



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE  
ESCOLA DE QUÍMICA E ALIMENTOS  
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E CIÊNCIA DE ALIMENTOS

**AVALIAÇÃO DA SECAGEM DE PASTAS DE VEGETAIS ENRIQUECIDAS  
DE PLASMA BOVINO E SORO DO LEITE ATRAVÉS DA PROGRAMAÇÃO  
LINEAR**

ENG<sup>a</sup> DE ALIMENTOS SILVIA FARIA DA ROCHA

PROF<sup>o</sup>. DR<sup>o</sup>. LUIZ ANTONIO DE ALMEIDA PINTO

**Orientador**

Rio Grande

2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE  
ESCOLA DE QUÍMICA E ALIMENTOS  
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E CIÊNCIA DE ALIMENTOS

AVALIAÇÃO DA SECAGEM DE PASTAS DE VEGETAIS ENRIQUECIDAS COM  
PLASMA BOVINO E SORO DO LEITE ATRAVÉS DA PROGRAMAÇÃO LINEAR

ENG<sup>a</sup> DE ALIMENTOS SILVIA FARIA DA ROCHA

Dissertação apresentada como parte dos  
requisitos para obtenção do título de Mestre  
em Engenharia e Ciência de Alimentos.

PROF. DR. LUIZ ANTONIO DE ALMEIDA PINTO

Orientador

Rio Grande

2016

## Ficha catalográfica

R672a Rocha, Silvia Faria da.  
Avaliação da secagem de pastas de vegetais enriquecidas com plasma bovino e soro do leite através de programação linear / Silvia Faria da Rocha. – 2016.  
120 f.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Programa de Pós-graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos, Rio Grande/RS, 2016.  
Orientador: Dr. Luiz Antônio de Almeida Pinto.

1. Desidratação 2. Propriedades funcionais 3. Teor proteico  
I. Pinto, Luiz Antônio de Almeida II. Título.

CDU 664.8:66.093.48

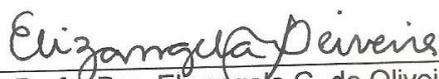
## APROVAÇÃO

Dissertação defendida por Silvia Faria da Rocha e aprovada em 28 de março de 2016, pela Comissão Examinadora constituída pelos professores:



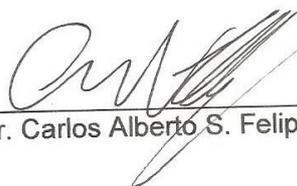
---

Prof. Dr. Luiz Antonio de Almeida Pinto – FURG



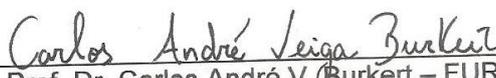
---

Profa. Dra. Elizangela G. de Oliveira – UFRGS



---

Prof. Dr. Carlos Alberto S. Felipe – FURG



---

Prof. Dr. Carlos André V. Burkert – FURG



*Dedico este trabalho a minha mãe pelo  
esforço e incentivo necessário para a  
conclusão dessa jornada.*



## AGRADECIMENTOS

A minha mãe Maria Auxiliadora, uma excelente pessoa, sou grata por todo esforço e tempo dedicados a mim, aos princípios e valores que me ensinou, os quais foram essenciais para minha formação, por ser capaz de passar adiante o gosto pelo conhecimento e mostrar como o estudo é importante na vida de qualquer pessoa, e essa é a maior herança que eu poderia receber.

Ao meu namorado Ricardo por estar do meu lado nos momentos tristes e felizes que passamos ao longo desses anos, por apoiar minhas escolhas mesmo nas vezes em que discordava, por ser um companheiro paciente e compreensivo e tenho a plena certeza de que posso contar sempre com teu amor e tuas palavras de carinho.

Ao meu querido e exemplar orientador professor Pinto, por ser um profissional responsável e dedicado, que sempre dispõe uma palavra amiga e sincera para me ajudar a tomar as melhores decisões, além disso, também sou extremamente grata pelas noites em claro que o senhor deixou de descansar ou de passar momentos de lazer com sua família para trabalhar em prol do nosso futuro. Posso afirmar com absoluta certeza que jamais terei o prazer de trabalhar e conviver com uma pessoa tão íntegra e fiel a seus princípios.

Ao nosso inesquecível amigo e técnico de laboratório Jaques pela dedicação e disposição a mim oferecidas, pelas palavras de amizade e carinho que nunca faltaram, pelos conselhos que me fizeram continuar na vida acadêmica.

Ao meu amigo e técnico Luiz Carlos por estar à disposição para resolver nossos problemas com delicadeza e gentileza de um excelente profissional, pelo tratamento cordial e amistoso de todos os dias, por desenvolver com dedicação e paciência meus projetos, invenções e improvisos que geralmente são de última hora.

A minha amiga Micheli pela amizade fraterna e companheirismo, por todos os momentos de alegria que passamos juntas, por estar sempre de bom humor e disposta a ajudar independente de qual seja a situação e pela ótima companhia ao longo desses anos de graduação e mestrado.

As minhas amigas Andressa, Cecília, Daniela, Paola e Simone pelas horas de descontração e felicidade que me proporcionam em todos esses anos de amizade, e por saber que sempre posso recorrer a vocês em qualquer situação.

A Bruna pela oportunidade que me deu para fazer iniciação científica, na qual pude aprender a importância da pesquisa para o desenvolvimento da sociedade, por suprir minhas dificuldades e sempre me incentivar a busca pelo conhecimento.

A Ana Paula pela dedicação durante a realização do trabalho de conclusão de curso e do mestrado, pela infinita ajuda com o temperamental leito de jorro, pela constante presença no laboratório me ajudando quando ocorria algum imprevisto e pela amizade que sempre poderei contar.

Aos meus alunos de iniciação científica, Caroline, João Victor, Heraldo e Tamiris, pela ajuda e comprometimento com minha pesquisa, por disporem de seu tempo livre para participar do meu projeto.

A todos os meus colegas do Laboratório de Tecnologia Industrial e do Laboratório de Secagem pela saudável e harmoniosa convivência diária, pelas descontrações e brincadeiras que tornam o ambiente de trabalho e estudo nosso segundo lar. Sou grata por terem me acolhido, quando era aluna de iniciação científica, e me ensinado a trabalhar em grupo, tenho a certeza de que juntos formamos um grupo sólido e competente capaz de representar bem nossa escola e nosso orientador perante a comunidade científica internacional.

*“Enquanto não atingir meus objetivos  
continuarei a percorrer meu caminho, sem  
recorrer a atalhos ou desvios.”*



## RESUMO

O objetivo deste trabalho foi utilizar a programação linear para formular pastas de vegetais enriquecidas com plasma bovino e com soro de leite visando à maximização do teor proteico, e avaliar as condições de secagem em leito de jorro nas características do produto final desidratado. A pasta foi obtida através de uma trituração e homogeneização dos seguintes constituintes: cebola branca, tomate longa vida, cenoura, couve, batata, óleo de soja comercial, plasma bovino e soro de leite. Para garantir a viabilidade da secagem no leito de jorro da pasta de vegetais enriquecida foi feito um estudo preliminar em leito de geometria cônica. Após, os experimentos foram conduzidos em leito de jorro cone-cilíndrico, através de comparação de tratamentos experimentais. Foram estudadas a influência da temperatura do ar de entrada (90, 100 e 110°C) e a concentração de sólidos na pasta (7,5 e 10% m/m), sendo fixada a vazão de alimentação de pasta (600 mL.h<sup>-1</sup>). As pastas de vegetais enriquecidas, tanto com plasma bovino como com soro de leite, pela programação linear apresentaram composições próximas aos limites estabelecidos das restrições de nutrientes. Esses resultados mostraram que a programação linear foi adequada para a formulação da pasta de vegetais enriquecida para a maximização do teor proteico. As condições utilizadas na secagem em leito de jorro de geometria cônica foram adequadas, pois não apresentaram colapso do leito. As melhores condições para secagem em leito de jorro cone-cilíndrico da pasta de vegetais enriquecida com plasma bovino e da pasta enriquecida com soro de leite foram, respectivamente, na temperatura do ar de 100°C, e concentração de sólidos de 10% m/m, para ambas, a umidade final do pó variou de 4 a 10 % (m/m). A operação de secagem em leito de jorro cone-cilíndrico, para ambas as pastas de vegetais enriquecidas, mostrou-se efetiva na preservação dos compostos químicos e das características morfológicas do produto seco. As análises espectrais apresentaram as presenças de álcoois, fenóis, aldeídos e anéis aromáticos. Os pós obtidos possuíam estruturas compactas e irregulares, sendo que a pasta enriquecida com plasma bovino apresentou um diâmetro de partícula menor que 10 µm e a pasta enriquecida com soro de leite obteve partículas superior a 100 µm.

**Palavras-chave:** Desidratação, Propriedades funcionais, Teor proteico.



## ABSTRACT

### EVALUATION OF DRYING OF VEGETABLE PASTES ENRICHED WITH BOVINE PLASMA AND WHEY THROUGH LINEAR PROGRAMMING

The objective of this work was to use linear programming to formulate vegetable pastes enriched with bovine plasma and whey in order to maximize the protein content, and evaluate the drying conditions in the spouted bed on the characteristics of dehydrated final product. The paste was obtained by a grinding and mixing the following constituents: onion, tomato, carrot, cabbage, potato, soybean oil, bovine plasma and whey. To verify the drying viability in spouted bed of enriched vegetable paste, a preliminary study in conical geometry bed was performed. After, the experiments were conducted in cone-cylindrical spouted bed, by comparison of experimental treatments. The influence of inlet air temperature (90, 100 and 110 °C) and the concentration of solids in the paste (7.5 and 10% w / w) were studied, being that the pulp feed flow rate (600 mL.h<sup>-1</sup>) was fixed. The linear programming showed compositions next to the limits of nutrient restrictions for enriched vegetable pastes, for both with bovine plasma as with whey. These results showed that linear programming was suitable for formulating the enriched vegetable paste to maximize the protein content. The conditions used in the spouted bed drying of conical geometry were adequate, because it did not lead to the bed collapse. The best conditions for drying in cone-cylindrical spouted bed of vegetable paste enriched with bovine plasma and whey were, respectively, the air temperatures of 100 °C and the solids concentration of 10% (w/w) for both, the final moisture content of the powder ranges from 4 to 10 % (m/m). The drying operation in spouted bed cone-cylindrical, for both enriched vegetable pastes, proved to be effective in the preservation of chemical compounds and morphological characteristics of the dried product. Spectral analysis showed the presence of alcohols, phenols, aldehydes and aromatic rings. The powder products showed compact and irregular structures, the paste enriched with bovine plasma having a diameter smaller than 100 µm particle and the paste enriched with whey obtained particles greater than 100 µm.

**Key words:** Dehydration, Functional properties, Protein content.



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Curva da taxa de secagem (N) em função da umidade da material (X) .....	36
<b>Figura 2</b> - Esquema do leito de jorro convencional e seus movimentos .....	38
<b>Figura 3</b> - Curva fluidodinâmica genérica – Perda de Carga vs Velocidade.....	39
<b>Figura 4</b> - Fluxograma do processo de obtenção da pasta de vegetais enriquecida. ....	49
<b>Figura 5</b> - Esquema do equipamento de secagem de leito de jorro .....	51
<b>Figura 6</b> – Espectros de FTIR dos extratos metanólicos das amostras de pastas de vegetais enriquecida com plasma bovino com concentração de 7,5% (m/m) de sólidos e temperatura do ar de entrada de: (a) 90°C, (b) 100°C, e (c) 110°C. ....	72
<b>Figura 7</b> – Espectros de FTIR dos extratos metanólicos das amostras de pastas de vegetais enriquecida com plasma bovino com concentração de 10% (m/m) de sólidos e temperatura do ar de entrada de: (a) 90°C, (b) 100°C, e (c) 110°C. ....	72
<b>Figura 8</b> – Microscopia eletrônica de varredura (×50) das amostras de pastas de vegetais enriquecida com plasma bovino com a concentração de sólidos de 7,5% (m/m) e temperatura do ar de entrada de: (a) 90°C, (b) 100°C, e (c) 110°C. ....	74
<b>Figura 9</b> – Microscopia eletrônica de varredura (×50) das amostras de pastas de vegetais enriquecida com plasma bovino com a concentração de sólidos de 10% (m/m) e temperatura do ar de entrada de: (a) 90°C, (b) 100°C, e (c) 110°C. ....	74
<b>Figura 10</b> – Microscopia eletrônica de varredura (×500) das amostras de pastas de vegetais enriquecida com plasma bovino com a concentração de sólidos de 7,5% (m/m) e temperatura do ar de entrada de: (a) 90°C, (b) 100°C, e (c) 110°C. ....	75
<b>Figura 11</b> – Microscopia eletrônica de varredura (×500) das amostras de pastas de vegetais enriquecida com plasma bovino com a concentração de sólidos de 10% (m/m) e temperatura do ar de entrada de: (a) 90°C, (b) 100°C, e (c) 110°C. ....	75
<b>Figura 12</b> – Espectros de FTIR dos extratos metanólicos das amostras de pastas de vegetais enriquecida com plasma bovino com concentração de 10% (m/m) de sólidos seca em: (a) leito de jorro a 100°C, (b) bandeja a 65°C e espessura de 3mm. ....	77
<b>Figura 13</b> – Microscopia eletrônica de varredura das amostras de pastas de vegetais enriquecida com plasma bovino com concentração de 10% (m/m) de sólidos seca em: (a) leito de jorro a 100°C (×1000), (b) bandeja a 65°C (×1000).....	78
<b>Figura 14</b> – Microscopia eletrônica de varredura das amostras de pastas de vegetais enriquecida com plasma bovino com concentração de 10% (m/m) de sólidos seca em: (a) leito de jorro a 100°C (×1000), (b) bandeja a 65°C (×1000).....	79

**Figura 15** – Espectros de FTIR dos extratos metanólicos das amostras de pastas de vegetais enriquecida com soro de leite: (a) 90°C/7,5%, (b) 90°C/10%, (c) 100°C/7,5%, (d) 100°C/10% e (e) *in natura*..... 84

**Figura 16** – Microscopia eletrônica de varredura das amostras de pastas de vegetais enriquecida com soro de leite (×50): (a) 90°C/7,5%, (b) 90°C/10%, (c) 100°C/7,5% e (d) 100°C/10%..... 85

**Figura 17** – Microscopia eletrônica de varredura das amostras de pastas de vegetais enriquecida com soro de leite (×250): (a) 90°C/7,5%, (b) 90°C/10%, (c) 100°C/7,5% e (d) 100°C/10%..... 86

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Restrições para formulação das pastas de vegetais enriquecida de plasma bovino e com soro de leite, maximizando o teor proteico.....	47
<b>Tabela 2</b> - Fatores e respectivos níveis de estudo dos experimentos de secagem em leite de jorro cônico da pasta de vegetais enriquecida de plasma bovino. ....	52
<b>Tabela 3</b> – Tratamentos experimentais realizados no leite de jorro cone-cilíndrico.....	53
<b>Tabela 4</b> – Fatores e respectivos níveis de estudo dos experimentos de secagem em leite de jorro cone-cilíndrico da pasta de vegetais enriquecida de soro de leite. ....	53
<b>Tabela 5</b> – Composição centesimal e valor calórico dos constituintes das pastas de vegetais enriquecida com plasma bovino e com soro de leite.....	58
<b>Tabela 6</b> – Quantidades otimizadas pela programação linear para formulação de pasta de vegetais enriquecida de plasma bovino. ....	59
<b>Tabela 7</b> – Quantidades otimizadas pela programação linear para formulação de pasta de vegetais enriquecida de soro de leite. ....	59
<b>Tabela 8</b> – Restrições otimizadas para cada nutriente da pastas de vegetais enriquecidas de plasma bovino ou de soro de leite. ....	60
<b>Tabela 9</b> – Composição centesimal das pastas de vegetais enriquecidas com plasma bovino e com soro de leite.....	61
<b>Tabela 10</b> – Solubilidade proteica, CRA e ISA dos produtos <i>in natura</i> e secos em leite de jorro cônico.....	62
<b>Tabela 11</b> – Medidas de luminosidade ( <i>L</i> ) e cromaticidades ( <i>a</i> , <i>b</i> ) das pastas de vegetais <i>in natura</i> e secas em leite de jorro cônico. ....	63
<b>Tabela 12</b> – Medidas do índice de saturação ( <i>C</i> ), ângulo Hue e diferença de cor, para as pastas de vegetais <i>in natura</i> e secas em leite de jorro cônico. ....	64
<b>Tabela 13</b> – Resultados dos tratamentos experimentais da secagem em leite de jorro cone-cilíndrico da pasta enriquecida com plasma bovino.....	66
<b>Tabela 14</b> – Temperaturas de entrada, saída, bulbo seco e bulbo úmido dos tratamentos experimentais da secagem em leite de jorro cone-cilíndrico da pasta enriquecida com plasma bovino. ....	66
<b>Tabela 15</b> – Comparação do melhor resultado do tratamento experimental da secagem em leite de jorro cone-cilíndrico com a secagem em bandeja da pasta enriquecida com plasma bovino. ....	76
<b>Tabela 16</b> - Fatores e respectivos níveis de estudo dos experimentos de secagem em leite de jorro cone-cilíndrico da pasta de vegetais enriquecida de soro de leite. ....	80
<b>Tabela 17</b> – Resultados dos tratamentos experimentais da secagem em leite de jorro cone-cilíndrico da pasta enriquecida com soro de leite.....	80
<b>Tabela 18</b> – Temperaturas de entrada, saída, bulbo seco e bulbo úmido dos tratamentos experimentais da secagem em leite de jorro cone-cilíndrico da pasta enriquecida com soro de leite. ....	81



## NOMENCLATURA

A - concentração proteica	(mg mL <sup>-1</sup> )
Abs <sub>amostra</sub> - absorbância da amostra	(nm)
Abs <sub>branco</sub> - absorbância do branco	(nm)
C <sub>1</sub> - o valor mínimo de carboidratos	(% m/m)
C <sub>2</sub> - o valor máximo de carboidratos	(% m/m)
C <sub>BS</sub> - somatório dos constituintes da pasta em base seca	(adimensional)
c <sub>i</sub> - quantidade de carboidratos de cada constituinte	(g 100g <sup>-1</sup> )
L <sub>1</sub> - valor mínimo de lipídios	(% m/m)
L <sub>2</sub> - valor máximo de lipídios	(% m/m)
l <sub>i</sub> - quantidade de lipídios de cada constituinte em	(g 100g <sup>-1</sup> )
m - quantidade máxima de cada constituinte	(g)
m - quantidade máxima de cada constituinte	(g)
ma - massa de amostra utilizada	(g)
mfi - quantidade de inerte após a secagem	(g)
mii - quantidade inicial de inerte antes da secagem	(g)
mrc - massa de precipitado	(g)
mre - massa de resíduo evaporado	(g)
P <sub>1</sub> - valor mínimo de proteínas	(% m/m)
P <sub>2</sub> - valor máximo de proteínas	(% m/m)
p <sub>i</sub> - quantidade de proteínas de cada constituinte	(g 100g <sup>-1</sup> )
PS - proteína solúvel	(% m/m)
P <sub>T</sub> - Proteína total	(% m/m)
S - concentração de proteína na amostra	(% m/m)
Uf - umidade final do pó aderido às partículas de inerte	(% m/m)
Vc <sub>1</sub> - valor mínimo de valor calórico	(kcal)
Vc <sub>2</sub> - valor máximo de valor calórico	(kcal)
vc <sub>i</sub> - valor calórico de cada constituinte	(kcal.100g <sup>-1</sup> )
W - massa de amostra	(mg)



## SUMÁRIO

<b>RESUMO.....</b>	<b>10</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>14</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>17</b>
<b>NOMENCLATURA .....</b>	<b>18</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>24</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>28</b>
<b>2.1 OBJETIVO GERAL .....</b>	<b>28</b>
<b>2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>	<b>28</b>
<b>3. REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>29</b>
<b>3.1 VEGETAIS E SUA IMPORTÂNCIA .....</b>	<b>29</b>
<b>3.1.1 Produção, consumo e geração de excedentes .....</b>	<b>29</b>
<b>3.2 PLASMA BOVINO E SUA IMPORTÂNCIA .....</b>	<b>30</b>
<b>3.3 SORO DE LEITE E SUA IMPORTÂNCIA.....</b>	<b>31</b>
<b>3.4 COMPOSIÇÃO QUÍMICA .....</b>	<b>32</b>
<b>3.4.1 Composição química dos vegetais .....</b>	<b>32</b>
<b>3.4.2 Composição química do plasma bovino .....</b>	<b>33</b>
<b>3.4.3 Composição química do soro de leite.....</b>	<b>33</b>
<b>3.5 PROPRIEDADES FUNCIONAIS E NUTRICIONAIS DAS PROTEÍNAS .....</b>	<b>33</b>
<b>3.6 COMPOSTOS ANTIOXIDANTES.....</b>	<b>34</b>
<b>3.7 SECAGEM.....</b>	<b>35</b>
<b>3.7.1 Definição e considerações gerais .....</b>	<b>35</b>
<b>3.7.2 Secagem em leite de jorro .....</b>	<b>37</b>
<b>3.7.3 Secagem de pastas em leite de jorro .....</b>	<b>40</b>
<b>3.8 PROGRAMAÇÃO LINEAR .....</b>	<b>44</b>

<b>4. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>46</b>
4.1 OBTENÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA .....	46
<b>4.1.2 Formulação da pasta de vegetais .....</b>	<b>46</b>
4.2 EXPERIMENTOS DE SECAGEM.....	49
4.3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL DE SECAGEM .....	52
4.4. METODOLOGIA ANALÍTICA .....	54
<b>4.4.1. Composição centesimal.....</b>	<b>54</b>
<b>4.4.2. Determinação da capacidade de retenção de água (cra) .....</b>	<b>55</b>
<b>4.4.3 Parâmetros de cor .....</b>	<b>55</b>
<b>4.4.4 Determinação da solubilidade proteica.....</b>	<b>56</b>
<b>4.4.5 Digestibilidade proteica <i>in vitro</i> .....</b>	<b>56</b>
<b>4.4.6 Compostos fenólicos totais e atividade antioxidante.....</b>	<b>57</b>
<b>4.4.7 Análises morfológicas .....</b>	<b>57</b>
<b>4.4.8 Análises químicas .....</b>	<b>57</b>
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>58</b>
5.1 FORMULAÇÃO DA PASTA DE VEGETAIS .....	58
5.2 ESTUDO DA VIABILIDADE DA SECAGEM NO LEITO DE JORRO CÔNICO .....	61
5.3 TRATAMENTOS EXPERIMENTAIS PARA A SECAGEM NO LEITO DE JORRO CONE-CILÍNDRICO DA PASTA ENRIQUECIDA COM PLASMA BOVINO.....	65
<b>5.3.1 Caracterizações química e morfológica do produto final.....</b>	<b>71</b>
5.4 TRATAMENTOS EXPERIMENTAIS PARA A SECAGEM NO LEITO DE JORRO CONE-CILÍNDRICO DA PASTA ENRIQUECIDA COM SORO DE LEITE .....	79
<b>5.4.1 Caracterizações química e morfológica do produto final.....</b>	<b>84</b>
<b>6. CONCLUSÃO .....</b>	<b>87</b>
<b>7. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>89</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>90</b>

**APÊNDICE A: TABELAS COM OS VALORES DE UMIDADE (%), ACÚMULO DE SÓLIDOS NO LEITO (%) E RENDIMENTO DE PRODUTO SECO, PARA AS SECAGENS EM LEITO DE JORRO CONE-CILÍNDRICO DA PASTA ENRIQUECIDA COM PLASMA BOVINO E PARA PASTA ENRIQUECIDA COM SORO DE LEITE..... 92**

**APÊNDICE B: PARÂMETROS DE COR UTILIZADOS PARA DETERMINAR O ÍNDICE DE SATURAÇÃO (C), A COLORAÇÃO (ÂNGULO HUE) E A VARIAÇÃO DE COR ENTRE AS AMOSTRAS E AMOSTRA *IN NATURA* (L,A,B)..... 94**

**APÊNDICE C: TABELA REFERENTE AOS DADOS DE TEMPERATURAS E UMIDADE DO AR NOS EXPERIMENTOS REALIZADOS EM LEITO DE JORRO CONE-CILÍNDRICO. .... 96**

**APÊNDICE D: IMAGENS DAS PASTAS DE VEGETAIS ENRIQUECIDA COM PLASMA BOVINO E SORO DE LEITE *IN NATURA* E SECA NA MELHOR CONDIÇÃO..... 116**

**APÊNDICE E: TRABALHOS REALIZADOS NO PERÍODO DO MESTRADO VINCULADOS A DISSERTAÇÃO E TRABALHOS REALIZADOS NO PERÍODO DO MESTRADO LIGADO AO TEMA DA DISSERTAÇÃO. .... 117**



## 1. INTRODUÇÃO

A economia brasileira tem como base o agronegócio, sendo o setor agrícola um dos responsáveis pela distribuição de emprego e renda, além disso, esse segmento disponibiliza alimentos de alta qualidade e essenciais, que contribuem para o bem estar e saúde da população (PEROBELLI, 2007). A agricultura brasileira tem apresentado sucessivos recordes de safras gerando um impacto positivo na economia, no entanto, os índices de perdas são na ordem de 40% (m/m), sendo que na sua maioria ocorre nas etapas de pós-colheita e processamento (FAO, 2011; SANTOS; VIEIRA, 2011).

Estima-se que cerca de um terço dos produtos hortícolas produzidos pelas propriedades rurais, não são consumidos pela população mundial. Tais perdas são refletidas na quantidade de produto ofertado e no preço final (KADER; ROLLE, 2004). Assim, alternativas de aproveitamento de excedentes de produção são fatores de estudo, pois os vegetais tornaram-se alvo de diversas pesquisas devido a seu elevado conteúdo de compostos antioxidantes, e sua importância na prevenção de doenças como câncer, cardiovasculares, declínio do sistema imune e disfunções cerebrais (ATOUI et al., 2005). Dentre os antioxidantes, os flavonoides e os ácidos fenólicos se destacam por serem encontrados em fontes naturais como alho, tomate, cebola, repolho, couve-flor, entre outros (SGARBIERI, 2002).

A maioria dos vegetais é pobre em proteínas ou proporcionam baixa digestibilidade, o enriquecimento com proteínas é uma forma de elevar o índice proteico de legumes e verduras. Uma das maneiras de promover o enriquecimento é empregando produtos de alta carga proteica em formulações alimentícias. A fim de incentivar o aproveitamento de subprodutos agropecuários é possível enriquecer proteicamente uma formulação empregando sangue bovino (ROCHA et al., 2014) ou uma de suas frações.

O fracionamento do sangue é vantajoso, pois evita que o produto final apresente características ligadas ao sangue inteiro como gosto acentuado de ferro e coloração vermelha tendendo ao marrom. O plasma bovino é umas das frações que pode se extraída do sangue, ele é rico em proteínas solúveis, sendo a albumina a proteína mais abundante no plasma. Segundo Ornellas (2000), o plasma bovino tem ampla utilização como fonte proteica em produtos alimentícios, devido a suas propriedades funcionais de solubilidade e capacidade de emulsificação, sem alterar as características do produto final.

Outro segmento da agroindústria responsável pela produção de um subproduto de elevado valor nutricional é o setor dos laticínios, que gera uma grande quantidade de soro de leite a qual representa 85-90% do volume de leite utilizado na fabricação de queijos, contendo aproximadamente 55% dos nutrientes do leite (ALMEIDA, 2001; BRASIL, 2005<sup>a</sup>). Acredita-se que 50% de todo o soro líquido produzido não é aproveitado, gerando um grande volume de efluente (LIRA et al., 2009). Portanto, em virtude do alto potencial contaminante do soro de leite, a legislação ambiental exige das indústrias de laticínios um plano de tratamento ou reaproveitamento do soro (BEM-HASSAN; GHALY, 1994). Por isso, o emprego deste soro em formulações alimentícias torna-se viável, pois seria uma forma de evitar contaminação ambiental por um efluente de pH ácido.

Diante disso, torna-se importante o estudo do aproveitamento de excedentes com alto valor agregado. E ainda, a ONU (2013) afirma que a dieta das populações de países em desenvolvimento e subdesenvolvidos tem elevado teor calórico, mas deficientes em proteína, podendo causar desnutrição.

A programação linear tem sido utilizada em formulações de alimentos, através de modelos matemáticos, maximizando lucros ou minimizando custos de produção. Podendo ser estabelecida uma mistura ótima de diversas variáveis, segundo uma função linear de efetividade, satisfazendo um conjunto de restrições lineares para estas variáveis (PRADO, 2010). Estudos relatam que essa ferramenta matemática viabiliza a obtenção de formulações de pasta de vegetais maximizando calorias (LARROSA; MUSZINSKI; PINTO, 2011), atividade antioxidante (LARROSA, 2015) e teor proteico (ROCHA et al., 2014).

Os produtos agrícolas são altamente perecíveis após a colheita do produto, sendo a secagem um dos métodos mais utilizados para minimizar as perdas pós-colheita. Diferentes estudos têm sido conduzidos para avaliar o desempenho de um secador para a secagem de produtos agrícolas (DELELE; WEIGLER; MELLMANN, 2015; KROKIDA; MARINUS-KOURIS, 2003). A secagem de alimentos geralmente é utilizada a fim reduzir o teor de umidade, aumentando o tempo de conservação (MUJUMDAR; HUANG, 2007). A secagem de materiais termossensíveis em leito de jorro tem sido estudada com foco na fluidodinâmica do leito e nos parâmetros operacionais, relacionando-os aos parâmetros de eficiência e qualidade do processo e do produto (BENALI; AMAZOUZ, 2006). Essa técnica que tem sido empregada na secagem de pastas e suspensões, possibilitando obter um produto de qualidade similar ao *spray dryer* (BEZERRA et al., 2013). A rápida desidratação obtida neste tipo de

secador é capaz de conservar as características naturais dos alimentos (SHUHAMA et al., 2003).

