

## Programação linear para formulação de pasta de vegetais e operação de secagem em leito de jorro

### Linear programming for formulation of vegetables paste and drying operation in spouted bed

Ana Paula Quites Larrosa<sup>I</sup> Patrícia Muszinski<sup>I</sup> Luiz Antônio de Almeida Pinto<sup>II</sup>

#### RESUMO

Neste trabalho, foi utilizada a técnica da programação linear a fim de formular uma pasta a partir de vegetais para produção de sopa desidratada, tendo como objetivo maximizar o valor calórico. A operação de secagem da pasta foi realizada em leito de jorro cone-cilíndrico, sendo analisadas a temperatura do ar de entrada e a vazão de alimentação da pasta. As respostas consideradas foram: capacidade de retenção de água (CRA), índice de solubilidade em água (ISA), cor, solubilidade protéica em meio aquoso e produtividade do material seco. Os resultados mostraram que a formulação da pasta de vegetais utilizando a programação linear foi adequada para maximizar o valor calórico (319kcal 100g<sup>-1</sup>) do produto final. As melhores condições para secagem foram obtidas na temperatura de entrada do ar de 105°C e vazão de alimentação da pasta de 900g h<sup>-1</sup>. O produto seco apresentou CRA de 4,2±0,1g g<sup>-1</sup>, ISA de 14,9±0,1%, solubilidade protéica em meio aquoso de 29±1%, ângulo Hue de 75,7±0,1°, produtividade de 29±2g h<sup>-1</sup>, e sua coloração foi mais clara quando comparada com a pasta in natura.

**Palavras-chave:** cor, programação linear, propriedades funcionais.

#### ABSTRACT

The linear programming technique was used for formulation of vegetables paste for the production of dehydrated soup, aiming to maximize the caloric value. The drying operation was carried out in spouted bed cone-cylinder, and were analyzed the air inlet temperature and paste flow rate. The responses were water holding capacity (WHC), water solubility index (WSI), color, protein solubility in aqueous media, and production of dried material. The results showed

that the formulation of vegetables paste using linear programming was appropriate to maximize the caloric value (320kcal 100g<sup>-1</sup>) of final product. The best drying conditions were found at inlet air temperature of 105°C and paste flow rate of 900g h<sup>-1</sup>. The dried product showed WHC of 4.2±0.1g g<sup>-1</sup>, WSI of 14.9±0.1%, the protein solubility in aqueous solution of 29±1%, Hue angle 75.7±0.1°, and productivity of 29±1g h<sup>-1</sup>, and it showed lower color in relation to in nature paste.

**Key words:** color, linear programming, functional properties.

#### INTRODUÇÃO

O setor agrícola brasileiro tem sido apontado como um dos mais importantes segmentos para a economia do país, devido à elevada produção de grãos como também de frutas e hortaliças. Porém, no caso das hortaliças, as perdas médias são significativas, correspondendo a 33% da produção (ANTONIALI et al., 2009).

Os produtos alimentícios em pó são cada vez mais utilizados pela indústria de alimentos, reduzindo significativamente os custos de embalagem, transporte, armazenamento e conservação, elevando o seu valor agregado (COSTA et al., 2003). As propriedades funcionais das proteínas dependem de suas propriedades físicas e químicas, e são muito importantes para o preparo de determinados tipos de alimentos e para sua aceitação pelo consumidor. Dentre

<sup>I</sup>Programa de Pós-graduação em Engenharia e Ciências de Alimentos, Universidade Federal do Rio Grande (FURG), Rio Grande, RS, Brasil.

<sup>II</sup>Escola de Química e Alimentos, FURG, Rua Eng. Alfredo Huch, 475, 96201-900, Rio Grande, RS, Brasil. E-mail: dqmpinto@furg.br. Autor para correspondência.

essas propriedades, a solubilidade é muito importante em produtos desidratados, influenciando no seu sabor e na sua textura (CHAUD & SGARBIERI, 2006). Critérios para a aceitabilidade de produtos desidratados estão correlacionados com a cor do produto e as alterações neste atributo durante o processamento térmico é um índice de redução da qualidade (MASKAN, 2001).

