

## EFEITO DAS CONDIÇÕES OPERACIONAIS DO PROCESSO DE EXTRUSÃO NAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE SNACKS DE POLVILHO AZEDO

Effect of operational conditions of extrusion process on physical characteristics of sour cassava snacks

Fernanda Rossi Moretti TROMBINI<sup>1</sup>

Priscila Aparecida SUMAM<sup>1</sup>

Luiz Henrique URBANO<sup>1</sup>

Magali LEONEL<sup>2</sup>

Martha Maria MISCHAN<sup>3</sup>

### RESUMO

Este trabalho teve por objetivo avaliar o efeito da temperatura de extrusão, rotação da rosca e umidade na produção de biscoitos de polvilho azedo, sobre as características físicas do produto. O processo foi conduzido em um extrusor mono-rosca e os parâmetros variáveis do processo foram: rotação da rosca (196 a 264 rpm), temperatura na terceira zona do extrusor (66 a 134°C) e umidade do polvilho (15,5 a 22,5%). O processo de extrusão seguiu o delineamento central composto rotacional para três fatores totalizando 20 tratamentos. Os resultados obtidos mostraram efeitos significativos da temperatura, rotação e a umidade sobre o volume específico, índice de expansão, cor e textura dos produtos. É possível obter biscoitos de polvilho azedo com melhores características tecnológicas nas condições de elevada temperatura e rotação e baixa umidade, produzindo *snacks* com elevada expansão, claros e crocantes.

**Palavras-chave:** amido, biscoito, expansão, cor, textura.

### SUMMARY

This study aimed to evaluate the effect of extrusion temperature, screw speed and moisture in the production of sour cassava starch snacks on physical characteristics of the product. The process was conducted in a single-screw extruder. The variable parameters were: screw speed (196-264 rpm), temperature in the third zone of the extruder (66 to 134 ° C) and moisture of sour starch (15.5 to 22.5%). The extrusion process followed the central composite design for three factors totalizing 20 treatments. The results showed significant effects of temperature, moisture and speed screw on specific volume, expansion ratio, color and texture of products. Under conditions of high

<sup>1</sup> Alunos de pós-graduação em Agronomia- Energia na Agricultura, Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP, Botucatu-SP. E-mail: seccerat@fca.unesp.br

<sup>2</sup> Centro de Raízes e Amidos Tropicais, UNESP, Rua José Barbosa de Barros, 1780, Botucatu-SP. CEP: 18610-307. E-mail: mleonel@fca.unesp.br

<sup>3</sup> Departamento de Bioestatística, Instituto de Biociências, UNESP, Distrito de Rubião Júnior, s/n. Botucatu-SP. E-mail: mmischan@ibb.unesp.br

temperature and screw speed and low moisture are produced snacks with high expandability and crispy.

**Keywords:** starch, biscuits, expansion, color, texture

## INTRODUÇÃO

O polvilho azedo é um derivado da fécula de mandioca, produzido por fermentação natural e secagem ao sol, muito utilizado em produtos alimentícios devido a propriedade de expansão natural e encontrado praticamente em todos os países da América do Sul, com exceção do Equador.

O polvilho azedo é um amido modificado que se obtém da fermentação natural do amido de mandioca, após um período de 30 a 40 dias, seguido da secagem ao sol. Estudos mostram que a fermentação natural que origina o polvilho azedo ocorre principalmente devido à ação de bactérias do ácido láctico (CAVALLET et al., 2006).

Uma possibilidade de incremento no setor de produção de polvilho azedo, que permitisse melhorias de significativa importância no processo de obtenção, seria a agregação de valor ao produto, através do uso tecnologias baratas, de baixo custo de implantação, que possibilitassem ao produtor de polvilho azedo o desenvolvimento de produtos com elevado valor agregado.

