING, M. (2002). Influence of spray drying conditions on functionality of dried whole egg. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. n. 82, p. 1837-1841.

FREIRE, J. T. (1992). In: FREIRE, J. T.; SARTORI, D. M. J. *Tópicos especiais em secagem*. Editora São Carlos, UFSCar, São Carlos, SP, v. 1, p.43-85.

FREIRE, J. T., SARTORI, D. J. M. (1992). Tópicos especiais em secagem. In: FREIRE, J. T.; OLIVEIRA, W. P. *Secagem de pastas em leite de jorro*. Editora São Carlos, UFSCar, São Carlos, SP, v. 1, p.43-49.

FREIRE, J. T.; FERREIRA, M. C. (2009). Aplicações em sistemas particulados. In: ROSA, C. A.; FREIRE, J. T. *Secagem de material particulado em leite de jorro contínuo*, Cap. 5, São Carlos, SP, 380 p.

FREIRE, J. T.; SILVEIRA, A. M. (2009). Fenômenos de Transporte em sistemas particulados: fundamentos e aplicações. In: FREIRE, J. T., FERREIRA, M. C., FREIRE, F. B. *Secagem de pastas em leite de jorro*, Cap. 4, São Carlos, SP, 424 p.

FREITAS, L. A. P.; FREIRE, J. T. (2000). Fluidodinâmica de um leito de jorro cônico. XIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química, *Anais do XIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química*, publicado em CD-ROM.

GARAU, M. C., SIMAL, S., ROSELLÓ, C., & FEMENIA, A. (2007). Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties of dietary fibre and antioxidant capacity of orange (*Citrus aurantium* v. Canoneta) by-products. *Food Chemistry*, 104, p.1014–1024.

GARCÍA, N. (1998). *Contabilidade de gestão*. Córdoba. Universidade de Córdoba. Argentina.

GEORGETTI, S. R.; CASAGRANDE, R.; SOUZA, C. R. F.; OLIVEIRA, W. P.; FONSECA, M. J. V. (2008). Spray drying of the soybean extract: Effects on chemical properties and antioxidant activity. *LWT*, 41, p. 1521-1527.

GOTTLIEB, M. G. V; SCHWANKE, C. H. A.; BODANESE, L. C.; DA CRUZ, I. B. M. (2009). Status antioxidante, diabetes mellitus II e aterosclerose. *Revista Saúde e Pesquisa*, v. 2, n. 1, p. 99-106.

GUINÉ, R. P. F.; BARROCA, M. J. (2012). Effect of drying treatments on texture and color of vegetables (pumpkin and green pepper). *Food and Bioproducts Processing*, v. 90, p.58-63.

HALL, G. M. (1996). *Methods of testing protein functionality*. Blackie Academic & Professional. 225p.

HANDA, A.; HAYASHI, K.; SHIDARA, H.; KURODA, N. (2001). Correlation of the protein structure and gelling properties in dried egg white products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 49, n. 8, p. 3957-3954.

HEINONEN, M., LEHTONEN, P.J. & HOPIA, A. (1998). Antioxidative activity of berry and fruit wines and liquor. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46, p.25-31.

HSU, C. L.; CHEN, W. L.; WENG, Y. M.; TSENG, C.Y. (2003). Chemical composition, physical properties, and antioxidant activities of yam flours as affected by different drying methods. *Food Chemistry*, 83, p. 85-92.

HUANG, D., OU, B., PRIOR, R. L. (2005). The chemistry behind antioxidant capacity assays. *J. Agric. Food Chem.*, v. 53, p. 1841-1856.

I.A.L. (2004). Instituto Adolfo Lutz. *Métodos físico-químicos para análise de alimentos*. 4ed., 1032 p., São Paulo, SP.

IBGE. *Tabelas de composição de alimentos*. (1999). 5ª Ed. Rio de Janeiro, 137 p.

ISMAIL, A.; MARJAN, Z. M.; FOONG, C. W. (2004). Total antioxidant and phenolic content in selected vegetables. *Food Chemistry*, 87, p.581-586.

KAWANISHI, S.; MURATA, M.; TAKAHASHI, A.; SAITO, I. (2002). The role of metals in site-specific DNA damage with reference to carcinogenesis. *Free Radic Biol Med*, San Diego, USA, v. 32, p. 822-32.

KHA, T. C.; NGUYEN, M. H.; ROACH, P. D. (2010). Effects of spray drying conditions on the physicochemical and antioxidant properties of the Gac (*Momordica cochinchinensis*) fruit aril powder. *Journal of Food Engineering*, 98, p. 385-392.

KIM, Y.; GIRAUD, D. W.; DRISKELL, J. A.. (2007). Tocopherol and carotenoid contents of selected Korean fruits and vegetables. *Journal of Food Composition and Analysis*, v. 20,p 458-465.

KOKRIDA, M. K., MARINOS-KOURIS. (2003). Rehydration kinetics of dehydrated products. *Journal of Food Engineering*, 57, p.1-7.

LAGUERRE, M.; LECOMTE, J., VILLENEUVE, P. (2007). Evaluation of the ability of antioxidants to counteract lipid oxidation: Existing methods, new trends and challenges. Review. *Progress in Lipid Research*, v. 46, p. 244-282.

LARROSA, A. P. Q.; MUSZINSKI, P.; PINTO, L. A. A. (2011). Programação Linear para formulação de pasta de vegetais e operação de secagem em leito de jorro. *Ciência Rural*, v. 41, p. 2032-2038.

LARROSA, A. P. Q.; OLIVEIRA, L. V.; DA SILVA, C. A. B. (2009). Secagem de pasta de hortifrutigranjeiros para produção de sopa em pó: análise da geometria do leito de jorro retangular. Trabalho de conclusão de curso de Engenharia de Alimentos, FURG, RS.

LEE S. J.; UMANO K.; SHIBAMOTO T.; LEE K. G. (2005). Identification of volatile components in basil (*Ocimum basilicum* L.) and thyme leaves (*Thymus vulgaris* L.) and their antioxidant properties. *Food Chem.*, 91(1): 131-7.

LLORACH, R., TOMAS-BARBERAN, F. A., FERRERES, F. (2004). Lettuce and chicory byproducts as a source of antioxidant phenolic extracts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52, p.5109–5116.

LUPETTI, K. O.; CARVALHO, L. C.; MOURA, A. F.; FATIBELLO-FILHO, O. (2005). Image analysis in analytical chemistry: didactic and simple methodologies to understand and prevent the browning of vegetable tissues. *Quím. Nova*. São Paulo, v.28, n.3, p.548-554.

LOURENÇO, R. O. (2006). *Identificação e monitoramento de regimes de escoamento em leite de jorro*. Dissertação (Mestrado) de Engenharia Química. Uberlândia, 133p.

MAIA, G.A.; SOUSA, P.H.M.; SANTOS, G.M.; SILVA, D.S.; FERNANDES, A.G.; PRADO, G.M. (2007). Effect of the processing on some components of acerola juice. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 27, p.130-134.

MANZOCCO, L., CALLIGARIS, S., MASTROCOLA, D., NICOLI, M., & LERICI, C. (2001). Review of non-enzymatic browning and antioxidant capacity in processed foods. *Trends in Food Science and Technology*, 11, p.340-346.

MARCIANO, L. A., MEDEIROS, U. K. L., MEDEIROS, M. F. D., PASSOS, M. L. A. (2007). Estudo da retenção de sólidos na secagem de leite de cabra em leite de jorro. VII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica DEQ/UFSCar, *Anais...* São Carlos, SP.

MARKOWSKI, A.; KAMINSKI, W. (1983). Hydrodynamic Characteristics of Jet Spouted Bed. *Can. J. Chem. Eng.*, n. 61, p. 377-381.

MARQUES, L., PRADO, M., & FREIRE, J. (2009). Rehydration characteristics of freeze-dried tropical fruits. *LWT - Food Science and Technology*, 42(7), p.1232–1237.

MATHUR, K. B.; EPSTEIN, N. (1974). *Spouted beds*. New York, Academia Press, 304p.

MEDEIROS, M. F. D. (2001). *Influência da composição química dos materiais no desempenho do processo de secagem de polpas de frutas em leito de jorro*. Tese (Doutorado em Engenharia Química), Unicamp, Campinas, SP, 274 p.

MEDEIROS, M. F. D. ; ROCHA, S. C. S. ; ALSINA, O. L. S. ; JERÔNIMO, C. E. M. ; MEDEIROS, J. K. L.; MATA, A. L. M. L. (2002). Drying of pulps of tropical fruits in spouted bed: effect of composition on dryer performance. *Drying technology*, 20, p. 855-881.