A programação linear é um método que busca a otimização de um determinado problema que possui muitas soluções possíveis, através da maximização ou minimização de uma função linear (PUCCINI & PIZZOLATO, 1987). Esta técnica mostra-se versátil, sendo utilizada na solução de problemas como formulação de dieta alimentar, programação da produção, otimização de recursos, entre outros. Existem alguns estudos sobre a utilização dessa técnica, como a maximização de lucros em indústrias processadoras de soja (SBARDELLOTTO & LEANDRO, 2008) e definição do nível ótimo de transformação de passas e balas de banana na maximização de lucros (SOUZA et al., 1999).

A secagem de pastas e suspensões utilizando-se secadores de leito de jorro com partículas inertes vem sendo amplamente estudada com diversos materiais, como quitosana (DOTTO et al., 2011), extrato de ervas (SOUZA & OLIVEIRA, 2009), microalgas (OLIVEIRA et al., 2008). Nesses casos, este equipamento tem se mostrado uma boa alternativa ao secador *spray*, por fornecer produtos de qualidade similar, a custos inferiores (BENALI & AMAZOUZ, 2006). Além disso, os secadores de leito de jorro proporcionam altas taxas de transferência de massa e calor e um bom controle da temperatura do leito. Embora a qualidade do pó atenda aos requisitos básicos para o uso comercial, alguns aspectos podem dificultar a sua aplicação, como a estabilidade do jorro, a aglomeração de partículas e depósitos de pó dentro do leito (PALLAI et al., 2006).

O objetivo deste trabalho foi utilizar a programação linear para formulação de pasta de vegetais, com a finalidade de maximizar seu valor calórico para a obtenção de um produto base para uma sopa desidratada que poderia ser destinada ao consumo humano. Também foram analisadas as condições da operação de secagem da pasta em leito de jorro e avaliadas as características físico-químicas do produto final.

**MATERIAL E MÉTODOS**

**Formulação da pasta**

O processo de obtenção da pasta de vegetais foi realizado no Laboratório de Operações Unitárias da Universidade Federal do Rio Grande

(FURG), sendo utilizados os seguintes constituintes: couve (*Brassica oleracea*), batata inglesa (*Solanum tuberosum*), tomate longa vida (*Lycopersicon esculentum*), beterraba (*Beta vulgaris*), alface lisa (*Lactuca sativa*) e óleo de soja comercial. Esses vegetais foram assim escolhidos pela facilidade de aquisição no mercado local, enquanto que o óleo de soja foi utilizado a fim de melhorar a circulação da pasta no leito de jorro.

A quantificação dos constituintes foi realizada pela programação linear, e a seleção foi baseada naqueles que atendessem às especificações necessárias à composição final desejada, em termos de nutrientes e valor calórico de uma sopa desidratada (TACO, 2006).

A metodologia da programação linear foi realizada da seguinte forma: a função objetiva padrão é uma equação linear (Equação 1), que foi relacionada aos constituintes disponíveis, com seus respectivos valores calóricos, a qual foi maximizada (Equação 2).

$$Z = \sum_{i=1}^n x_i c_{4,i} \dots \dots \dots (1)$$

em que Z é a função objetiva a ser maximizada que corresponde ao valor calórico;  $c_{4,i}$  é o valor calórico de cada constituinte;  $x_i$  corresponde à quantidade de cada constituinte.

Considerando os seis constituintes na formulação da pasta, a equação 1 pode ser escrita como apresentado na equação 2:

$$Z = x_1c_{4,1} + x_2c_{4,2} + x_3c_{4,3} + x_4c_{4,4} + x_5c_{4,5} + x_6c_{4,6} \dots \dots \dots (2)$$

As funções de restrição (Equações de 3 a 11) são as equações e inequações que limitam a função que se quer otimizar. A equação 3 relaciona as massas dos constituintes em base seca. As inequações 4 e 5 limitam o teor de carboidratos (C); as inequações 6 e 7 limitam o teor de proteínas (P); as inequações 7 e 8 limitam o teor de lipídios (L); a inequação 9 restringe a possibilidade matemática de valores negativos para massa e a inequação 10 de constituintes com quantidade máxima pré-estabelecida. Sendo  $c_1, c_2, c_3$  as composições ( $g\ 100g^{-1}$ ) de cada constituinte, respectivamente, carboidrato, proteína e lipídios.