Na área de alimentos, o processo de extrusão termoplástica, considerado também como um processo HTST (High-Temperature, Short-Time), possibilita, com pouca ou nenhuma modificação dos equipamentos básicos e um controle

apropriado do processo, a produção de uma grande variedade de produtos: cereais matinais, “snacks”, amidos modificados, produtos de confeitaria, proteínas vegetais texturizadas, produtos cárneos e rações animais (EL-DASH, 1981; CAMIRE et al., 1990; CHANG et al., 2001). O princípio fundamental do processo de extrusão é converter um material sólido em um fluido por aplicação de calor e trabalho mecânico e extrusá-lo através de uma matriz, promovendo assim a termoplastificação do mesmo (CHANG et al., 2001).

As mudanças físicas resultantes do processamento são determinantes para a aceitabilidade do produto final, e, para “snacks” são características importantes: expansão, dureza, crocância e densidade. É esperada uma estrutura expandida na maioria dos “snacks” (CHRISTOFIDES et al., 2004, BOMBO, 2006).

Embora a extrusão seja um processo tecnológico simples, faz-se importante o controle das variáveis envolvidas para que ocorra a obtenção de produtos com boa qualidade. Este trabalho teve por objetivo avaliar o efeito da temperatura de extrusão, rotação da rosca e umidade sobre as características físicas de biscoitos extrusados de polvilho azedo.

## MATERIAL E MÉTODOS

Foram preparadas amostras de 600g de polvilho azedo condicionadas para os diferentes teores de umidade em bateadeira planetária. Após o condicionamento da matéria-prima foi realizado o processo de extrusão em linha completa de extrusão INBRA RX da Inbramaq S/A, com capacidade de produção de 45 kg h<sup>-1</sup>.

O processo seguiu o delineamento “central composto rotacional” para três fatores, segundo Barros Neto et al. (2007), com um total de 20 tratamentos:

- 8 tratamentos correspondentes ao fatorial 2<sup>3</sup>, onde os três fatores são: R = rotação da rosca (rpm), T = temperatura (°C), U = umidade (%), cada qual em dois níveis, codificados como -1 e +1;
- 6 tratamentos com níveis mínimo e máximo de cada fator, codificados como - $\alpha$  e +  $\alpha$ , respectivamente, sendo  $\alpha = 2^{3/4} = 1,682$ ;
- Um tratamento central repetido 6 vezes, onde os fatores estão todos em um nível médio, codificado como zero.

Os parâmetros fixos do processo foram: taxa de compressão da rosca (3:1), abertura da matriz (3mm), taxa de alimentação (180g min<sup>-1</sup>), temperatura na 1<sup>a</sup> zona (25°C) e na 2<sup>a</sup> zona (40°C) do canhão de extrusão.

Os produtos extrusados foram analisados quanto: ao índice de expansão (IE), volume específico (VE), cor (L\*, a\* e b\*) e dureza.

O índice de expansão dos extrusados foi calculado pela relação entre o diâmetro da amostra e o diâmetro da matriz. O valor

considerado foi obtido pela média aritmética das medidas de 15 diferentes produtos expandidos dentro de cada tratamento.

O volume específico dos produtos expandidos foi determinado pelo método do deslocamento da massa ocupada (semente de painço) e determinado o seu volume em uma proveta graduada. Para o cálculo utilizou-se a equação:

$$VE = v/p,$$

Onde: VE = volume específico (mL/g), p = massa (g), v = volume (mL)

A cor do polvilho azedo e dos produtos extrusados foi avaliada em colorímetro *Minolta CR-400*. Os resultados foram expressos em valores de L\*, a\* e b\*.

A determinação da dureza (parâmetro de textura) foi realizada em analisador de textura TA.XT Plus, capacidade da célula de carga de 50kg, da marca Stable Micro Systems. Foi utilizado um dispositivo de teste cilíndrico com extremidade plana (P/75). Os parâmetros utilizados para a avaliação das amostras foram: velocidade pré-teste de 2,5mm s<sup>-1</sup>, velocidade teste de 1,0mm s<sup>-1</sup> e pós-teste de 4,0mm s<sup>-1</sup>.

