



# EFEITO DOS PARÂMETROS DE EXTRUSÃO SOBRE AS PROPRIEDADES DE PASTA DE MASSAS ALIMENTÍCIAS PRÉ-COZIDAS DE ARROZ E FEIJÃO\*

Carla da Silva TEBA\*\*

José Luis Ramirez ASCHERI\*\*\*

Carlos Wanderlei Piler de CARVALHO\*\*\*\*

■RESUMO: A mistura em proporções adequadas de arroz com feijão fornece proteína de alta qualidade, em decorrência da complementação mútua de aminoácidos, contribuindo para o aumento da qualidade nutricional de produtos elaborados a partir da combinação desses alimentos. O processo de extrusão termoplástica leva a gelatinização do amido e à desnaturação de proteínas, melhorando as propriedades funcionais e tecnológicas dos produtos produzidos com este processo. O objetivo deste trabalho foi estudar os efeitos das variáveis independentes como umidade, temperatura e formulação nas propriedades de pasta de massas alimentícias pré-cozidas e isentas de glúten, elaboradas a partir de farinha mista de arroz polido e feijão preto sem tegumento. Foi utilizado um delineamento experimental central rotacional para estimar o efeito de três níveis de umidade (30, 35 e 40%), três níveis de temperatura na zona de alta pressão (70, 80 e 90°C) e três níveis de substituição de farinha de feijão preto (20, 40 e 60%), originando 20 experimentos. Os resultados obtidos indicaram que o percentual de farinha de feijão exerceu efeito mais significativo para a viscosidade de pasta inicial a 25°C, a viscosidade de pasta máxima a 95°C, a quebra de viscosidade, a viscosidade final a 25°C e tendência à retrogradação. Entretanto, para a viscosidade mínima, a temperatura exerceu efeito negativo mais significativo. Em geral, as massas alimentícias pré-cozidas por extrusão termoplástica, elaboradas com 6,36 e 20,00% de farinha de feijão apresentaram as melhores propriedades de pasta, quando comparadas com massas comerciais à base de semolina de trigo e arroz polido.

■PALAVRAS-CHAVE: Massa alimentícia sem glúten; extrusão; propriedades de pasta; arroz; feijão.

## INTRODUÇÃO

Ao lado das fontes de proteína animal, classicamente consideradas como de alto valor biológico, misturas de vegetais, como de um cereal e de uma leguminosa, também

resultam em composto protéico de alto valor biológico.<sup>29</sup> O feijão é deficiente em aminoácidos sulfurados e rico em lisina, enquanto o arroz é deficiente em lisina e relativamente rico em aminoácidos sulfurados, sendo, portanto, considerados complementares. A mistura de feijão com arroz supre os aminoácidos essenciais e tem digestibilidade de 80%. Assim, o desenvolvimento de massas alimentícias pré-cozidas, à base de arroz e feijão, pode oferecer vantagens em relação à qualidade nutricional deste tipo de alimento, que, de modo geral, constituem apenas boas fontes energéticas. Além disso, por não conter glúten, estas massas podem ser consumidas também por celíacos, constituindo uma nova alternativa de consumo para os mesmos, tendo em vista que no mercado há carência de massas diferenciadas para esta população.

No Brasil, o arroz e o feijão são a base alimentar da população, e o consumo concomitante destes alimentos, além de melhorar o valor biológico das proteínas,<sup>44</sup> pode ter efeito protetor para a presença de sobrepeso e obesidade, como sugerem os trabalhos desenvolvidos por Schieri<sup>32</sup> e Schieri et al.<sup>33</sup>

A extrusão termoplástica consiste em um processo térmico de curta duração que ocorre a temperaturas elevadas, em que materiais amiláceos e/ou proteínicos umedecidos, expansíveis, são plastificados e cozidos, pela combinação de umidade, pressão, temperatura e cisalhamento mecânico.<sup>41,42</sup> É um processo contínuo e de um único estágio, que por envolver altas temperaturas e pressões, umidade e trabalho mecânico, promove a transformação das características químicas, físicas e nutricionais dos alimentos,<sup>21,30</sup> destacando-se a hidratação de amidos e proteínas, a homogeneização, a gelatinização do amido, a liquefação de gorduras, a desnaturação de proteínas, a inativação de enzimas, a diminuição da população microbiana, a plastificação e expansão do material processado, para criar novas formas e texturas.<sup>13,17,27</sup> Pesquisas têm mostrado que a extrusão termoplástica inativa os fatores antinutricionais presentes no feijão, tais como inibidores de proteases, taninos e fitatos,<sup>1,35</sup> além de ser considerada efetiva para

\* Trabalho elaborado com apoio financeiro da CAPES para a primeira autora, sob a forma de bolsa de mestrado.

\*\* Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos – Curso de Mestrado – Instituto de Tecnologia – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – Seropédica – 23890-000 – Rio de Janeiro – Brasil. E-mail: carla.teba@gmail.com.

\*\*\* Engenheiro de Alimentos – Embrapa Agroindústria de Alimentos – 23020-470 – Guaratiba – RJ – Brasil.

\*\*\*\* Engenheiro Agrônomo – Embrapa Agroindústria de Alimentos – 23020-470 – Guaratiba – RJ – Brasil.

umentar a digestibilidade das proteínas e do amido de extrusados à base de feijão.<sup>4</sup>

Os parâmetros de viscosidade de pasta possibilitam a determinação e o estudo do grau de cozimento do produto extrusado, bem como permitem avaliar o comportamento do amido em meio aquoso, aplicando-se diferentes temperaturas durante o processo. Assim, as propriedades de pasta constituem propriedades funcionais de grande importância na elaboração de diversos produtos, incluindo as massas alimentícias. Neste contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito dos parâmetros de extrusão sobre as propriedades de pasta de massas alimentícias pré-cozidas, isentas de glúten, obtidas a partir de farinha mista de arroz polido e feijão preto sem tegumento.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Matérias-Primas

No preparo das massas alimentícias pré-cozidas obtidas por extrusão foi utilizado arroz branco polido (*Oryza sativa*, L.), tipo 1, da marca Caçarola®, e feijão preto (*Phaseolus vulgaris*, L.), tipo 1, da marca Preto Bem®, adquiridos no comércio da cidade do Rio de Janeiro. Para a formulação de cada uma das massas alimentícias, preparadas de acordo com o delineamento experimental proposto (Tabela 1), usou-se 2,0% de sal refinado e 1,5% de emulsificante.

Para este estudo foram utilizadas duas amostras comerciais controle, uma à base de semolina de trigo (“controle trigo”) e outra isenta de glúten, à base de farinha de arroz polido (“controle celíaco”).

### Obtenção das farinhas de arroz polido e feijão preto sem casca

Os grãos de arroz branco foram moídos em moinho de facas e martelo, com abertura de peneira de 1mm, obtendo-se então a farinha de arroz branco.

Para a elaboração da farinha de feijão preto sem casca, inicialmente os grãos foram macerados por 17 horas, seguindo-se o descarte da água de remolho, posteriormente os mesmos foram levados à estufa a 100°C por 60 minutos. Após este período, os grãos foram descascados à temperatura ambiente por meio da passagem entre discos paralelos horizontais, com 4mm de abertura, para a remoção das cascas. Logo após, os grãos descascados foram submetidas à moagem em moinho de facas e martelo, com peneira de abertura de 1mm, obtendo-se então a farinha de feijão preto sem casca.

### Condicionamento das matérias-primas

As amostras de matérias-primas foram condicionadas para os diferentes níveis de umidade e formulação, conforme o delineamento experimental descrito na Tabela 1.