$$C_{bs} = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 \dots \dots \dots (3)$$

$$\sum_{i=1}^{i=6} x_i c_1 \geq C_1 \dots \dots \dots (4)$$

$$\sum_{i=1}^{i=6} x_i c_1 \leq C_2 \dots \dots \dots (5)$$

$$\sum_{i=1}^{i=6} x_i c_2 \geq P_1 \dots \dots \dots (6)$$

$$\sum_{i=1}^{i=6} x_i c_2 \leq P_2 \dots\dots\dots(7)$$

$$\sum_{i=1}^{i=6} x_i c_3 \geq L_1 \dots\dots\dots(8)$$

$$\sum_{i=1}^{i=6} x_i c_3 \leq L_2 \dots\dots\dots(9)$$

$$x_i \geq 0 \dots\dots\dots(10)$$

$$x_i \leq x \dots\dots\dots(11)$$

O aplicativo solver do MS Excel é uma ferramenta que permite fazer a otimização da formulação de pasta, tendo como função objetiva maximizar o seu valor calórico.

A preparação da pasta de vegetais consistiu em separar os constituintes escolhidos, sendo previamente higienizados em água corrente, devidamente pesados nas quantidades definidas pela programação linear. Após, os constituintes foram misturados, triturados, peneirados, para que a pasta obtida fosse uniforme, e esta foi alimentada através de uma bomba peristáltica ao secador.

#### Secagem em leito de jorro

A célula de secagem utilizada foi de geometria cone-cilíndrica tipo CSB (*Conventional Spouted Bed*), que possuía diâmetro (Dc) de 175mm e

uma base cônica com ângulo de 60°. O diâmetro de entrada (Di) da célula era de 29mm, sendo a relação (Dc/Di) igual a 6,0. Na parte superior da coluna, existia uma saída para o ar com diâmetro de 25mm, a qual foi conectada com um ciclone *Lapple* com diâmetro de 100mm. O produto desidratado foi coletado em um recipiente de vidro acoplado na saída do ciclone (o esquema do equipamento de secagem utilizado nos experimentos está apresentado na figura 1 do documento suplementar).

O leito de partículas inertes, utilizado como suporte para secagem da pasta de hortifrutigranjeiros, foi constituído por 3kg de partículas de polietileno em forma de lentilhas com diâmetro médio de 3,2mm, esfericidade 0,70 e densidade 0,96. As medidas das temperaturas foram feitas por termopares cobre-constantan. No bombeamento da pasta, foi utilizado um sistema de atomização de duplo fluído, através de uma bomba peristáltica e ar comprimido com pressão de 200kPa abs. A produtividade foi quantificada pesando o produto seco recolhido na saída do ciclone *Lapple* a cada 30min de operação, durante 3h de operação.

#### Delineamento experimental

Para analisar a secagem da pasta de vegetais, foi utilizado um planejamento experimental, com dois fatores de estudo e em dois níveis de variação. Os fatores foram a vazão de alimentação da pasta (900g h<sup>-1</sup> e 1050g h<sup>-1</sup>) e a temperatura do ar de entrada (95°C e 105°C). A escolha desses fatores foi baseada na