A Tabela 1 mostra o delineamento experimental com os diferentes ensaios de extrusão.

Tabela 1- Delineamento experimental.

Ensaio	Níveis codificados			Variáveis independentes		
	X1	X2	X3	R	T	U
E1	1	1	1	250	120	21
E2	1	1	-1	250	120	17
E3	1	-1	1	250	80	21
E4	1	-1	-1	250	80	17
E5	-1	1	1	210	120	21
E6	-1	1	-1	210	120	17
E7	-1	-1	1	210	80	21
E8	-1	-1	-1	210	80	17
E9	-1,689	0	0	196	100	19
E10	1,689	0	0	264	100	19
E11	0	-1,689	0	230	66	19
E12	0	1,689	0	230	134	19
E13	0	0	-1,689	230	100	15,5
E14	0	0	1,689	230	100	22,5
E15	0	0	0	230	100	19
E16	0	0	0	230	100	19
E17	0	0	0	230	100	19
E18	0	0	0	230	100	19
E19	0	0	0	230	100	19
E20	0	0	0	230	100	19

X1= R = rotação da rosca (rpm); X2= T= temperatura de extrusão (°C); X3=U= umidade do polvilho (%)

Para a análise estatística dos resultados experimentais foi utilizado o modelo:

$$y_k = b_0 + \sum_{i=1}^3 b_i x_{ik} + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 b_{ij} x_{ik} x_{jk} + e_k,$$

onde

$y_k$  = valor observado da variável dependente no nível  $K$ ,  $K = 1, \dots, 20$ ;

$x_{ik}$  =  $i$ -ésima variável independente, no nível  $K$ ,  $i = 1, 2, 3$ ;

$b_0$  = parâmetro do modelo, independente de  $x$ ;

$b_i$  = parâmetros correspondentes aos efeitos lineares de  $x_i$ ;

$b_{ij}$  = parâmetros correspondentes aos efeitos de 2ª ordem de  $x_i x_j$ ,  $i = 1, 2, 3$ ,  $j = 1, \dots, 3$ ;

$e_k$  = erro experimental associado à  $k$ -ésima parcela.

O processamento dos dados e a análise estatística foram realizados com o auxílio do sistema SAS. A significância do modelo foi testada pela análise de variância (ANOVA), sendo adotado o nível de significância alfa de 5%.

Na análise dos dados realizada pelo programa SAS foi utilizada a análise de regressão com a opção "step wise". Inicialmente foi realizada a análise de variância sendo determinados os coeficientes de regressão do modelo incluindo todos os parâmetros (linear, quadrática e interação). O ajuste do modelo foi feito pela opção "step-wise", sendo que o modelo obtido será validado pelo teste F utilizando-se como denominador o quadrado médio do erro puro.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos resultados obtidos foi possível determinar os coeficientes de

regressão para os parâmetros variáveis do processo de extrusão (Tabela 2).

Os valores observados para o volume específico dos produtos extrusados nas diferentes condições experimentais variaram de 15,87 a 6,29 mL.g<sup>-1</sup>. Estes dados foram superiores aos relatados por Leonel et al. (2009), que obtiveram volumes específicos de 3,56 a 7,57 mL.g<sup>-1</sup> quando extrusaram fécula de mandioca.

Tabela 2- Coeficientes de regressão estimados ( $Y_1 = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{33} X_3^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 + \varepsilon$ ).

	VE	IE	L*	a*	b*	D
Média	9,48	4,57	78,52	3,56	14,39	4,77
RR	1,36**	-0,11	-0,57	0,10	0,21	0,44
T	2,27***	-0,20**	-0,15	0,27	0,73*	0,16
U	-1,35	-0,26**	0,43	-0,28	-0,49	0,40
RR*RR	-0,49	-0,23**	-0,08	0,0008	0,35	0,35
T*T	0,16	-0,15*	-4,33**	0,49**	0,50	0,23
U*U	1,29**	0,01	0,10	0,034	0,44	-0,019
RR*T	1,76**	-0,29**	2,89*	-0,28	-0,25	-0,10
RR*U	0,61	-0,07	-0,91	0,175	0,37	-0,19
T*U	-1,12*	-0,02	-0,20	0,04	-0,12	0,53
R <sup>2</sup>	0,9398	0,8772	0,7347	0,6579	0,6120	0,3991