MEDEIROS, M. F. D.; ALSINA, O.L. S.; ROCHA, S. C. S.; JERÔNIMO, C. E. M.; MEDEIROS, U. K. L. (2004). Drying of pastes in spouted beds: influence of the paste composition on the material retention in the bed. *Proceedings of the 14<sup>th</sup> International Drying Symposium (IDS)*, vol. C., p.1529-1536.

MELO, M. P.; LIMA, D. P.; PINHEIRO, P. R. (2004). Modelos em programação matemática para o processamento do biscoito tipo cracker. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, 24(3), p. 363-368.

MELO, E. A.; MACIEL, M. I. S.; LIMA, V. L. A. G.; LEAL, F. L. L.; CAETANO, A. C. S.; NASCIMENTO, R. J. (2006). Capacidade antioxidante de hortaliças usualmente consumidas. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 26(3): p.639-644.

MELO, E. A.; MACIEL, M. I. S.; LIMA, V. L. A. G.; SANTANA, A. P. M. (2009). Capacidade antioxidante de hortaliças submetidas a tratamento térmico. *Nutrire: Revista da Sociedade Brasileira de Alimentos e Nutrição. Journal of Brazilian Society of Food and Nutrition.*, 34, p.85-95.

MELO, P.C.T. (2010). *O desafio da inovação na horticultura*. Palestra Semana Sebrae do Agronegócio, Brasília, DF.

MILIAUSKAS, G.; VENSKUTONIS, P. R.; VAN BEEK, T. A. (2004). Screening of radical scavenging activity of some medicinal and aromatic plant extracts. *Food Chemistry*, 85, p.231-237.

MIRANDA, G. J.; MARTINS, V. F.; FARIA, A. A. (2007). O uso da Programação Linear num contexto de laticínios com varias restrições na capacidade produtiva. *Custos e agronegócios on line*. V. 3 Edição especial.

- MIRANDA, M., MAUREIRA, H., RODRIGUEZ, K., & VEGA-GÁLVEZ, A. (2009). Influence of temperature on the drying kinetics, physicochemical properties, and antioxidant capacity of Aloe Vera (*Aloe Barbadensis* Miller) gel. *Journal of Food Engineering*, 91(2), p.297-304.
- MRKÌC, V.; COCCI, E.; DALLA ROSA, M.; SACCHETTI, G. (2006). Effect of drying conditions on bioactive compounds and antioxidant activity of broccoli (*Brassica oleracea* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86, p.1559-1566.
- MUJUMDAR, S. A. (1989). Spouted beds: principles and recent developments. *Anais do XVII Encontro sobre Escoamento em meios porosos*. São Carlos, v. 1, p. 03-13.
- MUSZINSKI, P. (2009). *Sopa desidratada de hortigranjeiros obtida em leite de jorro: Avaliação da operação e características físico-químicas do produto final*. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos), FURG, Rio Grande, RS, 65p.
- NACZK M, SHAHIDI F. (2004). Extraction and analysis of phenolics in food. *J. Chromatogr A*; 1054 (1/2): 95-111.
- NAVES, L. P.; CORRÊA, A. D.; ABREU, C. M. P. (2010). Nutrientes e propriedades funcionais em sementes de abóbora (*Cucurbita maxima*) submetidas a diferentes processamentos. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 30, p.185-190.
- NAWAR, W.W. (1985). Lipids. In: FENNEMA, O.R. (Ed.). *Food Chemistry*. 2.ed. New York : Marcel Dekker, p.139-244.
- NEGRI, M. L. S., POSSAMAI, J. C., NAKASHIMA, T. (2009). Atividade antioxidante das folhas de espinheira-santa *Maytenus ilicifolia* Mart. ex. Reiss., secas em diferentes temperaturas. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 19 (2B), p. 553-556.
- NICOLI, M.C.; ANESE, M.; PARPINEL, M. (1999). Influence of processing on the antioxidant properties of fruit and vegetables. *Trends in Food Science and Technology*, New York, 10, (3), p.94-100.
- NILSSON, J., STEGMARK, R., & AKESSON, B. (2004). Total antioxidant capacity in different pea (*Pisum sativum*) varieties after blanching and freezing. *Food Chemistry*, 86, p.501–507.

NINDO, C. I.; SUN, T.; WANG, S. W.; TANG, J. and POWERS, J.R. (2003). Evaluation of drying technologies for retention of physical quality and antioxidants in asparagus (*Asparagus officinalis* L.). *Lebesm.-Wiss. Technol.* 36, p. 507–516.

OENNING, V.; RODRIGUES, L. H.; CASSEL, R. A.; JUNIOR, J. A. V. A. (2004). Teoria das Restrições e Programação Linear. Uma análise sobre o enfoque de otimização da produção. *XXIV Encontro Nac. de Eng. de Produção* - Florianópolis, SC, Brasil.

OETTERER, M.; REGITANO-D'ARCE, M. A. B.; SPOTO, M. H. F. (2006). *Fundamentos de ciência e tecnologia de alimentos*. Editora Manole, 612 p.

OLIVEIRA, I. M. (1994). *Simulação da secagem de pastas em leito de jorro cônico com inertes*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal de Minas Gerais.

OLIVEIRA, M. S.; DORS, G. C.; SOUZA-SOARES, L. A.; BADIALE-FURLONG, E. (2007). Antifungal and antioxidant activity of vegetables extracts. *Food and Nutrition*, 18, p.267-275.

OLIVEIRA, E. G., ROSA, G. S., MORAES, M. A., & PINTO, L. A. A. (2008). Phycocyanin content of *Spirulina platensis* dried in spouted bed and thin layer. *Journal of Food Process Engineering*, 31, p. 34-50.

ORDONEZ, J. A. (2005). *Componentes dos Alimentos e Processos - Tecnologia de Alimentos*. Porto Alegre: Editora Artmed.

ORNELLAS, L. H. (2006). *Técnica dietética: seleção e preparo de alimento*. 8ª Ed. Atheneu Editora, 276 p. São Paulo.

OU, B.; HUANG, D.; HAMPSCH-WOODILL, M.; FLANAGAN, J. A.; DEEMER, E. K. (2002). Analysis of antioxidant activities of common vegetables employing oxygen radical absorbance capacity (ORAC) and ferric reducing antioxidant power (FRAP) assays: a comparative study. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, p.3122-3128.

PASSOS, M. L.; MASSARANI, G.; FREIRE, J. T.; MUJUMDAR, A. S. (1997). Drying of pastes in spouted beds of inert particles: Design criteria and modeling. *Drying Technology*, Monticello NY v.15, n.2, p.605-624.

PASSOS, M. L., TRINDADE, A. L. G., D'ANGELO, J. V. H., & CARDOSO, M. (2008). Drying of black liquor in spouted bed of inert particles. *Drying Technology*, 22, p. 1041-1067.

PELEG H.; BODINE K. K.; NOBLE A. C. (1998). The influence of acid on adstringency of alum and phenolic compounds. *Chem Senses*; 23 (3): 371-8.

PERRY, R. H.; CHILTON, G. H. (1980). *Manual de Engenharia Química*. 5ª Ed. Editora Guanabara Dois, Rio de Janeiro.

PODSEDEK, A. (2007). Natural antioxidants and antioxidant capacity of Brassica vegetables: A review. *LWT-Food Sci. Technol*, v. 40, p. 1-11.

PRADO, D. *Programação Linear*, Editora DG, Belo Horizonte, 1998.

QUE, F., MAO, L., FANG, X., & WU, T. (2008). Comparison of hot air-drying and freeze-drying on the physicochemical properties and antioxidant activities of pumpkin (*Cucurbita moschata* Duch.) flours. *International Journal of Food Science and Technology*, 43 (7), p.1195-1201.

REIS, F. R.; MASSON, M. L.; WASZCZYNSKYJ, N. (2006). Efeitos da secagem convectiva e a vácuo sobre parâmetros de qualidade de fatias de berinjela. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, v. 8, n. 2, p. 163-169.

REIS, F. R., MASSON, M. L., WASZCZYNSKYJ, N. (2008). Influence of a blanching pretreatment on color, oil uptake and water activity of potato sticks, and its optimization. *Journal of Food Process Engineering*, 31 (6), p.833-852.

SANJUÁN, N.; SIMAL, S.; BON, J.; MULLET, A. (1999). Modelling of broccoli stems rehydration process. *Journal of Food Engineering*, n. 49, p. 27-31. 1999.

SBARDELOTTO, A.; LEANDRO, G. V. (2008). Escolha de cultivares de soja com base na composição química dos grãos como perspectiva para maximização dos lucros nas indústrias processadoras. *Ciência Rural*, v.38, n. 3, p.614-619.