O teor de umidade inicial das farinhas mistas foi determinado através da dessecação do material a 105°C, até peso constante.<sup>23</sup> Esse procedimento foi realizado para que fosse estabelecida a quantidade de água a ser adicionada às farinhas, a fim de se alcançar os níveis de umidade estabelecidos para cada formulação.

O emulsificante e o sal foram adicionados nesta etapa. As amostras foram homogeneizadas e posteriormente acondicionadas em sacos plásticos individuais e armazenadas sob refrigeração, durante 24 horas, para se obter uma distribuição e absorção mais uniforme da água.

### Processo de extrusão termoplástica

As farinhas mistas de arroz e feijão foram submetidas à extrusão, em um extrusor da marca Brabender de parafuso único, modelo 20DN, usando-se velocidade constante de rotação do parafuso de 90rpm, taxa de compressão de 2:1, taxa de alimentação de 2,5kg/h e matriz de saída laminar de 1mm de diâmetro. As temperaturas das zonas 1 e 2 foram mantidas fixas em 50 e 60°C, respectivamente, e a temperatura da zona 3 variou conforme o delineamento experimental (Tabela 1). Estes parâmetros foram escolhidos com base em dados da literatura e estudos preliminares realizados.

A extrusão de cada amostra foi iniciada após as zonas de alimentação (zona 1), transição (zona 2) e alta pressão (zona 3) alcançarem as temperaturas desejadas. A massa extrusada foi coletada e colocada para secagem em estufa a 50°C, durante 1 hora, com circulação de ar e umidade relativa interna mais elevada, a fim de que a massa mantivesse a sua integridade.

Após atingir temperatura ambiente, as massas alimentícias pré-cozidas foram colocadas em sacos plásticos, lacradas, etiquetadas e armazenadas em local seco, à temperatura ambiente, para serem submetidas posteriormente aos testes de viscosidade.

### Propriedades de pasta

As propriedades de pasta das massas alimentícias foram determinadas em Rapid Visco Analyser (RVA), da marca Newport Scientific, série 4, em duplicata, para cada tratamento e massas controle (à base de trigo e arroz). É fundamental considerar alguns aspectos durante a preparação das amostras, como o tipo de moinho e o tamanho das partículas do material submetido à análise. Segundo Becker et al.<sup>3</sup> a diferença do tamanho de partículas entre as amostras pode ocasionar má interpretação dos resultados obtidos. Para a realização desta análise, as massas foram moídas em moinho de disco e peneiradas no agitador de peneiras RO-TAP, modelo RX-29-10. A fração retida entre as peneiras de 125 e 250µm foi utilizada para esta análise.

Para a análise no RVA, 3g de farinha extrusada com umidade corrigida para 14% (em base úmida) foi adicionada de água destilada até a obtenção do peso final de 28g, conforme metodologia descrita por Ascheri et al.<sup>2</sup> O perfil de análise utilizado foi “extrusion 1 no-alcohol”, que con-

sistiu nas seguintes etapas: a temperatura inicial de 25°C manteve-se durante 2min, depois, aumentou gradativamente por 5min até a temperatura de 95°C, permanecendo constante por 3 minutos. O resfriamento foi feito também gradualmente com a diminuição da temperatura do sistema até atingir a temperatura de 25°C.

Os parâmetros de propriedade de pasta analisados foram:

a) Viscosidade de pasta inicial a frio (Vinic.): é o valor da viscosidade na temperatura de 25°C, no início do ciclo de aquecimento.

b) Viscosidade de pasta máxima (Vmáx.): é o valor da viscosidade no ponto máximo da curva, obtido durante o ciclo de aquecimento.

c) Viscosidade de pasta mínima à quente (Vmín.): é o menor valor de viscosidade obtido durante o período em que a temperatura é mantida constante em 95°C.

Quebra de viscosidade (QV): é a diferença entre a viscosidade máxima e mínima durante a manutenção a 95°C.

d) Viscosidade final (Vfin.): é o valor da viscosidade ao final da análise no ciclo de resfriamento, a 25°C.

e) Tendência à retrogradação (TR): é a diferença entre a viscosidade final e o menor valor de viscosidade durante a manutenção a 95°C.

Todos os valores obtidos foram expressos em centipoise (cP).

#### *Delineamento experimental*

Para analisar o efeito combinado das variáveis, umidade da mistura no processamento (%), temperatura de processamento na zona de alta pressão (°C) e formulação (% de farinha de feijão preto na mistura com farinha de arroz branco polido), nas propriedades de pasta das massas alimentícias pré-cozidas, estabeleceu-se um experimento estatisticamente delineado, em metodologia de superfície de resposta, do tipo central rotacional de 2<sup>3</sup> ordem. Esse delineamento apresenta seis repetições no ponto central e seis axiais. As variáveis foram estabelecidas com três níveis codificados -1, 0, +1.<sup>9</sup> Os seis níveis de variáveis axiais são codificados como - $\alpha$  e + $\alpha$ , em que o valor de  $\alpha$  é a função do número de variáveis independentes (k), sendo definido conforme a Equação 1 abaixo:

$$\alpha = (2^k)^{1/4} = (2^3)^{1/4} = 1,682 \quad \text{Equação 1}$$

No presente trabalho foram usados 20 tratamentos, resultantes da utilização de um delineamento fatorial completo,<sup>8</sup> sendo composto por oito fatoriais (combinações dos níveis -1 e +1), seis axiais (uma variável no nível  $\pm \alpha$  e outra no nível 0) e seis centrais, servindo como estimativa do erro experimental e para determinar a precisão do modelo matemático.<sup>12</sup>

Fazendo uso da análise de variância (ANOVA), ao nível de 5% de probabilidade, adotou-se a equação de segunda ordem para estabelecer o modelo matemático preditivo das variáveis resposta da Tabela 1, cuja Equação 2 geral pode ser escrita da seguinte forma:<sup>9</sup>

$$Y_i = \left( \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{33} X_3^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \varepsilon \right) \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

$Y_i$  = função resposta genérica;  $X_1, X_2, X_3$  = valores das variáveis independentes decodificadas;  $\beta_0$  = coeficiente relativo à interseção 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;  $\varepsilon$  = erro experimental.

A adequação dos modelos propostos foi avaliada pela análise de resíduo, classificado como “falta de ajuste”, comparando-se a proporção da variação explicada pelo modelo, isto é, pela análise do coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

O ajuste dos dados experimentais ao modelo utilizado foi testado pela análise de variância (ANOVA) a partir do uso do teste de distribuição F a 5% de probabilidade segundo o qual, um modelo de regressão é significativo quando o valor do teste F calculado é maior ou igual ao do teste F tabelado e, quanto maior o valor F calculado, mais preditivo é o modelo.<sup>10</sup> O processamento dos dados e a análise estatística foram realizados com auxílio do programa computacional Statistica, versão 6.0, com as variáveis independentes codificadas.

Os gráficos de superfície de resposta foram desenhados, no programa Statistica, versão 6.0, mediante modelo matemático proposto nos níveis decodificados das variáveis, mantendo-se a resposta em função do eixo Z, com eixos X e Y representando as variáveis independentes, ao mesmo tempo em que se mantiveram as demais variáveis constantes no ponto central (correspondente ao nível codificado 0).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Propriedades de Pasta

A Tabela 1 apresenta os resultados encontrados para as propriedades de pasta das massas alimentícias pré-cozidas de farinha mista de arroz com feijão, e de massas comerciais à base de semolina de trigo e arroz polido.

Todos os efeitos linear, quadrático e as interações do modelo quadrático aplicado às propriedades de pasta das massas alimentícias pré-cozidas, obtidas em função dos parâmetros do processo de extrusão umidade (U), temperatura (T) e porcentagem de farinha de feijão (FF), foram calculados. Os coeficientes de regressão assim como os coeficientes de determinação estão apresentados nas Tabelas 2 a 7.