Tendo em vista que a técnica da programação linear viabiliza a obtenção de uma formulação ótima de um determinado produto, e que os excedentes vegetais e os subprodutos advindos do setor agropecuário possam ser reaproveitados na obtenção de novos produtos alimentícios desidratados; então, a elaboração de pastas de vegetais enriquecidas com plasma bovino e com soro de leite apresenta-se como uma alternativa de aproveitamento dos excedentes agropecuários, aumentando desta forma a disponibilidade interna de alimentos.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Utilizar a programação linear para formular duas pastas de vegetais enriquecidas com plasma bovino e com soro de leite visando à maximização do valor proteico, e avaliar a secagem das pastas em leito de jorro cone-cilíndrico em relação as características do produto final desidratado.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obter produtos base para formulações de pastas, maximizando seu valor proteico através da técnica de programação linear, utilizando fontes distintas de proteína de origem animal (plasma bovino e soro de leite);
- Analisar a viabilidade da secagem das pastas de vegetais enriquecidas com plasma bovino no leito de jorro cônico.
- Estudar as influências das variáveis temperatura do ar de entrada e concentração de sólidos da pasta na secagem em leito de jorro cone-cilíndrico, através de comparação de tratamentos experimentais para as pastas enriquecidas com plasma bovino e com soro de leite.
- Comparar a melhor condição de secagem da pasta enriquecida com plasma bovino seca em leito de jorro com a secagem em bandeja.
- Avaliar a pasta *in natura* e os produtos desidratados quanto a composição centesimal, as propriedades funcionais e nutricionais das proteínas, compostos fenólicos, atividade antioxidante, parâmetros de cor. Também, realizar as análises de espectroscopia no infravermelho (FTIR) e microscopia eletrônica de varredura (MEV).

### 3. REVISÃO DA LITERATURA

#### 3.1 VEGETAIS E SUA IMPORTÂNCIA

A definição botânica das hortaliças é bastante complexa, devido a existência de um elevado número de órgãos ou estados reprodutivos que podem ser utilizados na alimentação. Em geral, hortaliças são partes de plantas não pertencentes ao grupo das frutas e cereais que são consumidas cruas, frescas ou processadas (CHITARRA; CHITARRA, 2005). A Resolução RDC nº 272 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) define: “hortaliça é a planta herbácea da qual uma ou mais partes são utilizadas como alimento na sua forma natural”. Assim, hortaliças são partes comestíveis de plantas, como raízes, tubérculos, rizomas, caules, flores, frutos e sementes (BRASIL, 2005b).

Vegetais, em sua maioria, são considerados alimentos funcionais, pois contêm substâncias que estimulam respostas metabólicas no organismo, capazes de prevenir o aparecimento precoce de doenças degenerativas (PACHECO; SGARBIERI, 2001). Uma dieta rica em produtos vegetais é fortemente recomendada por organizações, como *Food and Agriculture Organization* (FAO) e Organização Mundial da Saúde (OMS), devido à presença de fibras dietéticas e compostos antioxidantes como vitamina C, carotenoides e compostos fenólicos (DEL CARO et al., 2004; WILLCOX; CATIGNANI; LAZARUS, 2003).

##### 3.1.1 Produção, consumo e geração de excedentes

A produção de vegetais no Brasil vem aumentando, em 2011 a safra de hortaliças teve uma produção de 19,23 milhões de toneladas, enquanto que em 2007 esse valor foi 6,4% menor (IBGE, 2011). A maior parcela da produção de hortaliças concentra-se nas regiões Sul e Sudeste, destacando tomate, batata, cebola, cenoura e melancia (MELO, 2010).

O consumo *per capita* de hortaliças no Brasil é de 132 g/dia, sendo que a Organização Mundial da Saúde (OMS) recomenda um consumo diário de 400 g/pessoa (MELO, 2010). O déficit no consumo está associado aos hábitos socioculturais da população que são fatores determinantes do baixo consumo de vegetais. Além disso, o crescimento nos níveis de consumo está associado à elevação da renda da população, fazendo com que seja maior a procura por alimentos processados ricos em carboidratos (VILELA; HENZ, 2000).

No mercado de vegetais são comercializados, além dos produtos *in natura*, produtos processados como conservas, congelados, desidratados e minimamente processados. Tratando-se de vegetais desidratados, esses correspondem a 1.300 toneladas anuais destinadas à elaboração de sopas e molhos, mostrando a importância da conservação da matéria-prima para posterior fabricação de produtos processados (VILELA; HENZ, 2000).

### 3.2 PLASMA BOVINO E SUA IMPORTÂNCIA

O setor pecuário brasileiro também representa um segmento de grande produção onde, segundo dados do IBGE (2012), o Brasil tem o maior rebanho comercial do mundo com mais de 209 milhões de bovinos. Segundo a ANUALPEC em 2005, foram gerados 655 milhões de litros de sangue nos abatedouros, que por sua vez é um subproduto de alto custo de tratamento de efluentes e de alto poder contaminante (DQO de  $500.000 \text{ mL L}^{-1}$ ), tornando-se um dos principais agentes poluidores obtidos no abate. Estima-se que durante a sangria de um animal adulto, são gerados aproximadamente 75 kg de sangue (PRATA; SGARBIERI, 2005), sendo que este efluente líquido é destinado ao enriquecimento de ração animal ou muitas vezes lançado em mananciais hídricos constituindo-se uma fonte poluidora (MOURE; RENDUELES; DÍAZ, 1998).

O sangue proveniente do abate de animais constitui um rejeito de elevado valor nutricional, em virtude de suas proteínas, ricas em aminoácidos essenciais e de alta digestibilidade, suas vitaminas e seus sais minerais, como o ferro essencial para saúde humana (PARDI et al., 1994). Apesar das excelentes propriedades nutricionais e funcionais do sangue inteiro, existem limitações quanto a sua utilização em formulações alimentícias no Brasil, pois há uma preocupação com as características do sangue que causariam uma rejeição dos produtos pelos consumidores (GOULART, 2000). Diante disso, o fracionamento do sangue para a utilização apenas do plasma sanguíneo é uma alternativa para o enriquecimento proteico de novas formulações de produtos já comercializados ou novos.

O fracionamento centrífugo do sangue produz plasma e um concentrado de células vermelhas. Frequentemente, o plasma é adicionado a produtos cárneos, por apresentar a capacidade de formação de gel, principalmente após aquecimento. A fração celular, devido à sua intensa pigmentação vermelha, que escurece com o aquecimento e torna a aparência do produto final indesejável, geralmente é processada como farinha de sangue. Por outro lado, a

utilização do plasma em alimentos, não apresenta este inconveniente. Por esta razão, torna-se importante estudar as propriedades funcionais desta fração sanguínea (ORNELLAS; JUNQUEIRA; SILVESTRE, 2003).

As propriedades funcionais das proteínas do plasma são muito semelhantes as da clara de ovo, e suas aplicações são similares. O plasma bovino possui alta capacidade de se ligar com a água. Quando aquecido é capaz de formar gel e quando ferve por 15 a 20 minutos se solidifica. As proteínas do plasma, em particular a albumina e a globulina, são bons agentes emulsificantes, podendo ser utilizadas na emulsificação de gorduras (OCKERMAN; HANSEN, 1994), e devido a sua capacidade de emulsificar gorduras o plasma está sendo empregado em formulações de patês de presunto como substituto de gordura, oferecendo vantagens substanciais em produtos com teores reduzidos de gordura, pois contribuem para melhorar o valor nutricional e a textura (VIANA et al., 2003).

A utilização de plasma em embutidos cárneos reduz a retração e aumenta o rendimento, ou seja, a textura dos produtos melhora devido à formação de géis. O emprego de plasma em panificações também é possível, por causa de sua capacidade espumante, motivo pelo qual o plasma seco por pulverização pode substituir a clara do ovo (OCKERMAN; HANSEN, 1994). Além das formas convencionais de utilização, o plasma bovino também foram feitos estudos empregando-o em formulações de sopas desidratadas (TEIXEIRA et al., 1996), biscoitos (SILVA; MELLADO, 1996), pó para pudim (SALCEDO et al., 1998), massas alimentícias (SILVEIRA et al., 1999), pó para sorvete (LOPES et al., 2008) e patê de presunto (VIANA et al., 2003), devido a suas propriedades tecnológicas.

### 3.3 SORO DE LEITE E SUA IMPORTÂNCIA

O agronegócio leiteiro é de grande relevância socioeconômica para os países produtores, pois gera emprego e renda, e garante a segurança alimentar de uma parcela da população (FAO, 2006), sendo que o Brasil é o maior produtor de leite dos países do Mercosul (CONAB, 2013). Segundo o Conselho Nacional de Abastecimento (2013), a safra 2013/2014 produziu mais de 34,8 milhões de toneladas de leite e a produção de queijos chegou a mais de 860 mil toneladas, tal produção gerou mais 7,7 milhões de toneladas de soro de leite, pois para cada 1 kg de queijo produzido são gerados em média 9 kg de soro. Por muito tempo, este soro vem sendo utilizado na alimentação animal ou descartado em corpos

d'água, provocando a destruição da natureza devido a sua alta demanda bioquímica de oxigênio (DBO), cerca de 30000 a 50000 mg L<sup>-1</sup> (GIROTO; PAWLOWSKI, 2001; MACHADO; SILVA; FREIRE, 2001).

Assim, uma vez que o tratamento de efluentes é dispendioso e o soro do leite é rico em diversos nutrientes, ele pode ter sua utilização direta ou seus componentes aplicados em formulações de alimentos, como bebidas lácteas, leites fermentados, sucos, ricota, bebidas nutricionais fortificadas, entre outros (LIRA et al., 2009). Portanto, alternativas tecnológicas para o seu adequado aproveitamento são fundamentais.

As proteínas do soro do leite apresentam uma estrutura globular contendo algumas pontes de dissulfeto, que conferem estabilidade estrutural. As frações do soro são constituídas de: beta-lactoglobulina (BLG), alfa-lactoalbumina (ALA), albumina do soro bovino (BSA), imunoglobulinas (Ig's) e glicomacropéptídeos (GMP). Essas frações variam em tamanho, massa e função, fornecendo às proteínas características especiais. Evidências afirmam que as proteínas do soro possuem peptídeos bioativos que atuam como agentes antimicrobianos, anti-hipertensivos e até mesmo reguladores da função imune (HARAGUCHI; ABREU; DE PAULA, 2006).

### 3.4 COMPOSIÇÃO QUÍMICA

#### 3.4.1 Composição química dos vegetais

As hortaliças têm uma composição química que varia significativamente de acordo com sua procedência. A matéria seca oscila em média de 10 a 20% (m/m), 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).

Os nutrientes mais importantes nas hortaliças são as vitaminas destacando a vitamina A (carotenoides), vitamina E (tocoferóis), vitamina K, vitaminas do complexo B e vitamina C. Esses micronutrientes em maiores quantidades são encontrados na cenoura, tomate, batata, e em vegetais folhosos verdes escuros como espinafre e couve (ORNELLAS, 2006).

### 3.4.2 Composição química do plasma bovino

O plasma é a fração líquida do sangue bovino e corresponde a 67% (m/m) de sua composição, essa fração apresenta aproximadamente 91,3% (m/m) de água, 7,7% (m/m) de proteína, 0,33% (m/m) de lipídios e 0,67% (m/m) de minerais. A proteína mais abundante no plasma bovino é a albumina (HALLIDAY, 1975).

Com relação aos aminoácidos essenciais estão presentes em 100 g de proteína proveniente do plasma bovino cerca de 3,4 g de isoleucina, 10,1 g de leucina, 8,3 g de lisina, 1,3 g de metionina, 5,7 g de fenilalanina, 7,1 g de treonina, 1,7 g de triptofano, 7,4 g de valina e 3,5 g de histidina (OCKERMAN; HANSEN, 1994).

### 3.4.3 Composição química do soro de leite

O soro é um subproduto do leite, e pode ser obtido por três processos principais: coagulação enzimática (quimosina), resultando em coágulo de caseína, matéria-prima para produção de queijos (soro doce); precipitação do ponto isoeletrico, resultando na caseína isoeletrica, que é transformada em caseinatos e no soro ácido; separação física das micelas de caseína por microfiltração, obtendo-se um concentrado de micelas e as proteínas do soro, na forma de concentrado ou isolado proteico (SGARBIERI, 2004).

As proteínas do soro de leite incluem a  $\beta$ -lactoglobulina (BLG), a  $\alpha$ -lactoalbumina (ALA), as imunoglobulinas (Ig), a albumina de soro bovino (BSA) e a lactoferrina, lactoperoxidase e polipeptídeos de baixa massa molar, derivados da proteólise de algumas caseínas. A BLG e ALA são as principais proteínas do soro e juntas representam 80 % (m/m) das proteínas, sendo 55 % (m/m) de BLG e 25 % (m/m) de ALA (BORGES, 2000).

## 3.5 PROPRIEDADES FUNCIONAIS E NUTRICIONAIS DAS PROTEÍNAS

O termo funcionalidade é aplicado para referir-se às propriedades não nutritivas, mas que conferem aos alimentos maior conveniência de manuseio, melhor aparência na apresentação e maior aceitação dos consumidores (SGARBIERI, 1998).

A solubilidade das proteínas é determinada por três fatores principais: grau de hidratação, densidade e distribuição de cargas ao longo da cadeia e presença de substâncias

não proteicas como fosfatos, carboidratos e lipídios, que podem ter efeito estabilizante. Para uma proteína solubilizar-se, deve interagir com o solvente por ligações de hidrogênio, dipolo-dipolo e interações iônicas. A solubilidade é função principalmente do pH, força iônica, tipo de solvente e temperatura. Em relação à temperatura, o aquecimento provoca inicialmente uma desnaturação seguida de uma degradação, o que implica na baixa capacidade dos grupos polares fixarem água (DEMETRIADES; McCLEMENTS, 2000).

A capacidade de retenção de água de uma proteína, ou alimento proteico, é definida na literatura, dentre muitos termos, como a capacidade de ligar água, de reter água ou de absorver água. Esta atração hidrofílica é medida em função do grau de hidratação (massa de água por grama de proteína) e da capacidade do produto captar água espontaneamente (esponjamento) (SGARBIERI, 1996).

Segundo Blanco e Bressani (1991), a qualidade da proteína refere-se à sua capacidade de satisfazer os requerimentos nutricionais do homem por aminoácidos essenciais e nitrogênio não essencial, para síntese proteica. É necessário que os aminoácidos, particularmente os essenciais, estejam biodisponíveis, isto é, sejam absorvidos em sua forma metabolicamente ativa, para desempenhar suas funções específicas nos vários tecidos e órgãos (SGARBIERI, 1996).

A digestibilidade proteica é um parâmetro nutricional muito importante porque avalia o aproveitamento de uma fonte proteica, fornecendo uma mensuração da susceptibilidade da proteína à proteólise e pode ser influenciada pelo tratamento térmico, presença de polifenóis, inibidores de tripsina e lecitinas, entre outros (SGARBIERI, 1987). Os alimentos de origem animal têm maior digestibilidade que os de origem vegetal, pelo fato de que os alimentos de origem animal não contêm fibra alimentar e fatores antinutricionais, fazendo com que a velocidade de trânsito intestinal seja mais lenta e, em consequência, obtenha-se maior absorção dos nutrientes (HERNÁNDEZ; LA VEJA; SOTELO, 1984).

### 3.6 COMPOSTOS ANTIOXIDANTES

Os antioxidantes são definidos como substâncias que agem retardando ou prevenindo a oxidação do substrato nos processos oxidativos, impedindo a formação de radicais livres (HALLIWELL et al., 1995). Radicais livres juntamente com outros oxidantes são evidenciados como responsáveis pelo envelhecimento precoce e pelo aparecimento de

doenças degenerativas associadas ao envelhecimento celular, como câncer, doenças cardiovasculares, catarata, declínio do sistema imune e disfunções cerebrais (ATOUI et al., 2005). A reação dos radicais livres é controlada, nos seres vivos, por compostos antioxidantes, que podem ser de origem endógena ou provenientes da dieta alimentar, como os tocoferóis (vitamina E), ácido ascórbico (vitamina C), carotenoides, selênio e polifenóis (VALKO et al., 2004).

Dentre os antioxidantes presentes nos vegetais, os mais ativos e frequentemente encontrados são os compostos fenólicos. As propriedades benéficas desses compostos têm recebido muita atenção nos últimos anos, sobretudo por inibirem a peroxidação lipídica e a lipo-oxigenase *in vitro* (SOARES, 2002). Os flavonoides e os ácidos fenólicos são os que mais se destacam e são comumente encontrados em fontes naturais (KARAKAYA, 2004).

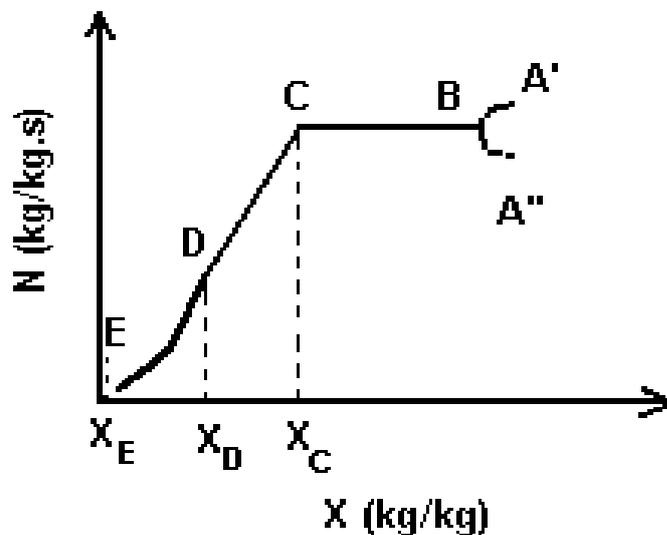
### 3.7 SECAGEM

#### 3.7.1 Definição e considerações gerais

A secagem é definida como a operação unitária que promove a remoção do líquido do material por evaporação. Na operação, o material úmido está em contato com o ar insaturado resultando na redução do conteúdo de umidade do material e na umidificação do ar de secagem. Dois processos simultâneos ocorrem durante a secagem, a transferência de calor do meio circundante para o material a ser seco, resultando na evaporação do líquido contido no material, e a transferência de massa na forma de líquido ou vapor do interior do material para a superfície do mesmo, e desta para a corrente do fluído de secagem (AKPINAR; MIDILLI; BICER, 2003; STRUMILLO; KUDRA, 1986).

As transferências de calor e massa para o material podem ser por condução, convecção e radiação. Essas transferências são de natureza externa (meio de secagem) e interna (características físicas constitutivas do material). A operação de secagem é dividida em um período de taxa constante e um ou dois períodos de taxa decrescente (CHIRIFE, 1983; FORTES; OKOS, 1980; STRUMILLO; KUDRA, 1986). 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: Strumillo e Kudra (1986).

No instante após a amostra entrar em contato com o meio secante, a temperatura do sólido ajusta-se até atingir regime permanente. Na Figura 1, o teor de umidade livre inicial no tempo zero é mostrado no ponto  $A'$ , no início o sólido, normalmente, está em uma temperatura abaixo da temperatura de equilíbrio que geralmente é igual à temperatura de bulbo úmido do ar de secagem, 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).

No período de taxa constante de migração de umidade, representado na Figura 1 pelo segmento  $BC$ , a superfície do sólido geralmente apresenta-se encoberta por uma película de umidade e a água evapora do material à temperatura de bulbo úmido do ar. O calor para a transferência de massa do material é transferido para a superfície do sólido por convecção, ou seja, todo o calor cedido pelo ar de secagem é usado na evaporação da umidade livre, assim, a temperatura do sólido e a taxa de secagem são constantes (FORTES; OKOS, 1980).

Segundo Chirife (1983), esse período só tem importância, na secagem de alimentos, quando o teor de umidade inicial do sólido é muito alto ou quando o potencial de secagem do ar é muito baixo. 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. O valor da umidade deste estado é denominado de umidade crítica, no ponto C da Figura 1 (FORTES; OKOS, 1980; PERRY; GREEN, 1986).

O período de secagem com taxa decrescente está representado na Figura 1 pelo trecho CE, este período se caracteriza por apresentar ou não duas fases bem diferenciadas em um determinado tempo, evidenciadas 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).

O trecho C-D representa a zona de superfície de secagem não saturada, a superfície do material apresenta áreas secas que se ampliam à medida que a secagem prossegue. A evaporação continua 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 calor do 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).

No segundo movimento interno de umidade de período de taxa decrescente, representado pelo segmento DE da Figura 1, a superfície encontra-se seca e o fluxo interno irá controlar a taxa secagem. Os mecanismos que influenciam diretamente na remoção de água nesta fase são a difusão interna de água líquida e o efeito capilar. Desta forma, o mecanismo de difusão é considerado como principal responsável na secagem de materiais fibrosos, amorfos ou géis, enquanto que o efeito capilar é mecanismo controlador da secagem de materiais granulares e cristalinos (TOBINAGA; PINTO 1992). No ponto E da Figura 1 é alcançada a umidade de equilíbrio entre o conteúdo de umidade do material e a umidade relativa do ar de secagem, caracterizando o fim da operação (CHIRIFE, 1983).

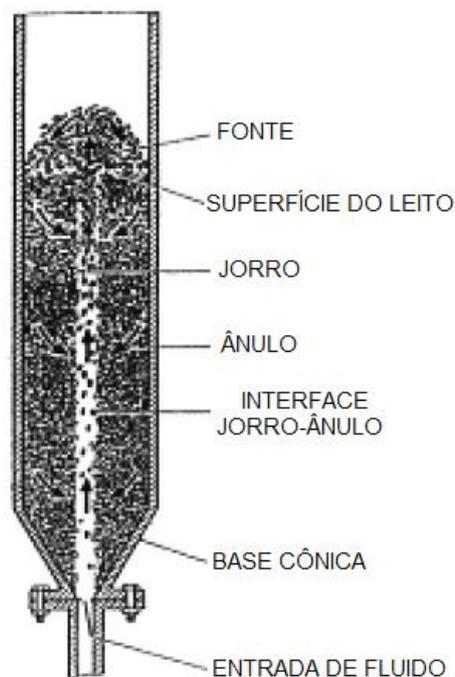
### **3.7.2 Secagem em leito de jorro**

O sistema de leito de jorro foi desenvolvido no Canadá por Mathur e Gishler em 1954, quando testavam um leito fluidizado de maior capacidade para a secagem de trigo (FREIRE, 1992). As primeiras unidades comerciais de secadores de leito de jorro foram instaladas em 1962 para partículas granulares como ervilhas, lentilhas e linho (EPSTEIN; GRACE, 2011). Posteriormente ampliada a outros processos, tais como: craqueamento de

óleos crus, mistura de sólidos, lavagem de gás, secagem de diversos sólidos sensíveis ou não ao calor, combustão e gaseificação de carvão e resíduos, granulação, recobrimento e secagem de líquidos e pastas (MARKOWSKI; KAMINSKI, 1983).

O leito de jorro convencional é composto basicamente de uma coluna cilíndrica de base tronco-cônica, onde uma corrente de fluido, usualmente o ar, é injetado por um orifício de entrada, localizado na sua extremidade inferior. O leito é formado pela passagem da corrente de ar através das partículas sólidas, cuja circulação começa quando a vazão do ar é suficiente para provocar o movimento ascendente das partículas a níveis acima do leito. Forma-se, então, uma região central de alta porosidade, denominada jorro, onde as partículas são arrastadas pneumáticamente, formando no topo uma fonte de sólidos que se espalham radialmente e descem pelo espaço anular (ânulo) que envolve o jorro, em contracorrente com o fluido. Esta região anular é caracterizada pela baixa porosidade e pelo movimento descendente dos sólidos, cujo comportamento assemelha-se ao de um leito deslizante (EPSTEIN; GRACE, 2011). A Figura 2 apresenta o esquema do leito de jorro convencional e suas zonas.

**Figura 2** - Esquema do leito de jorro convencional e seus movimentos



Fonte: Epstein e Grace (2011).

O leito de jorro apresenta uma complexidade fluidodinâmica muito ampla e de difícil análise (DE ALMEIDA, 2009). Segundo Freire (1992), os principais parâmetros

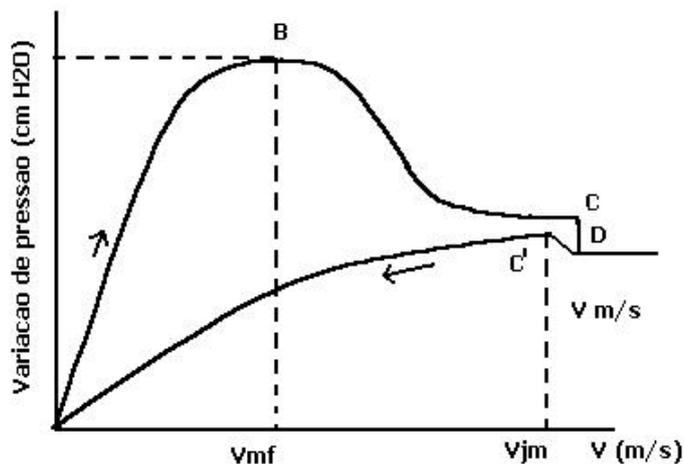
fluidodinâmicos ligados ao projeto deste secador são: perda de carga em função da vazão de ar, perda de carga máxima, perda de carga no jorro estável, velocidade de jorro mínimo e altura máxima de jorro estável. É conveniente também ter uma ideia do perfil de velocidade do gás no leito, do movimento das partículas e de sua circulação.

A secagem de pastas e líquidos em leito de jorro com inertes apresenta vantagens e limitações. Como vantagens, pode-se citar: movimento cíclico das partículas, resultando em intensa mistura dos inertes; íntimo contato gás-sólido, resultando em alta taxa de transferência de massa e calor; operações contínuas, semicontínuas e batelada; equipamento de baixo custo e facilmente operável; secagem de material termicamente sensível. Como desvantagens, pode-se citar: a difícil ampliação de escala; capacidade máxima de secagem limitada; vazão de alimentação limitada (EPSTEIN; GRACE, 2011; MATHUR; EPSTEIN, 1974).

Em relação ao processo, a instabilidade dinâmica, a aglomeração de partículas e a deposição de pó na coluna são os maiores problemas encontrados no emprego de leitos móveis. Portanto, com o intuito de amenizar tais problemas, verifica-se a necessidade de se obter as melhores condições operacionais para cada material empregado.

Devido as limitações de aumento de escala do leito de jorro convencional, tais como, dificuldades em manter a estabilidade fluidodinâmica e prever o desempenho do processo, Anderson et al. (1984), Passos et al. (1993) e Dogan et al. (2000) sugeriram a utilização do leito de jorro de seção transversal retangular como uma alternativa, eliminando-se, assim, os problemas de ampliação de escala.

**Figura 3** - Curva fluidodinâmica genérica – Perda de Carga vs Velocidade.



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.

Quando se trabalha com pequenas vazões de ar, o ar apenas tende a circular sem causar perturbação nas partículas de inertes permanecendo um leito fixo. Conforme vai ocorrendo um aumento na vazão, as partículas mais próximas ao orifício de entrada do ar tendem a se deslocarem, 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 um 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 (FREIRE, 1992).

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 obter-se o jorro estável (MEDEIROS, 2001).

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

A secagem de soluções ou suspensões denominadas genericamente de pastas, em leito de jorro ocorre na presença de partículas inertes que agem tanto como um suporte para as pastas como uma fonte de calor para a secagem. Na operação de secagem, a pasta empregada pode ser atomizada através de um bico atomizador ou gotejada sobre o leito móvel de partículas. Geralmente, a pasta é introduzida em uma posição onde seja possível manter um regime fluidodinâmico estável durante o processo, em determinadas condições operacionais (FREIRE, J.; FERREIRA; FREIRE, F., 2011).

Ao tempo que o leito umedece, as partículas de inertes vão revestindo-se de pasta, formando uma película. As fontes de calor são as partículas que trocam calor por condução com a película de material e o ar quente troca calor por convecção com as partículas. A película de revestimento seca gradualmente e se torna frágil e friável, a umidade é reduzida até um nível crítico, que lhe permite ser removida na forma de pó, em virtude das colisões sucessivas das partículas (FREIRE, J.; FERREIRA; FREIRE, F., 2011).

O pó é elutriado e recolhido por um ciclone. Conforme a pasta é alimentada de forma contínua, as fases de jorro, formação da camada, secagem, fratura do filme e elutriação pó, ocorrem simultaneamente. O tempo necessário para um ciclo completo depende das características reológicas da pasta, das características de aderência, taxas de desgaste e de outros fatores. As taxas de remoção de secagem devem ser suficientemente elevadas para evitar a aderência no leito (FREIRE, J.; FERREIRA; FREIRE, F., 2011).

A secagem da película que recobre as partículas de inertes ocorre principalmente na taxa constante, portanto, a evaporação é a etapa limitante da operação, uma vez que a pasta que está sendo seca possui elevado teor de umidade (FREIRE, J.; FERREIRA; FREIRE, F., 2009). Segundo Passos e Mujumdar (2000), as principais variáveis que afetam a taxa de secagem são a temperatura do ar de entrada e a vazão de entrada do ar, ambas, comandam a transferência de calor e a taxa de circulação dos sólidos. A vazão de alimentação da pasta e a massa de inertes controlam os mecanismos de remoção do filme e afetam diretamente a estabilidade dinâmica do leito.

Diversos estudos analisaram o processo de secagem de pastas em leito de jorro com foco na fluidodinâmica do leito e nos parâmetros operacionais, relacionando-os aos parâmetros de eficiência e qualidade de processo e de produto. Tais estudos de secagem estão sendo realizados com diferentes materiais. Dentre os trabalhos nesse tema, pode-se citar:

Pham (1983) estudou as mudanças no comportamento dinâmico do leito de jorro durante o processo de secagem de sangue bovino em leito de jorro cônico, visualizou a formação de zonas mortas às quais não existem em leitos secos. Constatou a existência de uma vazão de alimentação máxima, acima da qual ocorria instabilidade no leito após um curto período de processo, para cada conjunto de parâmetros operacionais estudados. Como produto final, obtiveram-se pós com valores de umidade final inferiores a 6% (m/m) em base seca e com qualidade comparável ao processo *spray dryer*.