SCALABRIN, I.; MORES, C. J.; BODANESE, R. E. OLIVEIRA, J. A. (2006). Programação Linear: estudo de caso com utilização do Solver da Microsoft Excel. *Universo Contábil*, 2, p.54-66.

- SENADEERA, W., BHANDARI, B., YOUNG, G., & WIJESINGHE, B. (2000). Physical property changes of fruits and vegetables during hot air drying. In A. S. Mujumdar (Ed.), *Drying technology in agriculture and food sciences*, p.149–166. Enfield (NH), USA: Science Publishers, Inc..
- SGARBIERI, V. C. (1996). *Proteínas em alimentos protéicos – propriedades, degradações e modificações*. São Paulo: Varela.
- SGARBIERI, V. C. (1998). *Propriedades funcionais de proteínas em alimentos*. Boletim da SBCTA, 32 (1), p.105-126.
- SHAHIDI F, JANITHA P. K., WANASUNDARA P. D. (1992). Phenolic antioxidants. *Crit Rev Food Sci Nutr.*, 32 (1): 67-103.
- SHAMI, N. J. I. E.; MOREIRA, E. A. M. (2004). Licopeno como agente antioxidante. *Rev. Nutr.*, Campinas, v.17, n.2, p.227-236.
- SHIH, M. C.; KUO, C. C.; CHIANG, W. (2009). Effects of drying and extrusion on colour, chemical composition, antioxidant activities and mitogenic response of spleen lymphocytes of sweet potatoes. *Food Chemistry*, 117, p.114-121.
- SHUHAMA, I. K.; AGUIAR, M. L.; OLIVEIRA, W. P.; FREITAS, L. A. P. (2003). Experimental production of annatto powders in spouted bed dryer. *Journal of Food Engineering*, 2003, 59, p. 93-97.
- SILVA, M. L. C.; COSTA, R. S.; SANTANA, A. S.; KOBLITZ, M. G. B. (2010). Compostos fenólicos e atividade antioxidante em produtos vegetais. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 31, n. 3, p. 669-682.
- SOUSA, L. F. M. (2004). *Obtenção de sopa desidratada a partir de rejeitos hortigranjeiros: avaliação da secagem em leito de jorro*. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos), FURG, Rio Grande, RS.
- SOUSA, C. M. M. SILVA, H. R., VIEIRA-JR, G. M., AYRES, M. C. C., DA COSTA, C. L. S., ARAÚJO, D. S., CAVALCANTE, L. C. D., BARROS, E. D. S., ARAÚJO, P. B. M., BRANDÃO, M. S., CHAVES, M. H. (2007). Fenóis totais e atividade antioxidante de cinco plantas medicinais. *Química Nova*, v. 30, n.2, p. 351-355.

SOUZA, J. L. M.; JUNIOR, A. M.; BITTENCOURT, J. (1999). Programação Linear em uma agroindústria: planejamento, redimensionamento e maximização do lucro. *Acta Scientiarum*, v.21, n. 3, p.585-589.

SOUZA, J. S. (2002). *Estudo da desidratação de tomates (Lycopersicum esculentum) em pedaços com pré-tratamento osmótico*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), UFRN, Natal, RN, 105 p.

SOUZA Jr., F. E.; SOUZA, J. S.; ROCHA, S.C.S.; MEDEIROS, M. F. D. (2007). Secagem de misturas de polpas de frutas em leito de jorro. Influencia da adição de gorduras e das propriedades das polpas no desempenho do processo. VII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica DEQ/UFSCar, *Anais...*, São Carlos-SP.

SOUZA, C. R. F., SCHIAVETTO, I. A., THOMAZINI, F. C. F. & OLIVEIRA, W. P. (2008). Processing of *Rosmarinus officinalis* Linne extract on spray and spouted bed dryers. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*. 25, p. 59-69.

SOUZA, C. R. F., & OLIVEIRA, W. P. (2009). Drying of herbal extract in a draft-tube spouted bed. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 87, p. 279-288.

SOUZA, C. R. F.; GEORGETTI, S. R.; SALVADOR, M. J.; FONSECA, M. J. V.; OLIVEIRA, W. P. (2009). Antioxidant activity and physical-chemical properties of spray and spouted bed dried extracts of *Bauhinia forficata*. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, v. 45,n.2, p. 209-218.

SOUZA, J. S. (2009). *Secagem de misturas de polpa de frutas tropicias em leito de jorro*. Tese (Doutorado em Engenharia Química), Rio Grande do Norte, UFRN.

SPITZNER NETO, P. I. (2001). *Estudo da secagem de pastas e da fluidodinâmica do leito de jorro na presença de pastas e líquidos*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), UFSCar, São Carlos, SP, 284 p.

SPITZNER NETO, P. I., CUNHA, F. O. & FREIRE, J. T. (2002). Effect of the presence of paste in a conical spouted bed dryer with continuous feeding. *Drying Technol.*, 20, p. 789–811.

STRUMILLO, C. Z.; KUDRA, T. (1986). *Drying: Principles, Applications and Design*. In Hughes, R. Topics in Chemical Engineering. v.3, UK: Gordon and Breach Science Publisher.

SZE-TAO, K.W.C. e SATHE, S.K. (2000). Functional properties and *in vitro* digestibility of almond (*Prunus dulcis* L.) protein isolate. *Food Chemistry*, v. 69, p. 153-160.

TACO - TABELA BRASILEIRA DE COMPOSIÇÃO DE ALIMENTOS (2006), NEPA, UNICAMP, versão II, 2 ed., Campinas, SP.

TORGENSEN, H.; TOLEDO, R. T. (1977). Physical properties of protein preparations related to their functional characteristics in comminuted meat systems. *Journal of Food Science*, Chicago, 42 (6), p.1.615-1.620.

UNGAR, Y., OSUNDAHUNSI, O. F., & SHIMONI, E. (2003). Thermal stability of genistein and daidzein and its effect on their antioxidant activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, p.4394–4399.

VEGA-GÁLVEZ, A.; DI SCALA, K.; RODRÍGUEZ, K.; LEMUS-MONDACA, R.; MIRANDA, M.; LÓPEZ, J.; PEREZ-WON. M.; (2009). Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties, antioxidant capacity, colour and total phenolic content of red pepper (*Capsicum annum*, L. var. Hungarian). *Food Chemistry*, 117, p.647–653.

VEJA-MERCADO, H.; GÓNGORA-NIETO, M. M.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. (2001). Advances in dehydration of foods. *Journal of Food Engineering*, 49 p.271-289.

VILELA, N. J., HENZ. G. P.(2000). Situação atual da participação das hortaliças no agronegócio brasileiro e perspectivas futuras. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, Brasília, v.17, n.1, p.71-89.

WANG, S. H.; FERNANDES, S. M.; CABRAL, L. C. (2000). Solubilidade de nitrogênio, dispersibilidade de proteína e propriedades emulsificantes dos extratos hidrossolúveis desidratados de arroz e soja. *Ciênc. Tecnol. Alim.*, v. 20, n. 1, p. 12-17.

WITROWA-RAJCHERT, D., LEWICKI, P. P. (2006). Rehydration properties of dried plant tissues. *International Journal of Food Science and Technology*, 41, p.1040-1046.

WOJDYLO, A., FIGIEL, A., & OSZMIAN´SKI, J. (2009). Effect of drying methods with the application of vacuum microwaves on the bioactive compounds, color, and antioxidant activity of strawberry fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57, p.1337-1343.

XAVIER, C. H., ANDRADE JÚNIOR, W. M., ARAÚJO, A. A. L., PEDRINI, M. R. S., MEDEIROS, M. F. D. (2005). Efeitos da alimentação, concentração e adição de adjuvantes na secagem de biopesticidas em leite de jorro com partículas inertes. VI Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, *Anais...*, Unicamp, Campinas.

YANG, J., CHEN, J. F., ZHAO, Y .Y, MAO, L. C. (2010). Effects of drying on the antioxidant properties in sweet potatoes. *Agricultural Sciences in China*, 9 (10), p. 1522-1529.