O coeficiente de determinação da variável viscosidade de pasta inicial a 25°C (Vinic.) apresentou um valor muito baixo para que o modelo seja considerado preditivo (Tabela 2), assim, não foram construídos gráficos de superfície de resposta, nem gerado o modelo de equação, no entanto, os resultados foram discutidos, com finalidade de delimitar novas áreas de estudo, através do teste de Tukey (Tabela 1). Os valores dos coeficientes de determinação para a viscosidade de pasta máxima (Vmáx.), tendência à retrogradação, quebra de viscosidade e viscosidade de pas-

Tabela 1 – Resultados experimentais da caracterização das propriedades de pasta das massas alimentícias pré-cozidas e controles e teste de Tukey para a viscosidade de pasta inicial.

Tratamentos	Variáveis Codificadas			Variáveis Reais			Vinic (cP)	Vmín (cP)	QV (cP)	Vfin (cP)	TR (cP)
	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>					
1	-1	-1	-1	30	70	20	8,0 <sup>bc</sup>	148,0	94,5	1424,0	1276,0
2	-1	-1	1	30	70	60	10,5 <sup>b</sup>	116,5	22,0	746,0	629,5
3	-1	1	-1	30	90	20	4,5 <sup>d</sup>	128,5	110,5	1512,5	1384,0
4	-1	1	1	30	90	60	6,5 <sup>cd</sup>	102,5	20,0	669,5	567,0
5	1	-1	-1	40	70	20	0,0 <sup>e</sup>	51,5	479,5	2185,5	2134,0
6	1	-1	1	40	70	60	0,0 <sup>e</sup>	54,5	93,5	634,5	580,0
7	1	1	-1	40	90	20	0,0 <sup>e</sup>	41,5	310,5	1519,0	1477,5
8	1	1	1	40	90	60	0,0 <sup>e</sup>	82,0	120,0	795,5	713,5
9	-1,682	0	0	26,59	80	40	0,5 <sup>e</sup>	93,0	146,0	861,0	768,0
10	1,682	0	0	43,41	80	40	21,0 <sup>a</sup>	61,0	147,5	936,5	875,5
11	0	-1,682	0	35	63,18	40	4,0 <sup>d</sup>	78,5	124,0	1062,5	1014,0
12	0	1,682	0	35	96,82	40	10,0 <sup>b</sup>	97,5	169,5	1162,0	1064,5
13	0	0	-1,682	35	80	6,36	0,5 <sup>e</sup>	57,5	412,0	2155,0	2097,5
14	0	0	1,682	35	80	73,64	0,0 <sup>e</sup>	49,0	50,0	503,0	454,0
15	0	0	0	35	80	40	4,5 <sup>d</sup>	100,5	196,5	1245,5	1145,0
16	0	0	0	35	80	40	5,0 <sup>cd</sup>	115,0	172,5	1179,0	1064,0
17	0	0	0	35	80	40	6,5 <sup>cd</sup>	107,0	244,0	1376,5	1269,5
18	0	0	0	35	80	40	4,5 <sup>d</sup>	99,0	205,5	1274,0	1175,0
19	0	0	0	35	80	40	5,5 <sup>cd</sup>	120,0	130,0	1161,5	1041,5
20	0	0	0	35	80	40	6,0 <sup>cd</sup>	99,5	142,0	1138,5	1039,0
Controle Trigo*	-	-	-	-	-	-	250,5	174,5	944,0	2808,0	2633,5
Controle Arroz**	-	-	-	-	-	-	238,0	52,0	470,5	2039,5	1987,5

x<sub>1</sub> e X<sub>1</sub>: Umidade (%); x<sub>2</sub> e X<sub>2</sub>: Temperatura (°C); x<sub>3</sub> e X<sub>3</sub>: Farinha de feijão (%) na mistura com arroz polido.

Vinic, Vmáx, Vmín e Vfin: Viscosidades de pasta inicial a 25°C, máxima, mínima e final, em cP.

QV: Quebra de viscosidade ou breakdown, em cP.

TR: Tendência à retrogradação ou setback, em cP.

\*Massa comercial à base de sêmola de trigo.

\*\*Massa comercial isenta de glúten à base de arroz polido.

ta final (Vfin.) indicam que mais de 81% da variação destes parâmetros foi explicada pelo modelo aplicado, e menos de 19% da variação se deveu aos resíduos experimentais, considerados significativos. Para a variável viscosidade de pasta mínima (Vmín.) o coeficiente de determinação foi de 0,770. As Equações 3, 4, 5, 6 e 7 geradas foram:

$$V_{máx.} = 288,52 + 3,22.U - 1,01.FF - 3,91.U.FF \quad \text{Equação 3}$$

$$V_{mín.} = 106,19 - 23,42.U - 6,34.U^2 - 14,73.FF^2 + 12,63.U.FF \quad \text{Equação 4}$$

$$\text{Quebra de viscosidade} = 182,33 + 55,57.U - 98,72.FF - 51,69.U.FF \quad \text{Equação 5}$$

$$V_{fin.} = 1226,61 + 66,59.U - 100,03.U^2 - 481,33.FF - 94,19.U.FF + 82,81.T.FF \quad \text{Equação 6}$$

$$\text{Tendência à retrogradação} = 1120,59 + 90,01.U - 94,81.U^2 - 479,26.FF + 65,67.FF^2 - 106,81.U.FF \quad \text{Equação 7}$$

### Viscosidade de Pasta Inicial a 25°C

Este parâmetro indica a capacidade das farinhas em absorver água à temperatura ambiente e formar pasta, gel ou líquido viscoso, como resultado da gelatinização do amido e da extensão da quebra de moléculas, durante o processo de extrusão.<sup>11,15,18</sup> De acordo com Shuey & Tipples,<sup>36</sup> os grânulos de amido cru são insolúveis em água fria. Entretanto, quando estes grânulos são submetidos a um tratamento térmico, as ligações de hidrogênio que unem as moléculas em rede micelar se rompem, favorecendo a capacidade de hidratação das cadeias; assim, tem-se um processo de intumescimento irreversível, que irá refletir o grau de pré-gelatinização do amido. Conseqüentemente, quanto maior for o grau de gelatinização, maior será a viscosidade inicial.<sup>15</sup>

O resultado do teste de Tukey para a viscosidade de pasta inicial, disposto na Tabela 1, mostra que a massa alimentícia pré-cozida T<sub>10</sub>, elaborada com alto teor de umidade e nível intermediário de farinha de feijão (43,41% e 40%, respectivamente), apresentou o valor mais elevado e diferiu estatisticamente das demais, enquanto as massas T<sub>5</sub>, T<sub>6</sub>, T<sub>7</sub>, T<sub>8</sub>, T<sub>9</sub> e T<sub>14</sub> não apresentaram viscosidade a 25°C.

Menegassi et al.<sup>26</sup> afirmam que os valores de viscosidade inicial se elevam com a prévia gelatinização da amostra e decrescem em condições severas de processamento, em razão da despolimerização do amido com a cocção. E, segundo Sebio,<sup>34</sup> o efeito da umidade na viscosidade inicial

pode ser explicado pela lubrificação que o alto teor de água provoca no parafuso do extrusor, evitando maior ocorrência de degradação mecânica dos grânulos do amido. Desta forma, obtém-se, portanto, valores elevados de viscosidade inicial, como observado no presente estudo, quando comparado aos resultados obtidos por Silva & Silva.<sup>37,38</sup> Foi demonstrado por Mercier & Feillet<sup>28</sup> que há uma relação indireta entre umidade da mistura e o grau de degradação em milho extrusado. Os autores observaram aumento da viscosidade inicial do extrusado com o incremento dos valores de umidade. Gómez & Aguilera<sup>19</sup> também relataram aumento da viscosidade inicial com a elevação da umidade, em extrusão de pasta de milho.