Ré e Freire (1989) analisaram a secagem de sangue animal e de várias pastas de origem vegetal, como extratos de alcachofra, guaraná, arnica do Brasil, termicamente sensíveis em leito de jorro cone-cilíndrico. Com o objetivo de maximizar o rendimento da produção de pó de sangue animal e minimizar a degradação térmica, foram avaliados os parâmetros operacionais: temperatura, agente de secagem, vazão do ar, massa de inertes e vazão de alimentação. A partir da análise dos resultados, foi possível determinar as condições ótimas do processo para a máxima produção de pó de sangue animal sem perdas na qualidade do produto. Em relação aos extratos vegetais, a técnica de secagem foi viável, resultando em pós com características organolépticas preservadas e com umidade apropriada no uso farmacêutico.

Ochoa-Martinez et al. (1993) estudaram a secagem de leite desnatado e leite integral não homogeneizado em leito de jorro. Eles observaram que durante a secagem o leite desnatado se manteve aderido à superfície das partículas não ocorrendo o desprendimento do pó. Entretanto, para o leite não homogeneizado integral o processo de secagem foi bem sucedido com fácil liberação do pó. Experimentos utilizando soluções de caseína e lactose, em diferentes concentrações, demonstraram que somente quando as soluções de caseína e lactose foram individualmente submetidas à operação de secagem, ocorreu o desprendimento do pó, contudo, mais facilmente para a caseína. Análises por microscopia eletrônica de varredura sugeriram que, a gordura presente no leite integral foi o fator determinante para liberação da estrutura do material aderido à superfície dos inertes. As propriedades funcionais do leite integral em pó obtido em leito de jorro se compararam às do leite integral em pó obtido via *spray dryer*.

Ramos et al. (1997) estudaram a secagem de diferentes polpas de frutas em leito de jorro em função da eficiência da produção de pó e qualidade do produto. Os ensaios de secagem foram conduzidos a uma vazão de ar de  $0,0245 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  e temperatura do ar de entrada de  $60 \text{ }^\circ\text{C}$ . A eficiência de produção de pó variou em uma faixa de 8,1 a 71,9 % e a umidade do pó de 4,5 a 5,7% (m/m, b.u). Os autores concluíram que embora todos os ensaios de secagem tenham sido realizados sob as mesmas condições operacionais, a variação da eficiência indicou a grande influência da composição química das polpas no desempenho do processo.

Cunha, Cruz e Menegalli (2006) estudaram a influência das variáveis operacionais na secagem de polpa de manga em leito de jorro fluidizado bidimensional. A partir de análise estatística, observou-se que a temperatura foi a variável que mais influenciou o processo de

secagem de polpa de manga. A alta temperatura de processo resultou na maior eficiência de produção de pó e retenção de carotenoides, bem como, diminuição da mudança de cor e umidade do pó.

Rocha et al. (2011) avaliaram a secagem de polpa de frutas tropicais em leite de jorro, analisando os efeitos da composição das polpas na fluidodinâmica e desempenho do processo e, o desenvolvimento de formulações de novos produtos a partir de mistura de polpas com variadas composições. Os autores verificaram que altas concentrações de amido e lipídios favoreceram a estabilidade fluidodinâmica e a alta eficiência de produção de pó, enquanto altas concentrações de açúcares redutores ocasionaram comportamentos opostos. A eficiência da produção de pó foi relacionada com a composição da polpa. Os resultados do desempenho da secagem, fluidodinâmica e testes sensoriais de iogurtes enriquecidos com os pós revelaram promissor potencial de produção de pós de alta qualidade em leite de jorro, controlando a composição das polpas e misturas alimentadas ao leite.

Rocha et al. (2014) avaliaram as características do produto e a qualidade de uma pasta de vegetais enriquecida com sangue bovino com teor de proteínas maximizado através programação linear seca em leite de jorro cone-cilíndrico. Os experimentos de secagem variaram a temperatura de entrada do ar (90 e 110°C), a concentração de sólidos (7 e 10%, m/m) e a vazão de alimentação da pasta (400 e 600 mL h<sup>-1</sup>), e foram analisadas as propriedades funcionais e nutricionais do produto seco. A condição de secagem que apresentou melhores características foi na temperatura de 110°C, concentração de sólidos de 7% (m/m) e vazão de alimentação de 600 mL h<sup>-1</sup>. Os autores concluíram a adição de sangue bovino na pasta vegetal aumentou o teor de proteína e melhorou as propriedades funcionais e nutricionais. O pó obtido na secagem mostrou-se adequado e como uma boa fonte de compostos antioxidantes.

Larrosa et al. (2015) estudaram a secagem de uma pasta de vegetais formulada com programação linear a fim de maximizar a atividade antioxidante. A pasta foi seca em leite de jorro cônico nas temperaturas de 80, 90 e 100°C. Os melhores resultados foram encontrados na secagem a 100°C, resultando em um pó homogêneo com partículas de superfície lisa, que apresentaram um teor de compostos fenólicos de 4,9 mg GAE g<sup>-1</sup> e a atividade antioxidante total de 81,6% inibição de DPPH.

Braga e Rocha (2015) estudaram a secagem em leite de jorro de uma mistura de polpa de leite/amora-preta em diferentes proporções (v/v). Os efeitos da adição de adjuvante

(maltodextrina, caseína, e óleo de palma) na mistura leite/amora, e maltodextrina na polpa de amora pura foram analisados quanto a eficiência de produção de pó. Os melhores resultados foram obtidos para a composição de pasta de 25% de leite e 75% de polpa de amora (v/v), sem adição de adjuvante, obtendo-se comportamento dinâmico fluido estável, a produção do pó maior eficiência do que 60%, alto conteúdo de antocianina e baixo teor de umidade final do pó (3,08%, m/m, bu).

### 3.8 PROGRAMAÇÃO LINEAR

A técnica de programação linear foi consolidada por George Dantzig, em 1947, quando desenvolvia técnicas de otimização para problemas militares, pelo método simplex, capaz de resolver quaisquer problemas desta natureza. Devido à complexidade dos cálculos matemáticos, tal técnica só se difundiu com o surgimento do computador (PRADO, 2010). A aplicação da programação linear ocorre em diversas áreas, como a maximização de lucros em indústrias processadoras de soja (SBARDELOTTO; LEANDRO, 2008), de calorias em pasta de vegetais (LARROSA; MUSZINSKI; PINTO, 2011), de atividade antioxidante (LARROSA, 2015) e do teor proteico (ROCHA et al., 2014) entre outros.

Para a criação do modelo matemático é necessário estabelecer as seguintes premissas: definir as variáveis do problema, definir uma função-objetivo e definir o conjunto de restrições (MIRANDA; MARTINS; FARIA, 2007). Segundo Puccini e Pizzolato (1987), a solução ótima de um modelo de programação linear, sendo ela existente, será conseguida pelo método simplex. Algumas características identificam o modelo de programação linear, como:

- Um critério de escolha das variáveis de decisão constituído por uma função linear das variáveis.
- 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 modelo de programação consiste em achar  $x_1, x_2, \dots, x_n$  e otimizar a função objetiva, satisfazendo diversas inequações lineares (restrições) apresentadas nas Equações 1 a 5:

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

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

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

$$a_{m11}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \quad (\geq \text{ ou } \leq \text{ ou } =) \quad b_m \quad (4)$$

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

O método simplex consiste nas seguintes etapas: Inicialmente, deve-se conhecer a solução básica factível (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. Posteriormente, verifica-se 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 objetiva. 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 de acordo com as restrições adotadas (PUCCINI; PIZZOLATO, 1987).

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 OBTENÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA

As pastas de vegetais foram constituídas por: cebola branca (*Allium cepa* L.), tomate longa vida (*Lycopersicon esculentum*), cenoura (*Daucus carota* L.), couve (*Brassica oleracea*), batata (*Solanum tuberosum*), óleo de soja comercial, plasma bovino e soro de leite.

Para a escolha dos vegetais foi considerado a disponibilidade destes durante todo ano sem haver restrições de sazonalidade ou de estação do ano, estes foram adquiridos em feiras livres da cidade do Rio Grande-RS. O óleo de soja foi adquirido em mercados da cidade do Rio Grande-RS.

O sangue bovino para o fracionamento do plasma foi coletado em sistema aberto em um abatedouro situado na cidade de Pelotas-RS, com práticas de assepsia devidamente empregadas de acordo com as normas impostas pelo sistema de inspeção federal (MASSARO; PINTO, 2002). Para evitar a coagulação do sangue é necessária a adição de um anticoagulante no sangue recém-coletado. Neste estudo foi utilizado o citrato de sódio 4% (m/v) e os recipientes usados na coleta do sangue foram higienizados com solução salina 0,9% (m/v) NaCl, a fim de diminuir a hemólise, que pode conferir ao plasma uma coloração alaranjada.

O sangue foi transportado em recipientes refrigerados a 0 °C, e o plasma foi fracionado por centrifugação a uma rotação de 3500 × g por 15 min (LOPES et al., 2004). Após a etapa de centrifugação observou-se a necessidade de uma filtração a vácuo a fim de remover as células de hemoglobina que sofreram hemólise, as frações foram acondicionadas e congeladas a -10 °C até o momento da utilização. O soro de leite em pó foi cedido pelo Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas – Univates de Lajeado-RS.

#### 4.1.2 Formulação da pasta de vegetais

As formulações das pastas foram feitas utilizando programação linear, maximizando o teor proteico, com restrições apenas para os macro nutrientes como carboidratos, proteínas, lipídios e valor calórico, utilizando o aplicativo solver do MS Excel.

Os valores das restrições utilizadas foram baseados em uma formulação de sopa desidratada (IBGE, 1999). Com o objetivo de obter um produto enriquecido com proteínas, os valores estabelecidos foram alterados. Segundo Brasil (1998<sup>b</sup>), para alimentos enriquecidos ou fortificados é permitido o enriquecimento ou fortificação de proteína desde que 100 mL ou 100 g do produto, pronto para consumo, forneçam no mínimo 15% da ingestão diária recomendada (IDR) de referência, no caso de líquidos, e 30% da IDR de referência, no caso de sólidos. Esses alimentos, de acordo com o Regulamento Técnico de Informação Nutricional Complementar, poderão ter o *claim*: alto teor ou rico, e na embalagem deve constar a composição nutricional em relação a % da IDR de forma quantitativa por 100 g ou 100 mL e, ainda, opcionalmente, por porção, quando se indicar o número de porções contida na embalagem.

Sabendo que, segundo Brasil (1998a), a IDR de proteína é de 50 g para um adulto; definiu-se que a pasta deveria conter no mínimo 15% de proteína. Portanto, estabeleceu-se o intervalo de 15 a 20% (m/m) de proteína. Inicialmente, para os limites mínimo e máximo de lipídios foram fixados a 4% (m/m) devido a estudos anteriores apresentarem bons resultados na escoabilidade do leite (ROCHA et al., 2014). A Tabela 1 mostra as restrições utilizadas para formular as pastas de vegetais enriquecidas com plasma bovino e soro de leite.

**Tabela 1** - Restrições para formulação das pastas de vegetais enriquecida de plasma bovino e com soro de leite, maximizando o teor proteico.

	Limite Mínimo	Limite Máximo
Carboidratos (% m/m)	50	70
Proteínas (% m/m)	15	20
Lipídios (% m/m)	4	4
Calorias (kcal 100g <sup>-1</sup> )	200	500

IBGE (1999).

O aplicativo Microsoft Solver Excel permite fazer a otimização sendo a função objetiva a maximização do teor proteico. Essa função é uma equação linear que relaciona os constituintes disponíveis com seus respectivos teores proteico, segundo a Equação 6.

$$P_T = \sum_{i=1}^n m_i \cdot P_i \quad (6)$$

As funções de restrição (Equações 7 a 17) são equações e inequações que limitam a função que se quer otimizar. A Equação 7 relaciona as massas dos constituintes em base seca.

$$C_{BS} = m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_5 + m_6 + m_7 \quad (7)$$

As Inequações 8 e 9 limitam o conteúdo de carboidratos (C); as Inequações 10 e 11 limitam o conteúdo de proteínas (P); as Inequações 12 e 13 limitam o conteúdo de lipídios (L); as Inequações 14 e 15 limitam o valor calórico; as Inequações 16 e 17 restringem a possibilidade matemática de valores negativos para quantidade mássica e que a quantidade mássica seja superior a quantidade máxima pré-estabelecida, respectivamente.

$$\sum_{i=1}^{i=7} m_i c_i \geq C_1 \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^{i=7} m_i c_i \leq C_2 \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^{i=7} m_i p_i \geq P_1 \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^{i=7} m_i p_i \leq P_2 \quad (11)$$

$$\sum_{i=1}^{i=7} m_i l_i \geq L_1 \quad (12)$$

$$\sum_{i=1}^{i=7} m_i l_i \leq L_2 \quad (13)$$

$$\sum_{i=1}^{i=7} m_i vc_i \geq Vc_1 \quad (14)$$

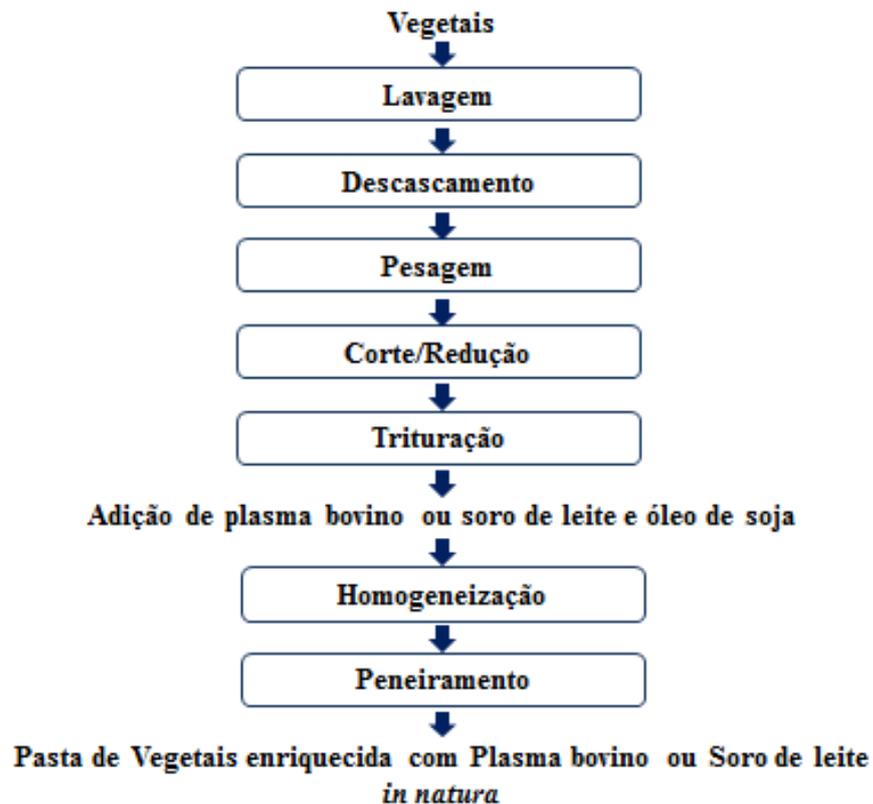
$$\sum_{i=1}^{i=7} m_i vc_i \leq Vc_2 \quad (15)$$

$$m_i \geq 0 \quad (16)$$

$$m_i \leq m \quad (17)$$

As pastas foram processadas com as práticas de higiene devidamente empregadas no Laboratório de Secagem, da Escola de Química e Alimentos / FURG, conforme o fluxograma da Figura 4. Na composição foram utilizados os vegetais, óleo de soja comercial e plasma bovino ou soro de leite.

**Figura 4** - Fluxograma do processo de obtenção da pasta de vegetais enriquecida.



Fonte: Adaptado de Larrosa (2012).

#### 4.2 EXPERIMENTOS DE SECAGEM

Os experimentos de secagem das pastas de vegetais enriquecidas foram realizadas em duas células de leito de jorro, uma de geometria cônica e a outra cone-cilíndrica. Os experimentos tiveram duração de 4 h ininterruptas de alimentação.

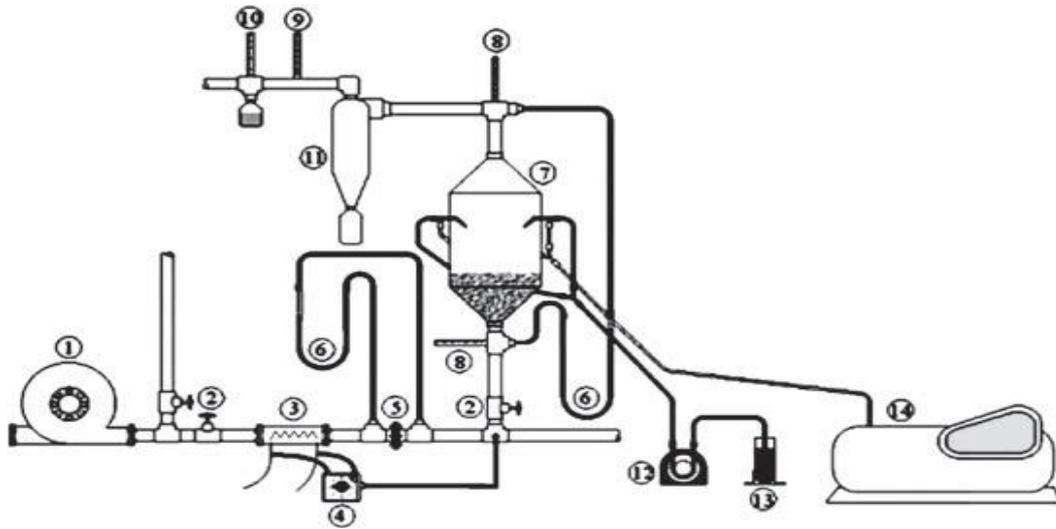
O leito de jorro de geometria cônica era constituído por duas bases cônicas de vidro de 15 cm de altura e diâmetros ( $D_c$ ) de 17,5 cm, com ângulo incluído de  $60^\circ$  e diâmetro de orifício de entrada do ar ( $D_i$ ) de 2,9 cm sendo a relação ( $D_c/D_i$ ) igual a 6,0. A célula cone-cilíndrica era composta por duas bases cônicas de vidro com as mesmas dimensões da da

geometria cônica, porém possuía uma coluna cilíndrica com diâmetro de 17,5 cm e altura de 75 cm. O leito de partículas de inertes, utilizado como suporte para secagem, foi de partículas de polietileno (diâmetro médio de 3,2 mm, esfericidade 0,7 e densidade de 0,96) com uma carga de 0,5 kg para a geometria cônica e de 2,0 kg para a cone-cilíndrica.

O fluido utilizado na secagem foi ar aquecido por um sistema de três resistências de quartzo de 800 W cada, sendo fornecido por um soprador radial de 4 HP, o qual possuía uma vazão máxima de  $4\text{m}^3 \text{min}^{-1}$ . As determinações de vazão de ar foram realizadas por meio de placa de orifício acoplada a um manômetro de tubo em “U”, e as medidas de temperaturas do ar (entrada, saída, bulbo úmido e bulbo seco) foram realizadas por termopares cobre-constantan.

A alimentação da pasta foi feita utilizando dois bicos atomizadores, a atomização foi realizada utilizando ar comprimido, através de um compressor de 15 HP. Na parte superior da coluna estava à saída de ar, a qual foi conectada com um ciclone *Lapple* com diâmetro de 100 mm. O pó foi coletado em um recipiente de vidro acoplado na saída do ciclone. A Figura 5 apresenta um esquema do equipamento de secagem de leito de jorro utilizado nos experimentos, para ambas geometrias.

**Figura 5** - Esquema do equipamento de secagem de leito de jorro



Fonte: Rocha, et al. (2014).

Legenda: (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; (9) bulbo seco; (10) bulbo úmido; (11) ciclone tipo *Lapple*; (12) bomba peristáltica; (13) reservatório da pasta e (14) compressor de ar.

O desempenho da secagem em leito de jorro foi avaliado pelo rendimento de pó coletado e massa acumulada no leito, Equações 18 e 19, respectivamente.

$$R(\%) = \frac{Mc.(1-U_p)}{Ma.C_s} \times 100 \quad (18)$$

$$Ac(\%) = \frac{(M_f - M_i).(1-U_p)}{Ma.C_s} \times 100 \quad (19)$$

Sendo:  $M_c$  é a massa de pó coletada (g);  $U_p$  é a umidade do pó ( $\text{g } 100\text{g}^{-1}$ );  $M_a$  é a massa alimentada (g);  $C_s$  é a concentração de sólidos ( $\text{g } 100\text{g}^{-1}$ );  $M_f$  é a massa final de inertes (g) e  $M_i$  é a massa inicial de inertes (g).

A fim de comparar a secagem em leito de jorro com a secagem tradicional de bandeja, a pasta de vegetais foi seca em um secador com bandeja de aço inoxidável perfurada ( $0,16 \text{ m} \times 0,16 \text{ m}$ ), e com espessura de  $0,003 \text{ m}$ . A massa da amostra foi medida em balança eletrônica (Marte, modelo AS2000C, Brasil) com  $0,01 \text{ g}$  de precisão, e a carga de pasta fresca na bandeja era de  $5,0 \text{ kg m}^{-2}$ . A temperatura do ar foi medida por termopares de cobre-constantan e a velocidade do ar através um anemômetro (TFA, Windmesser MIT, Alemanha),

com precisão de  $0,1 \text{ m s}^{-1}$ . A umidade relativa do ar foi medida com um termo-higrômetro (Cole Parmer, modelo Vernon Hills 3310-00, EUA) com precisão de 0,1%.

Os experimentos de secagem de pasta vegetal em secador de bandeja foram realizados a uma temperatura do ar de  $65^{\circ}\text{C}$  e velocidade do ar de  $2,0 \text{ m s}^{-1}$  (KROKIDA et al., 2003). Cada ensaio de secagem foi realizado em duplicata. A amostra foi seca até o teor de umidade comercial (inferior a 10%, base úmida). Depois, as amostras secas foram trituradas num moinho de facas (Modelo Wiley Moinho Padrão no. 03, EUA) e peneirado (150 mesh da série Tyler), em seguida, as amostras foram embaladas em recipientes plásticos e armazenados à temperatura ambiente.

#### 4.3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL DE SECAGEM

Para garantir a viabilidade técnica da secagem em leito de jorro da pasta de vegetais enriquecida foi feito um estudo preliminar na célula de geometria cônica. Os produtos desidratados obtidos nos tratamentos experimentais foram avaliados quanto à funcionalidade das proteínas e parâmetros de cor. Nos tratamentos foram verificados os efeitos da vazão de alimentação da pasta e da temperatura do ar de entrada, de acordo com a Tabela 2.

**Tabela 2** - Fatores e respectivos níveis de estudo dos experimentos de secagem em leito de jorro cônico da pasta de vegetais enriquecida de plasma bovino.

Fator de Estudo	Nível Inferior	Nível Superior
Concentração de sólidos da pasta (% m/m)	150	250
Temperatura do ar de entrada ( $^{\circ}\text{C}$ )	90	110

As respostas consideradas nos tratamentos experimentais (solubilidade proteica, capacidade de retenção de água (CRA), índice de solubilidade em água do produto (ISA) e parâmetros de cor) foram comparados utilizando teste de Tukey para determinar as diferenças significativas entre os valores, no intervalo de 95% de confiança ( $p < 0,05$ ) (BOX; HUNTER; HUNTER, 2005).

A secagem no leito de jorro cone-cilíndrico foi realizada a partir de seis tratamentos experimentais. Os fatores de estudo foram temperatura do ar de entrada (90, 100 e 110°C) e a concentração de sólidos na pasta (7,5 e 10% m/m), a vazão de alimentação de pasta no leito de secagem foi fixada 600 mL h<sup>-1</sup>, como está apresentado na Tabela 3.

**Tabela 3** – Tratamentos experimentais realizados no leito de jorro cone-cilíndrico.

Experimento	Temperatura do ar de entrada (°C)	Concentração de sólidos da pasta (% m/m)
(1)	90	7,5
(2)	90	7,5
(3)	100	7,5
(4)	100	10
(5)	110	10
(6)	110	10

**Tabela 4** – Fatores e respectivos níveis de estudo dos experimentos de secagem em leito de jorro cone-cilíndrico da pasta de vegetais enriquecida de soro de leite.

Fator de Estudo	Nível Inferior	Nível Superior
Concentração de sólidos da pasta (% m/m)	7,5	10
Temperatura do ar de entrada (°C)	90	100

As respostas consideradas na análise estatística foram: umidade do produto, solubilidade proteica, capacidade de retenção de água, índice de solubilidade em água, digestibilidade proteica *in vitro*, compostos fenólicos, atividade antioxidante, parâmetros de cor. Os resultados foram comparados utilizando teste de Tukey para determinar as diferenças significativas entre os valores, no intervalo de 95% de confiança ( $p < 0,05$ ) (BOX; HUNTER; HUNTER, 2005).

#### 4.4. METODOLOGIA ANALÍTICA

As análises químicas e físico-químicas foram realizadas na pasta *in natura* e nos produtos desidratados.

##### 4.4.1. Composição centesimal

A composição centesimal incluiu as determinações dos teores de umidade, proteínas, lipídios totais, carboidratos totais e cinzas.

###### Determinação de umidade

A umidade foi determinada segundo a metodologia n° 013/IV, utilizando uma estufa a vácuo à 100 mmHg e 70 °C por 6 h, segundo IAL (2004).

###### Determinação de cinzas

A determinação do teor de resíduo mineral (metodologia n° 923.03) foi realizado de acordo com a metodologia da AOAC (1995). As cinzas foram quantificadas utilizando incineração em mufla a uma temperatura de aproximadamente de 550 °C por 4 h, até atingir peso constante.

###### Determinação de proteína

O nitrogênio total foi determinado pelo método de micro Kjeldahl n° 960.20 (AOAC, 1995). O método de Kjeldahl baseia-se na determinação do nitrogênio total. A concentração de proteína foi calculada a partir do teor de nitrogênio total, usando o fator de conversão 6,25 recomendado por Jones (1941).

###### Determinação de lipídios totais

Os lipídios foram determinados pela extração com mistura de solventes, segundo o método descrito por Bligh e Dyer (1959). Esse método foi escolhido por poder ser empregado em amostras secas e em amostras com alto conteúdo de água.

###### Determinação de Fibra Bruta

As fibras brutas foram determinadas pelo resíduo remanescente da extração segundo IAL (2008).

### Determinação de carboidratos

O teor de carboidratos foi determinado por diferença.

#### **4.4.2. Determinação da Capacidade de retenção de água (CRA)**

A capacidade de retenção de água foi quantificada segundo adaptações de Anderson et al., (1969).

Elaborou-se uma mistura contendo 2,5 g de amostra e 30 mL de água, depois de mantida sob agitação por 30 min e posteriormente centrifugada a  $5000 \times g$  por 15 min na temperatura de 24 °C. O sedimento foi então pesado e, no sobrenadante, determinado resíduo seco (sólido solúveis) após evaporação. Os índices foram então calculados de acordo com as Equações 20 e 21.

$$C.R.A. = \frac{M_{rc}}{(M_a - M_{re})} \quad (20)$$

$$I.S.A. = \frac{M_{re} \cdot 100}{M_a} \quad (21)$$

Sendo: Mre é a massa de resíduo evaporado (g), Ma é a massa de amostra (g) e Mrc é a massa de precipitado (g).

#### **4.4.3 Parâmetros de cor**

Os parâmetros de cor das pastas *in natura* e desidratadas foram avaliados utilizando-se um colorímetro Minolta (CR-300, Osaka, Japão) por meio do diagrama tridimensional de cores ( $L, a, b$ ), onde  $L$  indica a luminosidade da amostra variando de 0 (escuro) a 100 (claro),  $a$  indica cromaticidade tendendo do verde (-) ao vermelho (+) e  $b$  indica a cromaticidade que varia do azul (-) ao amarelo (+). O índice de saturação ( $C$ ) da amostra foi determinado pela Equação 22, o ângulo Hue conforme a Equação 23 e a variação da cor ( $\Delta E$ ) foi determinada pela Equação 24. O ângulo Hue é o valor em graus correspondente ao diagrama tridimensional de cores, onde: 0° (vermelho), 90° (amarelo), 180° (verde) e 270° (azul) (SRINVASA et al., 2004). A variação da cor relaciona as diferenças de cor entre a amostra *in natura* e a amostra desidratada.

$$C = \sqrt{(a)^2 + (b)^2} \quad (22)$$

$$\text{Hue} = \tan^{-1} \left( \frac{b}{a} \right) \quad (23)$$

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \quad (24)$$

#### 4.4.4 Determinação da solubilidade proteica

A determinação da solubilidade proteica em meio aquoso foi pelo método de Morr et al. (1985). Adicionou-se aproximadamente 2,5 g de amostra em 50 mL de água destilada, a seguir levou-se ao agitador magnético por 15 min, e posterior centrifugação a  $3500 \times g$  por 15 min. Após a centrifugação, filtrou-se o conteúdo dos tubos, e procedeu-se a determinação de proteína do sobrenadante. O índice de proteína solúvel foi determinado sobre o conteúdo total de proteína das amostras e o teor de proteína solúvel como mostra a Equação 25.

$$PS = \frac{A \times 50}{W_x \frac{S}{100}} \times 100 \quad (25)$$

Sendo: A é concentração proteica em ( $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ ), W é massa de amostra (mg) e S é a concentração de proteína na amostra

#### 4.4.5 Digestibilidade proteica *in vitro*

A digestibilidade foi realizada utilizando as enzimas pepsina e pancreatina, simulando as condições características do trato gastrointestinal, segundo Sgarbieri (1996).