## APÊNDICES

**APÊNDICE I: Gráficos da curva padrão de ácido gálico, fluidodinâmica do leito de jorro cônico e cone-cilíndrico e figura do produto desidratado.**

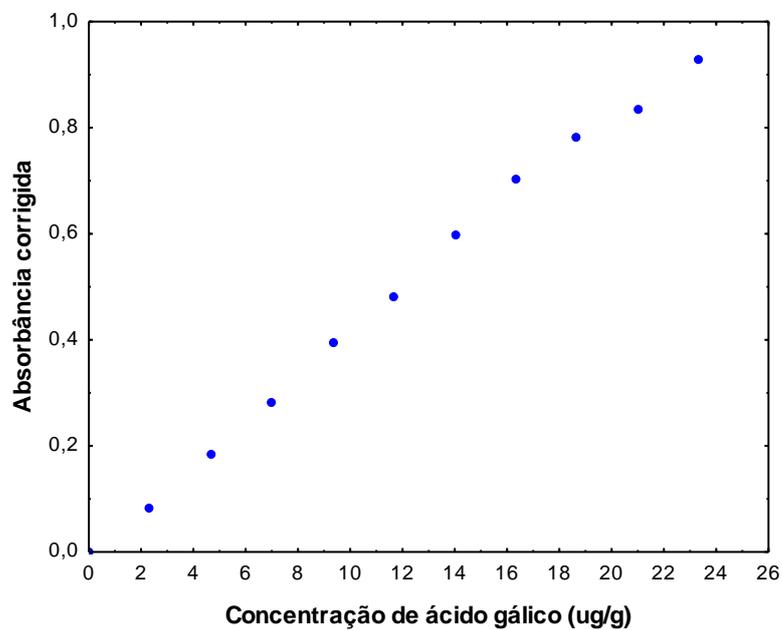


Figura A 1.1: Curva padrão de ácido gálico, para a determinação do teor de compostos fenólicos das amostras.

$$Y=0,0411 x, R^2=0,99 - (\text{Artigos I e II}).$$

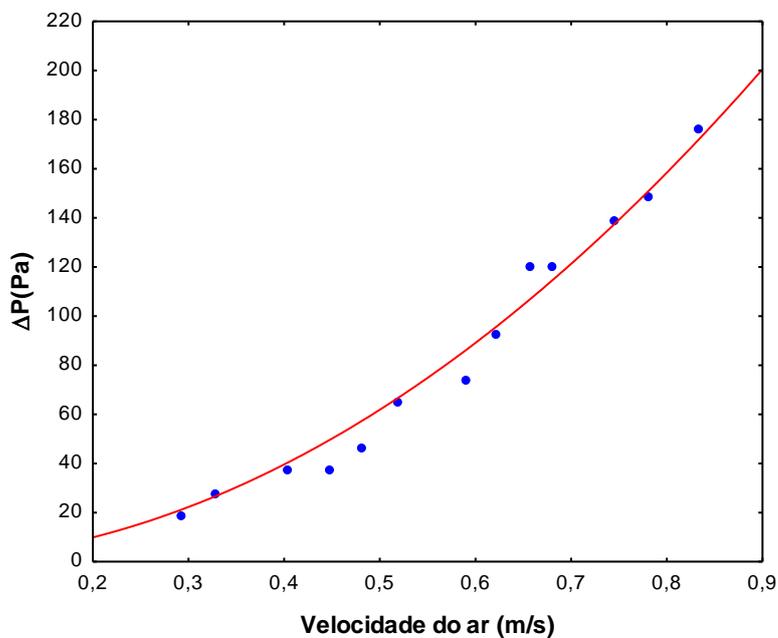


Figura A 1.2: Curva do branco para a fluidodinâmica do leito de jorro cônico – Artigo I.

$$\Delta P=247,51 v^2, R^2=0,99$$

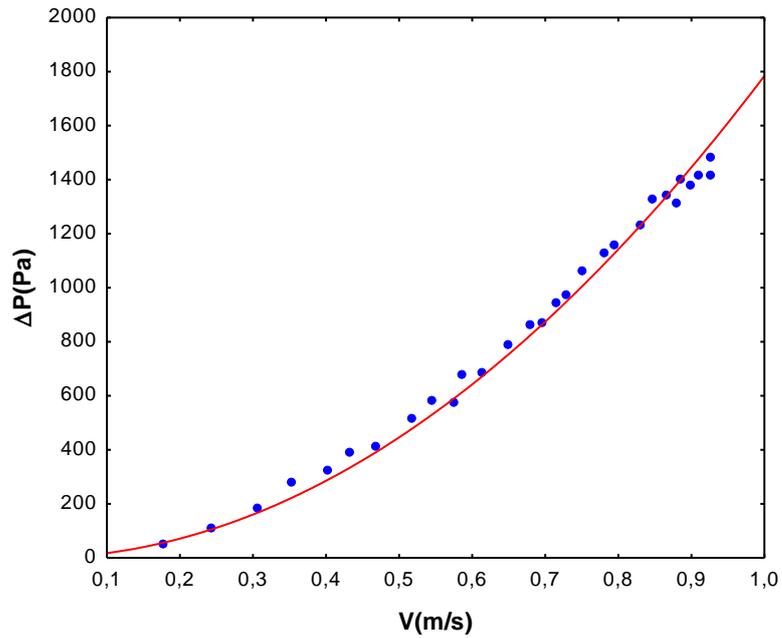


Figura A 1.3: Curva do branco para a fluidodinâmica do leito de jorro cone-cilíndrico (CSB) – Artigo II.  
 $\Delta P=1784,86 v^2$ ,  $R^2=0,99$

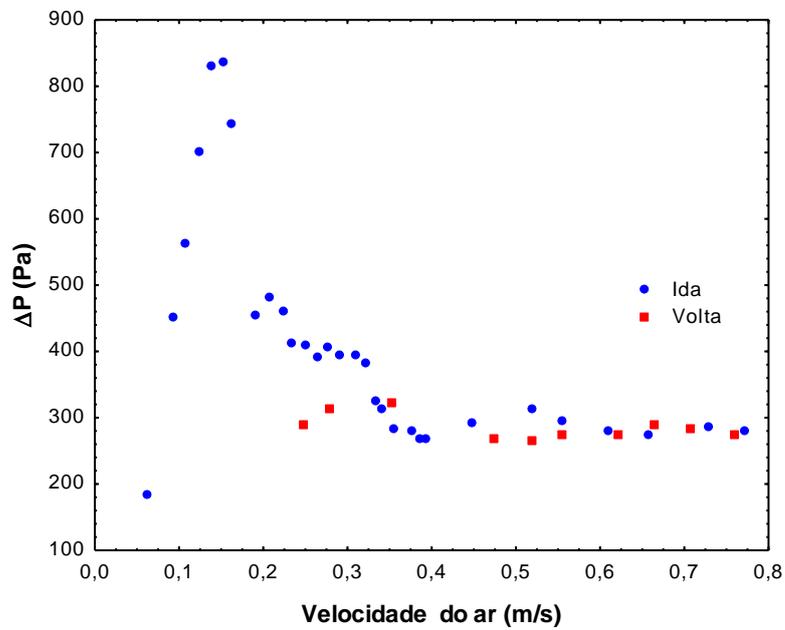


Figura A 1.4: Curva para fluidodinâmica do leito de jorro cônico – Artigo I.

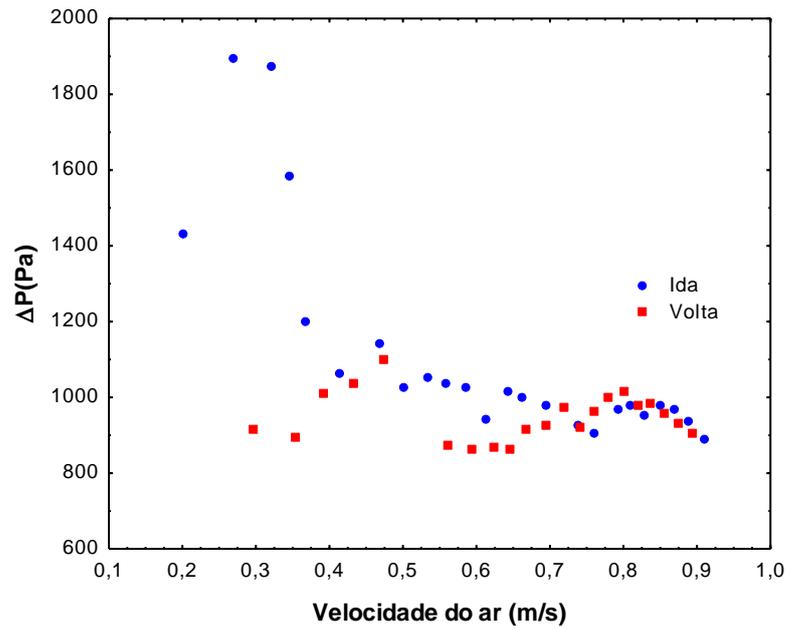


Figura A 1.5: Curva fluidodinâmica do leito de jorro cone-cilíndrico – Artigo II.



Figura A 1.6: Foto ilustrativa do produto desidratado à base de vegetais.

**APÊNDICE II: Tabelas referentes à formulação da pasta de vegetais, resultados da umidade, retenção de sólidos e dados de temperaturas, e umidade do ar nos experimentos realizados em leito de jorro cônico e cone-cilíndrico**

Tabela A 2.1: Nutrientes e valor calórico dos constituintes utilizados na programação linear.