É válido ressaltar que valores muito baixos de viscosidade de pasta inicial a frio de produtos extrusados podem ser decorrentes do conteúdo protéico e da presença de fibras nas matérias-primas, assim como apresenta a farinha de feijão preto sem tegumento utilizada no presente estudo.

Ascheri et al.<sup>2</sup> estudando o efeito das variáveis de extrusão nas propriedades de pasta de farinhas mistas de arroz e bagaço de jabuticaba observaram decréscimo do valor da viscosidade de pasta inicial a 25°C com o aumento da proporção da farinha do bagaço de jabuticaba na mistura da formulação, e atribuíram este fenômeno a menor proporção de material amiláceo na mistura, mencionando ainda que as fibras incluídas não fornecem suficiente material viscoso, fazendo com que a gelatinização do amido diminua.

Tabela 2 – Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão e respectivas probabilidades (p) do modelo de regressão quadrática aplicada à viscosidade de pasta inicial a 25°C (cP) das massas alimentícias pré-cozidas de farinha mista de arroz e feijão.

Fator	Teste F	Coefficiente de Regressão	p
Intercepto	--	5,4127	1,61E-05***
X <sub>1</sub>	1,59E+00	2,78E-01	2,64E-01 n.s.
X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	5,34E+01	1,57E+00	7,53E-04***
X <sub>2</sub>	1,05E+00	2,26E-01	3,53E-01 n.s.
X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	1,02E-01	6,87E-02	7,62E-01 n.s.
X <sub>3</sub>	1,90E+00	3,05E-01	2,27E-01 n.s.
X <sub>3</sub> <sup>2</sup>	1,16E+02	-2,32E+00	1,19E-04***
X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	1,20E+01	1,00E+00	1,80E-02*
X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	3,00E+00	-5,00E-01	1,44E-01 n.s.
X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	0,00E+00	0,00E+00	1,00E+00 n.s.
Falta de ajuste	1,02E+02	--	5,02E-05***
R <sup>2</sup>		0,287	

X<sub>1</sub>: Umidade (%); X<sub>2</sub>: Temperatura (°C); X<sub>3</sub>: Farinha de feijão (%) na mistura com arroz polido.

-- Não determinado.

p = Valor estatístico da probabilidade.

n.s. = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

\* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

\*\*\* = Significativo ao nível de 0,1% de probabilidade.

## Viscosidade de Pasta Máxima

Tratando-se da determinação da viscosidade de pasta de materiais amiláceos crus, ocorre o total intumescimento e gelatinização dos grânulos de amido durante o ciclo de aquecimento até 95°C, onde atinge o pico da viscosidade máxima. No processo de extrusão, dependendo das condições do processo, o tratamento térmico pode destruir a estrutura cristalina do amido de tal forma que, no ciclo de aquecimento, o viscoamilograma apresente ausência de pico e valores baixos de viscosidade. Entretanto, se os tratamentos não forem muito severos, uma determinada porcentagem de grânulos de amido pode conservar parte da estrutura amilácea. Nestas condições observam-se valores relativamente altos de viscosidade de pasta, pois há maior número de grânulos em condição de intumescimento.<sup>11</sup>

Com relação às variáveis, a Tabela 3 mostra que houve contribuição linear da umidade ( $p < 0,05$ ) e do percentual de farinha de feijão ( $p < 0,001$ ), assim como da interação entre umidade e formulação ( $p < 0,05$ ). O efeito linear da variável umidade foi positivo, indicando que a variação do valor da viscosidade máxima a 95°C é diretamente proporcional ao aumento da mesma. A interação entre umidade e formulação e o efeito linear da variável percentual de farinha de feijão apresentou efeitos negativos, proporcionando um decréscimo no valor da viscosidade máxima a 95°C, sendo esta última a de maior magnitude.

A Figura 1 representa o efeito das variáveis percentual de farinha de feijão e umidade na viscosidade máxima.

Observa-se que os maiores valores de pico de viscosidade máxima são alcançados quando o percentual de farinha de feijão está em seus menores níveis e, concomitantemente a umidade encontra-se em seus maiores níveis, o que demonstra os efeitos destas variáveis. Na Tabela 1, verifica-se que as massas alimentícias T<sub>5</sub> (40% de umidade e 20% de farinha de feijão) e T<sub>13</sub> (35% de umidade e 6,36% de farinha de feijão) apresentaram os maiores picos de viscosidade, respectivamente de 531,00cP e 469,50cP.

O aumento da proporção de farinha de feijão nas farinhas mistas de arroz polido e feijão preto levou a redução da quantidade de amido presente, resultando na diminuição de viscosidade. Silveira et al.,<sup>40</sup> afirmam que o amido é o principal componente responsável pela viscosidade e, de acordo com Vijayagopal et al.,<sup>45</sup> a presença de amidos solúveis e a interação entre os grânulos intumescidos são responsáveis pela viscosidade de uma suspensão de amido gelatinizado, de tal forma que a diminuição da concentração de amido causa decréscimo no número de grânulos e conseqüentemente, na viscosidade numa mesma temperatura. Outro fator que pode contribuir para o decréscimo da viscosidade de pasta máxima é o conteúdo de proteína; pois, conforme El-Saied et al.<sup>16</sup> constataram, a proteína pode atuar como uma barreira física para o intumescimento do amido, uma vez que os grânulos de amido são encaixados na matriz de proteína.

Tabela 3 – Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão e respectivas probabilidades (p) do modelo de regressão quadrática aplicada à viscosidade de pasta máxima (cP) das massas alimentícias pré-cozidas de farinha mista de arroz e feijão.

Fator	Teste F	Coeficiente de Regressão	p
Intercepto	--	288,5240	1,04E-05***
X <sub>1</sub>	8,91E+00	3,22E+01	3,06E-02*
X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	4,62E+00	-2,25E+01	8,44E-02 n.s.
X <sub>2</sub>	5,99E-02	-2,64E+00	8,16E-01 n.s.
X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	3,16E+00	-1,86E+01	1,36E-01 n.s.
X <sub>3</sub>	8,75E+01	-1,01E+02	2,35E-04***
X <sub>3</sub> <sup>2</sup>	1,19E-02	-1,15E+00	9,17E-01 n.s.
X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	8,78E-01	-1,32E+01	3,92E-01 n.s.
X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	7,70E+00	-3,91E+01	3,91E-02*
X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	3,83E+00	2,76E+01	1,08E-01 n.s.
Falta de ajuste	3,71E+00	--	8,83E-02 n.s.
R <sup>2</sup>		0,831	

X<sub>1</sub>: Umidade (%); X<sub>2</sub>: Temperatura (°C); X<sub>3</sub>: Farinha de feijão (%) na mistura com arroz polido.

-- Não determinado.

p = Valor estatístico da probabilidade.

n.s. = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

\* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

\*\*\* = Significativo ao nível de 0,1% de probabilidade.