Em erlenmeyer, 1,0 g de amostra foi hidrolisado com solução de pepsina  $1,5 \text{ mg mL}^{-1}$  em HCl 0,1 N na proporção 1:10 (enzima:proteína) durante 3 h a  $37^\circ \text{C}$  e 150 rpm. Ao final o pH das amostras foi elevado a 7,0, utilizando solução de NaOH 0,3N e foi adicionada solução de pancreatina  $1,5 \text{ mg mL}^{-1}$  em tampão fosfato pH 8,0 na proporção 1:10 (enzima:proteína).

As amostras foram mantidas sob agitação (130 rpm) à  $37^\circ \text{C}$  por 24 h. Após a hidrólise, foi adicionado TCA 40% para precipitação do material não digerido, ficando as amostras em repouso por 1 h no refrigerador. Após as amostras foram centrifugadas a  $3500 \times g$  durante 15 min e filtradas com papel filtro. No sobrenadante foi determinado o teor de

aminoácidos liberados, pelo método de Lowry et al. (1951), empregando uma curva padrão de tirosina cuja concentração variou entre 0,01 a 0,1 mg mL<sup>-1</sup>.

#### 4.4.6 Compostos fenólicos totais e atividade antioxidante

Para a determinação dos compostos fenólicos e atividade antioxidante, foi obtido um extrato metanólico segundo Oliveira et al. (2007). A quantificação dos fenóis foi pelo método espectrofotométrico (Bioespectro SP-22, Brasil) utilizando o reagente Folin-Ciocalteu, empregando-se curva padrão de ácido gálico (0 a 20 µg mL<sup>-1</sup>).

A atividade antioxidante foi determinada pela capacidade de sequestrar o radical estável 1,1-difenil-2-picrihidrazil (DPPH), segundo o método de Brand-Williams, Cuvelier e Berset (1995), modificado por Miliauskas, Venskutonis e Van Beek, (2004).

#### 4.4.7 Análises morfológicas

As amostras das pastas de vegetais secas em leite de jorro e *in natura* foram analisados para a determinação da estrutura morfológica pela análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV), utilizando para as análises um microscópio (Jeol, JSM 6010LV, Japão). As amostras foram metalizadas com ouro em câmara de vácuo (Denton Vacuum, Sputtering Desk V, EUA), e foram utilizadas acelerações de voltagem de 15 kV para a obtenção das imagens, com magnificações na faixa de 50 a 1000 vezes.

#### 4.4.8 Análises químicas

Os extratos metanólicos da pasta de vegetais foram analisados no espectro de infravermelho (Shimadzu, Prestige 21, modelo The-210045, Japão), a fim de identificar os principais picos que representam os grupos funcionais, utilizando metanol como branco. A análise se baseia na espectroscopia da transformada de Fourier na região do infravermelho (FTIR) de acordo com a refletância atenuada total horizontal (HATR), através de um prato de cristal com um ângulo de abertura de 45°. As análises foram realizadas em temperatura ambiente de 20°C utilizando uma varredura através da frequência de 4000-750 cm<sup>-1</sup> na resolução de 4 cm<sup>-1</sup>, com quarenta e cinco varridas por alíquota.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 FORMULAÇÃO DA PASTA DE VEGETAIS

Para que fosse possível formular a pasta de vegetais enriquecida de plasma bovino ou de soro de bovino foi necessário conhecer a composição centesimal e o valor calórico de seus constituintes, as quais estão apresentadas na Tabela 5.

**Tabela 5** – Composição centesimal e valor calórico dos constituintes das pastas de vegetais enriquecida com plasma bovino e com soro de leite.

Constituinte	Proteína* (%, b.s.)	Lipídios* (%, b.s.)	Cinzas* (%, b.s.)	Fibras* (%, b.s.)	Carboidratos * (%, b.s.)	Calorias** (kcal 100g <sup>-1</sup> )
Tomate	29,5±1,0 <sup>a</sup>	3,0±0,1 <sup>a</sup>	14,3±0,3 <sup>a</sup>	18,4±0,1 <sup>a</sup>	34,7±0,1 <sup>a</sup>	284,1±0,4 <sup>a</sup>
Cebola	26,3±0,3 <sup>b</sup>	2,2±0,2 <sup>b</sup>	5,3±0,1 <sup>b</sup>	4,8±0,1 <sup>b</sup>	59,7±0,1 <sup>b</sup>	372,3±0,2 <sup>b</sup>
Batata	14,5±0,1 <sup>c</sup>	0,9±0,1 <sup>c</sup>	1,1±0,1 <sup>c</sup>	3,1±0,1 <sup>c</sup>	80,4±0,1 <sup>c</sup>	387,3±0,1 <sup>c</sup>
Couve	21,9±1,8 <sup>d</sup>	6,8±0,1 <sup>d</sup>	14,3±0,1 <sup>a</sup>	10,3±0,1 <sup>d</sup>	46,8±0,1 <sup>d</sup>	335,9±0,3 <sup>d</sup>
Cenoura	26,4±0,3 <sup>e</sup>	1,8±0,1 <sup>e</sup>	8,7±0,2 <sup>d</sup>	10,6±0,1 <sup>d</sup>	52,5,4±0,1 <sup>e</sup>	331,8±0,2 <sup>e</sup>
Plasma bovino	44,7±0,1 <sup>f</sup>	4,3±0,2 <sup>f</sup>	25,7±0,3 <sup>e</sup>	-	,25,2±0,1 <sup>f</sup>	318,7±0,2 <sup>f</sup>
Soro de leite	11,0±0,9 <sup>g</sup>	2,2±0,3 <sup>g</sup>	5,7±1,0 <sup>b</sup>	-	81,0±0,2 <sup>g</sup>	388,1±0,3 <sup>g</sup>
Óleo de soja	-	100±0,0 <sup>h</sup>	-	-	-	884,0±0,1 <sup>h</sup>

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

\*\* Fonte- TACO (2009).

Ao observar a Tabela 5, verifica-se que para cada constituinte analisado ocorreu diferença significativa entre todas as amostras, para proteínas e lipídios. A diferença significativa que ocorreu devido a cada constituinte da pasta apresentar características intrínsecas a sua origem. Para os vegetais essa diferença ocorre pelo fato de que cada vegetal que constitui a pasta é parte distinta da planta, como fruto (tomate), cebola (bulbo), batata (tubérculo), couve (folha) e cenoura (raiz). Assim, cada parte é capaz de apresentar funções específicas, como armazenamento de energia, sustentação, gerar novas plantas e atuar diretamente na fotossíntese, como é o caso das raízes, dessa forma, sua composição de nutrientes varia de acordo com sua função no vegetal.

A partir da composição centesimal foi utilizada a programação linear para formular as pastas de vegetais com teores de proteínas maximizados, utilizando funções objetivo e equações e inequações de restrição (Equações 6 a 17). As quantidades otimizadas para as pastas de vegetais enriquecidas com plasma bovino e com soro de leite estão apresentadas nas Tabelas 6 e 7.

**Tabela 6** – Quantidades otimizadas pela programação linear para formulação de pasta de vegetais enriquecida de plasma bovino.

Constituintes	Quantidade otimizada (g)
Óleo de soja	0,8
Tomate	361,3
Cebola	69,9
Batata	130,7
Couve	278,5
Cenoura	18,0
Plasma bovino	40,7

**Tabela 7** – Quantidades otimizadas pela programação linear para formulação de pasta de vegetais enriquecida de soro de leite.

Constituintes	Quantidade otimizada (g)
Óleo de soja	1,4
Tomate	329,8
Cebola	143,7
Batata	74,0
Couve	157,8
Cenoura	183,7
Soro de leite	9,5

Observa-se nas Tabelas 6 e 7 que o tomate foi o vegetal que apresentou maior quantidade nas duas formulações em relação aos demais constituintes. Isso se deve ao fato de que na programação linear os valores de proteínas foram fixados entre 15 e 20% (m/m), e

como este vegetal apresenta em sua composição química o maior teor de proteínas (Tabela 5), representou as maiores quantidades nas duas formulações. Apesar de que foi utilizado como função objetivo a maximização do teor proteico, não necessariamente os constituintes que possuem maior quantidade de proteínas, seriam otimizados em quantidades maiores. Ou seja, a otimização de uma formulação depende das restrições estabelecidas e do conjunto de valores mínimos e máximos em que são delimitados para atingir um determinado objetivo proposto.

**Tabela 8** – Restrições otimizadas para cada nutriente da pastas de vegetais enriquecidas de plasma bovino ou de soro de leite.

	Restrições otimizadas Pasta com plasma bovino	Restrições otimizadas Pasta com soro de leite
Carboidratos (% m/mg <sup>1</sup> )	60,0	61,1
Proteínas (% m/mg)	20,0	20,0
Lipídios (% m/mg)	4,0	4,0
Valor calórico (kcal100g <sup>-1</sup> )	316,0	320,4

Na Tabela 8 estão apresentadas as restrições otimizadas para cada nutriente. Para os carboidratos é possível observar que a programação linear restringiu para o valor médio da faixa de restrição. Para as proteínas restringiu para o limite máximo estabelecido, já que o objetivo principal era maximizar o teor proteico. Os lipídios tiveram seus limites fixados em 4%, e as calorias tiveram sua restrição convergida para o limite mínimo.

A programação linear apresentou-se como uma ferramenta essencial e viável para a maximização do teor proteico de uma pasta de vegetais, pois por meio de restrições foi possível formular um produto de alto teor proteico utilizando apenas as quantidades necessárias para atingir o objetivo fazendo com que os desperdícios sejam minimizados de maneira efetiva.

Os valores da composição centesimal das pastas de vegetais enriquecidas com plasma bovino e com soro de leite estão apresentados na Tabela 9.

**Tabela 9** – Composição centesimal das pastas de vegetais enriquecidas com plasma bovino e com soro de leite.

Constituintes	Pasta de vegetais enriquecida com plasma bovino	Pasta de vegetais enriquecida com soro de leite
Proteínas (% m/m)	21,2±0,8	22,1±0,3
Carboidratos + Fibras (% m/m)	69,8±1,0	66,4±0,6
Lipídios (% m/m)	3,5±0,1	3,8±0,2
Cinzas (% m/m)	5,5±0,1	7,7±0,1
Valor calórico (kcal 100g <sup>-1</sup> )	395,5±0,1	383,5±0,5

Analisando a Tabela 9, observa-se que as pastas de vegetais apresentaram composições próximas aos limites estabelecidos das restrições de nutrientes como carboidratos, proteínas e lipídios (Tabela 6). Porém o teor de proteínas ficou um pouco acima do esperado (20% m/m).

Essa variação pode ter ocorrido em vista de que a composição do próprio vegetal pode alterar em função do seu estágio de maturação, geralmente quando seu estágio aproxima-se a senescência o fruto, como o tomate, tende a aumentar seu teor proteico, pois suas sementes estão se preparando para dar origem a uma nova planta mãe. Além disso, esses resultados mostram que a programação linear foi adequada para a formulação da pasta de vegetais enriquecida tanto com plasma bovino como com soro de leite para a maximização do teor proteico.

## 5.2 ESTUDO DA VIABILIDADE DA SECAGEM NO LEITO DE JORRO CÔNICO

Para garantir a viabilidade da secagem da pasta de vegetais foi feito um estudo preliminar no leito de jorro cônico. Os produtos finais desidratados foram avaliados quanto à funcionalidade através da solubilidade proteica, capacidade de retenção de água, índice de solubilidade em água do produto e parâmetros de cor, conforme apresentados na Tabela 10.

**Tabela 10** – Solubilidade proteica, CRA e ISA dos produtos *in natura* e secos em leite de jorro cônico.

Tratamentos**	Solubilidade Prot. (%)*	CRA (g g <sup>-1</sup> )*	ISA (%)*
(1)	51,8±0,5 <sup>a</sup>	5,8±0,2 <sup>a</sup>	27,9±0,6 <sup>a</sup>
(2)	49,8±1,0 <sup>b</sup>	4,9±0,5 <sup>b</sup>	26,6±0,5 <sup>b</sup>
(3)	51,5±0,5 <sup>a</sup>	5,8±0,1 <sup>a</sup>	16,7±1,6 <sup>c</sup>
(4)	45,8±1,0 <sup>c</sup>	4,9±0,4 <sup>b</sup>	24,8±0,5 <sup>d</sup>
<i>In natura</i>	35,5±0,9 <sup>d</sup>	-	-

\*Valor médio ± desvio padrão (n=2). Letras diferentes na mesma coluna apresentam diferença significativa (p<0,05).

Legenda: CRA= capacidade de retenção de água, ISA = índice de solubilidade em água.

\*\* (1) 150 mL h<sup>-1</sup> e 90°C; (2) 150 mL h<sup>-1</sup> e 110°C; (3) 250 mL h<sup>-1</sup> e 90°C; (4) 250 mL h<sup>-1</sup> e 110°C.

Na Tabela 10 pode-se observar que, a solubilidade proteica apresentou uma diferença significativa ao nível de 95% (p<0,05) para os tratamentos em relação à amostra *in natura*. Observa-se também, que os tratamentos a 90°C não apresentaram diferença significativa (p>0,05) independente da vazão de alimentação. Em relação à amostra *in natura*, os experimentos de secagem proporcionaram um aumento da solubilidade das proteínas em meio aquoso. Segundo Sgarbieri (1996), a solubilidade proteica tem a tendência a aumentar em uma faixa de temperatura de 40-50°C, e acima desta tende a diminuir devido a desnaturação. Como a temperatura do material no leite de jorro estava de 3 a 5°C acima da temperatura de bulbo úmido do ar de entrada, e os experimentos foram realizados com temperatura de bulbo úmido em torno de 37±1°C, portanto, obteve-se o aumento da solubilidade em relação à pasta *in natura*.

A capacidade de retenção de água apresentou valores de 4,9 a 5,8 g.g<sup>-1</sup>, sendo que os melhores resultados foram obtidos na menor temperatura do ar de entrada (90 °C). Isso ocorreu devido ao elevado número de proteínas presentes no plasma, que quando exposto a temperaturas moderadas dentro da célula são capazes de desenvolver algumas funções, e não sofrerem desnaturação total. A fração proteica do plasma bovino contém mais de cem proteínas diferentes, sendo que as principais são albumina sérica, α-globulina, β-globulina, γ-globulina e fibrinogênio (CRISTAS, 2012). Estas proteínas possuem boas características

gelificantes, emulsificantes e de solubilidade que as tornam aptas para utilização no processamento de produtos cárneos. Além disso, as globulinas e albuminas são altamente solúveis e bastante hidrofílicas, o que lhes conferem altos índices de retenção de água (XIONG, 2009).

Em relação ao índice de solubilidade em água (ISA), observa-se que todos os experimentos apresentaram diferença significativa ao nível de 95% ( $p < 0,05$ ). Além disso, nota-se que o experimento n° 3 (250 mL h<sup>-1</sup> e 90 °C) apresentou menor índice de solubilidade em água. Este comportamento pode ser explicado pela menor temperatura de saída do ar e, conseqüentemente, maior tempo de residência do produto dentro da célula de secagem, reduzindo a capacidade dos componentes solúveis oriundos dos vegetais (amido, pectina) e do plasma (proteínas) de se hidratarem com a água.

A Tabela 11 apresenta os resultados obtidos para luminosidade ( $L$ ), cromaticidades ( $a$ ,  $b$ ) para a pasta *in natura* e produtos desidratados.

**Tabela 11** – Medidas de luminosidade ( $L$ ) e cromaticidades ( $a$ ,  $b$ ) das pastas de vegetais *in natura* e secas em leito de jorro cônico.

Tratamentos*	$L$	$a$	$b$
(1)	46,5±0,6 <sup>a</sup>	-1,4±0,6 <sup>a</sup>	33,1±0,1 <sup>a</sup>
(2)	52,5±0,8 <sup>b</sup>	-1,3±0,2 <sup>b</sup>	30,8±0,2 <sup>b</sup>
(3)	44,4±1,3 <sup>c</sup>	-1,8±0,1 <sup>c</sup>	34,2±0,4 <sup>c</sup>
(4)	42,5±1,2 <sup>d</sup>	-1,7±0,2 <sup>d</sup>	29,6±0,7 <sup>d</sup>
<i>In natura</i>	30,9±0,4 <sup>e</sup>	-5,3±0,1 <sup>e</sup>	17,3±0,1 <sup>e</sup>

\*Legenda: (1) 150 mL h<sup>-1</sup> e 90°C; (2) 150 mL h<sup>-1</sup> e 110°C; (3) 250 mL h<sup>-1</sup> e 90°C; (4) 250 mL h<sup>-1</sup> e 110°C.

Os parâmetros avaliados para a cor do produto final, como luminosidade ( $L$ ), cromaticidades ( $a$ ,  $b$ ), mostraram diferença significativa ao nível de 95% ( $p < 0,05$ ) nos tratamentos em relação à pasta *in natura*. A secagem de pastas escuras tende a aumentar a luminosidade do produto final seco (LARROSA, 2012), sendo confirmado pelo aumento dos valores de luminosidade ( $L$ ), 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.

Quanto aos valores de cromaticidade  $a$ , tanto nos tratamentos quanto na pasta *in natura* foram obtidos valores negativos, mostrando uma tendência da tonalidade verde. Sendo que, nos tratamentos com a vazão de alimentação de 250 mL h<sup>-1</sup> apresentaram valores mais próximos da pasta *in natura*. A tonalidade verde pode ser atribuída à presença de couve na pasta, que apresenta alto teor de clorofila, pigmento responsável pela coloração verde em alguns vegetais. A cromaticidade  $b$  mostrou tendência à tonalidade amarela devido aos valores positivos, no entanto, a operação de secagem proporcionou um aumento desta tonalidade.

A Tabela 12 apresenta os parâmetros de cor (índice de saturação, ângulo Hue e diferença de cor), para as pastas de vegetais *in natura* e secas em leito de jorro.

**Tabela 12** – Medidas do índice de saturação ( $C$ ), ângulo Hue e diferença de cor, para as pastas de vegetais *in natura* e secas em leito de jorro cônico.

Tratamentos*	$C$	Hue (°)	$\Delta E$
(1)	33,1±0,6 <sup>a</sup>	92,4±0,2 <sup>a</sup>	22,5±0,1 <sup>a</sup>
(2)	30,8±0,8 <sup>b</sup>	92,4±0,1 <sup>a</sup>	27,1±0,2 <sup>b</sup>
(3)	34,2±0,3 <sup>c</sup>	93,1±0,1 <sup>b</sup>	21,9±0,4 <sup>c</sup>
(4)	29,6±0,2 <sup>d</sup>	93,3±0,2 <sup>b</sup>	17,3±0,7 <sup>d</sup>
<i>In natura</i>	18,1±0,4 <sup>c</sup>	176,7±0,1 <sup>c</sup>	-

\*Legenda: (1) 150 mL h<sup>-1</sup> e 90°C; (2) 150 mL h<sup>-1</sup> e 110°C; (3) 250 mL h<sup>-1</sup> e 90°C; (4) 250 mL h<sup>-1</sup> e 110°C.

Na Tabela 12, 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*. Os valores de ângulo Hue foram superiores a 90°, sendo que a faixa de 90° a 180° representa a tonalidade amarelo-esverdeada. Assim, para as amostras desidratadas predominou esta tonalidade, porém para a amostra *in natura* é possível afirmar que a tonalidade foi verde, pois se encontra próximo de 180°. Quanto à diferença de cor ( $\Delta E$ ), observa-se que a condição que obteve menor alteração em relação à pasta *in natura* foi no tratamento n° 4, que corresponde à maior vazão de alimentação da pasta e maior temperatura de entrada do ar, pois neste experimento obteve-se menores valores de luminosidade e cromaticidade  $b$ .

Através destas avaliações, pode-se determinar que a melhor condição de secagem em leito de jorro cônico da pasta de vegetais enriquecida de plasma bovino foi o tratamento nº 1 (150 mL h<sup>-1</sup> e 90°C), o qual apresentou os melhores valores para as características funcionais das proteínas. Apesar de que para a diferença de cor, o tratamento nº 4 foi o melhor. No entanto, para os parâmetros cor não foram decisivos para a determinação da melhor condição, pois para todos os tratamentos o produto final seco apresentou tonalidade amarelo-esverdeada.

Ao avaliar os resultados obtidos no estudo da viabilidade da secagem em leito de jorro cônico da pasta de vegetais, é possível afirmar que a programação linear mostrou-se satisfatória para a otimização da formulação da pasta de vegetais enriquecida de plasma bovino, através da maximização do teor proteico. As condições utilizadas na secagem em leito de jorro de geometria cônica foram adequadas, pois não apresentaram colapso do leito e nem retenção do material. A solubilidade proteica, a capacidade de retenção de água e o índice de solubilidade em água foram afetados pela temperatura (90 e 110°C) ao nível de 95% de significância ( $p < 0,05$ ). O tratamento com 150 mL h<sup>-1</sup> e 90°C apresentou os melhores resultados quanto às propriedades funcionais das proteínas, e nessa condição, o produto final apresentou tonalidade amarelo-esverdeada com maior intensidade do que na pasta *in natura*.

Dessa forma, foi possível avançar para o estudo da secagem em leito de jorro de geometria cone-cilíndrico, para a definição das condições fluidodinâmicas e dos parâmetros de secagem visando uma futura ampliação de escala. O estudo no leito de menor escala (geometria cônica) foi realizado para verificar a ocorrência de fatores que poderiam prejudicar a operação secagem, como por exemplo, a caramelização da amostra no leito que causaria uma aderência entre os inertes fazendo com o leito entrasse em colapso, geralmente esse fato acontece com amostras com elevado teor de carboidratos, que sob aquecimento tendem a caramelizar.

### 5.3 TRATAMENTOS EXPERIMENTAIS PARA A SECAGEM NO LEITO DE JORRO CONE-CILÍNDRICO DA PASTA ENRIQUECIDA COM PLASMA BOVINO

Os resultados dos tratamentos experimentais da secagem em leito de jorro cone-cilíndrico da pasta de vegetais enriquecida com plasma bovino, estão representados na Tabela 13 e as temperaturas de entrada, saída, bulbo seco e bulbo úmido estão apresentadas na Tabela 14.

**Tabela 13** – Resultados dos tratamentos experimentais da secagem em leito de jorro cone-cilíndrico da pasta enriquecida com plasma bovino.

Exp.** (n°)	Sol.* (% m/m)	Digest.* (% m/m)	CRA* (g g <sup>-1</sup> )	ISA* (% m/m)	Fenóis* (mg <sub>EAG</sub> g <sup>-1</sup> )	AA* (% inibição DPPH)	ΔE*
(1)	42,0±1,1 <sup>a</sup>	18,3±1,3 <sup>a</sup>	5,2±0,1 <sup>a</sup>	20,5±1,0 <sup>a</sup>	4,06±0,5 <sup>ab</sup>	42,6±1,9 <sup>a</sup>	17,2±0,6 <sup>a</sup>
(2)	24,1±0,4 <sup>b</sup>	48,8±1,2 <sup>b</sup>	5,6±0,1 <sup>b</sup>	20,6±0,3 <sup>a</sup>	3,46±0,5 <sup>a</sup>	50,6±1,4 <sup>b</sup>	5,74±0,1 <sup>b</sup>
(3)	30,3±0,9 <sup>c</sup>	16,3±1,3 <sup>ac</sup>	4,5±0,1 <sup>c</sup>	22,7±0,7 <sup>bc</sup>	4,67±0,4 <sup>bc</sup>	71,5±2,3 <sup>c</sup>	17,0±0,2 <sup>a</sup>
(4)	30,5±0,6 <sup>c</sup>	51,2±2,6 <sup>b</sup>	4,6±0,2 <sup>cd</sup>	23,4±1,8 <sup>bc</sup>	4,95±0,1 <sup>cd</sup>	47,7±1,9 <sup>b</sup>	16,0±0,1 <sup>c</sup>
(5)	30,2±1,3 <sup>c</sup>	14,2±2,4 <sup>cd</sup>	4,9±0,1 <sup>d</sup>	22,9±0,4 <sup>c</sup>	4,59±0,2 <sup>b</sup>	81,1±1,8 <sup>d</sup>	17,0±0,7 <sup>ad</sup>
(6)	30,8±0,1 <sup>c</sup>	12,5±1,7 <sup>d</sup>	5,2±0,1 <sup>a</sup>	24,4±1,0 <sup>b</sup>	5,26±0,1 <sup>e</sup>	78,0±2,0 <sup>d</sup>	16,3±0,1 <sup>d</sup>

\*Valor médio ± desvio padrão (n=2). Letras diferentes na mesma coluna apresentam diferença significativa (p<0,05). Sol= solubilidade proteica, Digest = digestibilidade proteica, CRA= capacidade de retenção de água, ISA = índice de solubilidade em água, AA= atividade antioxidante.

\*\*Legenda: (1) 90°C e 7,5% (m/m); (2) 90°C e 10% (m/m); (3) 100°C e 7,5% (m/m); (4) 100°C e 10% (m/m); (5) 110°C e 7,5% (m/m); (6) 110°C e 10% (m/m).

**Tabela 14** – Temperaturas de entrada, saída, bulbo seco e bulbo úmido dos tratamentos experimentais da secagem em leito de jorro cone-cilíndrico da pasta enriquecida com plasma bovino.

Exp.** (n°)	Temperatura de Entrada* (°C)	Temperatura de Saída* (°C)	Temperatura de Bulbo Seco* (°C)	Temperatura de Bulbo Úmido* (°C)
(1)	90,0±1,0	69,0±2,0	50,0±1,0	38,0±1,0
(2)	90,0±1,0	61,0±1,0	48,0±2,0	38,0±1,0
(3)	100,0±1,0	78,0±1,0	58,0±1,0	42,0±1,0
(4)	100,0±1,0	78,0±1,0	53,0±1,0	44,0±1,0
(5)	110,0±1,0	89,0±1,0	66,0±1,0	51,0±1,0
(6)	110,0±1,0	93,0±1,0	89,0±1,0	54,0±1,0

\*Valor médio ± desvio padrão (n=2). \*\*Legenda: (1) 90°C e 7,5% (m/m); (2) 90°C e 10% (m/m); (3) 100°C e 7,5% (m/m); (4) 100°C e 10% (m/m); (5) 110°C e 7,5% (m/m); (6) 110°C e 10% (m/m).

A Tabela 13 apresenta os resultados da secagem em leito de jorro cone-cilíndrico da pasta de vegetais enriquecida com plasma bovino. As respostas consideradas na análise estatística foram à solubilidade proteica, a digestibilidade proteica, a capacidade de retenção

de água (CRA), o índice de solubilidade em água (ISA), os compostos fenólicos, a atividade antioxidante e a variação de cor. Os fatores de estudo foram analisados ao nível de 95% de significância ( $p < 0,05$ ), para cada tratamento.

Na Tabela 13, em relação à solubilidade proteica, o valor apresentado de 30,5 % (m/m) mostra que esta condição de secagem foi satisfatória para esta resposta. A solubilidade proteica é resultado entre outros fatores, da interação polar com o solvente, forças eletrostáticas de repulsão, pH e temperatura. Quando a temperatura aumenta suficientemente por um determinado período de tempo, a proteína é desnaturada devido à exposição dos grupos sulfidrila (SH-), que inicialmente se encontram no interior das moléculas proteicas (NEVES et al., 2003; PELEGRINE; GASPARETTO, 2003).

Prata (2002) verificou que a albumina bovina apresenta uma elevada solubilidade de 90%, e que o aquecimento melhora a solubilidade das proteínas do plasma bovino em relação à temperatura ambiente ocorrendo à desnaturação em torno de 65 °C. Além disso, a solubilidade proteica é definida como o parâmetro mais importante quando se deseja avaliar as propriedades funcionais de alimento. Sendo assim, uma resposta fundamental para avaliar a operação de secagem. Assim para a resposta de solubilidade, as condições de temperatura do ar de entrada e a concentração de sólidos na pasta foram apropriadas para promover a solubilização das proteínas em meio aquoso.

A digestibilidade proteica obtida na melhor condição (51,2 % (m/m)), é considerado um valor muito bom para alimentos processados, pois estes tendem a ter seus nutrientes reduzidos após as operações de processamento. A digestibilidade é um parâmetro nutricional que avalia o aproveitamento de uma fonte proteica, no entanto, pode ser influenciada por alguns fatores como compostos fenólicos, inibidores proteicos e tratamento térmico. Os experimentos realizados podem ter sido influenciados pela temperatura e pela presença de compostos fenólicos no produto, pois os taninos, compostos fenólicos presentes nos vegetais, são considerados antinutrientes por provocarem a complexação das proteínas, tornando-as insolúveis e inativando as enzimas digestivas.

Os fitatos também interagem com resíduos básicos das proteínas, participando da inibição de enzimas digestivas como a pepsina e a pancreatina. A temperatura afeta diretamente a resposta digestibilidade, devido ao fato do tempo de exposição do produto ser determinante sobre alguns fatores capazes de afetar a digestibilidade, todavia, o limiar entre a inativação dos compostos inibidores das enzimas e o da temperatura capaz de degradá-las é

muito próximo, assim é necessário um rigoroso controle dos parâmetros para que seja possível afirmar qual fenômeno ocorre durante a secagem ligada a digestibilidade proteica.

Pode-se observar também na Tabela 13 que para as condições estudadas, os maiores valores de digestibilidade foram observada nos experimento realizado nas temperatura de 90 e 100 °C, e com maior concentração de sólidos 10 % (m/m), na faixa de 50 % (m/m). Isto pode ser decorrente da desnaturação parcial e da inativação dos fatores antinutricionais presentes nos vegetais e pela exposição a uma temperatura branda, pois o produto ao final da secagem atinge temperaturas de 3 a 5 °C acima das temperaturas de bulbo úmido do ar de entrada, que estavam na faixa de  $38 \pm 1^\circ\text{C}$  para a secagem a 90 °C e de  $43 \pm 1^\circ\text{C}$  para a secagem a 100 °C, como pode ser observado na Tabela 12. Carvalho et al. (2009) encontraram os maiores valores de digestibilidade dos aminoácidos metionina, treonina, lisina, triptofano e fenilalanina nas temperaturas 40, 25, 27, 32 e 40°C, respectivamente.