Constituintes	Carboidratos (g/100g)	Proteínas (g/100g)	Lipídios (g/100g)	Calorias (kcal/100g)
Óleo de soja	0	0	100,0	884,0
Abóbora	73,0	14,8	4,3	339,1
Batata	86,0	10,5	0	374,3
Cenoura	77,8	13,1	2,0	343,4
Couve	47,3	31,9	5,5	296,7
Cebola	80,2	15,3	0,9	351,4
Tomate	63,3	22,4	4,1	306,1

\*FONTE TACO (2006)

Tabela A 2.2: Resultados de umidade do produto desidratado e retenção de sólidos no leito.

Experimentos	Umidade* (%)	Retenção* (%)
1	12,0±0,2	13,5 ±1,0
2	13,5±0,3	15,0±1,2
3	10,6±0,2	11,5±1,1
4	10,9±0,3	10,5±1,0
5	11,7±0,3	24,8±1,2
6	12,6±0,1	30,8±1,3
7	9,9±0,1	21,9±1,0
8	10,1±0,4	30,9±1,0

\* Média ± erro padrão (para as duas repetições).

Tabela A 2.3: Temperaturas do ar de secagem em leito de jorro cônico na condição 100mL h<sup>-1</sup> e 90°C.

Umidade abs do ar ambiente: 0,00816 kg <sub>água</sub> ·kg <sub>arseco</sub> <sup>-1</sup>				
Tempo (min)	Temperatura entrada (°C)	Temperatura saída (°C)	Temp. bulbo seco (°C)	Temp. bulbo úmido (°C)
0	91,3	81,2	69,6	25,0
2	91,5	82,9	73,0	25,0
4	91,0	82,9	73,5	25,2
6	90,8	83,0	72,9	25,1
8	90,1	82,9	72,3	25,2
10	91,2	82,3	71,7	25,1
12	90,8	82,0	72,2	25,3
14	91,1	82,7	72,7	25,3
16	90,3	82,4	72,7	25,3
18	90,7	82,1	72,4	25,4
20	91,0	82,1	73,0	25,5
25	90,9	82,3	72,6	25,6
30	90,2	82,3	71,8	25,6
35	90,7	82,7	72,7	25,7
40	90,3	82,5	70,5	25,6
45	90,9	82,6	72,4	25,5
50	90,1	81,9	71,4	25,7
55	91,0	82,7	73,0	25,5
60	90,1	82,3	71,4	25,5
65	90,4	81,9	71,5	25,4
70	90,3	82,3	72,6	25,6
75	90,5	82,6	71,3	25,6
80	90,2	82,7	73,8	25,5
85	90,8	82,3	72,4	25,6
90	90,1	82,4	72,5	25,6
95	90,7	81,7	72,0	25,6
100	91,3	82,5	72,4	25,5
105	90,3	81,0	71,2	25,4
110	91,1	81,9	73,0	25,6
115	90,0	81,1	71,2	25,4
120	91,2	82,7	72,7	25,5
125	90,3	82,9	72,5	25,4
130	90,9	82,1	71,7	25,7
135	90,3	82,0	73,9	25,9
140	90,3	82,4	71,8	25,5
145	90,2	82,8	71,1	25,5
150	90,7	82,8	71,7	25,5
155	90,8	82,3	70,5	25,4
160	90,0	82,3	73,4	25,6
165	90,6	82,1	72,4	25,5
170	90,2	81,6	70,8	25,2
175	91,2	82,3	72,5	25,2
180	90,8	81,3	71,2	25,3

185	90,4	82,6	72,7	25,2
190	91,0	82,5	73,6	25,0
195	89,9	82,1	71,5	25,0
200	90,9	82,9	73,5	24,8
205	90,3	82,5	71,8	25,1
210	90,5	82,5	73,0	24,9
215	90,9	82,6	72,3	24,9
220	90,5	82,4	72,2	24,9
225	90,8	82,4	71,6	25,0
230	89,7	82,2	70,3	24,9
235	90,5	82,4	71,8	24,9
240	90,3	82,9	73,0	25,3

Tabela A 2.4: Temperaturas do ar de secagem em leito de jorro cônico na condição 100mL h<sup>-1</sup> e 100°C.

<b>Umidade abs do ar ambiente: 0,00749 kg<sub>água</sub>.kg<sub>arseco</sub><sup>-1</sup></b>				
<b>Tempo (min)</b>	<b>Temperatura entrada (°C)</b>	<b>Temperatura saída (°C)</b>	<b>Temp. bulbo seco (°C)</b>	<b>Temp. bulbo úmido (°C)</b>
0	101,2	92,6	80,8	24,8
2	100,9	90,6	79,9	24,9
4	100,8	87,1	78,9	24,9
6	100,3	89,1	78,6	25,2
8	100,7	88,2	78,5	25,2
10	100,8	87,4	77,8	25,3
12	99,9	88,7	77,9	25,2
14	101,0	89,2	78,3	25,3
16	99,9	88,6	78,3	25,4
18	100,1	88,6	77,7	25,3
20	100,1	88,3	77,6	25,4
25	100,7	88,5	77,7	25,4
30	99,9	88,1	78,2	25,5
35	99,8	88,7	78,9	25,7
40	101,0	88,9	78,2	25,9
45	101,2	89,1	77,7	26,0
50	100,7	88,9	77,8	26,0
55	99,8	87,9	77,6	25,9
60	100,5	88,1	78,1	25,8
65	100,5	88,5	78,2	25,7
70	100,7	88,9	76,9	25,7
75	101,2	88,2	77,5	25,7
80	100,8	88,2	77,6	25,6
85	100,8	87,7	77,3	25,7
90	100,8	88,6	78,1	25,6
95	100,7	88,1	78,5	25,6
100	100,6	88,5	78,2	25,7

105	101,0	88,5	77,5	25,7
110	101,4	88,5	77,7	25,7
115	100,5	87,8	77,7	25,7
120	100,7	88,7	77,4	25,7
125	100,8	87,9	77,5	25,7
130	100,6	88,4	77,8	25,6
135	100,9	88,0	77,7	25,8
140	100,1	88,7	77,5	25,8
145	100,4	88,1	77,9	25,8
150	100,8	88,7	78,4	25,8
155	101,7	88,6	78,6	25,9
160	100,5	87,9	77,8	25,7
165	100,8	87,8	77,2	25,7
170	100,7	88,2	78,5	25,6
175	100,8	87,8	77,8	25,7
180	100,2	88,7	78,2	25,7
185	100,3	88,8	79,4	25,6
190	100,1	88,3	79,1	25,4
195	100,0	88,7	78,3	25,5
200	100,7	88,4	77,8	25,5
205	100,9	88,4	77,3	25,4
210	100,8	88,9	78,4	25,3
215	100,5	89,2	78,2	25,4
220	100,3	89,4	78,8	25,3
225	100,6	88,3	78,1	25,4
230	100,9	89,0	78,1	25,2
235	100,9	88,9	78,9	25,3
240	100,8	90,5	78,0	25,3

Tabela A 2.5: Temperaturas do ar de secagem em leito de jorro cônico na condição 200mL h<sup>-1</sup> e 90°C.

**Umidade abs do ar ambiente:** 0,00929 kg<sub>água</sub>.kg<sub>arseco</sub><sup>-1</sup>

Tempo (min)	Temperatura entrada (°C)	Temperatura saída (°C)	Temp. bulbo seco (°C)	Temp. bulbo úmido (°C)
0	90,0	80,0	77,3	26,7
2	89,5	79,8	74,9	26,7
4	91,0	79,9	74,2	26,9
6	88,7	77,7	71,9	25,9
8	90,8	78,0	71,2	26,0
10	90,8	77,6	70,2	26,0
12	91,0	78,0	71,5	26,2
14	90,9	78,0	71,9	26,6
16	90,1	78,0	72,8	26,7
18	90,9	78,7	72,4	26,7
20	90,1	78,8	72,7	26,0
25	90,6	78,3	72,3	26,1

