

# Produção de farinha instantânea de mandioca: efeito das condições de extrusão sobre as propriedades térmicas e de pasta

Beatriz Helena Borges Lustosa<sup>1</sup>, Magali Leonel<sup>2\*</sup>, Tatiana Dias Leite<sup>3</sup>, Célia Maria Landi Franco<sup>3</sup> e Martha Maria Mischan<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Curso de Graduação em Nutrição, Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, São Paulo, Brasil. <sup>2</sup>Centro de Raízes e Amidos Tropicais, Universidade Estadual Paulista, Rua José Barbosa de Barros, 1780, 18610-307, Botucatu, São Paulo, Brasil. <sup>3</sup>Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos, Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, São Paulo, Brasil. <sup>4</sup>Departamento Bioestatística, Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, São Paulo, Brasil. \*Autor para correspondência. E-mail: mleonel@fca.unesp.br

**RESUMO.** Com o avanço de tecnologias, existe a possibilidade da introdução, no mercado, de farinhas de mandioca diferenciadas, como as farinhas instantâneas, sendo esta uma alternativa de grande interesse para as indústrias processadoras de mandioca. Este trabalho teve por objetivo avaliar o efeito da temperatura de extrusão, umidade da farinha e rotação da rosca sobre as propriedades térmicas e de pasta de farinhas de mandioca extrusadas. Os resultados obtidos mostraram efeitos significativos da rotação da rosca sobre a viscosidade inicial, pico e quebra de viscosidade. O pico de viscosidade foi influenciado pelos três parâmetros de processo, não sendo observados efeitos significativos dos parâmetros sobre a viscosidade final e tendência a retrogradação. As propriedades térmicas das farinhas extrusadas não apresentaram entalpia de gelatinização residual.

**Palavras-chave:** mandioca, farinha, amido, extrusão, viscosidade.

**ABSTRACT. Cassava instant flour: effect of extrusion conditions on thermal and viscosity properties.** With the advancement of technology, there is the possibility of introduction of differentiated flours, such as cassava instant flour. This alternative has generated great interest from the cassava processing industries. This study aimed to assess the effect of extrusion temperature, moisture content and screw speed on the thermal and viscosity properties of extruded cassava flour. The results showed significant effects of process parameters on the viscosity properties, with effect of screw speed on cold viscosity, viscosity peak and breakdown. The viscosity peak was influenced by the three parameters of extrusion process. No significant effects of operational conditions were observed on the final viscosity and retrogradation. The thermal properties of extruded cassava flours showed no residual enthalpy of gelatinization.

**Key words:** cassava, flour, starch, extrusion, viscosity.

## Introdução

O processo de extrusão termoplástica é definido como um processo contínuo, no qual ocorrem simultaneamente diversas operações como a mistura, o cisalhamento, o cozimento e o modelamento. Sendo assim, a matéria-prima extrusada é submetida a várias mudanças, entre as quais se destacam: hidratação de amido e proteínas, homogeneização, gelatinização do amido, liquefação de gorduras, desnaturação de proteínas, destruição de fatores antinutricionais, inativação de enzimas, plastificação e expansão do material processado (FELLOWS, 2002).

Na área de alimentos, o processo de extrusão possibilita, com pouca ou nenhuma modificação dos equipamentos básicos, e com um controle

apropriado do processo, a produção de grande variedade de produtos: cereais matinais, *snacks*, amidos modificados, produtos de confeitaria, proteínas vegetais texturizadas, produtos cárneos e rações animais (EL-DASH, 1982).

O amido extrusado, de acordo com as condições do processo, sofre transformações químicas que causam intumescimento e ruptura dos grânulos, modificações das estruturas cristalinas, e provocam solubilidade e viscosidade em água fria (EL-DASH et al., 1984).

Para Colonna et al. (1987), em comparação com produtos submetidos a outros tratamentos térmicos, a principal desvantagem dos amidos extrusados é a sua reduzida viscosidade de pasta. Em contraste, sua rápida dispersão em água quente para formar produtos de várias consistências permite o uso

comercial desta técnica para produção de alimentos instantâneos.

A produção brasileira de mandioca está em torno de 26,5 milhões de toneladas por ano, e esta cultura é plantada em 87% dos municípios brasileiros (IBGE, 2005). A produção de farinha de mandioca, em 2005, foi de 2,4 mil toneladas, com as Regiões Norte e Nordeste responsáveis por 64% da produção (CONAB, 2005).

Já quanto ao consumo *per capita* de farinha de mandioca nas principais regiões metropolitanas, foi registrado, no ano de 1996, 1,23 kg hab<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> em São Paulo, 2,62 kg hab<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> no Rio de Janeiro, 9,04 kg hab<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> em Recife, 14,39 kg hab<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> em Salvador e 33,9 kg hab<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> em Belém (IBGE, 2005).