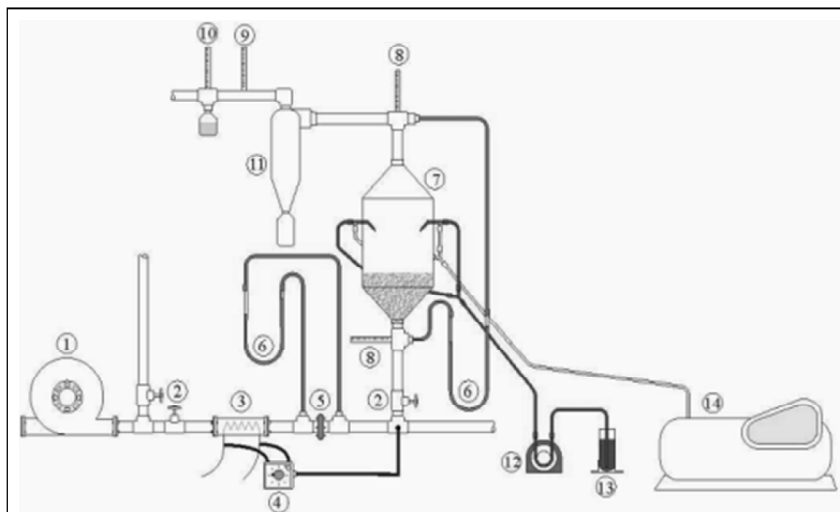


Figura 1 - Esquema do aparato experimental de secagem em leito de jorro: (1) soprador, (2) válvula, (3) sistema de aquecimento, (4) controlador de temperatura, (5) placa de orifício, (6) manômetro, (7) célula de jorro, (8) termopares, (9) termopar de bulbo seco, (10) termopar bulbo úmido, (11) ciclone, (12) bomba peristáltica, (13) tanque pasta, (14) compressor.

influência que estes exercem na operação de secagem em leite de jorro, e seus valores foram estabelecidos em testes preliminares para garantir a estabilidade do leite de jorro durante os experimentos de secagem. As respostas analisadas do produto final foram: capacidade de retenção de água (C.R.A.), índice de solubilidade em água (I.S.A.), cor (ângulo Hue), solubilidade protéica em meio aquoso e a produtividade do pó seco.

#### Metodologia analítica

As composições centesimais das amostras de vegetais *in natura* e desidratada foram determinadas através das análises de umidade, cinzas e proteína, segundo as metodologias 925.10, 923.03 e 960.20 da A.O.A.C (1995), respectivamente, e lipídios por Soxhlet, segundo a metodologia 032/IV do I.A.L. (2005). O teor de carboidratos foi por espectrofotometria (Quimis, modelo Q-108 DRM, Brasil), utilizando o reagente dinitrossalicílico, segundo a metodologia de MILLER (1959).

No produto final, foram analisados a capacidade de retenção de água (CRA) e o índice de solubilidade em água (ISA), através da metodologia de ANDERSON et al. (1969). A solubilidade protéica em meio aquoso foi segundo a metodologia de MORR et al. (1985).

A cor das amostras foi analisada através de um colorímetro (Mínolta CR-300, Brasil), utilizando um iluminante D65 e ângulo 10°, a partir de um diagrama tridimensional de cores ( $L^* - a^* - b^*$ ). Os valores numéricos de  $a^*$  e  $b^*$  foram convertidos no ângulo Hue (a), conforme a equação 12. Foi avaliado também o índice de saturação ( $C^*$ ), equação 13, que indica a saturação da cor na amostra, como também a variação total da cor ( $\Delta E$ ), de acordo com a equação 14.

$$\alpha = \tan^{-1} \left( \frac{b^*}{a^*} \right) \dots\dots\dots(12)$$

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \dots\dots\dots(13)$$

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \dots\dots\dots(14)$$

em que  $\Delta L$  é a variação da luminosidade;  $\Delta a$  é a variação das cores verde e vermelho;  $\Delta b$  é a variação das cores azul e amarelo.

#### Análise Estatística

As diferenças significativas entre as médias das ( $P < 0,05$ ) foram analisadas pelo teste de Tukey, utilizando-se o programa Statistica 7.0 (StatSoft Inc., Tulsa, Okla, USA).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### Formulação da pasta

A tabela 1 apresenta as quantidades em base úmida da formulação da pasta otimizada pela

Tabela 1 - Quantidades calculadas de matérias-primas, nutrientes (em base úmida) e valor calórico otimizado da pasta para produção de sopa desidratada.

		(g 100g <sup>-1</sup> )
Constituintes	Couve	250
	Tomate	250
	Batata	350
	Alface	25
	Beterraba	50
	Óleo de soja	1,7
Nutrientes	Carboidratos	64,6
	Proteínas	15,8
	Lipídios	3,2

\*Valor calórico = 319,1kcal 100g<sup>-1</sup>

programação linear, para produção de 100g de produto desidratado com valor calórico otimizado. Os teores de carboidratos, proteínas e lipídios tiveram seus limites máximos e mínimos pré-estabelecidos, e o valor calórico foi resultado da otimização. Observou-se que o valor calórico otimizado foi próximo às sopas comerciais em torno de 320kcal 100g<sup>-1</sup>, sendo um produto base ideal para alimentar pessoas de carência nutricional.