30	90,5	78,4	72,3	26,7
35	90,4	78,3	73,3	26,9
40	90,2	78,3	73,3	26,9
45	90,2	77,4	71,4	26,5
50	90,7	78,1	72,7	26,7
55	90,4	78,9	73,5	27,2
60	90,4	78,5	69,5	27,3
65	91,1	77,3	71,1	27,2
70	90,2	78,6	73,3	27,1
75	90,6	77,9	72,4	27,1
80	90,8	77,8	70,5	26,7
85	90,3	77,7	72,0	26,3
90	90,0	78,2	71,4	27,2
95	90,7	78,2	71,2	27,6
100	90,7	78,7	71,7	27,5
105	90,3	78,6	71,9	27,4
110	90,7	78,2	70,6	27,4
115	90,2	78,9	72,3	27,3
120	90,1	78,3	71,0	29,0
125	90,7	78,5	70,6	28,8
130	90,7	78,0	72,2	28,2
135	90,5	77,0	71,8	27,8
140	90,9	78,4	71,8	27,7
145	91,4	78,0	73,7	27,9
150	90,2	78,1	73,2	27,6
155	91,2	78,0	73,2	29,2
160	90,2	78,4	73,7	27,7
165	91,0	78,1	73,6	28,1
170	90,1	78,4	73,3	27,4
175	90,7	77,2	71,9	28,4
180	90,6	78,3	72,0	28,6
185	90,5	78,2	73,3	29,6
190	90,4	77,6	72,8	28,7
195	90,9	77,5	71,5	27,6
200	90,9	77,8	71,8	27,7
205	90,5	78,9	73,5	27,8
210	90,2	78,8	70,6	28,2
215	90,4	78,4	73,1	27,9
220	90,8	78,1	73,6	27,5
225	90,0	78,8	72,9	28,0
230	90,5	78,7	72,9	27,9
235	90,3	78,1	73,1	27,9
240	90,2	78,7	73,6	28,8

---

Tabela A 2.6: Temperaturas do ar de secagem em leito de jorro cônico na condição 200mL h<sup>-1</sup> e 100°C.

<b>Umidade abs do ar ambiente: 0,00942 kg<sub>água</sub>.kg<sub>arseco</sub><sup>-1</sup></b>				
<b>Tempo (min)</b>	<b>Temperatura entrada (°C)</b>	<b>Temperatura saída (°C)</b>	<b>Temp. bulbo seco (°C)</b>	<b>Temp. bulbo úmido (°C)</b>
0	101,1	90,5	82,2	33,0
2	100,0	87,9	81,5	33,9
4	100,6	87,7	81,1	34,1
6	100,5	85,7	79,7	34,1
8	100,4	85,9	79,8	34,2
10	100,6	86,6	79,8	33,7
12	99,9	86,3	79,8	33,8
14	100,1	86,2	79,6	33,7
16	100,8	85,8	80,0	34,0
18	100,1	85,2	80,3	33,1
20	99,9	85,4	81,4	33,6
25	100,6	85,4	79,0	34,1
30	99,8	85,8	78,5	34,1
35	99,5	85,2	79,4	34,1
40	100,4	85,9	78,8	34,0
45	99,7	85,9	78,9	33,7
50	100,7	85,9	78,3	34,3
55	100,9	85,5	79,2	33,8
60	100,0	85,1	79,0	34,0
65	100,6	85,1	79,3	34,0
70	100,4	85,8	79,4	33,7
75	100,7	86,2	79,9	33,9
80	101,0	85,4	79,0	33,9
85	100,7	85,7	79,0	34,1
90	100,1	85,0	79,5	34,1
95	100,2	86,5	80,6	33,9
100	100,4	85,7	79,9	34,1
105	100,8	85,6	79,9	34,3
110	100,6	85,9	81,5	33,9
115	100,9	85,8	80,3	34,3
120	101,0	85,9	79,2	35,3
125	100,9	85,7	80,5	37,6
130	100,3	85,1	79,6	36,3
135	100,9	85,7	78,1	33,5
140	100,9	86,2	81,3	34,1
145	100,3	85,5	79,3	34,5
150	100,3	85,8	78,9	34,9
155	100,0	85,0	80,7	34,4
160	100,4	85,5	79,0	35,0
165	100,1	85,3	79,3	35,8
170	100,3	85,7	82,9	34,5
175	100,1	86,2	78,7	34,7
180	100,0	85,8	79,6	34,4

185	100,6	85,9	78,9	35,7
190	100,3	85,6	78,1	34,7
195	100,2	85,6	78,1	33,7
200	100,9	85,2	80,9	34,5
205	100,5	85,7	78,8	34,2
210	100,8	85,7	78,7	34,4
215	100,6	85,9	78,9	34,2
220	100,2	85,3	78,9	34,1
225	100,1	85,0	79,8	34,7
230	100,0	85,2	77,8	35,2
235	100,7	84,9	78,7	34,4
240	100,0	84,5	79,1	34,9

Tabela A 2.7: Temperaturas do ar de secagem em leito de jorro cone-cilíndrico na condição de 400mL h<sup>-1</sup>, 90°C e 5%.

<b>Umidade abs do ar ambiente: 0,0212 kg<sub>água</sub>·kg<sub>arseco</sub><sup>-1</sup></b>				
<b>Tempo (min)</b>	<b>Temperatura entrada (°C)</b>	<b>Temperatura saída (°C)</b>	<b>Temp. bulbo seco (°C)</b>	<b>Temp. bulbo úmido (°C)</b>
0	90,4	85,2	75,3	35,1
2	90,5	83,3	73,1	35,1
4	90,7	83,2	71,4	35,1
6	90,4	78,6	70,5	35,1
8	90,0	78,3	70,1	35,1
10	90,9	77,2	70,5	35,2
12	91,0	76,3	70,9	35,1
14	90,3	76,4	70,1	35,4
16	90,3	75,8	70,4	35,0
18	90,5	76,0	70,2	35,4
20	90,7	76,4	71,5	35,5
25	90,1	76,5	71,4	35,7
30	90,2	76,5	71,5	35,7
35	90,2	76,8	70,3	35,7
40	90,6	76,1	70,5	35,7
45	90,2	76,1	70,6	35,7
50	90,6	76,2	70,3	35,7
55	90,3	76,9	71,8	35,9
60	90,1	76,9	71,9	36,9
65	90,2	76,3	71,1	37,0
70	90,0	76,5	70,7	36,8
75	90,9	77,4	71,3	36,6
80	90,3	76,6	70,9	36,7
85	90,8	77,5	71,7	37,0
90	90,8	76,3	72,0	37,2
95	90,2	76,0	69,3	37,1
100	90,8	77,2	70,9	37,0
105	90,6	76,3	70,2	37,1

110	90,2	76,9	69,8	37,2
115	90,9	77,3	70,4	37,3
120	90,1	76,6	70,9	37,2
125	90,7	76,9	70,8	37,4
130	90,2	76,6	70,0	37,5
135	90,3	76,9	71,7	37,8
140	90,2	76,7	70,7	37,3
145	90,8	76,9	71,1	37,4
150	90,1	76,4	71,7	37,3

Tabela A 2.8: Temperaturas do ar de secagem em leito de jorro cone-cilíndrico na condição de 600 mL h<sup>-1</sup>, 90°C e 5%.

<b>Umidade abs do ar ambiente: 0,0154 kg<sub>água</sub>·kg<sub>arseco</sub><sup>-1</sup></b>				
<b>Tempo (min)</b>	<b>Temperatura entrada (°C)</b>	<b>Temperatura saída (°C)</b>	<b>Temp. bulbo seco (°C)</b>	<b>Temp. bulbo úmido (°C)</b>
0	90,3	80,1	75,8	25,9
2	90,7	75,7	72,7	26,5
4	90,8	72,8	70,0	26,8
6	90,2	71,0	68,0	27,1
8	90,1	70,3	67,2	27,3
10	90,7	70,8	66,9	27,7
12	90,4	70,9	66,4	27,7
14	91,0	71,4	66,2	27,8
16	90,9	71,2	66,5	28,1
18	90,2	71,3	65,1	28,3
20	90,7	70,8	64,9	28,3
25	90,3	70,7	64,8	28,7
30	90,9	71,6	64,8	29,0
35	90,6	71,8	64,8	29,1
40	90,4	71,6	64,9	29,6
45	90,2	71,9	65,9	29,7
50	90,4	70,2	65,2	29,8
55	90,1	70,9	66,4	30,4
60	90,2	71,5	67,5	30,2
65	90,7	71,6	66,1	30,5
70	90,9	70,3	65,5	30,5
75	90,9	70,8	65,2	30,4
80	91,0	71,8	64,7	30,5
85	90,3	71,4	64,6	30,7
90	90,2	71,2	65,6	31,1
95	90,2	71,3	65,2	31,5
100	90,4	70,8	64,7	31,5
105	90,4	70,7	64,6	31,5
110	90,5	71,6	65,6	31,6
115	90,7	70,3	65,2	31,7
120	90,7	71,8	64,5	33,1

125	90,2	70,8	64,1	33,5
130	90,3	70,4	63,8	33,1
135	90,0	70,2	64,6	33,2
140	90,5	70,3	65,4	33,5
145	90,8	71,8	65,6	33,0
150	90,8	71,7	65,4	33,2

Tabela A 2.9: Temperaturas do ar de secagem em leito de jorro cone-cilíndrico na condição de  $400 \text{ mL h}^{-1}$ ,  $110^\circ\text{C}$  e 5%.