A capacidade de retenção de água (CRA) apresentou valor um pouco inferior na condição de secagem escolhida em relações às outras condições (Tabela 14). Esta propriedade está ligada a as proteínas que compõem o material, nesse caso as proteínas, em sua maioria, são provenientes do plasma o qual é rico em albuminas, que tem alta capacidade geleificante, emulsificante e são altamente hidrofílicas. De acordo com Polo et al., (2005) a capacidade de geleificação é induzida pelo calor de potencial interesse para aplicações em alimentos, uma vez que géis melhoram a textura e a consistência. Isso se deve à temperatura dentro do leito e do tempo de residência do produto. A temperatura do ar de secagem de 100 °C faz com que a pasta fique aderida aos inertes em um tempo maior do que quando utilizadas temperaturas inferiores. Além disso, com a concentração de sólidos presentes de 10 % (m/m) na pasta alimentada também aumenta a espessura da película depositada nas partículas de inertes, aumentando o tempo de exposição ao ar de secagem, influenciando nas suas propriedades funcionais.

O índice de solubilidade em água (ISA) para a melhor condição definida foi na faixa dos maiores valores, apresentando diferença significativa ao nível de 95% de confiança ( $p < 0,05$ ). Assim, a temperatura do ar de 100°C associada a concentração da pasta causaram um aumento da solubilidade em água dos componentes do produto. O índice de solubilidade em água está relacionado com a degradação do amido, essa substancia está presente no tomate na forma de pectina e na batata como amido (SHIH; KUO; CHIANG, 2009). A capacidade do amido se ligar com a água pra formar géis em determinada faixa de temperatura faz com que

o índice de solubilidade aumente influenciando diretamente as propriedades funcionais do produto seco e sua posterior aplicação na indústria de alimentos.

Quanto aos compostos fenólicos e a atividade antioxidante, observa-se na Tabela 13 que a condição definida como mais adequada (nº 4), apresentou valores satisfatórios para estas características no produto seco. Os compostos fenólicos da pasta de vegetais enriquecida de plasma bovino mostraram uma tendência ao aumento dos fenóis com o aumento da temperatura e da concentração, quando comparado com os demais experimentos. Os compostos fenólicos, em um vegetal intacto, encontram-se nos vacúolos ficando separados das enzimas oxidativas. Quando a estrutura entra em colapso durante a desidratação resulta na liberação das enzimas oxidativas e hidrofílicas que podem catalisar a oxidação de diversos substratos como os fenóis (TAKEOKA et al., 2001; DEWANTO et al., 2002).

Além disso, a diminuição dos compostos fenólicos durante a secagem também pode ser atribuída à ligação de polifenóis com outros compostos como proteínas (MARTÍN-CABREJAS et al., 2009; QU; PAN; MA, 2010). No entanto, os compostos fenólicos aumentaram com o aumento da temperatura e concentração, isso pode ter acontecido devido nas maiores concentrações a película formada sobre o inerte tende a ser mais espessa, protegendo os compostos termossensíveis da degradação. No equipamento de secagem em leito de jorro, a pasta tem um tempo de residência pequeno, sendo de aproximadamente  $15,0 \pm 1,0$  min. Assim, segundo Antunes, Gonçalves e Trevisan (2006), a preservação dos compostos fenólicos nas maiores temperaturas e maiores concentrações, com relação aos demais experimentos, pode ser atribuída a não ocorrência de reações de complexação e polimerização de taninos, que geralmente ocorrem na secagem de vegetais ou de produtos que os contenham em sua formulação, devido ao fato do produto não ter atingido elevadas temperaturas.

A atividade antioxidante na melhor condição (experimento nº 4 da Tabela 13) apresentou um alto teor de compostos capazes de sequestrar o radical DPPH, assim como nos demais experimentos. Métodos de processamento são conhecidos por ter efeitos variáveis sobre a atividade antioxidante dos alimentos. Tais efeitos incluem pouca, nenhuma mudança ou melhoria das propriedades antioxidantes (MIRANDA et al. 2010). No entanto, a atividade antioxidante dos alimentos durante a desidratação ainda é uma questão complexa devido a fatores, como método de secagem, tipo de extração por

solvente, ensaios de antioxidantes, natureza dos fitoquímicos e interações de múltiplas reações (VEGA-GÁLVEZ et al., 2009).

Chan et al., (2009) afirmam que o processamento de alimentos pode melhorar as propriedades antioxidantes de ocorrência natural, ou induzir a formação de novos compostos com características antioxidantes, de modo que a atividade global aumente ou mantenha-se inalterada. Alguns autores relatam que longos tempos de secagem associada à temperatura do processo promove uma diminuição da capacidade antioxidante (GARAU et al., 2007). No entanto neste estudo, assim como no de Rocha et al. (2014), isto não foi evidenciado, pois o aquecimento de produtos ricos em dissacarídeos e proteínas pode induzir a formação de compostos como a melanoidina na reação de Maillard, e estes podem ter efeitos antioxidantes, aumentando dessa forma, atividade antioxidante total do alimento processado.

De acordo com a Tabela 13, a alteração da cor pode ter sido influenciada pelos parâmetros avaliados. Segundo Adam et al. (2000), durante a secagem podem ocorrer alterações ou variações na cor, as quais podem ser atribuídas às reações de escurecimento como as reações de Maillard. Os aminoácidos provenientes do plasma bovino, juntamente com açúcares redutores dos vegetais e sob condições de aquecimento, podem provocar a ocorrência dessas reações de escurecimento não enzimático (CARVALHO et al., 2009).

A partir da análise estatística realizada apresentada na Tabela 13, pode-se dizer que a condição de operação mais adequada para a secagem em leito de jorro da pasta de vegetais enriquecida foi o experimento nº 4, na temperatura do ar de entrada de 100°C e concentração de pasta de 10% (m/m). Esta condição permitiu obter resultados aceitáveis e coerentes para as respostas analisadas. Ou seja, nesta condição todas as propriedades funcionais, nutricionais e bioativas do produto desidratado, mantiveram-se estáveis não sendo alteradas pela temperatura ou concentração de sólidos presentes nesta formulação. Nas demais condições é possível observar um decréscimo acentuado em alguma das respostas, mostrando uma instabilidade na operação que afetou algumas das propriedades estudadas.

Foi verificado também, que na condição de 100°C e 10% m/m de sólidos obteve-se um baixo acúmulo de massa possibilitando assim, um maior rendimento de produto seco, (os valores de acúmulo e rendimento dos produtos na secagem em leito de jorro estão apresentados na Tabela A.1 do Apêndice A), Isto pode ter ocorrido devido a maior concentração da pasta (10% m/m), levando a uma baixa aderência de material nos

inertes pela menor quantidade de água entre os sólidos. Além disso, a vazão de alimentação foi fixada em  $600 \text{ mL h}^{-1}$  que equivale a uma taxa de alimentação de  $0,3 \text{ kg kg}_{\text{inerte}} \cdot \text{h}^{-1}$ . Este valor corresponde a vazão de  $150 \text{ mL h}^{-1}$  utilizada no leito de jorro cônico, e em um estudo de viabilidade foi a que se mostrou melhor.

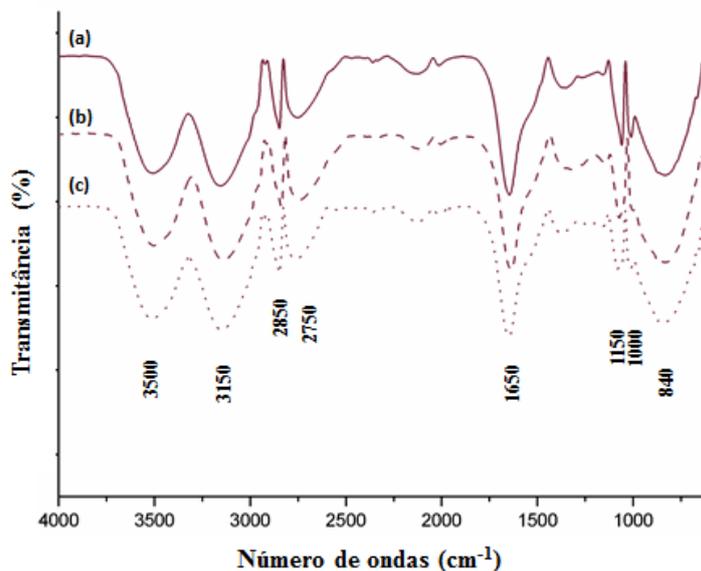
Rocha et al. (2014) encontrou como melhor condição de secagem em leito de jorro cone-cilíndrico para pasta de vegetais a vazão de alimentação de  $600 \text{ mL} \cdot \text{h}^{-1}$ , temperatura do ar de entrada de  $110^\circ\text{C}$  e concentração da pasta de 7% (m/m), significando que a adição de um componente novo na pasta de vegetais como o plasma bovino, alterou aspectos reológicos da mesma, afetando as condições operacionais da secagem. Além disso, interações entre proteínas e açúcares redutores podem ter se intensificado pela adição de uma fonte proteica altamente solúvel, e favorecido a reação de Maillard, com produtos que causam o escurecimento não enzimático.

Os percentuais de umidade dos produtos secos apresentaram valores pouco inferiores à faixa comercial, sendo para a melhor condição (experimento nº 4 da Tabela 13) ao redor de 5% (m/m), e o acúmulo de material no leito de 12 % (m/m), como apresentado na Tabela A.1 do apêndice A.

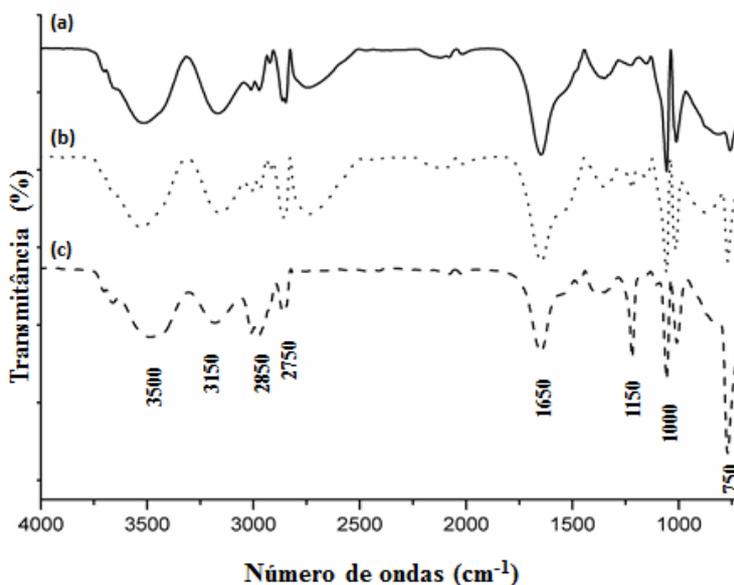
### **5.3.1 Caracterizações química e morfológica do produto final**

A caracterização química foi realizada utilizando a espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier, e as Figuras 6 e 7 apresentam os espectros de FTIR dos extratos metanólicos das amostras estudadas. .

**Figura 6** – Espectros de FTIR dos extratos metanólicos das amostras de pastas de vegetais enriquecida com plasma bovino com concentração de 7,5% (m/m) de sólidos e temperatura do ar de entrada de: (a) 90°C, (b) 100°C, e (c) 110°C.



**Figura 7**– Espectros de FTIR dos extratos metanólicos das amostras de pastas de vegetais enriquecida com plasma bovino com concentração de 10% (m/m) de sólidos e temperatura do ar de entrada de: (a) 90°C, (b) 100°C, e (c) 110°C.



A análise espectral das amostras apresentada nas Figuras 6 e 7, mostram a composição química da pasta com diferentes concentrações de sólidos através das bandas. As bandas 3500 a 3150  $\text{cm}^{-1}$  correspondem ao estiramento do plano dos grupos -OH, esse grupamento pode ser atribuído aos álcoois ou fenóis, no entanto, quando esses picos são

provenientes de álcoois eles são menos intensos do que os fenóis, geralmente essa característica é atribuída devido a presença de ligações de hidrogênio.

Os picos de 2850 e 2750  $\text{cm}^{-1}$  podem corresponder ao estiramento -CHO esse grupamento consiste em um par de bandas fracas uma em 2860-2800  $\text{cm}^{-1}$  e a outra em 2760-2700  $\text{cm}^{-1}$  representando o grupo funcional aldeído. O pico formado na região de 1650  $\text{cm}^{-1}$  pode ser atribuído ao estiramento C=C, essas absorções são de intensidade média a forte e normalmente implicam na presença de anéis aromáticos (PAVIA et al., 2010). As bandas na região de 1150 e 1000  $\text{cm}^{-1}$  podem ser usadas para definir álcoois terciários e primários respectivamente. Nas bandas onde a absorção varia de 900 a 750  $\text{cm}^{-1}$  compreendem as regiões de deformação de C-H dos anéis aromáticos fora do plano (SILVERSTEIN et al., 2005).

Os espectros da pasta de vegetais nas diferentes concentrações apresentam as mesmas bandas, que podem ser atribuídas aos compostos antioxidantes. Kumar et al. (2015) estudaram a atividade antioxidante em diferentes vegetais folhosos secos, utilizando diferentes métodos e após foram submetidos a análise espectral, na qual identificaram as mesmas bandas encontradas no presente estudo.

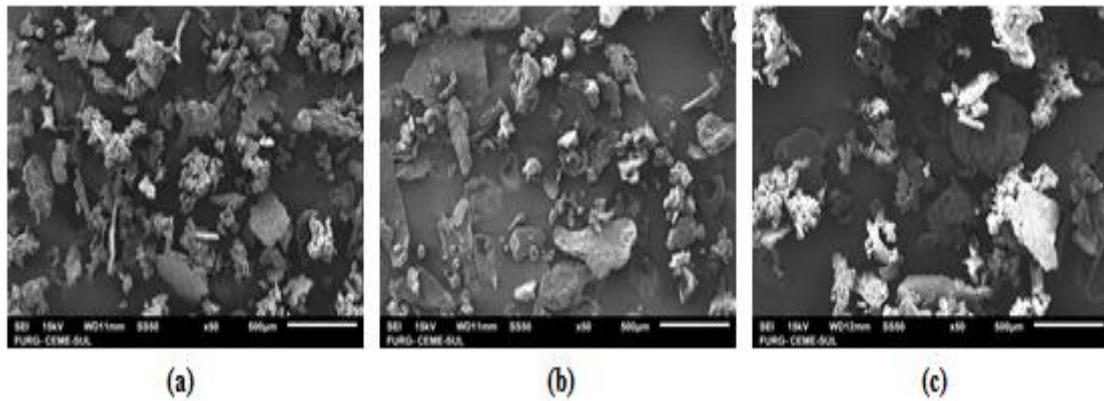
Na região de absorção de 1000  $\text{cm}^{-1}$  que representa os álcoois primários, podem ser atribuído aos compostos fenólicos, pois essa banda é utilizada para determinar a presença destes compostos. No entanto, este pico diminuiu sua intensidade com o aumento da temperatura, como sugerido por Rocha et al. (2014). Tal comportamento se justifica pelo fato de que os fenóis são compostos termoestáveis, sendo facilmente afetados pelo aumento da temperatura.

Na banda de absorção de 750  $\text{cm}^{-1}$  da pasta com concentração de sólidos de 10% aparece um pico intenso e agudo nessa região que representa os anéis aromáticos com dobramento fora do plano, podem ser atribuído aos compostos fenólicos, pois essa banda é utilizada para determinar a presença destes compostos. No entanto, este pico ficou evidente com o aumento de sua intensidade que pode ser atribuída ao aumento da concentração de sólidos pasta fazendo com que esses compostos fiquem mais susceptíveis a identificação.

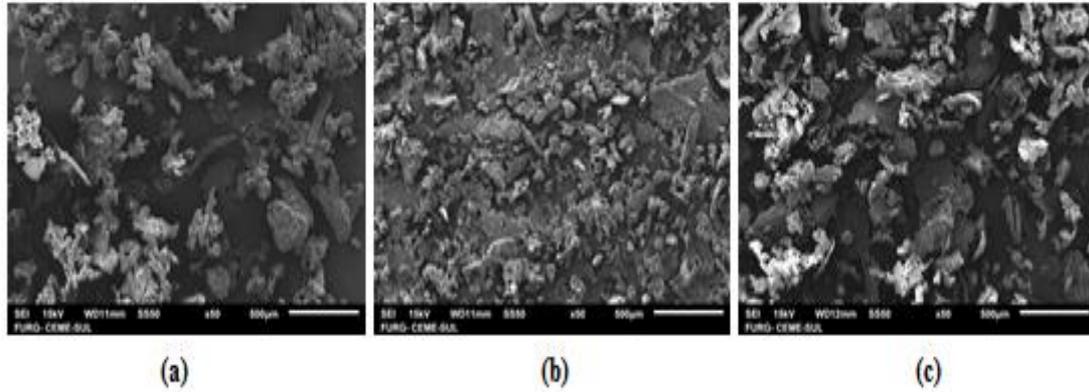
As Figuras 8 a 11 apresentam as estruturas morfológicas das amostras secas no leite de jorro em diferentes concentrações de sólidos (7,5 e 10% m/m), com aumento de

50× e 1000×, respectivamente.

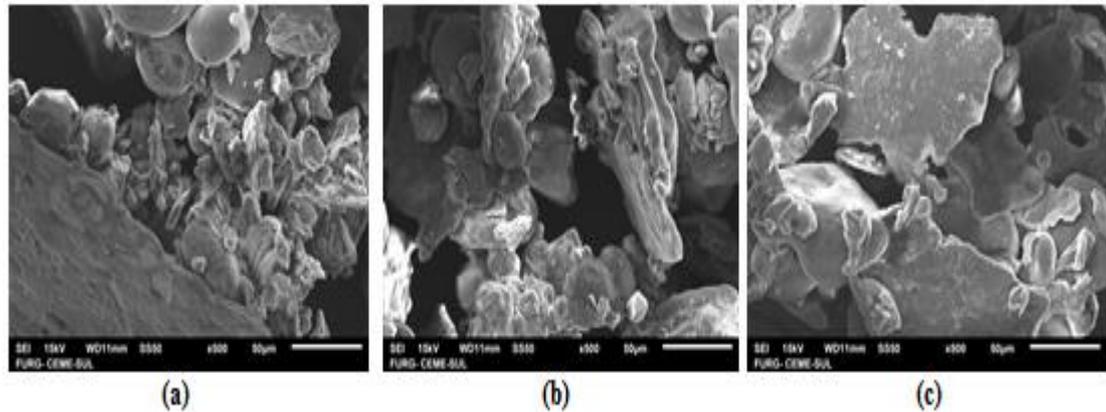
**Figura 8** – Microscopia eletrônica de varredura (×50) das amostras de pastas de vegetais enriquecida com plasma bovino com a concentração de sólidos de 7,5% (m/m) e temperatura do ar de entrada de: (a) 90°C, (b) 100°C, e (c) 110°C.



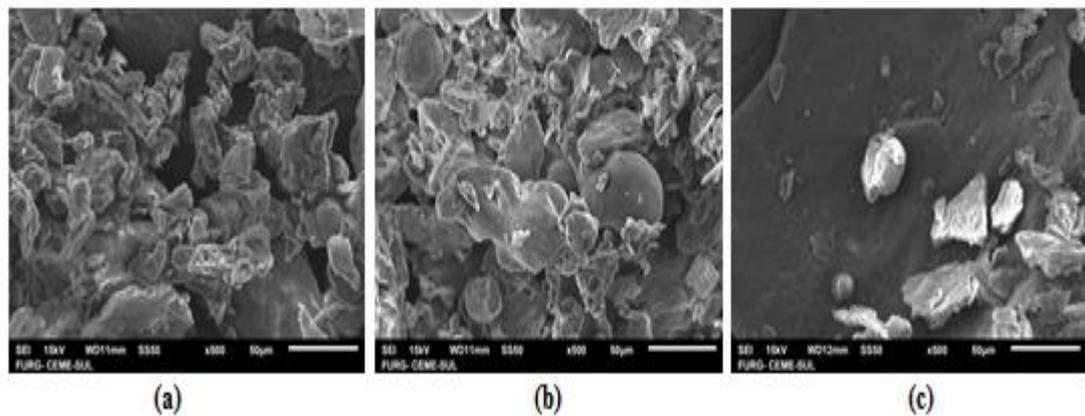
**Figura 9** – Microscopia eletrônica de varredura (×50) das amostras de pastas de vegetais enriquecida com plasma bovino com a concentração de sólidos de 10% (m/m) e temperatura do ar de entrada de: (a) 90°C, (b) 100°C, e (c) 110°C.



**Figura 10** – Microscopia eletrônica de varredura ( $\times 500$ ) das amostras de pastas de vegetais enriquecida com plasma bovino com a concentração de sólidos de 7,5% (m/m) e temperatura do ar de entrada de: (a) 90°C, (b) 100°C, e (c) 110°C.



**Figura 11** – Microscopia eletrônica de varredura ( $\times 500$ ) das amostras de pastas de vegetais enriquecida com plasma bovino com a concentração de sólidos de 10% (m/m) e temperatura do ar de entrada de: (a) 90°C, (b) 100°C, e (c) 110°C.



As partículas da pasta de vegetais enriquecida com plasma bovino seca em leito de jorro em diferentes temperaturas apresentaram tamanhos inferiores a  $100\mu\text{m}$ , como é possível observar nas imagens (a), (b) e (c) das Figuras 9 e 10, quais as imagens possuem um aumento de 50 vezes. O pequeno tamanho das partículas secas pode ser associado à forma de alimentação da pasta, pois durante a operação de secagem a alimentação foi feita por atomização com ar comprimido, que gerou gotículas bem pequenas quando comparado a outras formas, como a de gotejamento por exemplo. As imagens mostram também que os pós apresentaram estrutura irregular e compacta. A morfologia do floco irregular em forma partículas pode ser associada com a deformação mecânica da película depositada nas partículas de inertes devido à fricção entre as partículas e a parede do leito (BRAGA; ROCHA, 2013).

Nas Figuras 10 e 11, nas quais as imagens possuem um aumento de 500 vezes, é evidente a presença de micro gotas de gordura acumulada na superfície do pó obtido, que pode ser justificado pela adição de óleo de soja (ROCHA et al., 2014). A presença dessas gotículas podem afetar a dissolução e a reconstituição do pó (BRAGA; ROCHA, 2013).

A melhor condição da secagem em leito de jorro cone-cilíndrico, obtida nos tratamentos experimentais realizados, foi comparada com a secagem da pasta de vegetais enriquecida com plasma bovino em secador tradicional de bandejas. A Tabela 15 mostra os resultados obtidos na secagem em bandeja e na melhor condição experimental da secagem em leito de jorro cone-cilíndrico (100°C e 10 % m/m).

**Tabela 15** – Comparação do melhor resultado do tratamento experimental da secagem em leito de jorro cone-cilíndrico com a secagem em bandeja da pasta enriquecida com plasma bovino.

Exp.**	Sol.* (% p/p)	Digest.* (% p/p)	CRA* (g.g <sup>-1</sup> )	ISA* (% p/p)	Fenóis* (mg <sub>EAG</sub> .g <sup>-1</sup> )	AA* (%inib.)	ΔE*
(1)	30,5±0,6 <sup>a</sup>	51,2±2,6 <sup>a</sup>	4,6±0,2 <sup>a</sup>	23,4±1,8 <sup>a</sup>	4,95±0,1 <sup>a</sup>	47,7±1,9 <sup>a</sup>	16,0±0,1 <sup>a</sup>
(2)	13,0±1,8 <sup>b</sup>	33,3±0,0 <sup>b</sup>	4,8±0,1 <sup>a</sup>	14,5±1,0 <sup>b</sup>	2,40±0,1 <sup>b</sup>	21,1±1,0 <sup>b</sup>	17,2±0,6 <sup>b</sup>

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

\*\*Legenda: (1) leito de jorro= 90°C e 10% m/m; (2) bandeja (65°C).

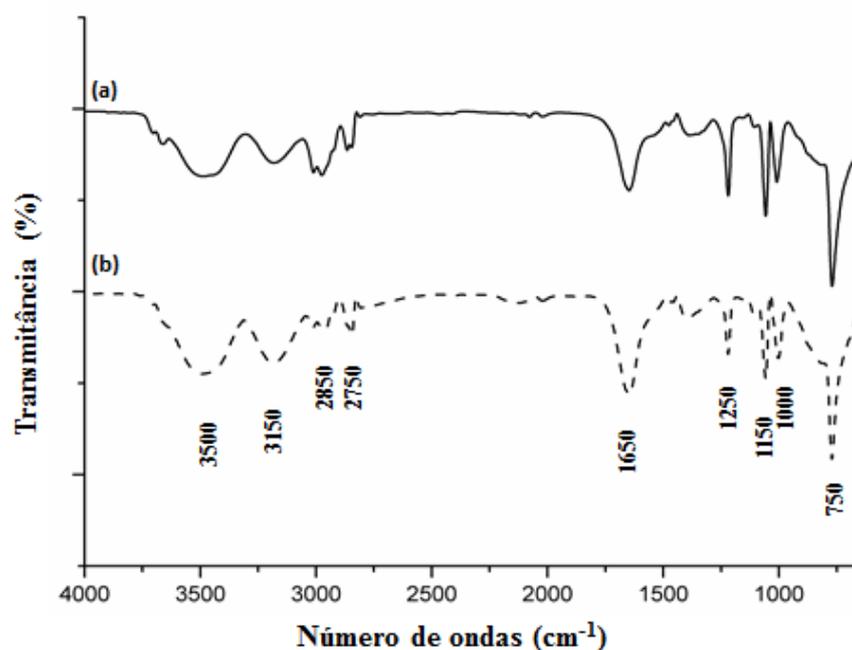
É possível observar na Tabela 15, que os resultados obtidos na secagem em leito de jorro se mostraram significativamente superiores (p<0,05) aos obtidos na secagem em bandeja, exceto a capacidade de retenção de água que se apresentaram estatisticamente iguais, para ambas as secagens. Isso pode ser devido ao fato que na secagem em leito de jorro o produto foi exposto a um baixo tempo de residência (aproximadamente 15 min) e o produto final alcançou valores de temperaturas moderadas (40-45°C), fazendo com que seus compostos sejam mais facilmente preservados. Na secagem convencional de bandeja, o produto teve um longo tempo de exposição no ar quente (cerca de 240 min), e ao final da secagem atingiu temperaturas próximas ao ar de secagem (65°C). Assim, podem ter ocorrido reações de degradação em todos os compostos presentes na pasta. O produto seco no secador de bandejas mostrou uma tendência de a coloração amarelo-alaranjado e produto seco leito de jorro apresentou uma tendência à coloração verde-amarelada. O produto seco em pode ter sua cor atribuída à decomposição de pigmentos, como clorofila e carotenoides.

Os polifenóis são compostos encontrados em todo o reino vegetal e podem ser

divididos em várias classes diferentes. As classes incluem ácidos fenólicos, antocianinas e flavonoides (MANAH et al., 2004). Os ácidos fenólicos podem ser divididos em duas classes, aqueles que são derivados de ácido benzóico e outros que são derivados de ácido cinâmico. Estes compostos são geralmente parte de uma estrutura complexa (KÄHKÖNEN et al., 1999). Os polifenóis são compostos que podem ser facilmente oxidado e isso pode levar a degradação da capacidade antioxidante total e dos compostos fenólicos. Existem duas formas principais que polifenóis são degradados, métodos enzimáticos e não enzimáticos. A degradação enzimática inclui enzimas como polifenol oxidase, lipoxigenase e peroxidase e degradação não enzimática inclui as reações de Maillard, levando a oxidação dos fenóis (VANZOUR et al., 2010). Dessa forma, é possível atribuir as perdas da capacidade antioxidante e dos compostos fenólicos, com relação a secagem em bandeja a degradação não enzimática, pois a secagem tende a inibir a atuação enzimática, sendo a pasta rica em dissacarídeos e proteínas que são compostos que reagem entre si dando início a reação de Maillard.

A análise espectral das amostras apresentada na Figura 12, mostra a composição química da pasta seca em leito de jorro cone-cilíndrico na melhor condição e seca em bandeja.

**Figura 12** – Espectros de FTIR dos extratos metanólicos das amostras de pastas de vegetais enriquecida com plasma bovino com concentração de 10% (m/m) de sólidos seca em: (a) leito de jorro a 100°C, (b) bandeja a 65°C e espessura de 3mm.