Os valores experimentais da composição centesimal (em base úmida) da pasta *in natura* obtida pelo cálculo de otimização do valor calórico através da programação linear foram: umidade 89,5±0,1%; cinzas 0,9±0,1%; proteína 1,5±0,3%; lipídios 0,7±0,2% e carboidratos 8,8±0,3%.

#### Secagem em leite de jorro

Os resultados relacionados à cor da pasta *in natura* foram: luminosidade (L) de 34,4±0,1; cromaticidade  $a^*$  de -2,6±0,1; cromaticidade  $b^*$  de 7,8±0,1; ângulo Hue (a) de 71,8±0,5° e índice de saturação ( $C^*$ ) de 8,4±0,1. Todos os parâmetros relacionados à cor da pasta *in natura* e do produto final após a secagem (Tabela 2) apresentaram diferenças significativas ( $P < 0,05$ ) pelo teste de Tukey. A luminosidade apresentou um aumento significativo ao nível de 95% de confiança ( $P < 0,05$ ) nas amostras secas em relação à amostra *in natura*, mostrando que o produto em todas as condições apresentou-se mais claro, com maior brilho após a secagem. Observou-se também na tabela 2 que os maiores valores corresponderam aos experimentos realizados na maior temperatura, na qual a luminosidade do produto ficou em média de 49,5. Segundo BADRIE & MELLOWES (1991), a elevação da temperatura aumenta a intensidade da cor e os altos níveis de umidade resultam em produtos mais claros, pois o aumento da

Tabela 2 - Respostas relacionadas à cor do produto final nos experimentos de secagem da pasta de vegetais em leito de jorro.

Ensaio	Q (g h <sup>-1</sup> )	T (°C)	L	a*	b*	C*	ΔE
1	900	95	47,8±1,2 <sup>a</sup>	5,74±0,16 <sup>a</sup>	19,66±0,35 <sup>a</sup>	20,48±0,35 <sup>a</sup>	19,64±0,59 <sup>a</sup>
2	900	105	49,8±1,9 <sup>b,c</sup>	5,76±0,20 <sup>a</sup>	22,47±0,50 <sup>b</sup>	23,19±0,53 <sup>b</sup>	22,76±0,9 <sup>b</sup>
3	1050	95	49,3±0,7 <sup>a,b</sup>	0,88±0,07 <sup>b</sup>	26,09±0,11 <sup>c</sup>	26,10±0,11 <sup>c</sup>	23,71±0,27 <sup>c</sup>
4	1050	105	51,2±0,4 <sup>c</sup>	1,87±0,09 <sup>c</sup>	22,15±0,08 <sup>b</sup>	22,23±0,09 <sup>d</sup>	22,39±0,36 <sup>b</sup>

Valor médio ± erro padrão (duplicata). Letras diferentes na mesma coluna apresentam diferença significativa em nível de 95% de confiança (P<0,05).

T é a variável temperatura de entrada do ar; Q é a variável vazão de alimentação da pasta; L: luminosidade; a\*: cromaticidade (vermelho-verde); b\*: cromaticidade (amarelo-azul); C: índice de saturação; ΔE: variação total da cor.

umidade reduz o tempo de residência, proporcionando menor ocorrência de caramelização e reação de Maillard. Esse fenômeno por sua vez não foi observado no presente trabalho, pois na maior temperatura utilizada foram obtidos produtos com menor conteúdo de umidade e não ocasionando escurecimento.