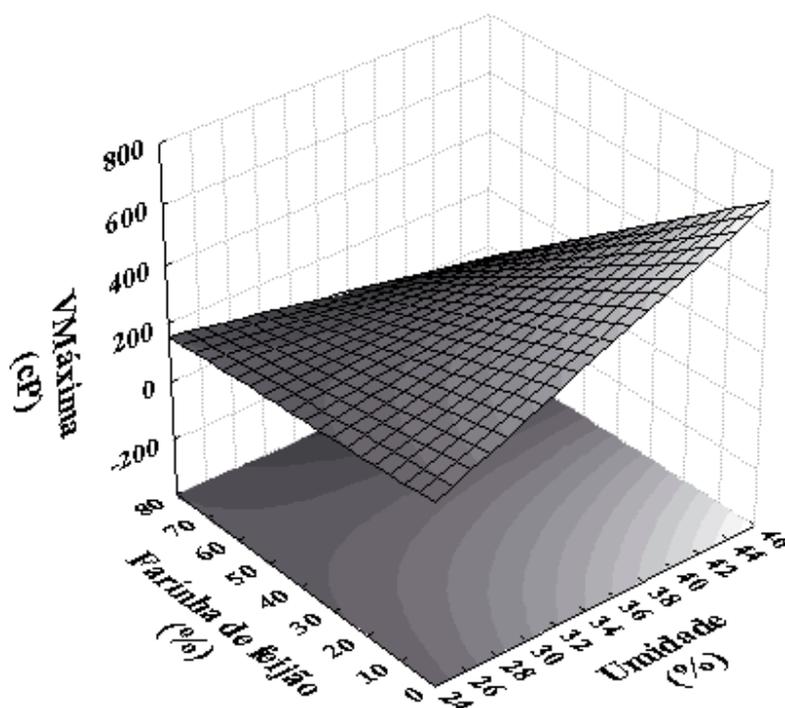


FIGURA 1 – Efeito das variáveis quantitativas farinha de feijão (%) e umidade (%) na viscosidade de pasta máxima (cP) das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão.

A viscosidade máxima relaciona-se com o nível de degradação sofrido pelo grânulo do amido, e quanto mais elevado for o seu valor, mais brando foi o tratamento térmico, uma vez que nestas condições o material amiláceo poderá conservar parte da integridade dos grânulos. Diversos autores relatam<sup>26,37,43</sup> que umidade mais elevada favorece maiores viscosidades máximas a 95°C, devido a uma redução do atrito mecânico, havendo, portanto, menor destruição dos grânulos,<sup>39</sup> o que justifica os resultados acima encontrados no presente estudo.

### Viscosidade de Pasta Mínima

A viscosidade mínima à temperatura constante ocorre quando a ruptura dos grânulos, devido à agitação do meio, atinge o seu máximo, e segundo Ryu & Walker,<sup>31</sup> a viscosidade de manutenção pode ser vista como uma medida do grau de desintegração dos grânulos de amido ou outras substâncias.

Pela análise da Tabela 4, observa-se que, para os coeficientes lineares a umidade foi a variável que exerceu maior efeito ( $p < 0,001$ ) sobre a viscosidade mínima. Quanto aos coeficientes quadráticos houve influência da umidade ( $p < 0,05$ ) e percentual de farinha de feijão, com maiores efeitos para este último fator.

A Figura 2, desenhada utilizando a Equação 4, mostra claramente a influência dos fatores acima referidos. Verifica-se que os efeitos negativos das variáveis umidade e percentual de farinha de feijão resultam em valores de

viscosidade mínima mais elevados, quando estas se encontram em níveis inferiores.

Como mencionado anteriormente, altos teores de umidade diminuem o atrito e com isso uma quantidade menor de grânulos sofre degradação. Desta forma, como a viscosidade mínima está relacionada à ruptura dos grânulos de amido, é necessário menor valor de umidade para que as moléculas se tornem mais susceptíveis à ação do cisalhamento.

A inclusão de ingredientes no material amiláceo a ser extrusado influencia as características físico-químicas do produto final; no caso da farinha de feijão preto, no que se refere à viscosidade mínima, ao aumentar a proporção desta nas massas alimentícias pré-cozidas, há uma redução da quantidade de amido, e conseqüentemente, os valores de viscosidade mínima diminuem. De modo geral, os menores valores de viscosidade final foram obtidos pelas massas alimentícias que em sua formulação possuem 40% de teor de umidade e pela massa com 73,64% de farinha de feijão na mistura com arroz polido. Valores mais elevados foram encontrados para as massas elaboradas com 20% de farinha de feijão concomitantemente com umidade baixa e intermediária (30 e 35%). A massa controle de arroz apresentou viscosidade mínima de 52,00cP; valor similar foi obtido pela massa pré-cozida T<sub>13</sub>, que apresenta em sua composição cerca de 94% de farinha de arroz polido. A massa pré-cozida T<sub>1</sub>, produzida com 20% de farinha de feijão e 30% de umidade, foi a que mais se aproximou da massa comercial à base de semolina de trigo em relação a este parâmetro de viscosidade de pasta.

Tabela 4 – Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão e respectivas probabilidades (p) do modelo de regressão quadrática aplicada à viscosidade de pasta mínima (cP) das massas alimentícias pré-cozidas de farinha mista de arroz e feijão.

Fator	Teste F	Coeficiente de Regressão	p
Intercepto	--	106,1923	8,71E-07***
X <sub>1</sub>	9,47E+01	-2,34E+01	1,95E-04***
X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	7,33E+00	-6,34E+00	4,24E-02*
X <sub>2</sub>	2,36E-01	1,17E+00	6,48E-01 <sup>n.s.</sup>
X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	1,10E+00	-2,45E+00	3,43E-01 <sup>n.s.</sup>
X <sub>3</sub>	7,41E-01	-2,07E+00	4,29E-01 <sup>n.s.</sup>
X <sub>3</sub> <sup>2</sup>	3,96E+01	-1,47E+01	1,49E-03**
X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	4,11E+00	6,38E+00	9,84E-02 <sup>n.s.</sup>
X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	1,61E+01	1,26E+01	1,02E-02**
X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	2,92E+00	5,38E+00	1,48E-01 <sup>n.s.</sup>
Falta de ajuste	8,75E+00	--	1,63E-02*
R <sup>2</sup>		0,770	

X<sub>1</sub>: Umidade (%); X<sub>2</sub>: Temperatura (°C); X<sub>3</sub>: Farinha de feijão (%) na mistura com arroz polido.

-- Não determinado.

p = Valor estatístico da probabilidade.

<sup>n.s.</sup> = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

\* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

\*\* = Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

\*\*\* = Significativo ao nível de 0,1% de probabilidade.

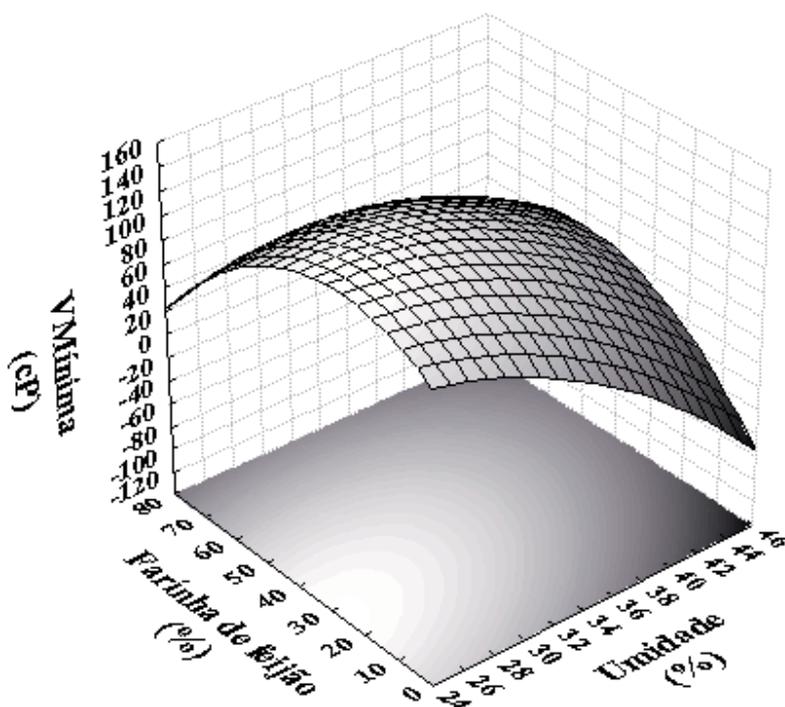


FIGURA 2 – Efeito das variáveis quantitativas farinha de feijão (%) e umidade (%) na viscosidade de pasta mínima (cP) das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão.