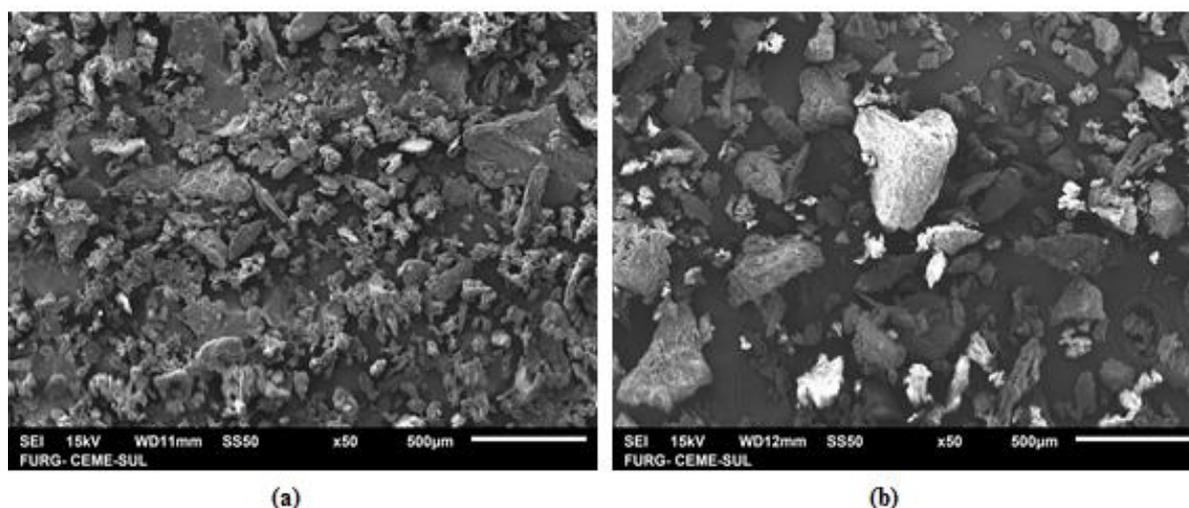
Na Figura 12, as bandas 3500 a 3150  $\text{cm}^{-1}$  correspondem ao estiramento do plano

dos grupos -OH, os picos de 2850 e 2750  $\text{cm}^{-1}$  podem corresponder ao estiramento -CHO representando o grupo funcional aldeído. Esse pico é pouco evidente na Figura 12 (b), que corresponde à secagem em bandeja. Este fato pode ser atribuído ao mecanismo de secagem em bandeja que pode formar uma camada espessa de difícil difusão na qual o material fica completamente exposto ao ar de secagem, fazendo com os compostos não sejam preservados, e sua identificação pode ter ocorrido pelo fato do produto seco ser moído em moinho de facas deixando os compostos identificados susceptíveis a extração, mesmo em pouca quantidade.

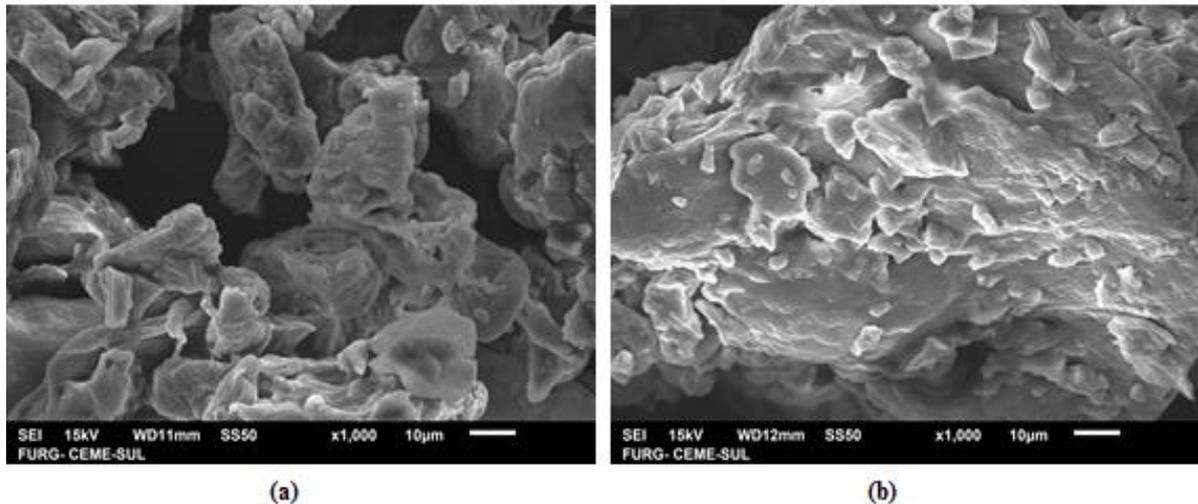
O pico formado na região de 1650  $\text{cm}^{-1}$  pode ser atribuído ao estiramento C=C essas absorções são de intensidade média a forte e normalmente implicam na presença de anéis aromáticos. As bandas na região de 1150 e 1000  $\text{cm}^{-1}$  podem ser usadas para identificar os álcoois. Nas bandas onde a absorção varia de 900 a 750  $\text{cm}^{-1}$  compreendem as regiões de deformação de C-H dos anéis aromáticos fora do plano (SILVERSTEIN et al., 2005). A banda de absorção de 1250  $\text{cm}^{-1}$  só é evidente no espectro da pasta seca em bandeja, onde aparece um pico intenso e agudo nessa região que representa o estiramento do grupamento amina (KUMAR et al., 2015).

A Figura 13 e 14 apresentam as imagens de MEV para as pastas de vegetais enriquecida com plasma bovino secas em leito de jorro cone-cilíndrico (melhor condição) e em bandeja.

**Figura 13** – Microscopia eletrônica de varredura das amostras de pastas de vegetais enriquecida com plasma bovino com concentração de 10% (m/m) de sólidos seca em: (a) leito de jorro a 100°C ( $\times 1000$ ), (b) bandeja a 65°C ( $\times 1000$ ).



**Figura 14** – Microscopia eletrônica de varredura das amostras de pastas de vegetais enriquecida com plasma bovino com concentração de 10% (m/m) de sólidos seca em: (a) leito de jorro a 100°C (×1000), (b) bandeja a 65°C (×1000).



As partículas da pasta de vegetais enriquecida com plasma bovino seca em leito de jorro, em diferentes temperaturas, apresentaram tamanhos inferiores aos tamanhos das partículas seca em bandeja, como é possível observar nas imagens das Figuras 13 e 14. O pequeno tamanho das partículas secas pode ser associado à forma de alimentação da pasta seca em leito de jorro (por atomização), e os maiores grânulos da pasta seca bandeja se deve ao fato de ser necessária uma moagem para que seu produto se torne pó.

#### 5.4 TRATAMENTOS EXPERIMENTAIS PARA A SECAGEM NO LEITO DE JORRO CONE-CILÍNDRICO DA PASTA ENRIQUECIDA COM SORO DE LEITE

A partir dos experimentos realizados foi possível determinar uma faixa para as melhores condições operacionais da secagem de pasta de vegetais de alto valor proteico. Assim, para uma nova formulação contendo soro de leite ao invés de plasma bovino, foi possível delinear quatro tratamentos para reproduzir as condições mais favoráveis deste tipo de produto, conforme apresentado na Tabela 16.

**Tabela 16** - Fatores e respectivos níveis de estudo dos experimentos de secagem em leite de jorro cone-cilíndrico da pasta de vegetais enriquecida de soro de leite.

Fator de Estudo	Nível Inferior	Nível Superior
Concentração de sólidos da pasta (% m/m)	7,5	10
Temperatura do ar de entrada (°C)	90	100

Os resultados apresentados na Tabela 17 foram analisados através do Teste de Tukey ao nível de 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 17** – Resultados dos tratamentos experimentais da secagem em leite de jorro cone-cilíndrico da pasta enriquecida com soro de leite

Exp.	Sol.* (% p/p)	Digest.* (% p/p)	CRA* (g.g <sup>-1</sup> )	ISA* (% p/p)	Fenóis* (mg <sub>EAG</sub> .g <sup>-1</sup> )	AA* (% inib.)	ΔE*
(1)	19,8±0,0 <sup>a</sup>	78,8±1,0 <sup>a</sup>	4,8±0,5 <sup>a</sup>	24,4±0,5 <sup>a</sup>	3,09±0,5 <sup>a</sup>	73,8±0,3 <sup>a</sup>	17,4±0,2 <sup>a</sup>
(2)	34,2±1,1 <sup>b</sup>	55,4±0,6 <sup>b</sup>	10,1±0,5 <sup>b</sup>	27,8±0,0 <sup>b</sup>	4,22±0,3 <sup>b</sup>	74,6±0,3 <sup>b</sup>	10,1±0,1 <sup>b</sup>
(3)	39,4±0,2 <sup>c</sup>	82,1±0,0 <sup>c</sup>	8,3±0,1 <sup>c</sup>	25,0±0,0 <sup>c</sup>	5,25±0,0 <sup>c</sup>	74,8±0,8 <sup>b</sup>	18,7±0,1 <sup>c</sup>
(4)	26,5±0,0 <sup>d</sup>	84,9±2,2 <sup>d</sup>	10,8±0,3 <sup>b</sup>	29,6±0,5 <sup>d</sup>	7,72±0,1 <sup>d</sup>	75,7±0,2 <sup>c</sup>	17,5±0,1 <sup>a</sup>
<i>In natura</i>	64,4±0,0 <sup>e</sup>	90,8±1,3 <sup>e</sup>	11,4±0,1 <sup>d</sup>	30,6±0,2 <sup>e</sup>	4,36±0,3 <sup>b</sup>	76,6±0,6 <sup>d</sup>	-

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

(1) 90°C e 7,5% (m/m); (2) 90°C e 10% (m/m); (3) 100°C e 7,5% (m/m); (4) 100°C e 10% (m/m).

**Tabela 18** – Temperaturas de entrada, saída, bulbo seco e bulbo úmido dos tratamentos experimentais da secagem em leito de jorro cone-cilíndrico da pasta enriquecida com soro de leite.

Exp.** (n°)	Temperatura de Entrada* (°C)	Temperatura de Saída* (°C)	Temperatura de Bulbo Seco* (°C)	Temperatura de Bulbo Úmido* (°C)
(1)	90,0±1,0	74,0±2,0	61,0±1,0	45,0±1,0
(2)	90,0±1,0	70,0±1,0	61,0±2,0	37,0±1,0
(3)	100,0±1,0	83,0±1,0	58,0±1,0	45,0±1,0
(4)	100,0±1,0	78,0±1,0	66,0±1,0	45,0±1,0

\*Valor médio ± desvio padrão (n=2). \*\* Legenda: (1) 90°C e 7,5% (m/m); (2) 90°C e 10% (m/m); (3) 100°C e 7,5% (m/m); (4) 100°C e 10% (m/m).

Através da Tabela 17, verifica-se que para as respostas solubilidade proteica, digestibilidade, capacidade de retenção de água (CRA), índice de solubilidade em água (ISA), compostos fenólicos, atividade antioxidante e variação de cor apresentaram diferença significativa ( $p>0,05$ ), em todos os tratamentos.

Pode-se observar que a solubilidade proteica obteve uma diferença significativa ao nível de 95% de confiança ( $p<0,05$ ) entre todos os tratamentos e à amostra *in natura*, e que a secagem, no entanto, apresentou uma perda na solubilidade proporcionada pelo tratamento térmico quando comparado com a mostra *in natura*.

Segundo Sgarbieri (1996), a solubilidade proteica tende a aumentar até uma faixa de temperatura de 40-50°C e, acima desta, tende a diminuir devido à desnaturação. E ainda as proteínas do soro de leite têm a sua funcionalidade associada à sua composição e grau de desnaturação (LIZARRAGA et al., 2006), sendo necessário o rigoroso controle da operação quando se trabalha com este produto. A secagem do material em leito de jorro ocorreu um pouco acima da temperatura de bulbo úmido do ar, e os experimentos foram realizados com temperatura de bulbo úmido em torno de 45±1 °C, todavia, obteve-se uma redução da solubilidade em relação à pasta *in natura*.

A solubilidade proteica é a principal propriedade funcional, do qual todas as demais são dependentes e, portanto deve ser a primeira verificada para a utilização em produtos alimentícios. As moléculas de água ligam-se a diversos grupos nas proteínas, que incluem grupos carregados (interações íon-dipolo); grupos peptídicos da cadeia principal;

grupos amida e hidroxila dos resíduos de aminoácidos; resíduos não polares (FENNEMA; PARKIN; DAMODARAN, 2010).

Os resultados para a digestibilidade proteica *in vitro* mostra que em todos os tratamentos obtiveram uma diferença significativa ao nível de 95% de significância ( $p < 0,05$ ) em relação à amostra *in natura*. Observa-se que os tratamentos de maior temperatura de entrada do ar 100 °C foram os que obtiveram maiores valores de digestibilidade quando comparados aos demais. Isto pode ser decorrente das temperaturas do ar de saída mais elevadas. Segundo Marichal et al., (2000) o grau de dano dependerá da quantidade de calor aplicada e da extensão do aquecimento.

Além disso, os vegetais são conhecidos pelos fatores antinutricionais e que o tratamento térmico provoca a redução e/ou inativação de algum dessas substâncias indesejáveis (BENEVIDES et al., 2011). Assim, a operação de secagem pode ter ocasionado uma leve desnaturação das proteínas, causando mínimas perdas na digestibilidade proteica. Porém, se for aplicado uma temperatura elevada pode provocar a desnaturação excessiva das proteínas resultando na sua insolubilização, afetando suas propriedades funcionais e aumentando a viscosidade. A maioria das proteínas é desnaturada quando expostas a moderado aquecimento (60 a 90 °C, por 1 h ou menos).

Schmid, Eib e Reinelt (2015) estudaram a modelagem, simulação e validação experimental de secagem para a desnaturação dos isolados de proteínas do soro de leite, a temperatura de secagem utilizada foi de 35, 70, 105 e 140 °C, e obtiveram uma variação da desnaturação de 13 a 67%, respectivamente. Esse estudo mostrou que o fator temperatura está diretamente ligado a perdas das propriedades proteicas, sendo necessário manter sempre o rigoroso controle da temperatura de operação para sejam minimizadas as perdas dos compostos nitrogenados.

A capacidade de retenção de água apresentou valores de 4,8 a 10,8 g.g<sup>-1</sup>, sendo que os melhores resultados foram obtidos na maior concentração de sólidos 10% m/m. A capacidade de retenção de água é a capacidade de reter a sua própria água, assim como a água adicionada, durante a aplicação de forças externas (como gravidade, pressão ou centrifugação) ou durante e após aquecimento. As proteínas solúveis do soro de leite apresentam um excelente perfil de aminoácidos, caracterizando-as como proteínas de alto valor biológico. Rocha et al. (2014) estudaram uma pasta de vegetais enriquecida de sangue bovino obtiveram

valores inferiores aos encontrados no presente, tornando o emprego de soro de leite em formulações alimentícias promissor.

Em relação ao índice de solubilidade em água (ISA), observa-se que em todos os experimentos apresentaram diferença significativa ao nível de 95% de significância ( $p < 0,05$ ). Além disso, o experimento realizado com a menor temperatura e concentração ( $90^{\circ}\text{C}/7,5\% \text{m/m}$ ) apresentou menor índice de solubilidade em água. Este comportamento pode ser explicado pela menor temperatura de saída do ar e maior tempo de residência do produto, reduzindo a capacidade dos componentes solúveis oriundos dos vegetais (amido, pectina) e do soro de leite (proteínas) de se hidratarem com a água.

Se tratando dos compostos fenólicos e da atividade antioxidante obtiveram-se valores satisfatórios para os tratamentos próximos dos valores encontrados para a amostra *in natura*. A atividade antioxidante total apresentou uma diminuição em todos os tratamentos com relação a amostra *in natura* de acordo com a Tabela 17. Os resultados mostraram que, quando os experimentos foram realizados a mais elevada do ar de entrada temperaturas, observou-se a maior inibição pelo radical DPPH. Esse comportamento também foi encontrado por Larrosa et al. (2015).

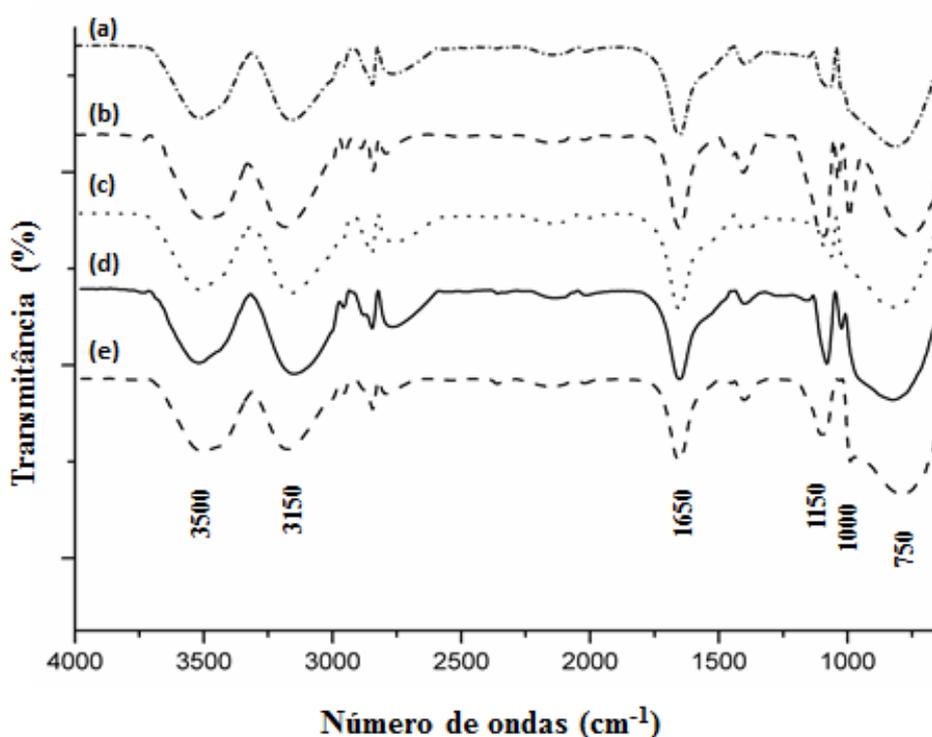
Os resultados valores encontrados para os compostos fenólicos foram maiores nos experimentos realizados na temperatura de  $100^{\circ}\text{C}$ . Durante o processo de secagem, os fenóis podem apresentar diferentes estados de oxidação que podem influenciar na atividade antioxidante (MRKIC et al., 2006). Os vegetais da pasta contêm números compostos fenólicos, que pode resultar em diferenças no perfil de compostos bioativos que poderiam resultar em mudanças complexas na atividade antioxidante (DEEPA et al., 2007).

Braga e Rocha (2013) verificaram que o tempo de exposição ao calor durante o processo de secagem em leito de jorro preservou as antocianinas, mostrando a efetividade da secagem em leito de jorro para preservação compostos com características antioxidantes. Liu et al., (2015) comparam a cor e o teor de antocianinas em batatas-doces roxas secas em leito de jorro. Secagem assistida por branqueamento em micro-ondas, esses autores afirmaram que o tratamento prévio de branqueamento reduziu o tempo de secagem, também as antocianinas foram preservadas, e o produto seco apresentou uma mudança na cor coloração com uma leve perda de brilho. Com relação aos parâmetros de cor é possível afirmar que pasta apresentou uma coloração amarelo-esverdeado, pois seu ângulo Hue variou entre  $88$  a  $97^{\circ}$ .

### 5.4.1 Caracterizações química e morfológica do produto final

A caracterização química da pasta de vegetais enriquecida com soro de leite foi realizada utilizando a espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier e a morfológica pela microscopia eletrônica de varredura. A Figura 15 mostra os espectros de infravermelho obtidos.

**Figura 15** – Espectros de FTIR dos extratos metanólicos das amostras de pastas de vegetais enriquecida com soro de leite: (a) 90°C/7,5%, (b) 90°C/10%, (c) 100°C/7,5%, (d) 100°C/10% e (e) *in natura*.



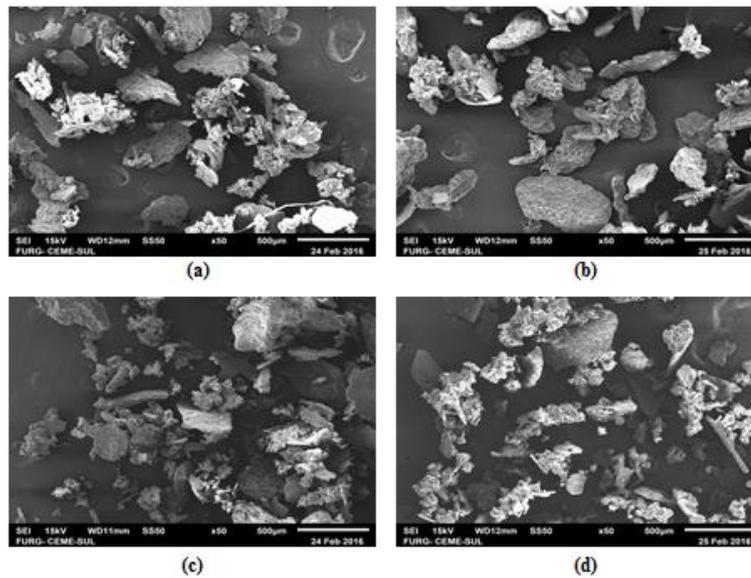
Os espectros de infravermelho das amostras apresentados na Figura 15 mostra a composição química da pasta seca em leite de jorro e *in natura*. As bandas 3500 a 3150  $\text{cm}^{-1}$  são atribuídas ao estiramento dos grupos  $-\text{OH}$  no plano. A região de 1650  $\text{cm}^{-1}$  pode ser atribuído ao estiramento  $\text{C}=\text{C}$  e normalmente estão ligadas a presença de anéis aromáticos. As bandas na região de 1150 e 1000  $\text{cm}^{-1}$  identificam os álcoois. Na região onde a absorção varia de 900 a 750  $\text{cm}^{-1}$  pode ser deformação de  $\text{C}-\text{H}$  dos anéis aromáticos que se encontram fora do plano fora do plano (SILVERSTEIN et al., 2005).

Essas regiões de absorção também foram encontradas por Rocha et al. (2014) e Im et al. (2011), entretanto, tais bandas foram encontradas com maior intensidade, os autores atribuíram esses picos a presença de compostos com atividade antioxidante, pois esses

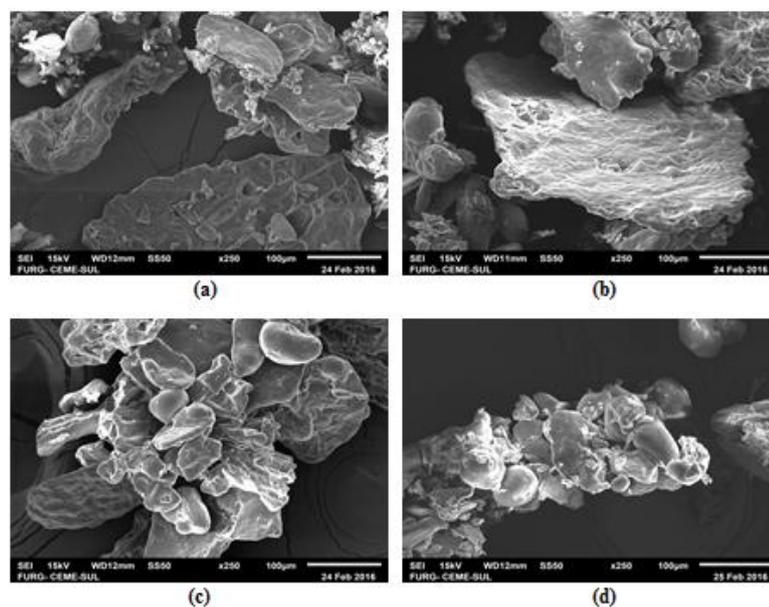
compostos geralmente apresentam o mesmo perfil espectral encontrado no presente trabalho. Através dos espectros de infravermelho mostrados na Figura 15 é possível afirmar que a secagem não afetou a composição da pasta de vegetais de enriquecida de soro de leite.

As Figuras 16 e 17 mostram as microscopias eletrônica de varreduras das amostras secas de pasta de vegetais enriquecida com soro de leite com ampliação de ( $\times 50$ ) e ( $\times 500$ ), respectivamente.

**Figura 16**– Microscopia eletrônica de varredura das amostras de pastas de vegetais enriquecida com soro de leite ( $\times 50$ ): (a)  $90^{\circ}\text{C}/7,5\%$ , (b)  $90^{\circ}\text{C}/10\%$ , (c)  $100^{\circ}\text{C}/7,5\%$  e (d)  $100^{\circ}\text{C}/10\%$ .



**Figura 17**– Microscopia eletrônica de varredura das amostras de pastas de vegetais enriquecida com soro de leite ( $\times 250$ ): (a)  $90^{\circ}\text{C}/7,5\%$ , (b)  $90^{\circ}\text{C}/10\%$ , (c)  $100^{\circ}\text{C}/7,5\%$  e (d)  $100^{\circ}\text{C}/10\%$ .



Conforme mostrado nas Figuras 16 e 17, o pó apresentou partículas com tamanhos superiores a  $100\mu\text{m}$ , como é possível observar nas imagens (a), (b), (c) e (d) das Figuras. Também é possível observar a tendência das partículas se aglomerarem, isso pode ser causado devido aos cristais de lactose se caramelizarem durante a secagem, este fato é confirmado pela adesão das partículas no leite gerando um acúmulo de 18 a 22% para esses experimentos de secagem. As imagens mostram também que os pós apresentaram estrutura irregular, compacta e levemente rugosa.

Yazdanpanah e Langrish (2011) estudaram a cristalização e secagem de leite em pó em um secador de leite fluidizado, os autores afirmam que em secagens realizadas a  $70$  e  $80^{\circ}\text{C}$  o pós secos se mantiveram cristalinos e um tempo de residência de aproximadamente de 20 min. Os pós secos em temperaturas superiores a essas começaram a perder sua amorficidade, apresentando resultados inferiores a 92%, sendo a perda da amorficidade está diretamente associada a mudanças na transição vítrea do material. Assim em formulações que contenham lactose estão susceptíveis a caramelização fazendo com que o pó tenha uma tendência a aglomeração.

## 6. CONCLUSÃO

A programação linear se mostrou como uma ferramenta matemática adequada para formular uma pasta de vegetais enriquecida com plasma bovino ou soro de leite, obtendo um valor elevado de proteínas.

A secagem da pasta de vegetais com plasma bovino em leito de jorro na geometria cônica se mostrou viável nas condições operacionais avaliadas. O produto desidratado, seco na geometria cônica, na condição de  $150 \text{ mL h}^{-1}$  a  $90^\circ\text{C}$ , apresentou características funcionais adequadas como capacidade de retenção de água ( $6 \text{ g g}^{-1}$ ), índice de solubilidade em água (28%) e solubilidade proteica em meio aquoso (51% m/m).

Os tratamentos experimentais realizados em leito de jorro cone-cilíndrico definiram como melhor condição para a secagem de pasta de vegetais enriquecida com plasma bovino, a condição de temperatura do ar de entrada de  $100^\circ\text{C}$  com uma concentração de sólidos de 10% (m/m) na pasta. Esta condição apresentou solubilidade proteica de  $30,5 \pm 0,6\%$  (m/m), digestibilidade proteica de  $51,2 \pm 2,6\%$  (m/m), capacidade de retenção de água  $4,6 \pm 0,2 \text{ g g}^{-1}$ , índice de solubilidade em água  $23,4 \pm 1,8\%$  (m/m), compostos fenólicos  $4,95 \pm 0,1 \text{ mg}_{\text{EAG}} \text{ g}_{\text{amostra}}^{-1}$ , atividade antioxidante de  $47,7 \pm 1,9\%$  de inibição e variação de cor de  $16,0 \pm 0,1$ . Além disso, esta condição apresentou um baixo acúmulo de massa no leito ( $12,2\%$  m/m), durante a operação.

A secagem em leito de jorro cone-cilíndrico da pasta de vegetais enriquecida com soro de leite apresentou os melhores resultados na condição de temperatura do ar de  $100^\circ\text{C}$  e concentração de sólidos de 10% m/m. Tendo como valores de solubilidade proteica  $26,5 \pm 0,0\%$  (m/m), digestibilidade proteica de  $84,9 \pm 2,2\%$  (m/m), capacidade de retenção de água  $10,8 \pm 0,3 \text{ g g}^{-1}$ , índice de solubilidade em água  $29,6 \pm 0,5\%$  (m/m), compostos fenólicos  $7,72 \pm 0,5 \text{ mg}_{\text{EAG}} \text{ g}_{\text{amostra}}^{-1}$ , atividade antioxidante de  $75,7 \pm 0,2\%$  de inibição e uma variação de cor de  $17,5 \pm 0,1$  com um acúmulo de sólidos no leito de 18% m/m.

A secagem em leito de jorro cone-cilíndrico de ambas as pastas de vegetais enriquecidas, mostrou-se efetiva na preservação dos compostos químicos e das características morfológicas do produto seco. A análise espectral (FT-IR) dos extratos metanólicos mostrou a presença de bandas características encontradas em compostos antioxidantes como álcoois,

fenóis, aldeídos e anéis aromáticos. As imagens de MEV das amostras em pós obtidas apresentaram estruturas compactas e irregulares, tendo um tamanho de partícula inferior a 100  $\mu\text{m}$  para a pasta enriquecida com plasma bovino e superior a 100  $\mu\text{m}$  para pasta enriquecida com soro de leite. Assim a pasta seca no leito de jorro mostrou boas características químicas e morfológicas, mesmo em temperaturas elevadas de secagem.

## 7. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Os trabalhos posteriores poderão ter como foco:

- O estudo da estabilidade dos pós da pasta de vegetais enriquecida, tanto com plasma bovino como a enriquecida com soro de leite, durante o período de armazenamento, e analisar a influência dos agentes físicos (oxigênio, luz, pH, umidade, temperatura) na degradação dos compostos termo sensíveis como os compostos antioxidantes e as proteínas;

- Aplicar técnicas que possibilitem o melhoramento das características inerentes ao pó: dispersão, tempo de instantaneização, aglomeração, etc.