Quanto aos parâmetros de cromaticidade, observa-se na tabela 2 que houve um aumento tanto da cromaticidade a\* quanto da cromaticidade b\*, em relação à pasta *in natura*. Porém, a cromaticidade a\* tornou-se positiva (+a), que compreende a cor vermelha, perdendo a tonalidade verde (-a\*) da pasta *in natura* com o aumento da temperatura, sendo que os maiores valores de a\* foram encontrados na condição de menor vazão de alimentação da pasta, apresentando diferença significativa em relação aos demais experimentos. O desenvolvimento de alterações na cor durante o processamento térmico de alimentos vegetais pode causar alterações na tonalidade verde, devido à degradação dos pigmentos presentes, como carotenóides e especialmente clorofilas. Como as clorofilas são pigmentos majoritários e mais comuns nas plantas, são facilmente degradadas devido a sua estrutura química ser instável (STREIT et al., 2005). Porém, apesar de o produto se mostrar com coloração mais avermelhada, não significa que houve um escurecimento, o qual já foi discutido no parâmetro

luminosidade. No entanto, a cromaticidade b\* permaneceu positiva, a qual corresponde à cor amarela, mostrando que a secagem proporcionou um aumento da intensidade dessa coloração.

Quanto aos demais parâmetros avaliados na tabela 2, o índice de saturação (C) e a variação da cor (ΔE), observa-se que apresentaram diferença significativa entre as amostras em nível de 95% de confiança (P<0,05). Os melhores resultados corresponderam ao experimento em que se obteve uma menor perda da cromaticidade a\* e uma maior intensidade da cromaticidade b\*, o qual correspondeu a um maior ângulo Hue (Tabela 3). Além disso, esses parâmetros avaliados (C\*, ΔE e ângulo Hue) e também a cromaticidade b\* não apresentaram uma tendência clara de variação com a temperatura como a luminosidade e a cromaticidade a\*. Isso pode ser explicado devido a esses parâmetros possuírem uma relação dependente entre as cromaticidades, como também da luminosidade na variação total da cor. Os valores do ângulo Hue mostraram que tanto a pasta *in natura* quanto as amostras do produto final apresentaram coloração vermelho-amarelada.

Nos resultados apresentados na tabela 3, observa-se que, para a maioria das respostas analisadas na secagem de pasta de vegetais em leito de jorro, os experimentos apresentaram diferença significativa em

Tabela 3 - Respostas do produto final dos experimentos de secagem da pasta de vegetais em leito de jorro.

Ensaio (Nº)	T (°C)	Q (g h <sup>-1</sup> )	Produtividade (g h <sup>-1</sup> )	CRA (g g <sup>-1</sup> )	Solubilidade (%)	ISA (%)	Ângulo Hue (°)
1	95	900	24±2 <sup>a</sup>	2,95±0,01 <sup>a</sup>	17,51±0,08 <sup>a</sup>	18,6±0,3 <sup>a</sup>	73,71±0,01 <sup>a</sup>
2	105	900	29±2 <sup>b</sup>	4,17±0,07 <sup>b</sup>	29±1 <sup>b</sup>	14,92±0,08 <sup>b</sup>	75,71±0,05 <sup>b</sup>
3	95	1050	15±2 <sup>c</sup>	2,91±0,01 <sup>c</sup>	14±2 <sup>c</sup>	19,97±0,01 <sup>c</sup>	88,04±0,01 <sup>c</sup>
4	105	1050	16±2 <sup>c</sup>	3,05±0,01 <sup>d</sup>	20±5 <sup>d</sup>	16,2±0,4 <sup>d</sup>	84,94±0,01 <sup>d</sup>

Valor médio ± erro padrão (duplicata). Letras diferentes na mesma coluna apresentam diferença significativa ao nível de 95% de confiança (P<0,05).

T é a variável temperatura de entrada do ar; Q é a variável vazão de alimentação da pasta; CRA é a capacidade de retenção de água; ISA é o índice de solubilidade em água.

nível de 95% de confiança ( $P < 0,05$ ). Os valores de produtividade nos experimentos 3 e 4 não apresentaram diferença significativa devido à elevada vazão de alimentação da pasta, significando que o aumento da quantidade de sólidos proporcionou maior retenção de material no leito. Porém, apesar de a pasta ser composta por materiais termosensíveis e com elevado teor de carboidratos, não foi detectado nenhum colapso no leito nas condições experimentais utilizadas.

Com base nos resultados mostrados na tabela 3, pode-se afirmar que os maiores valores de produtividade, capacidade de retenção de água e a solubilidade protéica em meio aquoso do produto final foram na menor vazão de alimentação da pasta ( $900 \text{ g h}^{-1}$ ) e na maior temperatura do ar de entrada ( $105^\circ\text{C}$ ). O aumento da temperatura do ar proporcionou um aumento gradual na eficiência de recuperação do pó, com uma significativa redução no teor de umidade do produto final, pois o material mais seco desprende-se com maior facilidade nas partículas inertes do que o mais úmido.