## Quebra de Viscosidade

Dentre os fatores que compõem o modelo (Tabela 5), afetaram significativamente a quebra de viscosidade das massas alimentícias pré-cozidas, os coeficientes lineares da umidade ( $p < 0,01$ ) e percentual de farinha de feijão ( $p < 0,001$ ). Verificou-se, ainda, que a interação entre a umidade da mistura e o percentual de farinha de feijão ( $p < 0,05$ ) também foi significativa, sendo este fator o que exerceu menor efeito.

A quebra de viscosidade, também conhecida como breakdown, representa a diferença entre o pico de viscosidade e o menor valor de viscosidade após o pico no perfil amilográfico. Através desta propriedade é possível avaliar a estabilidade do amido em altas temperaturas, sob agitação mecânica, o que é de extrema importância para massas alimentícias pré-cozidas, uma vez que indica, indiretamente, a capacidade do produto se manter íntegro durante o cozimento.

A influência das variáveis percentual de farinha de feijão e umidade sobre a quebra de viscosidade está representada na Figura 3. Observa-se que menores valores de percentual de farinha de feijão e maiores umidades implicam em aumento da quebra de viscosidade, como se verifica na Tabela 1 para as massas alimentícias referen-

tes aos tratamentos T<sub>5</sub> (40% umidade e 20,00% farinha de feijão) e T<sub>13</sub> (35% de umidade e 6,36% de farinha de feijão) que apresentaram quebra de viscosidade de 479,50cP e 412,00cP, respectivamente.

Bhattacharya et al.,<sup>5</sup> quando estudaram a extrusão de misturas de farinha de batata e de trigo, verificaram que os menores teores de quebra de viscosidade foram obtidos em baixa umidade, e quando a umidade foi aumentada houve um incremento significativo deste parâmetro. Estes autores afirmam que elevados teores de umidade podem agir como lubrificante, reduzindo a viscosidade de fusão durante a extrusão e elevando os valores de quebra de viscosidade, como ocorreu no presente estudo.

## Viscosidade de Pasta Final

De acordo com os dados da Tabela 6, verifica-se que a viscosidade final teve influência do efeito linear ( $p < 0,05$ ) e quadrático ( $p < 0,01$ ) da umidade; foi influenciada também pelo efeito linear ( $p < 0,001$ ) da porcentagem de farinha de feijão e pelas interações entre umidade e formulação ( $p < 0,05$ ) e temperatura e formulação ( $p < 0,05$ ), com maiores efeitos para os fatores farinha de feijão e umidade. O menor efeito foi exercido pelo fator temperatura *versus* farinha de feijão (T.FF).

Tabela 5 – Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão e respectivas probabilidades (p) do modelo de regressão quadrática aplicada à quebra de viscosidade (cP) das massas alimentícias pré-cozidas de farinha mista de arroz e feijão.

Fator	Teste F	Coefficiente de Regressão	p
Intercepto	--	182,3322	1,33E-04***
X <sub>1</sub>	2,34E+01	5,56E+01	4,71E-03**
X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	2,10E+00	-1,62E+01	2,07E-01 n.s.
X <sub>2</sub>	1,10E-01	-3,80E+00	7,54E-01 n.s.
X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	2,10E+00	-1,62E+01	2,07E-01 n.s.
X <sub>3</sub>	7,40E+01	-9,87E+01	3,51E-04***
X <sub>3</sub> <sup>2</sup>	1,48E+00	1,36E+01	2,78E-01 n.s.
X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	1,70E+00	-1,96E+01	2,49E-01 n.s.
X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	1,19E+01	-5,17E+01	1,83E-02*
X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	2,19E+00	2,22E+01	1,99E-01 n.s.
Falta de ajuste	4,42E+00	--	6,44E-02 n.s.
R <sup>2</sup>		0,815	

X<sub>1</sub>: Umidade (%); X<sub>2</sub>: Temperatura (°C); X<sub>3</sub>: Farinha de feijão (%) na mistura com arroz polido.

-- Não determinado.

p = Valor estatístico da probabilidade.

n.s. = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

\* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

\*\* = Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

\*\*\* = Significativo ao nível de 0,1% de probabilidade.

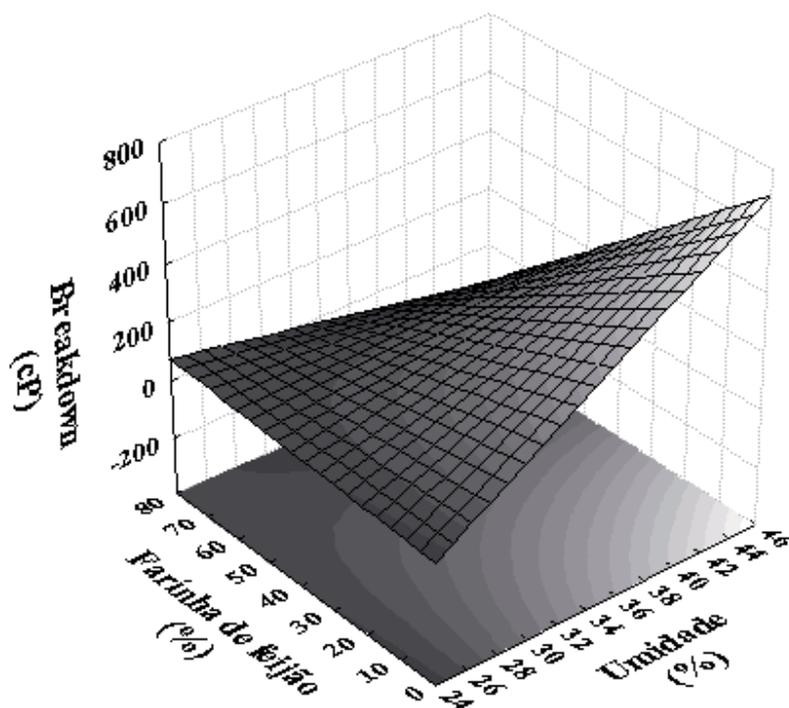


FIGURA 3 – Efeito das variáveis quantitativas farinha de feijão (%) e umidade (%) no breakdown (cP) das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão.

Tabela 6 – Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão e respectivas probabilidades (p) do modelo de regressão quadrática aplicada à viscosidade de pasta final (cP) das massas alimentícias pré-cozidas de farinha mista de arroz e feijão.

Fator	Teste F	Coefficiente de Regressão	p
Intercepto	--	1226,6110	4,19E-07***
X <sub>1</sub>	7,71E+00	6,66E+01	3,91E-02*
X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	1,84E+01	-1,00E+02	7,83E-03**
X <sub>2</sub>	9,91E-01	-2,39E+01	3,65E-01 n.s.
X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	1,11E+00	-2,46E+01	3,41E-01 n.s.
X <sub>3</sub>	4,03E+02	-4,81E+02	5,68E-06***
X <sub>3</sub> <sup>2</sup>	4,97E+00	5,21E+01	7,62E-02 n.s.
X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	4,26E+00	-6,47E+01	9,40E-02 n.s.
X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	9,03E+00	-9,42E+01	2,99E-02*
X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	6,98E+00	8,28E+01	4,59E-02*
Falta de ajuste	4,85E+00	--	5,40E-02 n.s.
R <sup>2</sup>		0,940	

X<sub>1</sub>: Umidade (%); X<sub>2</sub>: Temperatura (°C); X<sub>3</sub>: Farinha de feijão (%) na mistura com arroz polido.