RR= rotação da rosca (rpm); T= temperatura de extrusão (°C); U= Umidade (%); R<sup>2</sup>=coeficiente de determinação; \*=P<0,05, \*\*=P<0,01, \*\*\*=P<0,001; VE=volume específico (mL g<sup>-1</sup>); IE=índice de expansão; L\*= luminosidade; a\*= croma a\*; b\*= croma b\*, D= dureza (kgf).

A análise dos dados mostrou efeitos lineares significativos da rotação da rosca e temperatura de extrusão, bem como, efeito quadrático positivo da umidade e efeito da interação da rotação com a temperatura (Tabela 2).

A Figura 1 mostra que nas condições de alta temperatura e rotação, o volume específico é maior. O aumento do volume específico pode ser explicado pelo

aumento das expansões radial e axial. O fenômeno da expansão é basicamente dependente da viscosidade e propriedade elástica da pasta. Quando a temperatura aumenta a viscosidade é reduzida e a expansão axial aumenta (LIANG et al., 1994).

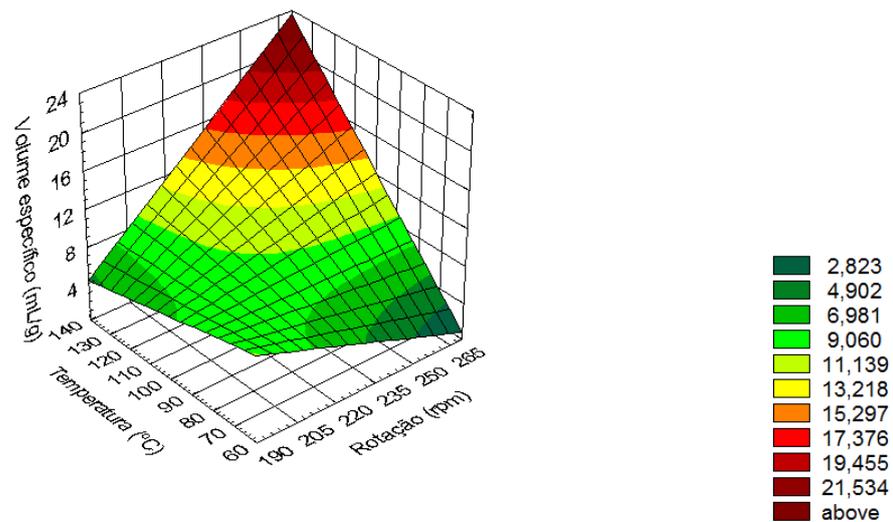


Figura 1- Efeito da rotação da rosca e temperatura de extrusão sobre o volume específico dos extrusados, com umidade em 19%.

Nas condições de elevada rotação e baixa umidade são obtidos os maiores valores para o volume específico (Figura 2). De acordo com DING et al., (2005), a água tem efeito inverso sobre a expansão, agindo como um plastificante para materiais amiláceos, reduzindo sua viscosidade e a dissipação de energia mecânica no extrusor

e, assim, o produto fica mais denso e o crescimento das bolhas é comprimido. Com a diminuição da umidade e aumento da temperatura pode ser obtidos *snacks* de polvilho azedo com o maior volume específico, característica essa que pode ser observada na Figura 3.