A farinha de mandioca ainda não tem sido utilizada como matéria-prima nas indústrias de extrusão. Contudo, por ser um produto de consumo e produção difundidos em todo o país, estudos que avaliem os efeitos das condições operacionais da extrusão sobre as características físicas, funcionais e reológicas dos produtos obtidos são essenciais.

Nesta linha, este trabalho teve por objetivo avaliar o efeito da umidade inicial da farinha, da temperatura de extrusão e da rotação da rosca sobre as propriedades térmicas e de pasta de farinhas de mandioca extrusadas, visando à produção de farinhas instantâneas.

## Material e métodos

### Preparo das amostras

Foi processada uma quantidade de 100 kg de raiz de mandioca, em estado fresco, para a obtenção de aproximadamente 25 kg de farinha. As raízes passaram por processo de descascamento e lavagem em água e, em seguida, foram fatiadas em fatiador elétrico. A secagem dos pedaços frescos foi feita em estufa de circulação de ar a 45°C, e, após esta etapa, os pedaços secos foram moídos em moinho de facas.

A umidade da farinha foi obtida por secagem em estufa a 105°C até peso constante (AACC, 2000).

As amostras de farinha, após a determinação do teor de umidade, foram condicionadas para os diferentes níveis de umidade em batedeira planetária ARNO, conforme o delineamento experimental (Tabela 1). O condicionamento foi realizado com água destilada adicionada lentamente, com o auxílio de uma pipeta, sob mistura constante. A quantidade de água adicionada às amostras foi calculada pela equação:

$$Y = (U_f - U_i) \times Pa / 100 - U_f$$

em que:

Y = quantidade de água a ser adicionada (mL);

U<sub>f</sub> = umidade final da amostra;

U<sub>i</sub> = umidade inicial da amostra;

Pa = peso da amostra (g).

Após a adição de água destilada e homogeneização da matéria-prima, as amostras foram armazenadas em sacos de polietileno e mantidas a 4°C, por 24h, para obtenção do equilíbrio hídrico.

### Extrusão

A extrusão foi efetuada em uma linha completa de extrusão IMBRA RX da Inbramaq S/A, com motor de 10 HP acoplado a redutor de velocidade, sistema de extrusão por fricção mecânica, rosca simples de extrusão, sistema de refrigeração hidráulica para controle de temperatura na camisa de extrusão, velocidade variável e capacidade de produção de 45 kg h<sup>-1</sup>.

Os parâmetros fixos empregados no processo de extrusão foram: taxa de compressão da rosca: 3:1 (4,5 mm de profundidade e 14 mm de largura); taxa de alimentação: 200 g min<sup>-1</sup>; abertura da matriz: 4 mm; temperatura na primeira zona: 20°C; temperatura na segunda zona: 45°C.

Já os parâmetros variáveis foram: temperatura na terceira zona do extrusor (T), umidade das farinhas (U) e rotação da rosca (R).

### Delineamento experimental

Para avaliar os efeitos combinados das variáveis independentes (temperatura na terceira zona do extrusor, umidade da matéria-prima e rotação da rosca) sobre as variáveis dependentes (propriedades de pasta e propriedades térmicas), aplicou-se o delineamento experimental baseado na Metodologia de Superfície de Resposta do tipo central composto rotacional de segunda ordem para três fatores, segundo Cochran e Cox (1957), com um total de 15 tratamentos, a saber:

Oito tratamentos correspondentes ao fatorial 2<sup>3</sup>, em que os três fatores são: T = temperatura na terceira zona de aquecimento (°C), U = umidade (%) e R = rotação da rosca (rpm), cada qual em dois níveis, codificados como -1 e +1;

Seis tratamentos com os níveis mínimo e máximo de cada fator, codificados como -α e +α, respectivamente, sendo α = 2<sup>3/4</sup> = 1,682;

Um tratamento central repetido seis vezes, em que os fatores estão todos em um nível médio, codificado como zero (Tabela 1).

### Propriedades de pasta da farinha

Para a avaliação das propriedades viscoamilográficas da farinha de mandioca e das farinhas extrusadas, foi utilizado o Rapid Visco Analyser (RVA), série 4, da *Newport Scientific*, Australia. A 2,5 g de amostra foram adicionados 25 mL de água, corrigindo a umidade para 14%, em cadinho de alumínio descartável, anexando uma pá de plástico descartável para misturar a suspensão durante o aquecimento.