-- Não determinado.

p = Valor estatístico da probabilidade.

n.s. = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

\* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

\*\* = Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

\*\*\* = Significativo ao nível de 0,1% de probabilidade.

As Figuras 4 e 5, desenhadas utilizando a equação 6, mostram claramente a influência dos fatores acima descritos.

Analisando a Figura 4, observa-se que o aumento do percentual de farinha de feijão implica em menores valores

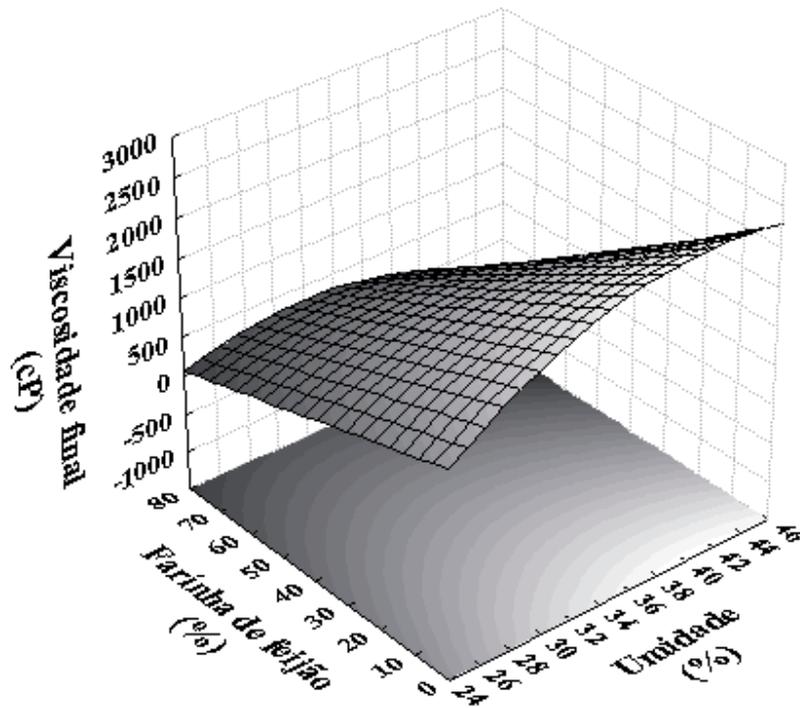


FIGURA 4 – Efeito das variáveis quantitativas farinha de feijão (%) e umidade (%) na viscosidade de pasta final (cP) das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão.

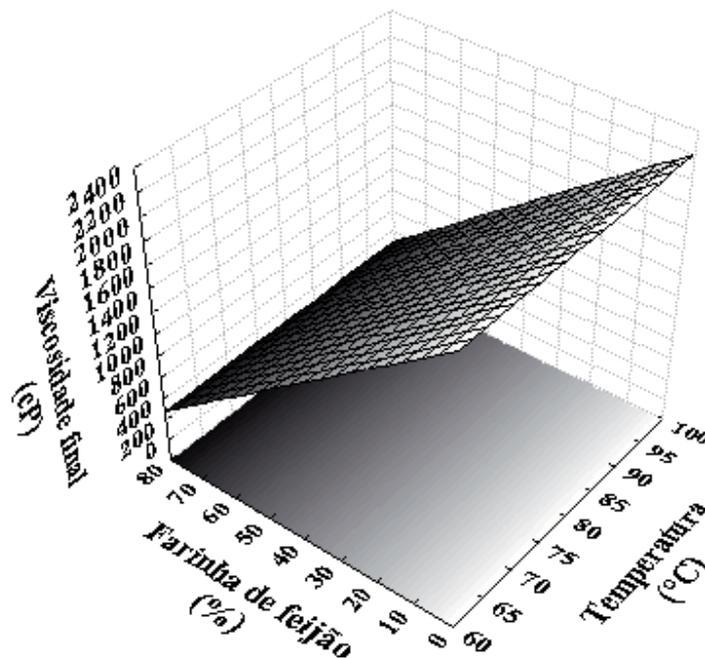


FIGURA 5 – Efeito das variáveis quantitativas farinha de feijão (%) e temperatura (°C) na viscosidade de pasta final (cP) das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão.

de viscosidade final. Como mostra a Tabela 1, o menor valor de viscosidade final (503,00cP) foi obtido pela massa T<sub>14</sub>, que possui umidade intermediária (35%) e o maior percentual de farinha de feijão (73,64%). Esta redução pode ser decorrente da diluição no teor de amido causada pela elevação no teor de cinzas, lipídeos, proteínas e fibras, devido ao incremento na proporção da farinha de feijão nas massas alimentícias. Resultados semelhantes foram reportados por Borges,<sup>7</sup> Ilo et al.,<sup>22</sup> Maia<sup>24</sup> e Mendonça,<sup>25</sup> utilizando outras farinhas extrusadas. Verifica-se ainda que a viscosidade de pasta final aumenta quando a umidade está entre 35 e 40%, combinada com baixos teores de farinha de feijão na formulação, até 20%.

A Figura 5 mostra que a variável percentual de farinha de feijão apresentou comportamento semelhante ao da Figura 4, e a temperatura exerce pouca influência na viscosidade final a 25°C.

Silva,<sup>37</sup> avaliando a viscosidade final das massas alimentícias pré-cozidas elaboradas com farinha mista de arroz integral e milho, observou efeitos negativos do percentual de farinha de milho adicionado à formulação e da temperatura; assim, ao aumentar os valores destas variáveis, a viscosidade final apresentou tendência à redução. Já Ascheri et al.,<sup>2</sup> ao analisarem as propriedades viscoamilográficas de farinhas mistas extrusadas de arroz polido e bagaço de jabuticaba, verificaram que a formulação foi inversamente proporcional à viscosidade final; portanto, quanto maior o percentual de farinha de bagaço de jabuticaba, menor o valor de viscosidade final, enquanto a temperatura apresentou efeito positivo sobre esta variável.

É válido destacar que a composição das matérias-primas utilizadas nos estudos acima referidos influencia diretamente os valores de viscosidade final encontrados. Os elevados teores de lipídeos, fibras e proteínas presentes na farinha de arroz integral, e, principalmente, o alto teor de fibras do bagaço de jabuticaba, além da diferença entre as proporções de amilose e amilopectina dos grãos, são responsáveis pelas propriedades de pasta apresentadas.

A viscosidade final 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.<sup>14</sup> Uma das características dos produtos amiláceos, após o aquecimento, seguido da gelatinização e do resfriamento dos grânulos, é o processo de retrogradação, onde, durante a determinação da viscosidade de pasta no viscoamílogo, o ciclo de resfriamento, normalmente, mostra a tendência à retrogradação por efeito da recristalização das moléculas de amilose e amilopectina. Esse reagrupamento entre as frações de amilose e amilopectina confere na maioria dos casos, um aumento na viscosidade final.<sup>6</sup> Sebio<sup>34</sup> afirma que baixos valores de viscosidade final são obtidos em tratamentos severos, onde ocorre degradação dos grânulos de amido e possíveis rompimentos de suas estruturas moleculares, que causam a perda da capacidade de retrogradação das mesmas e diminuem

a viscosidade no resfriamento. Dessa forma, sugere-se que a alta umidade e temperaturas brandas utilizadas no presente estudo colaboraram para os resultados encontrados.