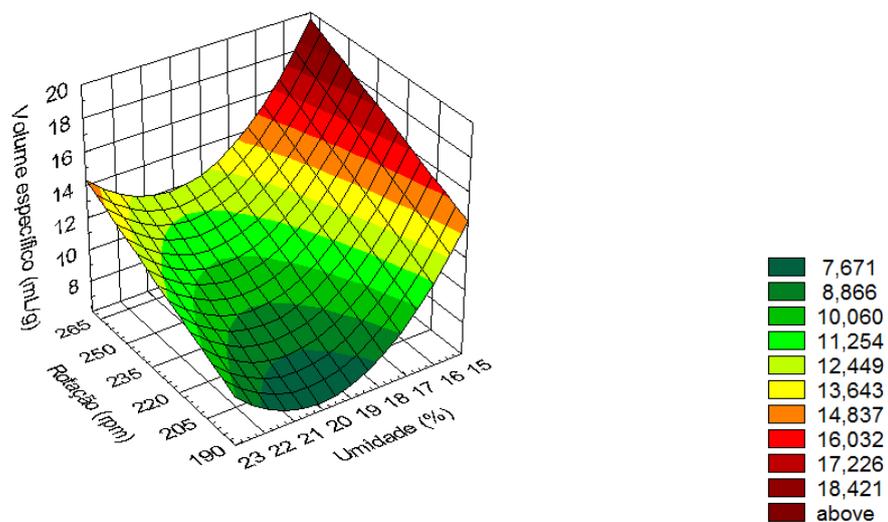


Figura 2- Efeito da rotação da rosca e umidade sobre o volume específico dos extrusados, com temperatura de extrusão de 100°C.

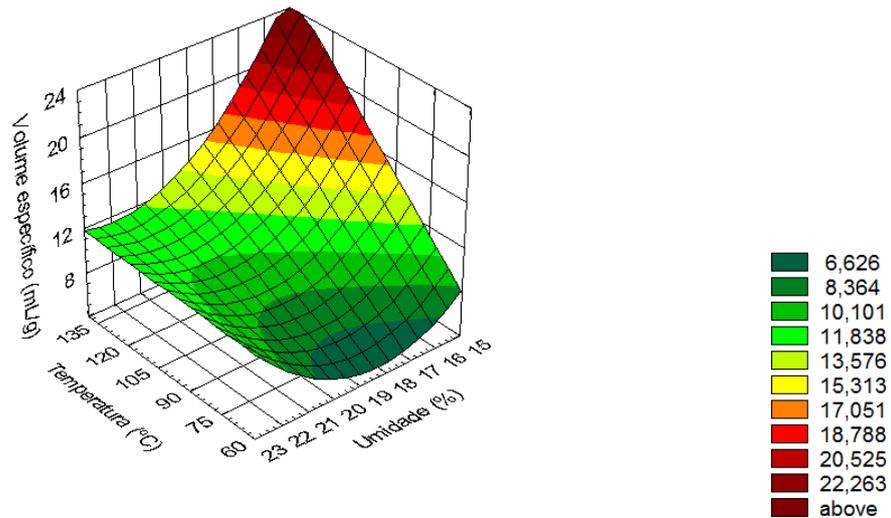


Figura 3- Efeito da temperatura de extrusão e umidade sobre o volume específico dos extrusados, com a rotação de 230rpm.

Os resultados obtidos para o índice de expansão (IE) foram de 5,02 a 3,05 nos diferentes tratamentos. A análise estatística (Tabela 2) mostrou efeitos lineares da umidade e temperatura e quadrático da rotação da rosca sobre o IE.

Leonel et al (2009) verificando o efeito das condições de extrusão sobre as características físicas da fécula de mandioca, observaram índices de expansão de 2,69 a 3,79. Já Leonel et al. (2008) observaram índices de expansão variando de 3,5 a 5,7 quando extrusaram misturas de farelo de mandioca e polvilho azedo sob diferentes condições experimentais.

Nas condições de baixa temperatura e rotação são obtidos os menores índices de expansão (Figura 4). O mesmo pode ser observado em condições de alta umidade (Figura 5).

A cor é uma qualidade visual (atributo) importante dos produtos alimentícios. Se o escurecimento é muito intenso, cores e sabores indesejáveis podem aparecer. Os valores para a luminosidade variaram de 80,55 a 65,20. A análise dos coeficientes de regressão evidenciou efeito quadrático da temperatura e da interação rotação e temperatura sobre a luminosidade dos produtos (Tabela 2).