- Também poderá ser avaliada a influência da utilização de diferentes agentes carreadores ou adjuvantes durante a operação de secagem, como outro estudo importante a ser analisado, a fim de melhorar o desempenho do equipamento, diminuir o percentual de retenção de produto no equipamento e consequentemente aumentar o rendimento do produto seco.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAM, E.; MÜHLBAUER, W.; ESPER, A.; WOLF, W.; SPIESS, W. Quality changes of onion (*Allium cepa* L.) as affected by the drying process. **Nahrung**, v. 44, p. 32-37, 2000.
- AKPINAR, E.; MIDILLI, V.; BICER, Y. Thin layer drying of red pepper. **Journal of Food Engineering**, Turkey. v. 59, n. 1, p. 99-104, 2003.
- ALMEIDA, K.E.; BONASSI, I.A.; ROÇA, R.O. Características físicas e químicas de bebidas lácteas fermentadas e preparadas com soro de queijo minas frescal. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 21, n.2, p. 187-192, 2001.
- ANDERSON, K.; RAGHAVAN, G. S. V.; MUJUMDAR, A. S. **Drying'84**. New York: Hemisphere Publishing Corp., 1984, p. 205-209.
- ANDERSON, R.A.; CONWAY, H.F.; PFEIFER, U.F.; GRIFFIN JR., E.L. Gelatination of corn grits by roll and extrusion cooking. **Cereal Science Today**, Minnesota, v. 14, n. 1, p. 4-7, 1969.
- ANTUNES, L.E.C.; GONÇALVES, E. D.; TREVISAN, R. Alterações de compostos fenólicos e pectina em pós-colheita de frutos de amora-preta. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 12, n. 1, p. 57-61, 2006.
- ANUALPEC. **Anuário da pecuária brasileira**. 11. ed. São Paulo: FNP Consultoria e Comércio. 2005. 340 p.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official Methods of Analysis**, 14. ed., v. 1, 1995.
- ATOUI, A. K.; MANSOURI, A.; BOSKOU, G.; KEFALAS, P. Tea and herbal infusions: their antioxidant activity and phenolic profile. **Food Chemistry**, v. 89, p. 27-36, 2005.
- BELITZ, H. D.; GROSCH, W. **Química de los alimentos**. Espanha: Editorial Acribia, 1988.
- BEM-HASSAN, R. M.; GHALY, A. E. Continuous propagation of *Kluyveromyces fragilis* in cheese whey for pollution potencial reduction. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 47, p. 89-105, 1994.
- BENALI, M.; AMAZOUZ, M. Drying of vegetable starch solutions on inert particles: quality and energy aspects. **Journal of Food Engineering**, v. 74, p. 484-489, 2006.
- BENEVIDES, C. M. J.; SOUZA, M. V.; SOUZA, R. D. B.; LOPES, M. V. Fatores antinutricionais em alimentos: Revisão. **Segurança Alimentar e Nutricional**, Campinas, v. 18, p. 67-79, 2011.
- BEZERRA, C. V.; AMANTE, E. R.; OLIVEIRA, D. C.; RODRIGUES, A. M. C.; SILVA, L. H. M. Green banana (*Musa cavendishii*) flour obtained in spouted bed – Effect of drying on physic-chemical, functional and morphological characteristics of the starch. **Industrial Crops and Products**, v.41, p. 241-249, 2013.
- BLIGH, E.G.; DYER, W.J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian Journal of Biochemistry and Physiology**, v. 37, n. 8, p. 911-917, 1959.

- BORGES, P.Z. **Avaliação nutricional de concentrados proteicos obtidos de soro bovino**. 2000. 83 p. Dissertação (Mestrado em Ciência da Nutrição). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.
- BOX, G.E.P.; HUNTER, J.S.; HUNTER, W.G. **Statistics for experiments: design, innovation, and discovery**. (2nd ed.). New Jersey: John Wiley & Sons, 2005.
- BRAGA, M.; ROCHA, S. C. S. Drying of milk–blackberry pulp mixture in spouted bed. **The Canadian Journal of Chemical Engineering**. v.91, p. 1786-1792, 2013.
- BRAGA, M. B.; ROCHA, S.C.S. Spouted bed drying of milk–blackberry pulp: analysis of powder production efficiency and powder characterization. **Drying Technology**, v. 33, p. 933-940, 2015.
- BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT – Food Science and Technology**, v. 8, p. 25-30. 1995.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa nº16 de 23 de agosto de 2005. Regulamento técnico de identidade e qualidade de bebidas lácteas. **Diário Oficial**, Brasília, 24 ago., 2005a.
- BRASIL. Agência Nacional da Vigilância Sanitária. 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 set., 2005b.
- BRASIL. Ministério da Saúde – Secretaria de Vigilância Sanitária. Portaria nº 33, de 13 de janeiro de 1998. Adota valores como níveis de IDR para as vitaminas, minerais e proteínas. **Diário Oficial da União**, Brasília, 16 jan., 1998a.
- BRASIL. Ministério da Saúde – Secretaria de Vigilância Sanitária. Portaria nº 31, de 13 de janeiro de 1998. Aprova o Regulamento Técnico referente a Alimentos Adicionados de Nutrientes Essenciais, constante do anexo desta Portaria. **Diário Oficial da União**, Brasília, 16 jan., 1998b.
- CARVALHO, D. C. O.; ALBINO, L. T.; VARGAS, J. G. J.; TOLEDO, R. S.; OLIVEIRA, E.; SOUZA, R. M.; Coeficiente de digestibilidade verdadeira dos aminoácidos e valores de aminoácidos digestíveis do milho submetido a diferentes temperaturas de secagem e períodos de armazenamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 5, p. 850-856, 2009.
- CHAN, E.W.C.; LIM, Y.Y.; WONG, S.K.; LIM, K.K.; TAN, S.P.; LIANTO, F.S.; YONG, M.Y. Effects of different drying methods on the antioxidant properties of leaves and tea of ginger species. **Food Chemistry**, v. 113, p. 166–172, 2009.
- CHIRIFE, J. Fundamentals of the drying mechanism during air dehydration of foods. In: MUJUMDAR. A. **Advances in drying**. Washington: Hemisphere Publishing Corporation, 1983. v. 3, p. 73-102.
- CHITARRA, M. I. F; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2 ed. Lavras: UFLA, 2005.
- CONSELHO NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Lácteos: perspectiva para a agropecuária na safra 2013/14**. Superintendência de gestão de oferta, Brasília, 2013.

CRISTAS, A. S. A. **Capacidade de retenção de água e de gordura de diferentes concentrados proteicos usados em produtos cárneos emulsificados**. 45 p. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Alimentar-Qualidade e Segurança Alimentar). Instituto Superior de Agronomia-Universidade Técnica de Lisboa, Portugal. 2012.

CUNHA, R. L.; CRUZ, A. G.; MENEGALLI, F. C. Effects of operating conditions on the quality of mango pulp dried in a spouted bed. **Drying Technology**, v. 24, p. 423-432, 2006.

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

DEEPA, N.; KAURA, C.; GEORGE, B.; SINGH, B.; KAPOOR, H. Antioxidant constituents in some sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) genotypes during maturity. **LWT - Food Science and Technology**, v. 40, p. 121-129, 2007.

DEL CARO, A.; PIGA, A.; VACCA, V.; AGABBIO, M. Changes of flavonoids, vitamin C and antioxidant capacity in minimally processed citrus segments and juices during storage. **Food Chemistry**, v. 84, p. 99-105, 2004.

DELELE, M. A.; WEIGLER, F.; MELLMANN, J. Advances in the application of a rotary dryer for drying of agricultural products: a review. **Drying Technology**, v. 33, p. 541-558, 2015.

DEMETRIADES, K.; McCLEMENTS, J. D. Influence of sodium dodecyl sulfate on the physicochemical properties of whey protein-stabilized emulsions. **Colloids and Surfaces**, v. 161, p. 391-400, 2000.

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

DOGAN, O. M.; FREITAS, L. A. P.; LIM, C. J.; GRACE, J. R.; LUO, B. Hydrodynamics and stability of slot-rectangular spouted beds. Part I: Thin bed. **Chemical Engineering Communications**, v. 181, p. 225-242, 2000.

EPSTEIN, N; GRACE, J. R. Introduction. EPSTEIN, N; GRACE, J. R. **Spouted and spout-fluid beds: Fundamental and applications**. New York: Cambridge University Press, 2011. cap. 1, p. 1-16.

FENNEMA, O. R.; PARKIN, K. L.; DAMODARAN, S. **Química de alimentos de Fennema**. São Paulo: Artmed Editora S/A, 900 p. 2010.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Global food losses and food waste**. International Congress Save Food. Rome, 2011.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Food and Agriculture Organization of United Nations**. Disponível em: <http://www.fao.org/es/ess/top/commodity.html?lang=es&item=882&year=2005>. Acesso em: 20 de Agosto de 2014.

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

- FREIRE, J. T. Secagem de pastas em leite de jorro. In: FREIRE, J. T.; SARTORI, D. J. M. **Tópicos especiais em secagem**. São Carlos: Editora São Carlos, 1992. v. 1, p. 43-81.
- FREIRE, J. T.; FERREIRA, M. C.; FREIRE, F. B. Drying of solutions, slurries, and pastes. In: EPSTEIN, N; GRACE, J. R. **Spouted and spout-fluid beds: fundamental and applications**. New York: Cambridge University Press, 2011. cap. 12. p. 206-221.
- FREIRE, J. T.; FERREIRA, M. C.; FREIRE, F. B. Secagem de pastas em leite de jorro. In: FREIRE, J. T.; SILVEIRA, A. M. **Fenômenos de transporte em sistemas particulados: fundamentos e aplicações**. São Carlos: SUPREMA, 2009. p. 97-129.
- GARAU, M.C.; SIMAL, S.; ROSSELLÓ, C.; FEMENIA, A. Effect of air-drying temperature on chemical properties of dietary fibre and antioxidant capacity of orange (*Citrus aurantium* v. *Canoneta*) by-products. **Food Chemistry**, v. 104, p. 1014–1024, 2007.
- GIROTO, J. M.; PAWLOWSKY, U. O soro do leite e as alternativas para seu beneficiamento. **Brasil Alimentos**, v.1, p. 43-46, 2001.
- GOULART, G.A.S. **Secagem de plasma bovino em leite de jorro cônico**. 2000. 82 p. Dissertação. (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos). Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2000.
- HALLIDAY, D. A. Blood - A source of proteins. **Process Biochemistry**, London, v.10, n.4, p. 11-12, 1975.
- HALLIWELL, B.; AESCHBACH, R.; LÖLIGER, J.; ARUOMA, O. I. The characterization of antioxidants. **Food Chemistry Toxicology**, Oxford, v. 33, n. 7, p. 601-17, 1995.
- HARAGUCHI F.K.; ABREU W.C.; PAULA H. Proteínas do soro do leite: composição, propriedades nutricionais, aplicações no esporte e benefícios para a saúde humana. **Revista Brasileira de Nutrição**, Campinas, v. 19, n.4, p. 479-488, 2006.
- HERNÁNDEZ, M.; LA VEJA, A.; SOTELO, A. Determination de la digestibilidad proteínica *in vitro* e *in vivo* en cereais y leguminosas, crudos e cocidos. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v. 34, p. 513-522, 1984.
- IM, M. H.; PARK, Y. S.; LEONTOWICZ, H.; LEONTOWICZ, M.; NAMIESNIK, J.; HAM, K. S.; KANG, S. G.; NAJMAN, K.; GORINSTEIN, S. The thermostability, bioactive compounds and antioxidant activity of some vegetables subjected to different durations of boiling: Investigation *in vitro*. **LWT-Food Science and Technology**, v. 44, p. 92-99, 2011.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4. ed. São Paulo, 2004. 1032 p.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4. ed. 1. ed. Digital. São Paulo, 2008. 1020 p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção agrícola municipal**. Brasil, 2011. v. 38.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **PPM 2011: rebanho bovino cresce 1,6% e chega a 212,8 milhões de cabeças**. Out. 2012. Sala de Imprensa. Disponível em:

<http://saladeimprensa.ibge.gov.br/noticias?view=noticia&id=1&busca=1&idnoticia=2241>. Acesso em: 23 de julho de 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Tabelas de composição de alimentos**. 5 ed., 137p. Rio de Janeiro, RJ. 1999

JONES, D.B. Factors for Converting Percentages of Nitrogen in Foods and Feeds into Percentages of Protein. **United States Department of Agriculture** (Slightly revised edition), cir.183, p. 22, 1941. Disponível em <<http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/Data/Classics/index.html>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2013.

KADER, A.A.; ROLLE, R.S. **The role of postharvest management in assuring the quality and safety of horticultural produce**. Rome: FAO Agric. Serv. Bull., 2004. v. 152, 51 p.

KÄHKÖNEN, M. P.; HOPIA, A. I.; VUORELA, H. J.; RAUHA, J. P.; PIHLAJA, K.; KUJALA, T. S.; HEINONEN, M. Antioxidant activity of plant extracts containing phenolic compounds. **Journal Agriculture of Food Chemistry**. v. 47, p. 3954–3962, 1999.

KARAKAYA, S. Bioavailability of Phenolic Compounds. **Critical Reviews in Food Science of Nutrition**, Boca Raton, v. 44, p. 453-64, 2004.

KROKIDA, M. K.; KARATHANOS, V. T.; MAROULIS, Z. B.; MARINOS-KOURIS, D. Drying kinetics of some vegetables. **Journal of Food Engineering**, v. 59, n.4, p. 391-403, 2003.

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

KUMAR, S. S; MANOJ, P.; GIRIDHAR, P. Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) analysis, chlorophyll content and antioxidant properties of native and defatted foliage of green leafy vegetables. **Journal of Food Science and Technology**, v. 12, p. 8131-8139, 2015.

LARROSA, A. P. Q. **Secagem de pasta de vegetais: análise da operação em leite de jorro e caracterização do produto final**. Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2012. 129 p. Dissertação. (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos).

LARROSA, A. P. Q. CADAVAL JR, T. R. S.; PINTO, L. A. A. Influence of drying methods on the characteristics of a vegetable paste formulated by linear programming maximizing antioxidant. **Food Science and Technology**, v. 60, p. 178-185, 2015.

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**. v. 41, n.11, p. 2032-2038, 2011.

LIRA, H.L.; SILVA, M.C.D.; VASCONCELLOS, M.R.S.; LIRA, H.L.; LOPEZ, A.M.Q. Microfiltração do soro de leite de búfala utilizando membranas cerâmicas como alternativa ao processo de pasteurização. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 29, n.1, p. 33-37, 2009.

LIU, P.; MUJUMDAR, A. S.; ZHANG, M.; JIANG, H. Comparison of three blanching treatments on the color and anthocyanin level of the microwave-assisted spouted bed drying of purple flesh sweet potato. **Drying Technology**, v.33, p. 66-71, 2015.

- LIZARRAGA, M. S.; DE PIENTE VICIN, D.; GONZALEZ, R.; RUBIOLO, A.; SANTIAGO, L.G. Rheological behaviour of whey protein concentrate and  $\lambda$ -carrageenan aqueous mixtures. **Food Hydrocolloids**, v. 20, n. 5, p. 740-748, 2006.
- LOPES, T. J.; CANZI, C.; DUARTE FILHO, P.; HAUSEN, V. N.; PINTO, L. A. A.; FURLONG, E. B. Caracterização físico-química, funcional e microbiológica de sangue bovino e suas frações secas em sistema de leite de jorro. **Revista Veter**, Rio Grande, v. 14, n. 1-2, p. 97-108, 2004.
- LOPES, T. J.; CANZI, C.; MACHADO, M.I.R.; FARIA, G.U.; PINTO, L. A. A.; FURLONG, E. B. Utilização de plasma bovino na formulação de pó para sorvete. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 11, n. 3, p. 175-181, 2008.
- LOWRY, O. H.; ROSENBROUGH, M. J.; FARR, A. L.; RANDALL, R. J. Protein measurement with the Folin Phenol Reagent. **Journal of Biological Chemistry**, v.193, p. 265-275, 1951.
- MACHADO, R. M. G.; SILVA, P. C.; FREIRE, V. H. Controle Ambiental em indústrias de laticínios. **Brasil Alimentos**, Março/Abril, p. 34-36, 2001.
- MANAH, C.; SCALBER, A.; MORAND, C.; REMESY, C.; JIMENEZ, L. Polyphenols: food sources and bioavailability. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 79, p. 727-747, 2004.
- MARICHAL, M.J.; CARRIQUIRY, M.; PEREDA, R.; SAN MARTÍN, R. Protein degradability and intestinal digestibility of blood meals: comparison of two processing methods. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 88, p. 91-101, 2000.
- MARKOWSKI, A.; KAMINSKI, W. Hydrodynamic characteristics of jet-spouted beds. **The Canadian Journal of Chemical Engineering**, v. 61, p. 377-381, 1983.
- MARTÍN-CABREJAS, M.A.; AGUILERA, Y.; PEDROSA, M.; CUADRADO, C.; HERNÁNDEZ, T.; DÍAZ, S.; ESTEBAN, R. The impact of dehydration process on antinutrients and protein digestibility of some legume flours. **Food Chemistry**, v. 114, p. 1063-1068, 2009.
- MASSARO, A.; PINTO, L. A. A. Enriquecimento proteico de farelo de arroz desengordurado com sangue bovino, utilizando a técnica de leite de jorro. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 61, n. 2, p. 77-84, 2002.
- MATHUR, K. B.; EPSTEIN, N. **Spouted Beds**. New York: Academic Press, 1974, p.1-45.
- MEDEIROS, M. F. D. (2001). **Influência da composição química dos materiais no desempenho do processo de secagem de polpas de frutas em leite de jorro**. Tese (Doutorado em Engenharia Química), Unicamp, Campinas, SP, 274 p.
- MELO, P. C. T. O desafio da inovação na horticultura. **Palestra Semana Sebrae do Agronegócio**, Brasília, DF, 2010.
- MILIAUSKAS, G.; VENSKUTONIS, P. R.; VAN BEEK, T. A. Screening of radical scavenging activity of some medicinal and aromatic plant extracts. **Food Chemistry**, n. 85, p. 231-237. 2004.

MIRANDA, G. J.; MARTINS, V. F.; FARIA, A. A. O uso da programação linear num contexto de laticínios com varias restrições na capacidade produtiva. **Custos e agronegócios on line**, v. 3, p. 40-58, 2007.

MIRANDA, M.; VEGA-GÁLVEZ, A.; LÓPEZ, J.; PARADA, G.; SANDERS, M.; ARANDA, M.; URIBE, E.; DI SCALA, K. Impact of air-drying temperature on nutritional properties, total phenolic content and antioxidant capacity of quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd.). **Industrial and Crops Produce**, v. 32, p. 258–263, 2010.

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

MOURE, F.; RENDUELES, M.; DÍAZ, M. Aproveitamento del plasma procedente de sangre de mataderos. **Alimentaria**, n. 290, p. 41-50, 1998.

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

MUJUMDAR, A. S.; HUANG, L.X. Global R&D needs in drying. **Drying Technology**, v. 25, p. 647-658, 2007.

NEVES, V. A.; PEREIRA, D. D.; SHOSHIMA, A. H. R.; TAVANO, O. L.; Características da solubilidade proteica e isolamento da globulina principal de caupí (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) cultivar br 14-mulato. **Alimentos e Nutrição**. Araraquara, v.14, n.1, p. 47-55, 2003.

OCHOA-MARTINEZ, L. A.; BRENNAN, J. G.; NIRANJAN, K. Spouted bed dryer for liquid foods. **Food Control**. v. 4, p. 41-45, 1993.

OCKERMAN, H. W.; HANSEN, C. L. **Industrialización de subproductos de origen animal**. Zaragoza: Editora Acribia S. A., 1994. 387 p.

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

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Perspectivas da população mundial: revisão de 2012**. Disponível em: < <http://www.onu.org.br> >. Acesso em: 23 jul. 2013.

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

ORNELLAS, C. B. D.; JUNQUEIRA, R. G.; SILVESTRE, M. P. C. Efeito da hidrólise trípica e do pH sobre as propriedades funcionais do plasma bovino. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, n. 23, v. 1, p. 16-22, 2003.

PACHECO, M. T. B.; SGARBIERI, V. C. Alimentos funcionais: conceituação e importância na saúde humana. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE OS BENEFÍCIOS DA SOJA PARA A SAÚDE HUMANA**, 1., 2001, Londrina. **Anais**. Londrina: Embrapa Soja, 2001. p. 37-40.

PARDI, M. C.; SANTOS, I. F.; SOUZA, E. R.; PARDI, H. S. **Ciências, higiene e tecnologia da carne**. Goiânia: UFG, v. 2, p. 1110, 1994.

- PASSOS, M. L.; MUJUMDAR, A. S.; RAGHAVAN, G. S. V. Prediction of maximum spoutable bed height in tow-dimensional spouted beds. **Powder Technology**, v. 74, p. 97-105, 1993.
- PASSOS, M. L.; MUJUMDAR, A. S. Effect of cohesive forces on fluidized and spouted beds of wet particles. **Powder Technology**, v. 110, p. 222-238, 2000.
- PAVIA, D. L.; LAMPMAN, G. M.; KRIZ, G. S.; VYVYAN, J. R. **Introdução à espectroscopia**. São Paulo: Editora Cengage learning, 2015.
- PELEGRINE, D. H.; GASPARETTO, C. A. Estudo da solubilidade das proteínas presentes no soro de leite e na clara de ovo. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**. Campina Grande, v.5, n.1, p.57-65, 2003.
- PEROBELLI, F.S.; ALMEIDA, E.S.; ALVIM, M.I.S.; FERREIRA, P.G.C. Produtividade do setor agrícola brasileiro (1991-2003): uma análise espacial. **Nova economia**, Belo Horizonte, v. 17, n. 1, p. 65-91, 2007.
- PERRY, J. D.; GREEN, D. **Perry's Handbook**. 1986. Special edition.
- PERRY, R. H.; CHILTON, G. H. **Manual de engenharia química**. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois, 1980.
- PHAM, Q. T. Behaviour of a conical spouted-bed dryer for animal blood. **The Canadian Journal of Chemical Engineering**. v. 61, p. 426-434, 1983.
- POLO, J.; RODRIGUEZ, C.; SABORIDO, N.; RODENAS, J. Functional properties of spray-dried animal plasma in canned petfood. **Animal Feed Science and Technology**. v. 122, p. 331-343, 2005.
- PRADO, D. **Programação linear**. Belo Horizonte: Editora DG, 2010. v. 1.
- PRATA, A. S. **Proteínas de soro de sangue bovino: propriedades nutritivas e funcionais**. Campinas: UNICAMP, 2002. 147p. Dissertação. (Mestrado em Alimentos e Nutrição).
- PRATA, A. S.; SGARBIERI, V. C. Obtenção e caracterização química e nutricional *in vitro* das proteínas do soro de sangue bovino. **Ciência e tecnologia de Alimentos**, v.25, p. 327-332, 2005.
- PUCCINI, A L.; PIZZOLATO, N. D. **Programação linear livros técnicos científicos**. São Paulo: Editora S.A., 1987.
- QU, W.; PAN, Z.; MA, H. Extraction modeling and activities of antioxidants from pomegranate Marc. **Journal of Food Engineering**, Vol. 99, p. 16-23, 2010.
- RAMOS, C. M. P. ; SANTOS, C. I.; LIMA, L. M. O.; LIMA, M. F. M.; MARIA, Z. L. Influence of chemical composition of fruit pulps on the spouted bed. In: **BRAZILIAN CONGRESS OF SCIENTIFIC INITIATION IN CHEMICAL ENGINEERING**, 2, Uberlândia. **Anais...** Minas Gerais, 1997. p. 222-225.
- RÉ, M. I.; FREIRE, J. T. Drying of pastelike materials in spouted beds. In: **DRYING SIMPOSIUM**, 6., 1989, Versailles. **Anais...** Versailles, 1989. p. 426-432.

- ROCHA, S. C. S.; SOUZA, J. S.; ALSINA, O. L. S.; MEDEIROS, M. F. D. Drying of tropical fruit pulps: spouted bed process optimization as a function of pulp composition. **Drying Technology**, v. 29, p.1587-1599, 2011.
- ROCHA, S.F.; RODRIGUES, M.C.K.; MONTE, M.L.; LARROSA, A.P.Q; PINTO, L.A.A. Product characteristics and quality of bovine blood-enriched dried vegetable paste. **Journal of Science and Food Agriculture**, v. 94, p. 3255-3262, 2014.
- SANTOS, K.; VIEIRA, W. Destino final: o lixo. Comunicado especial: Abastecer Brasil, **Associação Brasileira das Centrais de Abastecimento**, n. 5, p. 8-12, 2011.
- SALCEDO, A. M.; FURLONG, E. B.; SOARES, L. A. S. Formulação de sobremesas com plasma bovino adsorvido em farelo de arroz. **Revista Veter**, v. 8, p. 103-112, 1998.
- SBARDELOTTO, A.; LEANDRO, G. V. 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, 2008.
- SGARBIERI, V. C. Propriedades funcionais de proteínas em alimentos. **Boletim SBCTA**, v. 32, p. 105-126, 1998.
- SGARBIERI, V. C. **Alimentação e nutrição: fator de saúde e desenvolvimento**. Campinas: Editora da Unicamp, São Paulo: Almed, 1987.
- SGARBIERI, V. C. A nata do soro. **Jornal da Unicamp**, n. 194, 2 p., 2002.
- SGARBIERI, V. C. **Proteínas em alimentos proteicos**. São Paulo: Varela, 1996. 517 p.
- SGARBIERI, V. C. Propriedades fisiológicas-funcionais das proteínas do soro de leite. **Revista de Nutrição**, v. 17, n. 4, p. 397-409, 2004.
- SHIH, M.C; KUO, C.C.; CHIANG, W. Effects of drying and extrusion on colour, chemical composition, antioxidant activities and mitogenic response of spleen lymphocytes of sweet potatoes. **Food Chemistry**, v.117, p.114–121, 2009.
- SCHIMID, M.; EIB, S.; REINELT, M. Modeling, simulation, and experimental validation of drying and denaturation behavior of whey protein isolate–based coatings. **Drying Technology**, v. 33, p. 1382-1395, 2015.
- SHUHAMA, I.K.; AGUIAR, M.L.; OLIVEIRA, W.P.; FREITAS, L.A.P. Experimental production of annatto powders in spouted bed dryer. **Journal of Food Engineering**, v. 59, p. 93-97, 2003,
- SILVA, S. B.; MELLADO, M. M. S. Elaboração e avaliação de um biscoito de chocolate enriquecido com sangue bovino. **Revista Veter**, v. 6, p. 51-61, 1996.
- SILVEIRA, A. E. V. G.; FURLONG, E. B. ; SOARES, L. A. S. Avaliação da qualidade tecnológica de uma massa alimentícia seca à base de plasma bovino. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, São Paulo, v. 58, n. 2, p. 12-19, 1999.
- SILVERSTEIN, R. M.; WEBSTER, F. X.; KIEMLE, D. J. **Spectrometric Identification of Organic Compounds** (7 th ed). New York: Wiley, 2005.
- SOARES, S. E. Phenolic acids as antioxidants. **Revista Nutrição**, v. 15, p. 71-81, 2002.

- SRINIVASA, P. C.; RAMESH, M. N.; KUMAR, K. R.; THARANATHAN, R. N. Properties of chitosan films prepared under different drying conditions. **Journal of Food Engineering**, v. 63, p. 79–85, 2004.
- STRUMILLO, C. Z.; KUDRA, T. Drying: principles, applications and design. In: HUGHES, R. **Topics in chemical engineering**. UK: Gordon and Breach Science Publisher, 1986. v. 3.
- TACO. **Tabela brasileira de composição de alimentos**. Campinas: NEPA, UNICAMP, versão II, 2 ed., Campinas, SP. 2006
- TAKEOKA, G.R.; DAO, L.; FLESSA, S.; GILLESPIE, D.M.; JEWELL, W.T.; HUEBNER, B. Processing effects on lycopene content and antioxidant activity of tomatoes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 49, p. 3713–3717, 2001.
- TEIXEIRA, A. M.; FURLONG, E. B.; MELLADO, M. M. S. Caracterização química, funcional e microbiológica de sopas desidratadas formuladas a partir de plasma bovino adsorvido em farelo de arroz desengordurado. **Revista Veter**, v. 6, p. 85-93, 1996.
- TOBINAGA, S.; PINTO, L. A. A. Secagem de materiais fibrosos: músculos de peixe. In: FREIRE, J.T.; SARTORI, D.M.J. **Tópicos especiais em secagem**, São Carlos: UFSCar, 1992. v. 1.
- VALKO, M.; IZAKOVIC, M.; MAZUR, M.; RHODES, C. J.; TELSER, J. Role of oxygen radicals in DNA damage and cancer incidence. **Molecular and Cellular Biochemistry**, v. 266, p. 37-56, 2004.
- VANZOUR, D.; RODRIGUEZ-MATEOS, A.; CORONA, G.; ORUNA-CONCHA, M. J.; SPENCER, J. P. E. Polyphenols and human health: prevention of disease and mechanism of action. **Nutrients**, v. 2, p. 1106–1131, 2010.
- VIANA, F. R.; SILVA, V. D. M.; BIZZOTTO, C. S.; LABOISSIÈRE, L. H. E. S.; DRUMOND, M. F. B.; OLIVEIRA, A. L.; SILVESTRE, M. P. C. Globina e plasma bovinos, como substitutos de gordura em patê de presunto: efeito da incorporação sobre a composição química, textura e características sensoriais. **Alimentos e Nutrição**, v.14, p. 77-85, 2003.
- VILELA, N. J.; HENZ, G. P. Situação atual da participação das hortaliças no agronegócio brasileiro e perspectivas futuras. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, Brasília, v.17, n.1, p.71-89, 2000.
- VEGA-GÁLVEZ, A.; DI SCALA, K.; RODRÍGUEZ, K.; LEMUSMONDACA, R.; MIRANDA, M.; LÓPEZ, J.; PÉREZ-WON, M. Effects of air-drying temperature on physicochemical properties, antioxidant capacity and total phenolic content of red pepper (*Capsicum annuum*, L. var. *Hungarian*). **Food Chemistry**, v. 117, p. 647–653, 2009.
- WILLCOX, J. K.; CATIGNANI, G. L.; LAZARUS, S. Tomatoes and cardiovascular health. **Crit. Reviews in Food Science**, v.43, p. 1-18, 2003.
- YAZDANPANA, N.; LANGRISH, T. A. G. Crystallization and drying of milk powder in a multiple-stage fluidized bed dryer. **Drying Technology**, v.29, p. 1046-1057, 2011.
- XIONG, Y. L. Dairy proteins. In: Tarté, R. **Ingredients in meat products: properties, functionality and applications**. New York: Springer. p. 131-143, 2009.