**Tabela 1.** Parâmetros variáveis do processo de extrusão.

Níveis	Fatores ou variáveis independentes			
	Codificados	R	T	U
- $\alpha$	-1,682	50	45	12,5
	-1	60	60	14,0
	0	75	80	16,0
	+1	90	100	18,0
+ $\alpha$	+1,682	100	115	19,5

R: Rotação da rosca (% da rotação máxima = 272 rpm); T: Temperatura de extrusão (°C); U: Umidade das amostras (%).

Por causa da formação de grumos nas amostras extrusadas, adicionou-se 1 g de etanol antes da adição da água.

As programações do *software Termmodline for Windows* do RVA, utilizadas para a farinha de mandioca (*Flour method*) e para as farinhas extrusadas (*Extrusion 2*), estão apresentadas na Tabela 2. A viscosidade foi expressa nas unidades do aparelho, ou seja, *Rapid Visco Units* (RVU) (NEWPORT SCIENTIFIC, 1998).

Os parâmetros avaliados foram: viscosidade inicial (VI), que é o pico de viscosidade entre o tempo 0,2 – 2 min.; pico de viscosidade (PV), que é a viscosidade máxima obtida após o início do aquecimento e antes do início do resfriamento; quebra de viscosidade (QV), que é a diferença entre viscosidade máxima e mínima durante a manutenção a 95°C (hold); tendência a retrogradação (TR), que é a diferença entre a viscosidade final e o menor valor de viscosidade durante a manutenção a 95°C (hold) e viscosidade final (VF).

**Tabela 2.** Programações do *software Termmodline for Windows*, versão 2.2 do Rápido Visco Analisador.

Flour Method			Extrusion 2		
Tempo	Tipo	Valor	Tempo	Tipo	Valor
00:00:00	Temperatura	50°C	00:00:00	Temperatura	25°C
00:00:00	Rotação	960 rpm	00:00:00	Rotação	960 rpm
00:00:10	Rotação	160 rpm	00:00:10	Rotação	160 rpm
00:01:00	Temperatura	50°C	00:02:00	Temperatura	25°C
00:04:42	Temperatura	95°C	00:07:00	Temperatura	90°C
00:07:12	Temperatura	95°C	00:10:00	Temperatura	90°C
00:11:00	Temperatura	50°C	00:15:00	Temperatura	25°C

### Propriedades térmicas

As propriedades térmicas foram analisadas usando-se um calorímetro diferencial de varredura (DSC) Pyris 1 (Perkin Elmer, USA). Amostras de amido (2 mg bs) foram pesadas em cadinhos de alumínio,

misturadas com água destilada (6  $\mu$ L) e seladas. Os cadinhos foram mantidos à temperatura ambiente, por 2h, para equilíbrio e aquecidos a uma razão de 5°C min.<sup>-1</sup> de 25 a 100°C. Um cadinho vazio foi usado como referência. As temperaturas de gelatinização (inicial, de pico e final) e a variação de entalpia ( $\Delta H$ ) das farinhas foram determinadas utilizando-se o *software* Pyris 1 da Perkin Elmer, USA.

### Análise dos dados

A Metodologia de Superfície de Resposta descreve o comportamento de um sistema no qual estão combinadas as variáveis independentes ( $X_k$ ) e a variável dependente ou resposta ( $Y_i$ ). A resposta é uma função dos níveis nos quais estes fatores foram combinados e definidos.

Dentro das faixas de variação propostas, ou seja, dentro da região caracterizada por esses níveis, o comportamento de cada resposta pode ser predito de forma generalizada, de acordo com a equação:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{33} X_3^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 + \epsilon$$

em que:

$Y_i$  = Variável dependente ou função resposta;

$X_1, X_2, X_3$  = Valores das variáveis independentes;

$\beta_0$  = Coeficiente relativo à interceptação do plano com o eixo resposta;

$\beta_1, \beta_2, \beta_3$  = Coeficientes lineares estimados pelo método dos mínimos quadrados;

$\beta_{11}, \beta_{22}, \beta_{33}$  = Coeficientes das variáveis quadráticas;

$\beta_{12}, \beta_{13}, \beta_{23}$  = Coeficientes de interação entre as variáveis independentes;

$\epsilon$  = Erro experimental.

O ajuste do modelo foi feito com o auxílio do programa SAS, e o modelo obtido foi validado pela análise de variância (ANOVA).

As superfícies de resposta foram construídas utilizando-se o *software* STATISTICA versão 5.5. Na construção das superfícies, uma das variáveis independentes foi mantida fixa no ponto central, enquanto as outras duas variaram dentro das regiões propostas no planejamento.