<b>Umidade abs do ar ambiente: <math>0,0101 \text{ kg}_{\text{água}} \cdot \text{kg}_{\text{arseco}}^{-1}</math></b>				
<b>Tempo (min)</b>	<b>Temperatura entrada (<math>^\circ\text{C}</math>)</b>	<b>Temperatura saída (<math>^\circ\text{C}</math>)</b>	<b>Temp. bulbo seco (<math>^\circ\text{C}</math>)</b>	<b>Temp. bulbo úmido (<math>^\circ\text{C}</math>)</b>
0	109,5	95,2	87,9	30,6
2	111,0	94,5	85,7	30,4
4	109,8	94,5	82,7	30,6
6	110,0	94,3	84,9	30,7
8	110,0	93,6	88,3	31,1
10	110,3	93,0	87,1	31,5
12	110,7	92,5	87,6	31,8
14	110,0	92,1	88,6	31,9
16	110,3	92,3	87,0	32,1
18	110,6	91,9	86,2	32,0
20	110,0	91,9	85,1	32,4
25	110,0	91,8	86,0	32,5
30	110,0	92,0	86,8	32,3
35	110,0	92,4	86,0	33,0
40	110,9	92,0	87,7	33,4
45	110,4	92,4	87,1	33,4
50	110,8	92,4	85,7	33,8
55	110,0	92,2	84,2	33,7
60	110,3	92,6	84,8	33,8
65	110,2	92,6	84,1	34,0
70	110,2	92,4	85,7	33,6
75	110,1	91,8	86,5	33,8
80	110,8	91,5	87,0	34,2
85	110,0	92,0	86,6	34,6
90	110,6	92,5	87,2	34,2
95	110,7	92,3	85,9	34,4
100	110,2	92,4	86,2	34,7
105	110,7	92,3	85,1	34,5
110	110,8	91,8	84,6	34,7
115	110,2	92,7	84,7	34,8
120	110,2	91,7	84,5	34,7
125	110,0	92,5	84,8	35,2
130	110,9	92,0	84,5	35,5

135	110,2	92,5	84,2	35,9
140	110,2	92,3	84,7	36,1
145	110,5	92,9	84,8	36,2
150	110,1	92,3	85,1	36,2

Tabela A 2.10: Temperaturas do ar de secagem em leito de jorro cone-cilíndrico na condição de 600 mL h<sup>-1</sup>, 110°C e 5%.

Umidade abs do ar ambiente: 0,0143 kg<sub>água</sub>·kg<sub>arseco</sub><sup>-1</sup>

Tempo (min)	Temperatura entrada (°C)	Temperatura saída (°C)	Temp. bulbo seco (°C)	Temp. bulbo úmido (°C)
0	109,5	93,6	87,9	29,9
2	111,0	93,3	85,7	30,0
4	109,8	89,4	82,7	30,0
6	110,0	88,2	79,4	30,1
8	110,0	88,5	78,3	30,0
10	110,3	87,5	77,1	30,2
12	110,7	87,6	77,6	30,0
14	110,0	87,2	78,6	30,0
16	110,3	87,6	78,4	30,2
18	110,6	87,8	78,7	30,1
20	110,0	88,0	77,2	30,3
25	110,0	88,1	77,5	30,6
30	110,0	88,2	78,6	30,5
35	110,0	87,9	78,3	31,5
40	110,9	87,3	78,6	31,6
45	110,4	88,1	77,0	31,6
50	110,8	88,3	76,5	31,9
55	110,0	87,3	78,3	31,9
60	110,3	87,6	77,1	32,0
65	110,2	88,5	77,4	32,1
70	110,2	88,7	77,1	32,0
75	110,1	88,7	77,6	32,4
80	110,8	87,8	78,6	32,1
85	110,0	87,9	78,4	32,4
90	110,6	88,1	78,7	32,3
95	110,7	87,8	77,2	32,3
100	110,2	87,8	77,5	32,3
105	110,7	88,7	78,6	32,4
110	110,8	88,4	78,3	32,2
115	110,0	88,1	78,6	32,3
120	110,3	88,2	77,0	32,4
125	110,7	88,3	76,5	32,1
130	110,0	88,6	76,3	32,4
135	110,3	88,5	76,4	32,3
140	110,6	88,2	77,1	32,3
145	110,5	88,3	77,3	32,3

150                      110,4                      88,3                      77,6                      32,5

Tabela A 2.11: Temperaturas do ar de secagem em leito de jorro cone-cilíndrico na condição de 400 mL h<sup>-1</sup>, 90°C e 10%.

<b>Umidade abs do ar ambiente: 0,0125 kg<sub>água</sub>·kg<sub>arseco</sub><sup>-1</sup></b>				
<b>Tempo (min)</b>	<b>Temperatura entrada (°C)</b>	<b>Temperatura saída (°C)</b>	<b>Temp. bulbo seco (°C)</b>	<b>Temp. bulbo úmido (°C)</b>
0	90,3	80,0	75,0	30,5
2	90,8	78,1	74,1	30,5
4	90,0	76,1	72,8	30,6
6	90,0	74,6	71,5	30,6
8	90,9	74,4	70,7	30,6
10	90,9	73,8	70,5	30,7
12	90,7	74,2	70,6	30,8
14	90,0	74,5	70,3	31,1
16	90,6	74,3	70,4	31,2
18	90,2	74,3	70,6	31,3
20	90,9	73,3	70,0	31,4
25	90,7	74,7	71,0	31,8
30	90,0	73,9	71,2	31,2
35	90,8	73,8	69,3	31,5
40	90,7	73,7	69,0	31,8
45	90,8	73,8	69,4	31,9
50	90,8	73,5	69,6	31,4
55	90,8	73,7	69,4	31,5
60	90,7	73,0	69,3	31,7
65	90,8	73,0	69,3	31,0
70	90,3	73,0	69,2	31,3
75	90,7	73,0	69,0	31,4
80	90,6	73,4	69,1	31,5
85	90,6	73,8	70,1	31,4
90	90,2	73,4	70,2	31,6
95	90,3	74,2	70,6	31,7
100	90,7	74,6	70,4	31,8
105	90,7	74,2	69,9	31,8
110	90,3	74,5	69,8	31,8
115	90,4	73,8	70,1	32,1
120	90,8	74,3	69,7	32,2
125	90,0	74,5	69,6	32,3
130	90,5	73,7	69,7	32,7
135	90,6	73,7	69,7	32,7
140	90,7	73,2	70,0	32,8
145	90,8	73,8	69,7	32,5
150	90,5	74,1	70,0	32,5

Tabela A 2.12: Temperaturas do ar de secagem em leito de jorro cone-cilíndrico na condição 600mL h<sup>-1</sup>, 90°C e 10%.

<b>Umidade abs do ar ambiente: 0,0159 kg<sub>água</sub>·kg<sub>arseco</sub><sup>-1</sup></b>				
<b>Tempo (min)</b>	<b>Temperatura entrada (°C)</b>	<b>Temperatura saída (°C)</b>	<b>Temp. bulbo seco (°C)</b>	<b>Temp. bulbo úmido (°C)</b>
0	89,7	83,7	76,6	30,1
2	89,9	85,7	79,1	30,7
4	90,6	84,1	74,2	30,7
6	90,0	71,7	71,6	30,7
8	90,8	69,7	67,8	30,5
10	90,7	69,8	66,2	30,4
12	90,1	68,8	66,7	30,3
14	90,2	68,3	67,5	30,1
16	90,0	68,5	66,6	30,0
18	90,1	69,3	65,5	30,0
20	90,0	69,2	65,6	30,0
25	90,7	69,4	66,7	29,9
30	90,8	69,9	66,2	30,0
35	90,0	69,8	67,8	30,0
40	90,3	68,8	66,2	30,1
45	90,3	68,5	67,3	30,2
50	90,0	68,7	67,5	30,1
55	90,4	68,3	66,6	30,2
60	90,6	67,6	65,5	30,1
65	90,3	67,8	65,6	30,3
70	90,1	68,2	66,7	30,4
75	90,7	68,3	67,8	30,4
80	90,6	68,4	66,2	30,3
85	90,4	68,1	66,7	30,4
90	90,6	68,2	67,5	30,4
95	90,7	68,3	66,6	30,3
100	90,4	68,2	65,5	30,4
105	91,0	68,9	65,6	30,3
110	90,7	68,9	66,7	30,4
115	90,0	69,1	67,8	30,3
120	90,2	69,4	66,2	30,5
125	90,1	69,7	67,7	30,1
130	90,3	68,4	67,5	30,2
135	90,3	68,1	66,6	30,1
140	90,0	68,2	65,5	30,3
145	90,4	68,3	65,4	30,4
150	90,2	68,2	66,2	30,4

Tabela A 2.13: Temperaturas do ar de secagem em leito de jorro cone-cilíndrico na condição 400mL h<sup>-1</sup>, 110°C e 10%.