As condições de alta temperatura de extrusão e baixa rotação, bem como seus inversos, proporcionaram menores valores de luminosidade, ou seja, produtos extrusados mais escuros (Figura 6).

Para o croma  $a^*$  foi observada uma variação de 3,21 a 5,54 com efeito quadrático da temperatura (Tabela 2). Nas condições centrais de temperatura o croma  $a^*$  é menor (Figura 7).

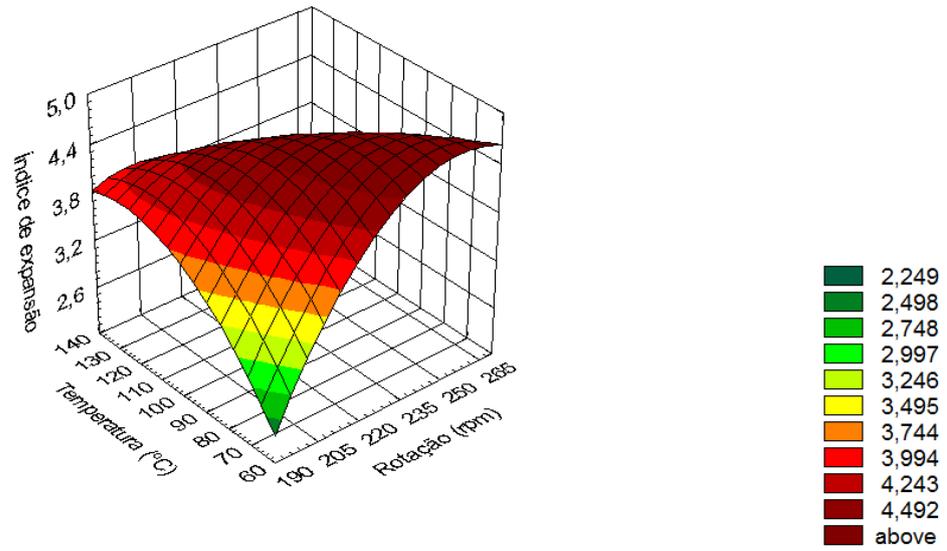


Figura 4- Efeito da rotação da rosca e temperatura de extrusão sobre o índice de expansão dos extrusados, com umidade em 19%.

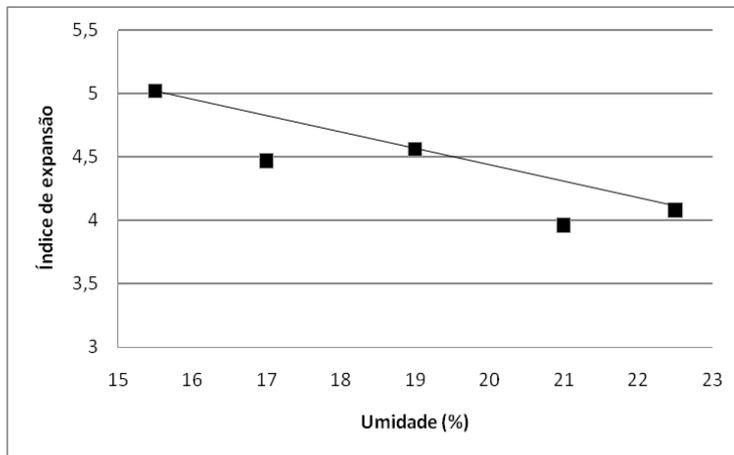


Figura 5- Efeito da umidade sobre o índice de expansão dos extrusados.