### Resultados e discussão

#### Propriedades de pasta da farinha de mandioca antes da extrusão

A viscosidade é uma das propriedades mais importantes dos materiais amiláceos. A curva de viscosidade representa o seu comportamento durante o aquecimento e permite avaliar as características da pasta formada, pelas modificações estruturais das moléculas de amido e também pela

tendência a retrogradação durante o resfriamento.

Na presença de água e calor, os grânulos de amido expandem-se, a temperatura de gelatinização é atingida e, conseqüentemente, uma pasta é formada.

O viscoamilograma da farinha de mandioca crua (Figura 1) indica que a viscosidade inicial da farinha foi baixa, o que está de acordo com as expectativas, visto que foi usada temperatura baixa (45°C) na etapa de secagem das raspas. A curva de viscosidade indica ainda um pico agudo e acentuada quebra de viscosidade.

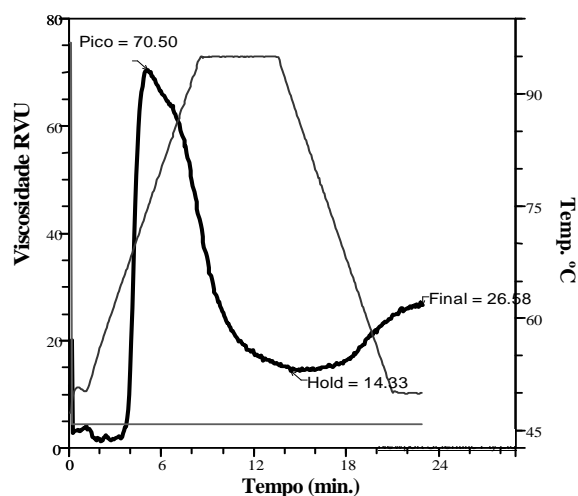


Figura 1. Viscoamilograma da farinha de mandioca crua.

Durante o resfriamento da pasta de amido, o aumento de viscosidade observado é governado pela tendência a retrogradação (TR). A tendência a retrogradação da farinha de mandioca crua foi baixa quando comparada à observada por Leonel et al. (2002), que, analisando amidos de diferentes fontes, verificaram 74,9 RVU para amido de mandioca.

Em decorrência da quebra de viscosidade acentuada e da baixa tendência a retrogradação observada, os valores de viscosidade final apresentaram-se bem abaixo dos valores de viscosidade máxima.

#### Propriedades de pasta das farinhas extrusadas

As propriedades de pasta das farinhas extrusadas assumem grande importância quando as misturas secas pré-gelatinizadas por extrusão são utilizadas em alimentos para espessamento (BHATTACHARYA et al., 1999).

#### Viscosidade inicial

A viscosidade inicial (VI), ou viscosidade de pasta a frio, indica a capacidade das farinhas em absorver água a temperatura ambiente e formar pasta, gel ou líquido viscoso (CARVALHO et al., 2002).

Os resultados obtidos nas farinhas extrusadas de

mandioca para este parâmetro variaram de 7,08 a 33,17 RVU. Considerando que VI da farinha de mandioca antes do processo de extrusão era próxima de zero, o processo de extrusão aumentou significativamente este parâmetro.

A análise estatística dos dados indicou efeitos significativos da rotação da rosca e da interação temperatura e rotação da rosca sobre a viscosidade a frio das farinhas de mandioca extrusadas (Tabela 3).

Tabela 3. Coeficientes de regressão ajustados para a viscosidade inicial e análise de variância (ANOVA).

Parâmetros	Coefficiente estimado	Erro Padrão	p-valor
Média	12,81	1,16	
R	3,25	1,40	0,33
TxR	3,73	1,83	0,047
ANOVA			
	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrado médio
Regressão	2	255,72	127,86
Resíduo	17	456,80	26,87
Total	19	712,52	
$R^2 = 0,3589$			

U = umidade; R = rotação da rosca;  $R^2$  = coeficiente de determinação.

A superfície de resposta referente à viscosidade inicial (VI) das farinhas extrusadas, obtida a partir do modelo ajustado apresentado na Tabela 3, indica que maiores valores de viscosidade inicial são obtidos nas condições de elevada rotação e temperatura de extrusão (Figura 2).