<b>Umidade abs do ar ambiente: 0,0103 kg<sub>água</sub>·kg<sub>arseco</sub><sup>-1</sup></b>				
<b>Tempo (min)</b>	<b>Temperatura entrada (°C)</b>	<b>Temperatura saída (°C)</b>	<b>Temp. bulbo seco (°C)</b>	<b>Temp. bulbo úmido (°C)</b>
0	110,6	95,4	89,6	34,8
2	111,3	94,2	88,3	35,2
4	110,7	93,7	87,6	35,2
6	110,4	93,2	87,5	35,2
8	109,9	91,5	85,9	35,2
10	111,5	91,2	85,2	35,2
12	110,5	91,2	85,0	35,9
14	110,1	91,1	85,0	36,2
16	109,9	90,9	84,8	36,2
18	110,2	90,3	84,5	36,2
20	110,2	90,3	84,3	36,3
25	110,5	89,8	83,8	36,3
30	110,5	89,9	83,4	36,3
35	110,2	89,5	83,5	36,4
40	110,7	89,8	83,5	36,4
45	110,5	89,6	83,2	36,5
50	110,3	89,9	83,3	36,5
55	110,2	89,4	82,9	36,5
60	110,2	89,6	82,8	36,5
65	110,6	89,2	83,0	36,5
70	110,4	88,9	83,0	36,5
75	110,5	89,1	83,0	36,5
80	110,3	89,2	83,2	36,5
85	110,2	85,4	83,2	36,6
90	110,2	89,5	83,2	36,7
95	110,5	89,7	83,8	36,7
100	110,7	89,3	84,7	36,7
105	110,8	89,3	85,0	36,8
110	110,9	90,0	85,0	36,8
115	110,3	89,7	84,7	36,8
120	110,2	89,8	85,3	36,8
125	109,9	89,9	84,7	36,8
130	110,2	89,5	84,1	36,8
135	110,2	89,8	84,2	36,8
140	110,3	89,6	84,2	36,8
145	110,1	89,9	84,1	36,8
150	110,8	89,4	83,8	36,8

Tabela A 2.14: Temperaturas do ar de secagem em leito de jorro cone-cilíndrico na condição 600mL h<sup>-1</sup>, 110°C e 10%.

<b>Umidade abs do ar ambiente: 0,0168 kg<sub>água</sub>·kg<sub>arseco</sub><sup>-1</sup></b>				
<b>Tempo (min)</b>	<b>Temperatura entrada (°C)</b>	<b>Temperatura saída (°C)</b>	<b>Temp. bulbo seco (°C)</b>	<b>Temp. bulbo úmido (°C)</b>
0	110,5	92,1	88,5	34,6
2	109,2	90,1	85,8	35,0
4	111,5	88,6	84,7	35,2
6	111,2	88,2	83,7	35,2
8	110,5	86,5	82,9	35,2
10	109,8	86,0	82,2	35,2
12	111,0	86,1	82,0	34,9
14	110,8	86,5	82,3	35,2
16	110,7	86,6	84,2	35,2
18	110,8	86,4	84,3	35,2
20	110,5	86,7	84,5	35,3
25	110,2	87,4	83,6	35,3
30	110,4	87,2	83,0	35,3
35	110,3	87,2	83,1	35,1
40	110,3	86,9	84,5	35,5
45	110,7	86,7	83,3	35,2
50	110,8	86,8	83,0	35,7
55	110,7	86,5	82,7	35,2
60	110,1	86,2	82,3	35,4
65	110,9	86,0	82,8	35,4
70	110,7	85,9	83,3	35,4
75	110,2	85,7	84,1	35,4
80	110,5	85,8	83,6	35,4
85	110,7	85,6	84,8	35,6
90	110,2	85,2	83,3	35,7
95	110,6	85,0	82,2	35,6
100	110,7	85,6	82,8	35,7
105	110,6	85,2	83,1	35,6
110	110,5	85,8	83,2	35,4
115	110,9	86,0	83,5	35,6
120	110,8	86,1	84,9	35,4
125	110,8	86,5	84,2	35,7
130	110,1	86,6	84,5	35,5
135	110,5	86,4	83,3	35,8
140	110,2	86,1	83,0	35,7
145	110,5	86,3	83,7	35,3
150	110,7	86,6	83,6	35,5

### **APÊNDICE III: Produção bibliográfica da dissertação**

LARROSA, A. P. Q.; FERRER, B. M. L.; SPIES, S. S.; BARANZELLI, J. ; PINTO, L. A. A. Secagem de pasta de vegetais em leite de jorro: análise da operação e das características do produto final. In: XXXV Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados-ENEMP, 2011, Vassouras-RJ. Anais do XXXV Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados - ENEMP, 2011. **(Trabalho completo enviado)**

LARROSA, A. P. Q.; FERRER, B. M. L.; SPIES, S. S.; BARANZELLI, J.; PINTO, L. A. A. . Secagem de pasta de vegetais em leite de jorro: análise da operação e das características do produto final. In: XXXV Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados-ENEMP, 2011, Vassouras-RJ. Anais do XXXV Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados - ENEMP, 2011. **(Resumo publicado)**

## ANEXOS

LARROSA, A. P. Q.; MUSZINSKI, P.; PINTO, L. A. A. Programação linear para formulação de pasta de vegetais e operação de secagem em leite de jorro. *Ciência Rural* (UFSM. Impresso), v. 41, p. 2032-2038, 2011. **(Artigo publicado em Periódico)**

SPIES, S. S.; FERRER, B. M. L.; LARROSA, A. P. Q.; PINTO, L. A. A. Secagem de pasta de hortifrutigranjeiros em leite de jorro: influência nas características do produto final. In: In: IX Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica-COBEQ IC, 2011, Maringá-PR. Anais do IX Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica-COBEQ IC, 2011. **(Trabalho completo)**

LISBOA, R. N.; FERRER, B. M. L.; LARROSA, A. P. Q.; PINTO, L. A. A. Secagem de pasta de hortifrutigranjeiros para produção de sopa em pó: comparação das geometrias de leite de jorro cone-cilíndrico e retangular. In: In: XXIV Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnologia em Engenharia- CRICTE, 2010, Rio Grande. Anais do XXIV Congresso Regional de Iniciação e Tecnologia em Engenharia- CRICTE, 2010. **(Trabalho completo)**

LARROSA, A. P. Q.; OLIVEIRA, L. V.; MUSZINSKI, P.; PINTO, L. A. A. Secagem de sopa em leite de jorro: estudo das condições de operação. In: XXXIV Congresso brasileiro de sistemas particulados - ENEMP, 2009, Campinas. Anais do XXXIV Congresso brasileiro de sistemas particulados - ENEMP. Campinas : Unicamp, 2009. **(Trabalho completo)**

FERRER, B. M. L.; LISBOA, R. N.; LARROSA, A. P. Q.; PINTO, L. A. A. Secagem de hortifrutigranjeiros em leite de jorro: obtenção de um produto base para sopa desidratada. In: In: XIX Congresso de Iniciação Científica / II Mostra Científica - CIC, 2010, Pelotas. Anais da XIX Congresso de Iniciação Científica / II Mostra Científica - CIC, 2010. **(Resumo expandido)**

LISBOA, R. N.; FERRER, B. M. L.; LARROSA, A. P. Q.; PINTO, L. A. A. Avaliação da cor da pasta de hortifrutigranjeiros em leite de jorro. In: In: IX Mostra de Produção Universitária - MPU, 2010, Rio Grande. Anais da IX Mostra de Produção Universitária - MPU, 2010. **(Resumo expandido)**

LARROSA, A. P. Q.; OLIVEIRA, L. V.; PINTO, L. A. A.; MUSZINSKI, P. Secagem de sopa em leite de jorro: estudo das condições de operação.. In: XXXIV Congresso brasileiro de sistemas particulados - ENEMP, 2009, Campinas. Anais do XXXIV Congresso brasileiro de sistemas particulados - ENEMP. Campinas : Unicamp, 2009. **(Resumo publicado)**

OLIVEIRA, L. V.; LARROSA, A. P. Q.; MUSZINSKI, P.; PINTO, L. A. A. Utilização da programação linear para produção de sopa desidratada em leite de jorro. In: VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química iniciação científica - COBEQ IC, 2009, Uberlândia. Anais do VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química iniciação científica - Energias sustentáveis e matriz energética brasileira. Uberlândia : UFU, 2009. **(Resumo publicado)**