## APÊNDICES

**APÊNDICE A:** Tabelas com os valores de umidade (%), acúmulo de sólidos no leite (%) e rendimento de produto seco, para as secagens em leito de jorro cone-cilíndrico da pasta enriquecida com plasma bovino e para pasta enriquecida com soro de leite.

**Tabela A.1** - Resultados de umidade, acúmulo de sólidos no leite e rendimento de produto seco, para as secagens em leito de jorro cone-cilíndrico da pasta enriquecida com plasma bovino

Experimento	Umidade (%)	Acúmulo (%)	Rendimento (%)
1	5,54±0,1	14,8±2,2	52,1±2,8
2	4,56±0,7	9,8±1,6	58,8±2,5
3	9,96±0,1	17,9±1,3	55,9±3,2
4	4,94±0,9	12,2±1,0	60,5±2,9
5	9,54±0,1	19,3±1,2	56,7±2,1
6	4,08±0,5	13,3±1,5	62,2±3,0

Legenda: (1) 90°C e 7,5% (m/m); (2) 90°C e 10% (m/m); (3) 100°C e 7,5% (m/m); (4) 100°C e 10% (m/m); (5) 110°C e 7,5% (m/m); (6) 110°C e 10% (m/m).

**Tabela A.2** - Resultados de umidade, acúmulo de sólidos no leite e rendimento de produto seco, para as secagens em leito de jorro cone-cilíndrico da pasta enriquecida com soro de leite.

Experimento	Umidade (%)	Acúmulo (%)	Rendimento (%)
1	9,28±0,4	22,3±1,1	40,2±1,1
2	8,56±0,1	21,8±1,2	42,9±1,4
3	8,20±0,5	19,8±1,6	44,8±1,5
4	8,95±0,5	18,0±0,7	46,5±1,7

Legenda: (1) 90°C e 7,5% (m/m); (2) 90°C e 10% (m/m); (3) 100°C e 7,5% (m/m); (4) 100°C e 10% (m/m).

**APÊNDICE B:** Parâmetros de cor utilizados para determinar o índice de saturação (C), a coloração (ângulo Hue) e a variação de cor entre as amostras e amostra *in natura* ( $L, a, b$ ).

**Tabela B.1** - Resultados de luminosidade ( $L$ ), cromaticidades ( $a$ ) e ( $b$ ), índice de saturação e ângulo Hue pasta enriquecida com plasma bovino secas em leite de jorro e bandeja, e na amostra *in natura*.

Tratamentos	$L^*$	$a^*$	$b^*$	C	°Hue
1	46,4±0,8 <sup>b</sup>	0,45±0,1 <sup>b</sup>	25,5±0,4 <sup>b</sup>	25,5±0,4 <sup>b</sup>	88,9±0,2 <sup>b</sup>
2	34,8±0,1 <sup>c</sup>	2,48±0,1 <sup>c</sup>	22,3±0,1 <sup>c</sup>	22,4±0,1 <sup>c</sup>	83,6±0,1 <sup>c</sup>
3	42,1±0,2 <sup>e</sup>	0,37±0,1 <sup>e</sup>	30,2±0,1 <sup>e</sup>	30,2±0,1 <sup>e</sup>	89,3±0,1 <sup>d</sup>
4	40,8±0,1 <sup>f</sup>	0,27±0,1 <sup>e</sup>	30,0±0,1 <sup>e</sup>	30,0±0,1 <sup>e</sup>	89,4±0,1 <sup>d</sup>
5	40,6±0,9 <sup>f</sup>	0,97±0,1 <sup>a</sup>	31,3±0,3 <sup>f</sup>	31,3±0,3 <sup>f</sup>	88,2±0,1 <sup>f</sup>
6	38,8±0,2 <sup>d</sup>	4,05±0,1 <sup>g</sup>	31,5±0,1 <sup>f</sup>	31,7±0,1 <sup>f</sup>	82,6±0,1 <sup>g</sup>
Bandeja	35,2±0,6 <sup>c</sup>	-0,62±0,1 <sup>h</sup>	27,7±0,9 <sup>g</sup>	27,7±0,9 <sup>g</sup>	91,3±0,1 <sup>h</sup>
<i>In natura</i>	31,1±0,8 <sup>h</sup>	-3,60±0,1 <sup>i</sup>	16,8±0,8 <sup>h</sup>	17,2±0,8 <sup>h</sup>	102,1±0,1 <sup>i</sup>

Legenda: (1) 90°C e 7,5% (m/m); (2) 90°C e 10% (m/m); (3) 100°C e 7,5% (m/m); (4) 100°C e 10% (m/m); (5) 110°C e 7,5% (m/m); (6) 110°C e 10% (m/m).

**Tabela B.2** - Resultados de luminosidade ( $L$ ), cromaticidades ( $a$ ) e ( $b$ ), índice de saturação e ângulo Hue pasta enriquecida com soro de leite seca em leito de jorro e na amostra *in natura*.

Tratamentos	$L$	$a$	$b$	C	°Hue
1	44,1±0,3 <sup>a</sup>	0,60±0,1 <sup>a</sup>	28,5±0,1 <sup>a</sup>	28,5±0,1 <sup>a</sup>	88,8±0,1 <sup>a</sup>
2	36,4±0,1 <sup>b</sup>	0,41±0,1 <sup>a</sup>	25,8±0,1 <sup>b</sup>	25,8±0,1 <sup>b</sup>	89,1±0,1 <sup>b</sup>
3	44,8±0,1 <sup>c</sup>	-0,09±0,1 <sup>b</sup>	29,8±0,1 <sup>c</sup>	29,9±0,1 <sup>c</sup>	90,2±0,1 <sup>c</sup>
4	44,2±0,1 <sup>a</sup>	0,49±0,1 <sup>a</sup>	29,1±0,1 <sup>d</sup>	29,1±0,1 <sup>d</sup>	89,0±0,1 <sup>b</sup>
<i>In natura</i>	30,4±0,9 <sup>d</sup>	-2,51±0,1 <sup>c</sup>	18,8±0,5 <sup>e</sup>	18,9±0,5 <sup>e</sup>	97,6±0,2 <sup>d</sup>

Legenda: (1) 90°C e 7,5% (m/m); (2) 90°C e 10% (m/m); (3) 100°C e 7,5% (m/m); (4) 100°C e 10% (m/m).

**APÊNDICE C:** Tabela referente aos dados de temperaturas e umidade do ar nos experimentos realizados em leito de jorro cone-cilíndrico.

**Tabela C.1:** Temperaturas do ar de secagem em leito de jorro cone-cilíndrico na condição 90°C e 7,5% (m/m).

<b>Umidade abs do ar ambiente: 0,008505 kgágua.kgarseco<sup>-1</sup></b>				
<b>Tempo (min)</b>	<b>T entrada (°C)</b>	<b>T saída (°C)</b>	<b>T bulbo seco (°C)</b>	<b>T bulbo úmido (°C)</b>
0	90	79	54	39
2	90	79	54	39
4	90	78	54	39
6	90	77	54	38
8	90	77	52	37
10	90	78	52	37
12	90	77	52	37
14	90	77	52	38
16	90	77	52	37
18	90	77	51	36
20	90	76	52	37
22	90	76	52	38
24	90	75	53	38
26	90	76	53	38
28	90	75	52	38
30	90	75	52	38
35	90	74	52	38
40	90	73	52	38
45	90	72	51	38
50	90	72	51	38
55	90	72	50	38
60	90	72	50	38
65	90	71	50	38
70	90	71	50	37
75	90	71	50	37
80	90	71	50	38
85	90	71	50	38
90	90	71	50	38
95	90	70	50	39
100	90	70	50	39
105	90	70	49	38
110	90	69	49	38
115	90	69	48	38
120	90	68	48	38
125	90	68	48	38
130	90	67	48	38
135	90	67	49	38
140	90	67	49	38
145	90	67	50	38
150	90	67	50	38
155	90	67	50	38
160	90	67	50	38

				Continua
165	90	67	50	38
170	90	67	50	38
175	90	67	49	38
180	90	67	49	38
185	90	67	49	38
190	90	67	49	38
195	90	67	49	38
200	90	67	49	38
205	90	67	49	38
210	90	67	49	38
215	90	67	49	38
220	90	67	49	38
225	90	67	49	38
230	90	67	49	38
235	90	67	49	38
240	90	67	49	38

---

**Tabela C.2:** Temperaturas do ar de secagem em leito de jorro cone-cilíndrico na condição 90°C e 10% (m/m).

<b>Umidade abs do ar ambiente: 0,009126 kgágua.kgarseco<sup>-1</sup></b>				
<b>Tempo (min)</b>	<b>T entrada (°C)</b>	<b>T saída (°C)</b>	<b>T bulbo seco (°C)</b>	<b>T bulbo úmido (°C)</b>
0	90	74	51	39
2	90	74	51	39
4	90	75	51	39
6	90	73	51	38
8	90	69	51	37
10	90	68	52	37
12	90	71	52	37
14	90	71	52	38
16	90	73	52	37
18	90	69	51	36
20	90	67	52	37
22	90	66	52	38
24	90	65	53	38
26	90	64	53	38
28	90	64	52	38
30	90	62	52	38
35	90	63	52	38
40	90	63	52	38
45	90	62	51	38
50	90	61	51	38
55	90	61	48	38
60	90	61	48	38
65	90	61	48	38
70	90	61	48	37
75	90	61	48	37
80	90	61	48	38
85	90	61	48	38
90	90	61	48	38
95	90	61	48	39
100	90	60	48	39
105	90	60	48	38
110	90	60	48	38
115	90	60	48	38
120	90	60	48	38
125	90	60	48	38
130	90	60	48	38
135	90	60	47	38
140	90	60	47	38
145	90	61	47	38
150	90	60	46	38
155	90	60	47	38
160	90	61	47	38
165	90	61	47	38
170	90	61	46	38
175	90	60	46	38

continua

180	90	60	46	38
185	90	60	47	38
190	90	60	46	38
195	90	61	47	38
200	90	61	47	38
205	90	62	47	38
210	90	62	46	38
215	90	62	47	38
220	90	62	47	38
225	90	62	47	38
230	90	61	46	38
235	90	61	47	38
240	90	61	47	38

---

**Tabela C.3:** Temperaturas do ar de secagem em leito de jorro cone-cilíndrico na condição 100°C e 7,5% (m/m).

<b>Umidade abs do ar ambiente: 0,009663 kgágua.kgarseco<sup>-1</sup></b>				
<b>Tempo (min)</b>	<b>T entrada (°C)</b>	<b>T saída (°C)</b>	<b>T bulbo seco (°C)</b>	<b>T bulbo úmido (°C)</b>
0	100	81	60	48
2	100	81	60	49
4	100	80	61	49
6	100	80	61	48
8	100	80	60	48
10	100	81	60	49
12	100	81	61	48
14	100	80	61	47
16	100	80	60	47
18	100	80	60	47
20	100	79	60	47
22	100	79	60	46
24	100	79	60	46
26	100	79	60	45
28	100	79	60	45
30	100	79	60	44
35	100	79	60	44
40	100	79	60	43
45	100	79	60	43
50	100	78	60	43
55	100	78	58	42
60	100	78	58	42
65	100	79	58	42
70	100	79	58	42
75	100	79	58	42
80	100	78	58	42
85	100	78	58	42
90	100	78	58	42
95	100	79	58	42
100	100	79	58	42
105	100	79	58	42
110	100	79	58	42
115	100	79	58	42
120	100	79	58	42
125	100	79	58	42
130	100	79	58	42
135	100	79	58	42
140	100	79	58	42
145	100	79	58	42
150	100	79	58	42
155	100	79	58	42
160	100	79	58	42
165	100	79	58	42
170	100	79	58	42

continua

175	100	79	58	42
180	100	79	58	42
185	100	79	58	42
190	100	79	58	42
195	100	79	58	42
200	100	79	58	42
205	100	79	58	42
210	100	79	58	43
215	100	79	58	42
220	100	79	58	43
225	100	79	58	43
230	100	79	58	44
235	100	79	58	44
240	100	79	58	44

---

**Tabela C.4:** Temperaturas do ar de secagem em leito de jorro cone-cilíndrico na condição 100°C e 10% (m/m).

<b>Umidade abs do ar ambiente: 0,01128 kgágua.kgarseco<sup>-1</sup></b>				
<b>Tempo (min)</b>	<b>T entrada (°C)</b>	<b>T saída (°C)</b>	<b>T bulbo seco (°C)</b>	<b>T bulbo úmido (°C)</b>
0	100	84	59	48
2	100	84	58	49
4	100	83	58	49
6	100	83	58	48
8	100	82	58	48
10	100	81	58	49
12	100	81	58	48
14	100	80	59	47
16	100	80	58	47
18	100	80	57	47
20	100	79	57	47
22	100	79	57	46
24	100	79	56	46
26	100	79	56	45
28	100	79	55	45
30	100	79	55	46
35	100	79	55	44
40	100	79	55	44
45	100	79	55	44
50	100	78	53	44
55	100	78	53	44
60	100	78	53	44
65	100	79	53	44
70	100	79	53	44
75	100	79	53	44
80	100	78	53	44
85	100	78	53	44
90	100	78	53	44
95	100	79	53	44
100	100	79	53	44
105	100	79	53	44
110	100	79	53	44
115	100	79	53	44
120	100	79	53	44
125	100	79	53	44
130	100	79	53	44
135	100	79	53	44
140	100	79	53	44
145	100	79	53	44
150	100	79	53	44
155	100	79	53	44
160	100	79	53	44
165	100	79	53	44
170	100	79	53	44
175	100	79	53	44

continua

180	100	79	53	44
185	100	79	53	44
190	100	79	53	44
195	100	79	53	44
200	100	79	53	44
205	100	79	53	44
210	100	79	53	44
215	100	79	53	44
220	100	79	53	44
225	100	79	53	44
230	100	79	52	44
235	100	79	52	44
240	100	79	53	44

---

**Tabela C.5:** Temperaturas do ar de secagem em leito de jorro cone-cilíndrico na condição 110°C e 7,5% (m/m).

Umidade abs do ar ambiente: 0,01127 kgágua.kgarseco <sup>-1</sup>				
Tempo (min)	T entrada (°C)	T saída (°C)	T bulbo seco (°C)	T bulbo úmido (°C)
0	110	94	69	58
2	110	94	69	58
4	110	94	69	58
6	110	94	68	56
8	110	94	68	58
10	110	93	67	58
12	110	95	68	57
14	110	94	68	57
16	110	94	68	56
18	110	94	68	54
20	110	94	68	54
22	110	94	68	55
24	110	94	68	54
26	110	94	68	53
28	110	94	68	53
30	110	94	66	53
35	110	93	66	51
40	110	93	66	51
45	110	92	66	49
50	110	91	67	49
55	110	91	67	49
60	110	91	67	51
65	110	90	67	51
70	110	90	67	51
75	110	89	67	51
80	110	89	67	50
85	110	89	67	50
90	110	89	67	51
95	110	89	67	51
100	110	89	67	51
105	110	88	67	51
110	110	88	67	51
115	110	88	67	51
120	110	89	67	51
125	110	89	67	51
130	110	89	67	51
135	110	89	67	51
140	110	89	67	51
145	110	89	67	51
150	110	89	67	51
155	110	88	67	51
160	110	88	67	51
165	110	88	67	51
170	110	89	67	51

continua

175	110	89	67	51
180	110	89	67	51
185	110	89	67	51
190	110	89	67	51
195	110	89	67	51
200	110	89	67	51
205	110	89	67	51
210	110	89	67	51
215	110	89	67	51
220	110	89	66	51
225	110	89	66	52
230	110	89	66	51
235	110	89	66	51
240	110	89	66	51

---

**Tabela C.6:** Temperaturas do ar de secagem em leito de jorro cone-cilíndrico na condição 110°C e 10% (m/m).

<b>Umidade abs do ar ambiente: 0,01052 kgágua.kgarseco<sup>-1</sup></b>				
<b>Tempo (min)</b>	<b>T entrada (°C)</b>	<b>T saída (°C)</b>	<b>T bulbo seco (°C)</b>	<b>T bulbo úmido (°C)</b>
0	110	98	91	57
2	110	96	91	57
4	110	97	90	57
6	110	97	91	56
8	110	97	90	58
10	110	97	90	58
12	110	97	90	57
14	110	97	90	57
16	110	97	89	56
18	110	97	89	54
20	110	96	89	54
22	110	96	89	55
24	110	96	89	57
26	110	95	89	57
28	110	95	89	56
30	110	95	89	54
35	110	94	89	54
40	110	93	88	54
45	110	93	88	54
50	110	93	88	54
55	110	93	88	54
60	110	93	88	54
65	110	93	88	54
70	110	93	88	54
75	110	93	89	54
80	110	94	89	54
85	110	93	89	54
90	110	93	89	54
95	110	93	87	54
100	110	93	86	54
105	110	93	85	54
110	110	93	85	54
115	110	93	84	54
120	110	93	84	54
125	110	93	84	54
130	110	93	84	54
135	110	93	84	54
140	110	93	84	54
145	110	93	84	54
150	110	93	84	54
155	110	93	84	54
160	110	93	84	54
165	110	92	84	54
170	110	92	84	54
175	110	92	84	54

continua

180	110	92	84	54
185	110	92	84	54
190	110	92	84	54
195	110	92	84	54
200	110	92	84	54
205	110	92	84	54
210	110	92	84	54
215	110	92	84	54
220	110	92	84	54
225	110	92	84	54
230	110	92	84	54
235	110	92	83	52
240	110	92	83	52

---

**Tabela C.7:** Temperaturas do ar de secagem da pasta de vegetal enriquecida com soro de leite em leito de jorro cone-cilíndrico na condição 90°C e 7,5% (m/m).

<b>Umidade abs do ar ambiente: 0,01699 kgágua.kgarseco<sup>-1</sup></b>				
<b>Tempo (min)</b>	<b>T entrada (°C)</b>	<b>T saída (°C)</b>	<b>T bulbo seco (°C)</b>	<b>T bulbo úmido (°C)</b>
0	90	81	64	49
2	90	81	64	49
4	90	80	64	49
6	90	80	64	48
8	90	80	62	47
10	90	81	62	49
12	90	81	62	49
14	90	80	62	49
16	90	80	62	48
18	90	80	62	47
20	90	79	62	47
22	90	79	62	47
24	90	79	62	47
26	90	79	62	47
28	90	79	62	47
30	90	79	62	47
35	90	79	62	47
40	90	79	62	47
45	90	79	62	45
50	90	78	61	45
55	90	78	61	45
60	90	77	61	45
65	90	77	61	45
70	90	76	61	45
75	90	75	61	45
80	90	75	61	45
85	90	75	61	45
90	90	75	61	45
95	90	75	61	45
100	90	75	61	45
105	90	76	61	45
110	90	75	61	45
115	90	75	61	45
120	90	75	61	45
125	90	75	61	45
130	90	75	61	45
135	90	75	61	45
140	90	74	61	45
145	90	74	61	45
150	90	74	61	45
155	90	74	61	45
160	90	74	61	45
165	90	74	61	45
170	90	74	61	45
175	90	74	61	45

continua

180	90	74	61	45
185	90	74	61	45
190	90	74	61	45
195	90	74	61	45
200	90	74	61	45
205	90	74	61	45
210	90	74	61	45
215	90	74	61	45
220	90	74	61	45
225	90	74	61	45
230	90	74	61	45
235	90	74	61	45
240	90	73	61	45

---

**Tabela C.8:** Temperaturas do ar de secagem da pasta de vegetal enriquecida com soro de leite em leito de jorro cone-cilíndrico na condição 90°C e 10% (m/m).

<b>Umidade abs do ar ambiente: 0,01598 kgágua.kgarseco<sup>-1</sup></b>				
<b>Tempo (min)</b>	<b>T entrada (°C)</b>	<b>T saída (°C)</b>	<b>T bulbo seco (°C)</b>	<b>T bulbo úmido (°C)</b>
0	90	81	64	45
2	90	81	64	44
4	90	82	65	44
6	90	80	66	44
8	90	80	64	45
10	90	79	64	46
12	90	78	64	44
14	90	77	63	44
16	90	76	63	43
18	90	75	63	43
20	90	75	63	42
22	90	75	63	41
24	90	74	63	41
26	90	74	63	40
28	90	74	63	38
30	90	74	63	38
35	90	74	63	38
40	90	74	63	38
45	90	72	63	38
50	90	71	61	38
55	90	71	61	38
60	90	71	61	38
65	90	71	61	38
70	90	71	61	37
75	90	71	61	37
80	90	71	61	38
85	90	71	61	38
90	90	71	61	38
95	90	71	61	39
100	90	70	61	39
105	90	70	61	38
110	90	70	61	38
115	90	70	61	38
120	90	70	61	38
125	90	70	61	38
130	90	70	61	38
135	90	70	61	38
140	90	70	61	38
145	90	70	61	38
150	90	70	61	38
155	90	70	61	38
160	90	70	61	38
165	90	70	61	38
170	90	70	61	38
175	90	70	61	38

continua

180	90	70	61	38
185	90	70	61	38
190	90	70	61	38
195	90	70	61	38
200	90	69	61	38
205	90	69	61	38
210	90	69	61	38
215	90	69	61	38
220	90	69	61	38
225	90	69	61	38
230	90	69	61	38
235	90	69	61	38
240	90	69	61	38

---

**Tabela C.9:** Temperaturas do ar de secagem da pasta de vegetal enriquecida com soro de leite em leite de jorro cone-cilíndrico na condição 100°C e 7,5% (m/m).

<b>Umidade abs do ar ambiente: 0,009663 kgágua.kgarseco<sup>-1</sup></b>				
<b>Tempo (min)</b>	<b>T entrada (°C)</b>	<b>T saída (°C)</b>	<b>T bulbo seco (°C)</b>	<b>T bulbo úmido (°C)</b>
0	100	87	60	48
2	100	87	60	49
4	100	87	61	49
6	100	88	61	48
8	100	87	60	48
10	100	86	60	49
12	100	86	61	48
14	100	86	61	47
16	100	86	60	47
18	100	85	60	47
20	100	85	60	47
22	100	85	60	46
24	100	85	60	46
26	100	85	60	45
28	100	85	60	45
30	100	83	60	46
35	100	83	60	46
40	100	83	60	46
45	100	83	60	46
50	100	83	60	46
55	100	83	58	46
60	100	83	58	46
65	100	83	58	46
70	100	83	58	46
75	100	83	58	46
80	100	83	58	46
85	100	83	58	46
90	100	83	58	46
95	100	83	58	46
100	100	83	58	46
105	100	83	58	46
110	100	83	58	46
115	100	83	58	46
120	100	83	58	46
125	100	83	58	46
130	100	83	58	46
135	100	83	58	46
140	100	83	58	46
145	100	83	58	46
150	100	83	58	46
155	100	83	58	46
160	100	83	58	46
165	100	83	58	46
170	100	83	58	46
175	100	83	58	46

continua

180	100	83	58	46
185	100	83	58	46
190	100	83	58	46
195	100	83	58	46
200	100	83	58	46
205	100	83	58	46
210	100	83	58	46
215	100	83	58	46
220	100	83	58	46
225	100	83	58	46
230	100	83	58	44
235	100	83	58	44
240	100	83	58	44

---

**Tabela C.10:** Temperaturas do ar de secagem em leito de jorro cone-cilíndrico na condição 100°C e 10% (m/m).

<b>Umidade abs do ar ambiente: 0,01128 kgágua.kgarseco<sup>-1</sup></b>				
<b>Tempo (min)</b>	<b>T entrada (°C)</b>	<b>T saída (°C)</b>	<b>T bulbo seco (°C)</b>	<b>T bulbo úmido (°C)</b>
0	100	84	67	48
2	100	84	67	49
4	100	83	66	49
6	100	83	65	48
8	100	82	66	48
10	100	81	65	49
12	100	81	65	48
14	100	80	66	47
16	100	80	66	47
18	100	80	66	47
20	100	79	66	47
22	100	79	66	46
24	100	79	66	47
26	100	79	66	47
28	100	79	66	47
30	100	79	66	47
35	100	79	66	46
40	100	79	66	46
45	100	79	66	46
50	100	78	66	46
55	100	78	66	46
60	100	78	66	46
65	100	79	66	46
70	100	79	66	46
75	100	79	66	46
80	100	78	66	46
85	100	78	66	46
90	100	78	66	46
95	100	79	66	46
100	100	79	66	46
105	100	79	66	46
110	100	79	66	46
115	100	79	66	46
120	100	79	66	46
125	100	79	66	46
130	100	79	66	46
135	100	79	66	46
140	100	79	66	46
145	100	79	66	46
150	100	79	65	46
155	100	79	65	45
160	100	79	65	45
165	100	79	65	44
170	100	79	65	44
175	100	79	65	44

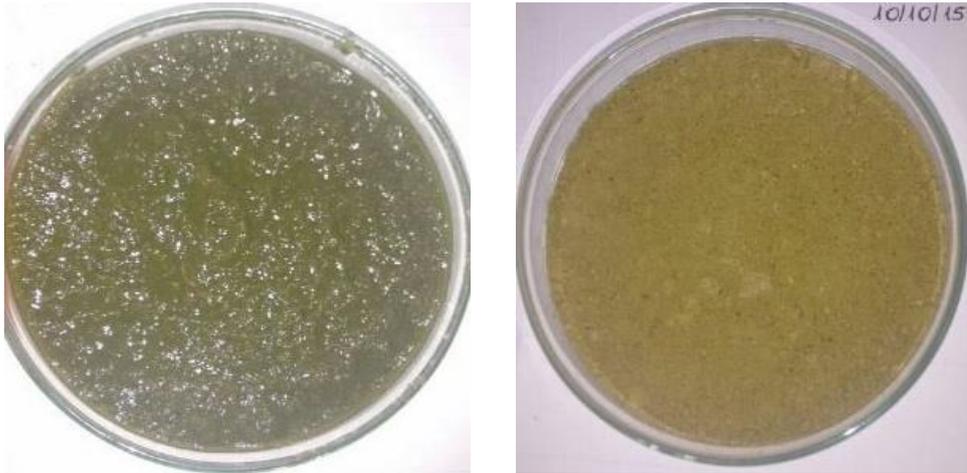
continua

180	100	79	65	44
185	100	79	65	44
190	100	79	65	44
195	100	79	65	44
200	100	79	65	44
205	100	79	65	44
210	100	79	65	44
215	100	79	65	44
220	100	79	65	44
225	100	79	65	44
230	100	79	65	44
235	100	79	65	44
240	100	79	65	44

---

**APÊNDICE D: Imagens das pastas de vegetais enriquecida com plasma bovino e soro de leite *in natura* e seca na melhor condição, respectivamente.**

**Figura D.1** – Imagens das amostras de pastas de vegetais enriquecida com plasma bovino antes (a) e depois (b) da operação de secagem.



**(a)**

**(b)**

**Figura D.2** – Imagens das amostras de pastas de vegetais enriquecida com soro de leite antes (a) e depois (b) da operação de secagem.



**(a)**

**(b)**

**APÊNDICE E:** Trabalhos realizados no período do mestrado vinculados a dissertação e trabalhos realizados no período do mestrado ligado ao tema da dissertação.

**Trabalhos publicados vinculados à dissertação:**

ROCHA, S. F.; MULLER, T.; CASTRO, J.V.O.; BIERHALS, C.K.; ZACCARDI, H. H. L.; PINTO, L. A. A. Características químicas e morfológicas da pasta de vegetais enriquecida de plasma bovino seca em leito de jorro. In: XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Química, **COBEQ 2016**, Fortaleza, Ce, 2016. (Aceito).

ROCHA, S. F.; MULLER, T.; CASTRO, J.V.O.; BIERHALS, C.K.; LARROSA, A. P. Q.; PINTO, L. A. A. Utilização da programação linear na formulação de pasta de vegetais enriquecida com plasma bovino e secagem em leito de jorro In: XXXVII Congresso Nacional de Sistemas Particulados, 2015, São Carlos, SP. **ENEMP 2015**. v.2. p.1514 – 1523, 2015.

CASTRO, J.V.O.; MULLER, T.; BIERHALS, C.K.; ROCHA, S. F.; PINTO, L. A. A. Influência da temperatura nas propriedades funcionais da pasta de vegetais enriquecida de plasma bovino seca em leito de jorro In: XXII Encontro de Química da Região Sul, 2015, Joinville. **SBQ Sul 2015**. , 2015.

ROCHA, S.F.; RODRIGUES, M.C.K.; MONTE, M.L.; LARROSA, A.P.Q; PINTO, L.A.A. Product characteristics and quality of bovine blood-enriched dried vegetable paste. **Journal of Science and Food Agriculture**, v. 94, p. 3255-3262, 2014.

ROCHA, S. F.; RODRIGUES, M. C. K., MONTE, M. L., LARROSA, A. P. Q., PINTO, L. A. A. Secagem em leito de jorro de pasta de vegetais enriquecida de sangue bovino: comparação das geometrias cone-cilíndrica e retangular In: XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2014, Florianópolis, SC. **COBEQ 2014**. São Paulo: Editora Blucher, v.1. p.3931 – 3938, 2014.

**Trabalhos publicados relacionados ao tema da dissertação:**

COSTA, B. R.; LARROSA, A. P. Q.; RODRIGUES, M. C. K.; DA ROCHA, S. F.; POHNDORF, R. S.; PINTO, L. A. A. Optimization of Spirulina sp. drying in heat pump: effects on the physicochemical properties and color parameters. **Journal of Food Processing and Preservation**. p. 1-9, 2016.

COSTA, B. R.; ROCHA, S. F.; RODRIGUES, M. C. K.; POHNDORF, R. S.; LARROSA, A.P.; PINTO, L. A. A. Physicochemical characteristics of the sp. dried in heat pump and conventional tray dryers. **International Journal of Food Science & Technology**. v.press, p.1 - 7, 2015.