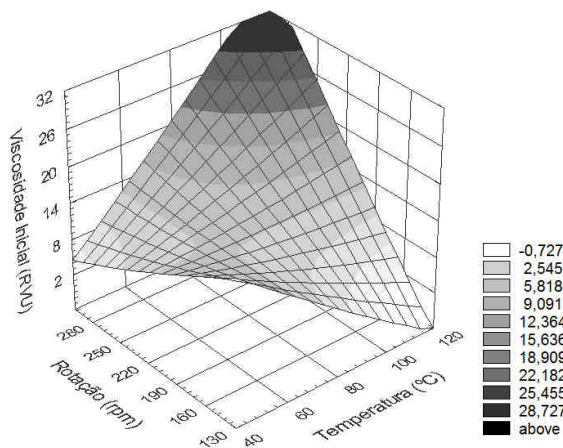


Figura 2. Efeito da temperatura de extrusão e da rotação da rosca sobre a viscosidade inicial (VI) das farinhas extrusadas, com a umidade de 16%.

O valor da viscosidade inicial se eleva com a prévia gelatinização da amostra e decresce quando os grânulos de amido se rompem e são despolimerizados durante a cocção (NEWPORT SCIENTIFIC, 1998).

#### Pico de viscosidade

O pico de viscosidade (PV) ocorre após o início do aquecimento e antes do início do resfriamento da

suspensão no visco-analisador. Durante o ciclo de aquecimento até 95°C, ocorre intumescimento e gelatinização dos grânulos de amido, que atingem a viscosidade máxima nesta etapa.

Os valores de PV nas farinhas de mandioca extrusadas variaram de 12,09 a 33,42 RVU, indicando diminuição desta propriedade de pasta após a extrusão. Foram observados efeitos significativos dos três parâmetros de extrusão sobre o pico de viscosidade (Tabela 4).

**Tabela 4.** Coeficientes de regressão ajustados para o pico de viscosidade e análise de variância (ANOVA).

Parâmetros	Coefficiente estimado	Erro Padrão	p-valor
Média	14,661	0,96981	
T	2,4932	0,91769	0,0167
U	-2,36850	0,91769	0,0218
R	2,02861	0,91769	0,0442
UxU	2,71119	0,88517	0,0084
TxR	2,86500	1,19909	0,0315
ANOVA			
	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrado médio
Regressão	5	391,30	78,26
Resíduo	14	161,03	11,50
Total	19	552,34	
$R^2 = 0,7084$			

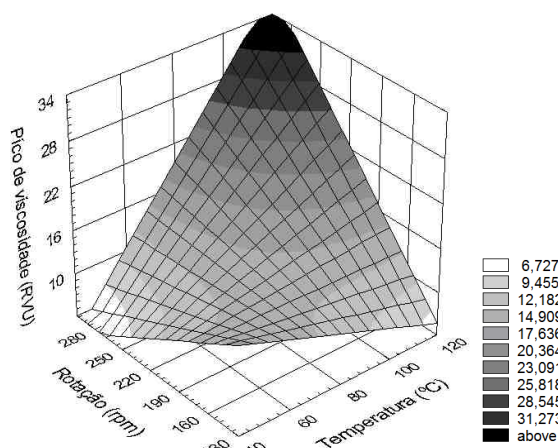
T = temperatura; U = umidade; R = rotação da rosca;  $R^2$  = coeficiente de determinação.

De acordo com Guha et al. (1998), se os tratamentos de extrusão não forem tão severos, determinada porcentagem de grânulos de amido pode conservar parte da estrutura amilácea, apresentando um pico no perfil amilográfico, que significa amido não-gelatinizado ou parcialmente gelatinizado.

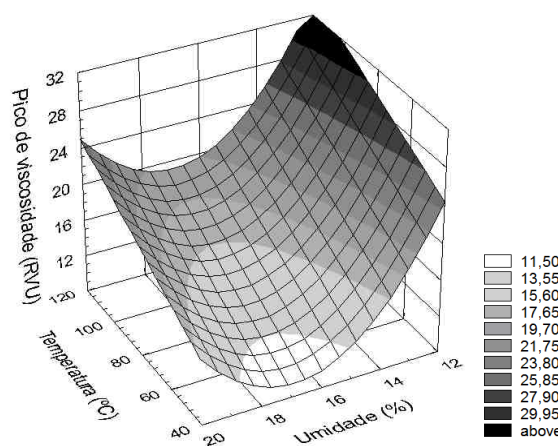
Avaliando a Figura 3, verifica-se que os maiores picos de viscosidade são observados nas condições elevadas de rotação e temperatura, em umidade constante de 16%. Já mantendo a rotação na condição média (204 rpm), verifica-se que baixos teores de umidade e elevada temperatura levam a maiores picos de viscosidade (Figura 4). Com temperatura constante de 80°C, aumento da rotação da rosca e menores teores de umidade da matéria-prima proporcionam maiores PV (Figura 5).

Chiang e Johnson (1977), avaliando o efeito da gelatinização em farinha de trigo em função da velocidade do parafuso, temperatura operacional e teor de água, observaram que ocorreu maior gelatinização com o aumento da temperatura.