A maior temperatura também favoreceu positivamente às propriedades funcionais do produto final, pois reduziu a formação de aglomerações no leito, diminuindo a retenção de sólidos, necessitando assim um menor tempo de exposição ao ar quente para a sua liberação, o que causa menor desnaturação das proteínas. Os valores de ângulo Hue mais próximos ao da pasta *in natura* ( $71,8 \pm 0,5$ ) foram obtidos na maior temperatura. Isso não ocorreu para o índice de solubilidade em água (ISA), que apresentou os maiores valores na maior vazão de alimentação da pasta.

Os valores experimentais da composição centesimal do produto desidratado na melhor condição de secagem ( $900 \text{ g h}^{-1}$  e  $105^\circ\text{C}$ ) foram (base úmida): umidade  $8,7 \pm 0,2\%$ ; cinzas  $5,4 \pm 0,1$ ; carboidratos  $66,7 \pm 1,1\%$ ; proteína  $14,7 \pm 0,3\%$ ; lipídios  $3,4 \pm 0,6\%$ . O produto final apresentou um teor de umidade abaixo de 10%, sendo este valor dentro da faixa comercial de sopa desidratada. Quanto aos constituintes como carboidratos, proteínas e lipídios, verificou-se que os valores encontrados ficaram bem próximos da formulação otimizada, teoricamente apresentada na tabela 1.

## CONCLUSÃO

A metodologia de formulação de sopa utilizando a programação linear, tendo como restrições os teores de carboidratos, lipídios e proteínas, mostrou-se adequada para selecionar e quantificar entre os vegetais disponíveis os que conferirem maior valor calórico ( $319 \text{ kcal } 100 \text{ g}^{-1}$ ).

Os parâmetros avaliados em relação à cor do produto final apresentaram diferença significativa ao nível de 95% de confiança ( $P < 0,05$ ) em relação à pasta *in natura*. A secagem de pasta de vegetais em leito de jorro apresentou, como melhor condição de operação, a temperatura do ar de entrada  $105^\circ\text{C}$  e vazão de alimentação da pasta de  $900 \text{ g h}^{-1}$ . Nesta condição, foram alcançados os melhores resultados nas características físico-químicas do produto final, sendo a capacidade de retenção de água de  $4,2 \pm 0,1 \text{ g g}^{-1}$ , o índice de solubilidade em água de  $14,9 \pm 0,1\%$ , o ângulo Hue de  $75,7 \pm 0,1$ , solubilidade protéica em meio aquoso de  $29 \pm 1\%$  e produtividade de  $29 \pm 2 \text{ g h}^{-1}$ . O produto seco em leito de jorro apresentou umidade (8,7%) de acordo com as sopas comerciais.

## REFERÊNCIAS

- ANDERSON, R.A. et al. Gelatination of corn grits by roll and extrusion cooking. *Cereal Science Today*, St Paul, Minnesota, v.14, n.1, p.4-7, 11-12, 1969. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10113/31611>>. Acesso em: 10 mar. 2009.
- ANTONIALI, S. et al. **Mais alimentos ou menos perdas?** Artigo em Hypertexto. Disponível em: <[http://www.infobibos.com/Artigos/2009\\_3/alimentos/index.htm](http://www.infobibos.com/Artigos/2009_3/alimentos/index.htm)>. Acesso em: 20 ago. 2010.
- BADRIE, N.; MELLOWES, W.A. Effect of extrusion variables on cassava extrudates. *Journal of Food Science*, Chicago, v.56, p.1334-1337, 1991. Disponível em: <<http://www3.interscience.wiley.com/journal/119344950/issue>>. Acesso em: 21 maio, 2011. doi: 10.1111/j.1365-2621.1991.tb04766.x.
- AOAC. Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis of AOAC international**. 16.ed. Arlington, 1995. 1025p.
- BENALI, M.; AMAZOUZ, M. Drying of vegetable starch solutions on inert particles: quality and energy aspects. *Journal of Food Engineering*, v.74, n.4, p.484-489, 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.01.045>>. Acesso em: 15 jan. 2009. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2005.01.045.
- CHAUD, S.G.; SGARBIERI, V.C. Propriedades funcionais (tecnológicas) da parede celular de leveduras da fermentação alcoólica e das frações glicana, manana e glicoproteína. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v.26, n.2, p.369-379, 2006. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0101-20612006000200020&lng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20612006000200020&lng=en)>. Acesso em: 20 mar. 2009. doi: 10.1590/S0101-20612006000200020.
- COSTA, J.M.C.D. et al. Isotermas de adsorção de pós de beterraba (*Beta vulgaris* L.), abóbora (*Cucurbita moschata*) e cenoura (*Daucus carota*) obtidos pelo processo de secagem em leito de jorro: estudo comparativo. *Revista Ciência Agronômica*, v.34, n.1, p.5-9, 2003. Disponível em: <<http://www.ccarevista.ufc.br/site/down.php?arq=06rca34-1.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2009.
- DOTTO, G.L. et al. Drying of chitosan in a spouted bed: the influences of temperature and equipment geometry in powder