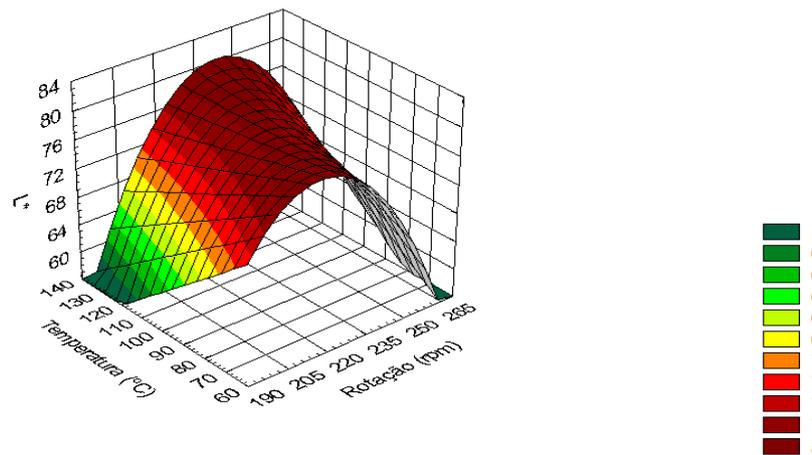


Figura 6- Efeito da rotação da rosca e temperatura de extrusão sobre a luminosidade dos extrusados, com umidade em 19%.

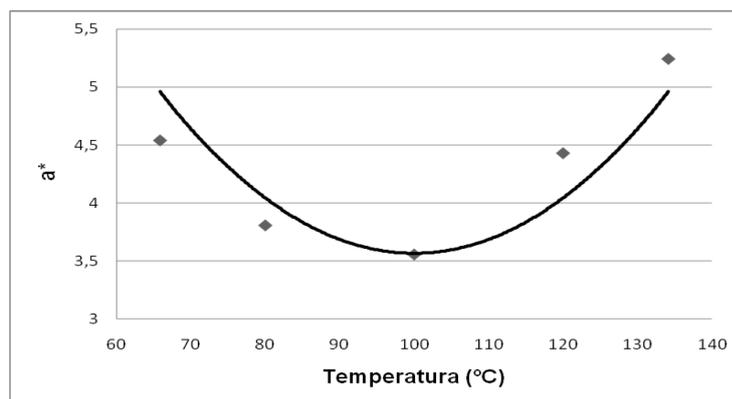


Figura 7- Efeito da temperatura de extrusão sobre o croma a\* dos extrusados.

Os resultados do croma b\* foram de 13,79 a 18,55, com efeito linear positivo da temperatura (Tabela 2). Na Figura 8 pode ser observado que o parâmetro de cor b\* que varia do azul (-60) ao amarelo (+60) se eleva com o aumento da temperatura de extrusão.

Leonel et al (2009) verificaram uma variação de 1,52 a 5,26 para o croma a\* e de 11,35 a 20,71 para o croma b\* quando extrusaram fécula de mandioca em Revista Raízes e Amidos Tropicais, volume 6, p.40-50, 2010.

condições variáveis de temperatura (40 a 90°C), rotação (140 a 266 rpm) e umidade (12,5 a 19,5), com efeito significativo dos três parâmetros variáveis do processo.

O que se deseja em *snacks* com boas características é que os valores de fraturabilidade e dureza sejam baixos (ALVES & GROSSMANN, 2002).

Os valores para a dureza variaram de 2,18 a 7,93 (kgf) nas diferentes condições

experimentais. Não foi observado efeito significativo dos parâmetros de extrusão sobre esta variável.

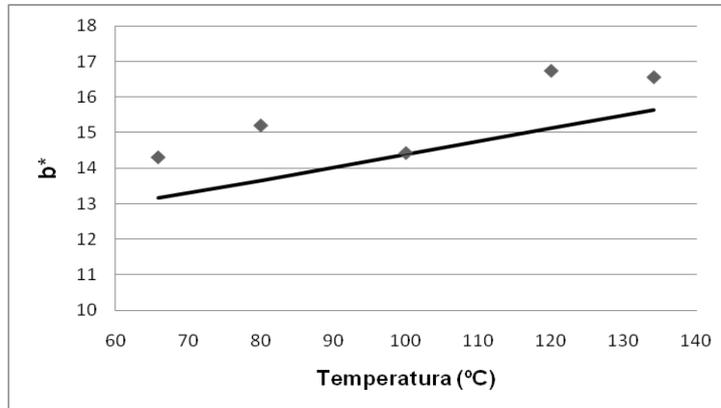


Figura 8- Efeito da temperatura de extrusão sobre o croma b\* dos extrusados.