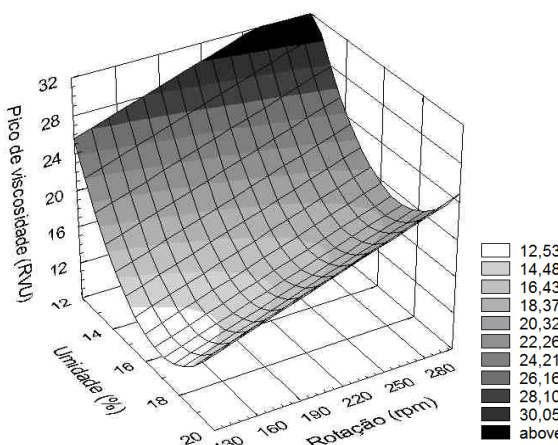
Estes autores consideraram a temperatura de extrusão e a umidade inicial da matéria-prima como as variáveis de maior efeito na gelatinização do amido. Verificaram também que o grau máximo de gelatinização ocorre quando essas variáveis alcançam valores extremos opostos.



**Figura 3.** Efeito da temperatura de extrusão e da rotação da rosca sobre o pico de viscosidade das farinhas extrusadas, com umidade de 16%.



**Figura 4.** Efeito da temperatura de extrusão e da umidade sobre o pico de viscosidade das farinhas extrusadas, com rotação da rosca de 204 rpm.



**Figura 5.** Efeito da umidade e da rotação da rosca sobre o pico de viscosidade das farinhas extrusadas, com temperatura de 80°C.

Gómez e Aguilera (1983) verificaram ausência de pico de viscosidade, em análises no viscoamilógrafo,

de farinha de milho extrusada. De acordo com os autores, estes resultados indicam que os grânulos de amido presentes nas amostras estão totalmente gelatinizados.

### Quebra de viscosidade

A quebra de viscosidade permite avaliar a estabilidade do produto em altas temperaturas, em agitação mecânica. De acordo com os resultados, pode-se observar que a quebra de viscosidade variou de 3,00 a 30,00 RVU.

A análise estatística dos dados mostrou terem ocorrido efeitos significativos da umidade, rotação e da interação temperatura e rotação sobre a quebra de viscosidade das farinhas extrusadas (Tabela 5). As menores quebras de viscosidade são verificadas nas condições medianas de umidade (16 a 18%) e baixa rotação da rosca. Condições de baixa umidade e elevada rotação levam a maiores quebras de viscosidade, conforme apresentado na Figura 6.

**Tabela 5.** Coeficientes de regressão ajustados para a quebra de viscosidade e análise de variância (ANOVA).

Parâmetros	Coefficiente estimado	Erro Padrão	p-valor
Média	7,16563	1,208272	
U	-2,41405	1,14377	0,042
R	3,47256	1,14377	0,0083
UxU	3,48122	1,10322	0,0065
TxR	4,03125	1,49448	0,0165
ANOVA			
	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrado médio
Regressão	4	552,22	138,05
Resíduo	15	268,02	17,87
Total	19	820,24	

$R^2 = 0,6732$

T = temperatura; U = umidade; R = rotação da rosca;  $R^2$  = coeficiente de determinação.

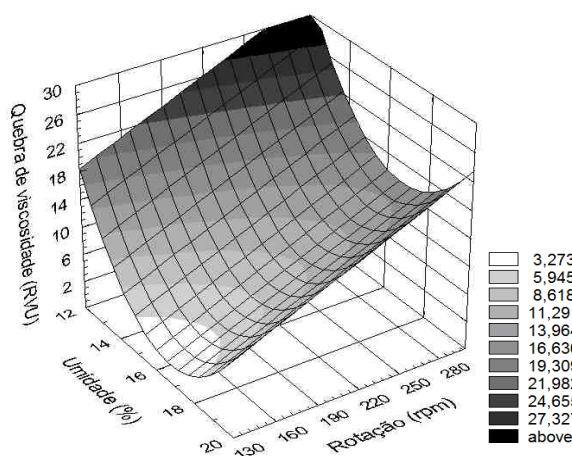
### Viscosidade Final

A viscosidade final (VF) é uma característica que, em produtos extrusados, vai depender das modificações que ocorrem nas estruturas do grânulo de amido e das moléculas durante o processamento. Os resultados obtidos para a viscosidade final das farinhas de mandioca extrusadas indicaram uma variação de 8,83 a 28,17RVU.

Não foram observados efeitos significativos dos parâmetros de extrusão sobre essa propriedade de pasta, conforme indica a Tabela 6. Contudo, o maior valor de viscosidade final foi observado na condição de 18% de umidade, 100°C e 245 rpm.