quality. **LWT- Food Science and Technology**, v.44, p.1786-1792, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2011.03.019>>. Acesso em: 20 mar. 2011. doi: 10.1016/j.lwt.2011.03.019.

I.A.L – Instituto Adolfo Lutz. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4.ed. São Paulo, SP, 2005. 1000p.

MASKAN, M. Kinetic of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying. **Journal of Food Engineering**, v.48, n.2, p.169-175, 2001. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00154-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00154-0)>. Acesso em: 15 out. 2009. doi: 10.1016/S0260-8774(00)00154-0.

MILLER, G.L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Analytical Chemistry**, v.31, n.3, p.426-428, 1959. Disponível em: <<http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ac60147a030>>. Acesso em: 06 abr. 2009. doi: 10.1021/ac60147a030.

MORR, C.V. et al. Collaborative study to develop a standardized food protein solubility procedure. **Journal of Food Science**, v.50, p.1715-1718, 1985. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.1985.tb10572.x>>. Acesso em: 18 mar. 2009. doi: 10.1111/j.1365-2621.1985.tb10572.x.

OLIVEIRA, E.G. et al. Phycocyanin content of *Spirulina platensis* dried in spouted bed and thin layer. **Journal of Food Process Engineering**, v.31, p.34-50, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1111/j.1745-4530.2007.00143.x>>. Acesso em: 10 set. 2009. doi: 10.1111/j.1745-4530.2007.00143.x.

PALLAI E. et al. Spouted bed drying. In: ARUN MUJUMDAR. (Ed). **Handbook of industrial drying**. Philadelphia: Taylor & Francis Group, 2006. Cap.14, p.363-384.

PUCCINI, A.L.; PIZZOLATO, N.D. **Programação linear**. São Paulo: Livros Técnicos Científicos, 1987. 284p.

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. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v38n3/a04v38n3.pdf>>. Acesso em: 14 abr. 2009. doi: 10.1590/S0103-84782008000300004.

SOUZA, J.L.M. et al. Programação linear em uma agroindústria: planejamento, redimensionamento e maximização do lucro. **Acta Scientiarum**, v.21, n.3, p.585-589, 1999. Disponível em: <<http://www.moretti.agrarias.ufpr.br/publicacoes.htm>>. Acesso em: 20 abr. 2009.

SOUZA, C.R.F.; OLIVEIRA, W.P. Drying of herbal extract in a draft-tube spouted bed. **Canadian Journal of Chemical Engineering**, v.87, p.279-288, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/doi:10.1002/cjce.20160>>. Acesso em: 14 ago. de 2010. doi: 10.1002/cjce.20160.

STREIT, N.M. et al. As clorofilas. **Ciência Rural**, v.35, n.3, p.748-755, 2005. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-84782005000300043&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-84782005000300043&script=sci_arttext)>. Acesso em: 15 nov. 2009. doi: 10.1590/S0103-84782005000300043.

TACO - **Tabela brasileira de composição de alimentos** – NEPA/ UNICAMP, versão II. 2.ed. Campinas, SP, 2006. p.18-53.