## CONCLUSÕES

O processo de extrusão pode ser aplicado na produção de biscoitos de polvilho azedo. Dentre os parâmetros de extrusão estudados, a temperatura afetou o volume específico, índice de expansão e cor dos produtos. A umidade e a rotação influenciaram o índice de expansão e volume específico. Nas condições avaliadas, os produtos com melhores características tecnológicas de mercado foram obtidos nas condições de elevada temperatura e rotação, com baixa umidade, produzindo *snacks* com elevada expansão, claros e crocantes.

## REFERÊNCIAS

ALVES, R. M. L.; GROSSMANN, M. V. E. Parâmetros de extrusão para produção de “snacks” de farinha de cará (*Dioscorea alata*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**,

Campinas, v. 22, n. 1, p. 32-38, jan/abr., 2002.

BARROS NETO, B.; SCARMÍNIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos – Pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**. 2° ed.. Campinas: Editora Unicamp, 2003, p. 401.

BOMBO, A. J. **Obtenção e caracterização nutricional de snacks de milho (*Zea mays L.*) e linhaça (*Linum usitatissimum L.*)**. São Paulo, 2006. 96p. Dissertação (mestrado). Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo.

CAMIRE, M. E.; CAMIRE, A.; KRUMHAR, K. Chemical and nutritional changes in foods during extrusion. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 19, p. 35-57, 1990.

CAVALLET, L. E.; FERREIRA, S. M. R.; LIMA, J. J.; TULLIO, L. T.; QUADROS, D. A. ocorrência do processo de fixação biológica de N<sub>2</sub> atmosférico na fermentação de fécula de mandioca. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, v. 26, n. 3, p. 522-526, 2006.

CHANG, Y. K.; HASHIMOTO, J. M.; ACIOLIMOURA, R.; MARTÍNÉZ-FLORES, H. E.; MARTÍNÉZ-BUSTOS, F. Influence of extrusion condition on cassava starch and soybean protein concentrate blends. **Acta Alimentaria**, v. 30, n. 2, p. 189-203, 2001.

CHRISTOFIDES, V.; AINSWORTH, P.; IBANOGLU, S.; GOMES, F. Physical evaluation of maize-based extruded snack with curry powder. **Nahrung**, v. 48, n. 1, p. 61-64, 2004.

DING, Q.; AINSWORTH, P.; TUCKER, G.; MARSON, H. The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice based expanded snacks. **Journal of Food Engineering**, v. 66, p. 283-289, 2005.

EL-DASH, A. A. **Application and control of thermoplastic extrusion of cereals for food and industrial uses**. In: POMERANZ, Y. & MUNICH, L. (Ed.). *Cereals: a renewable resource, theory and practice*.

St. Paul, Minnesota, American Association of Cereal Chemists, p.165-216, 1981.

HASHIMOTO, J. M.; GROSSMANN, M. V. E. Effects of extrusion conditions on quality of cassava bran/cassava starch extrudates. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 38, n. 5, p. 511-517, 2003.

LEONEL, M.; FREITAS, T. S.; MISCHAN, M. M. Physical characteristics of extruded cassava starch. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 6, n. 4, p. 486-493, 2009.

LEONEL, M.; CAMARGO, K. F.; MISCHAN, M. M. Produção de biscoitos extrusados de polvilho azedo com fibras: efeito de parâmetros operacionais sobre as propriedades físicas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 3, p. 586-591, 2008.

LIANG, M.; HSICH, F.; HUFF, H. E.; HU, L. Barrel-valve assembly affects twin-screw extrusion cooking of corn meal. **Journal of Food Science**, v. 59, p. 890-894, 1994.