Bhattacharya et al. (1999), avaliando o efeito da umidade inicial das amostras de misturas de farinha de trigo e batata sobre o comportamento de pasta de produtos extrusados utilizando o Rapid Visco Analyser (RVA), não observaram no resfriamento aumento acentuado da viscosidade aparente, indicando degradação da fração amilácea durante a

extrusão, resultando, assim, em aumento insignificante da viscosidade final.



**Figura 6.** Efeito da umidade e da rotação da rosca sobre a quebra de viscosidade das farinhas extrusadas, com temperatura de 80°C.

**Tabela 6.** Coeficientes de regressão ajustados para a viscosidade final e análise de variância (ANOVA).

Parâmetros	Coefficiente estimado	Erro Padrão	p-valor
Média	14,85987		
T	1,33469	1,21187	0,2965
U	0,87873	1,21187	0,4850
R	-2,13211	1,21187	0,1090
TxT	1,04630	1,17956	0,3959
UxU	-0,94372	1,17956	0,4423
RxR	1,46516	1,17956	0,2425
TxU	1,95875	1,58346	0,2443
TxR	-1,39625	1,58346	0,3986
UxR	-1,96125	1,58346	0,2438
ANOVA			
	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrado médio
Regressão	9	236,91	26,32
Resíduo	10	200,59	20,06
Total	19	437,50	

$R^2 = 0,5415$

T = temperatura; U = umidade; R = rotação da rosca;  $R^2$  = coeficiente de determinação.

### Tendência a retrogradação

A retrogradação do amido ocorre por efeito da recristalização das moléculas de amilose e amilopectina, decorrente do agrupamento das partes lineares das moléculas de amido por meio da formação de novas ligações de hidrogênio, resultando na formação de precipitados e/ou géis (GUTKOSKI; EL-DASH, 1999).

Os valores da tendência a retrogradação (TR) das farinhas de mandioca extrusadas variaram de 4,91 a 15,75 RVU. Não foi observado efeito significativo da umidade, temperatura e rotação da rosca sobre TR (Tabela 7).

Baixas tendências a retrogradação indicam severidade dos tratamentos, com degradação dos polímeros, rompimento das estruturas moleculares e redução da capacidade de recristalização dos mesmos.



**Tabela 7.** Coeficientes de regressão ajustados para a tendência a retrogradação e análise de variância (ANOVA).

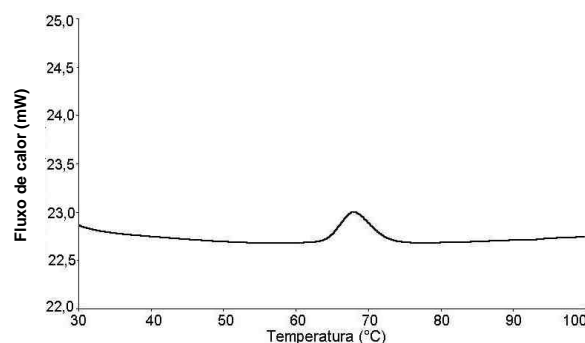
Parâmetros	Coeficiente estimado	Erro Padrão	p-valor
Média	8,1169		
T	0,6875	0,7049	0,3524
U	0,6135	0,7049	0,4045
R	-0,9066	0,7049	0,2274
TxT	0,7921	0,6861	0,2752
UxU	-0,3302	0,6861	0,6407
RxR	0,7002	0,6861	0,3316
TxU	0,8750	0,9211	0,3645
TxR	-0,6050	0,9211	0,5261
UxR	-1,2525	0,9211	0,2038
ANOVA	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrado médio
Regressão	9	62,27	6,92
Resíduo	10	67,87	6,79
Total	19	130,14	
$R^2 = 0,4785$			

T= temperatura; U= umidade; R= rotação da rosca;  $R^2$ = coeficiente de determinação.

### Propriedades térmicas

A calorimetria diferencial de varredura (DSC), quando aplicada ao amido, fornece medidas quantitativas do fluxo de calor associado à gelatinização. Picos endodérmicos são indicativos de fusão.

A análise das propriedades térmicas da farinha de mandioca crua (Figura 7) indicou que as temperaturas de gelatinização da farinha de mandioca (64,26, 68,08 e 72,82°C para  $t_o$ ,  $t_p$  e  $t_f$ , respectivamente) foram muito próximas das citadas na literatura como características de amido de mandioca (64,3, 68,3 e 74,4°C para  $t_o$ ,  $t_p$  e  $t_f$ , respectivamente) (JANE et al., 1999).

**Figura 7.** Perfil de calorimetria diferencial de varredura da farinha de mandioca crua.

A entalpia de gelatinização da farinha de mandioca ( $\Delta H = 9,79 \text{ J g}^{-1}$ ) foi inferior à relatada pelos autores ( $\Delta H = 14,7 \text{ J g}^{-1}$ ) para o amido nativo, o que pode ser explicado pela interferência dos outros componentes não-amiláceos na farinha.

As farinhas extrusadas não mostraram entalpia de gelatinização residual, sugerindo que todo o amido presente nas amostras foi gelatinizado. Portanto, as diferenças observadas entre os tratamentos nas propriedades de pasta não são devidas à presença de grânulos de amido intactos.

### Conclusão

O processo de extrusão promove aumento da viscosidade inicial e redução nas demais propriedades de pasta da farinha de mandioca, com efeito pronunciado da rotação da rosca.

A farinha extrusada não apresenta entalpia de gelatinização residual.

As condições testadas de elevada rotação e temperatura de extrusão, juntamente com baixa umidade da farinha, proporcionam a obtenção de farinhas instantâneas com as propriedades térmicas e de pasta desejadas para este tipo de produto.

### Referências

- AACC-American Association of Cereal Chemists. **Approved methods**. 7. ed. St. Paul: AACC, 2000.
- BHATTACHARYA, S.; SUDHA, M. L.; RAHIM, A. Pasting characteristics of an extruded blend of potato and wheat flours. **Journal of Food Engineering**, v. 40, n. 1-2, p. 107-111, 1999.
- CARVALHO, R. V.; ASCHERI, J. L. R.; VIDAL, J. Efeito dos parâmetros de extrusão nas propriedades físicas de extrusados (3G) de misturas de farinhas de trigo, arroz e banana. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 26, n. 5, p. 1006-1018, 2002.
- CHIANG, B. Y.; JOHNSON, J. A. Gelatinization of starch in extruded products. **Cereal Chemistry**, v. 54, n. 3, p. 436-443, 1977.
- COCHRAN, W. G.; COX, G. M. **Experimental designs**. London: John Wiley, 1957.
- COLONNA, P.; BULEON, A.; MERCIER, C. Modified starch. In: GALLIARD, T. (Ed.). **Starch: properties and potencial**. Chichester: John Wiley, 1987. cap. 4, p. 79-114.
- CONAB-Companhia Nacional de Abastecimento. 2005. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 23 ago. 2006.
- EL-DASH, A. A. Application and control of thermoplastic extrusion of cereals for food and industrial uses. In: POMERANZ, Y.; MUNCH, L. (Ed.). **Cereals: a renewable resource, theory and practice**. St. Paul: AACC, 1982. p. 1-52.
- EL-DASH, A. A.; GONZALEZ, R.; CIOL, M. Response surface methodology in the control of thermoplastic extrusion of starch. In: JOWITT, R. (Ed.). **Extrusion cooking technology**. London: Elsevier Applied Science, 1984. p. 51-74.
- FELLOWS, P. Extrusion. In: FELLOWS, P. (Ed.). **Food processing technology: principles and practice**. Cambridge: Woodhead Publishing, 2002. cap. 14, p. 294-308.
- GOMEZ, M. H.; AGUILERA, J. M. Changes in the starch fraction during extrusion-cooking of corn. **Journal of Food Science**, v. 48, n. 2, p. 378-381, 1983.
- GUHA, M.; ALI, S. Z.; BHATTACHARYA, S. Effect of barrel temperature and screw speed on rapid viscoanalyser pasting behavior of rice extrudate. **International Journal of Food Science Technology**, v. 33, n. 3, p. 259-266, 1998.

GUTKOSKI, L. C.; EL-DASH, A. A. Effect of extrusion process variables on physical and chemical properties of extruded oat products. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 54, n. 4, p. 315-325, 1999.

IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2005. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 20 ago. 2006.

JANE, J.; CHEN, Y. Y.; LEE, L. F.; McPHERSON, A. E.; WONG, K. S.; RADOSAVLJEVIC, M.; KASEMMSUWAM, T. Effects of amylopectin branch chain length and amylase content on the gelatinization and pasting properties of starches. **Cereal Chemistry**, v. 76, n. 5, p. 629-637, 1999.

LEONEL, M.; CEREDA, M. P.; SARMENTO, S. B. S.

Processamento de araruta (*Maranta arundinacea*) para extração e caracterização da fração amilácea. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 5, n. 93, p. 151-155, 2002.

NEWPORT SCIENTIFIC. **Operation manual for series 4**: instructions manual. Warriewood, 1998.

*Received on February 21, 2008.*

*Accepted on August 25, 2008.*

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.