Nota-se, na Tabela 1, que as massas alimentícias T<sub>5</sub> e T<sub>13</sub>, que possuem respectivamente, 40 e 35% de umidade, 20,00 e 6,36% de farinha de feijão na formulação, e foram processadas a 70 e 80°C, apresentaram os valores mais altos de viscosidade final (2185,50 e 2155,00cP). Para as massas comerciais os valores encontrados foram 2808,00cP (trigo) e 2039,50cP (arroz).

### Tendência à Retrogradação

A tendência à retrogradação mede a diferença entre a viscosidade final e o menor valor de viscosidade após o pico. Esta propriedade permite avaliar o comportamento do amido durante a fase de resfriamento. De acordo com Carvalho et al.,<sup>11</sup> a retrogradação do amido ocorre por efeito da recristalização das moléculas de amilose e amilopectina, em virtude do agrupamento das partes lineares das moléculas do amido através da formação de novas ligações de hidrogênio, resultando na formação de precipitados e/ou géis.<sup>20</sup> O efeito dessa retrogradação implica diretamente no aumento da viscosidade final.

Analisando a Tabela 7, observa-se que os coeficientes lineares da umidade ( $p < 0,05$ ) e percentual de farinha de feijão ( $p < 0,001$ ), os coeficientes quadráticos da umidade ( $p \leq 0,01$ ) e percentual de farinha de feijão ( $p < 0,05$ ), bem como a interação entre umidade e percentual de farinha de feijão ( $p < 0,05$ ), apresentaram efeitos significativos sobre a tendência à retrogradação.

A superfície de resposta da Figura 6 representa o efeito das variáveis percentual de farinha de feijão e umidade na tendência à retrogradação. Nota-se que a formulação exerce contribuição inversamente proporcional ao setback, sendo a variável que contribuiu com maior significância. Assim, quanto maior o valor do percentual de farinha de feijão, menor os valores de tendência à retrogradação. Verifica-se ainda que teores mais elevados de umidade na mistura, combinados com baixo percentual de farinha de feijão, resultam em valores mais elevados para a tendência à retrogradação; tal fato pode ser comprovado através da observação da Tabela 1, que mostra os resultados da caracterização das massas alimentícias. O maior setback foi encontrado para o tratamento T<sub>5</sub> (2134,00cP), que foi processado a 70°C, com 40% de umidade e 20% de farinha de feijão preto sem casca, em sua formulação.

Sabe-se que, em tratamentos mais severos onde os valores de tendência à retrogradação são menores, ocorre maior degradação dos polímeros, com rompimento das estruturas moleculares e redução da capacidade de recristalização dos mesmos. Dessa forma, tendo em vista os resultados obtidos, pode-se dizer que as condições experimentais utilizadas no processamento das massas alimentícias à base de arroz e feijão preservaram a estrutura amilácea.

Tabela 7 – Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão e respectivas probabilidades (p) do modelo de regressão quadrática aplicada à tendência à retrogradação (cP) das massas alimentícias pré-cozidas de farinha mista de arroz e feijão.

Fator	Teste F	Coeficiente de Regressão	p
Intercepto	--	1120,5890	7,67E-07***
X <sub>1</sub>	1,32E+01	9,00E+01	1,50E-02*
X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	1,55E+01	-9,48E+01	1,10E-02**
X <sub>2</sub>	1,35E+00	-2,87E+01	2,98E-01 <sup>n.s.</sup>
X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	5,54E-01	-1,79E+01	4,90E-01 <sup>n.s.</sup>
X <sub>3</sub>	3,75E+02	-4,79E+02	6,77E-06***
X <sub>3</sub> <sup>2</sup>	7,43E+00	6,57E+01	4,15E-02*
X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	4,83E+00	-7,11E+01	7,93E-02 <sup>n.s.</sup>
X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	1,09E+01	-1,07E+02	2,14E-02*
X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	5,73E+00	7,74E+01	6,20E-02 <sup>n.s.</sup>
Falta de ajuste	4,22E+00	--	7,00E-02 <sup>n.s.</sup>
R <sup>2</sup>		0,944	

X<sub>1</sub>: Umidade (%); X<sub>2</sub>: Temperatura (°C); X<sub>3</sub>: Farinha de feijão (%) na mistura com arroz polido.

-- Não determinado.

p = Valor estatístico da probabilidade.

<sup>n.s.</sup> = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

\* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

\*\* = Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

\*\*\* = Significativo ao nível de 0,1% de probabilidade.

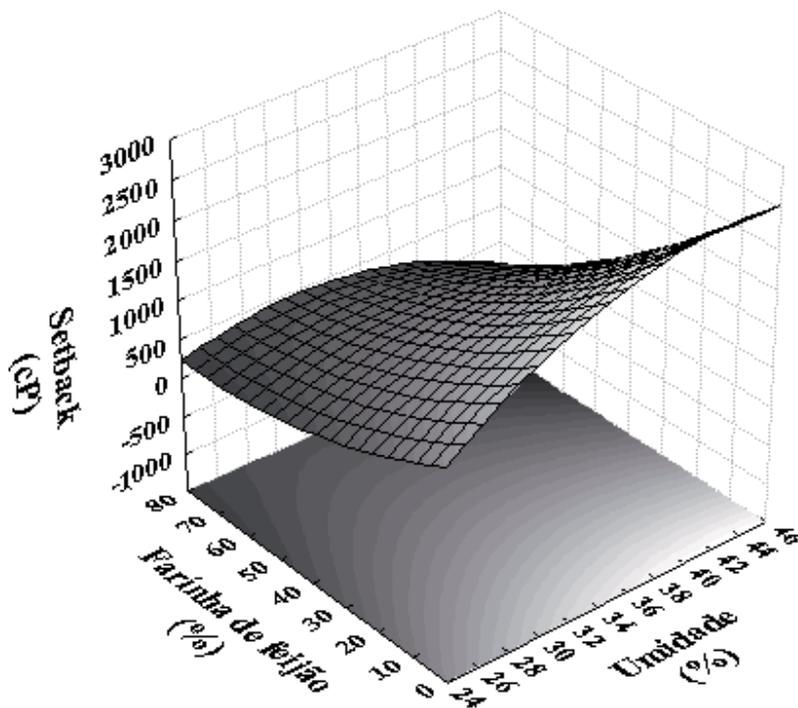


FIGURA 6 – Efeito das variáveis quantitativas farinha de feijão (%) e umidade (%) no setback (cP) das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão.

## CONCLUSÕES

Os resultados obtidos demonstraram que a utilização combinada de farinha de arroz polido e farinha de feijão preto sem casca, dentro das condições experimentais estudadas, permite desenvolver massas alimentícias pré-cozidas por extrusão termoplástica, com boas características tecnológicas e diferentes graus de cozimento e textura. Em geral, as massas alimentícias elaboradas com farinha mista de arroz e feijão nas proporções 93,64:6,36 e 80,00:20,00 foram as que apresentaram as melhores propriedades de pasta, quando comparadas com as massas comerciais de semolina de trigo e arroz polido, podendo ser recomendada a sua utilização por celíacos.

## AGRADECIMENTO

À Embrapa Agroindústria de Alimentos pelas instalações cedidas para a execução do trabalho experimental.

TEBA, C. S.; ASCHERI, J. L. R.; CARVALHO, C. W. P. Effect of extrusion parameters on the pasting properties of pre-cooked pasta rice and bean. *Alim. Nutr.*, v. 20, n. 3, p. 411-426, jul./set. 2009.

■**ABSTRACT:** A mixture of rice and beans, in appropriate proportions, provides high quality protein, because to the mutual complementation of aminoacids, contributing, therefore, to increase the nutritional quality of products made from these foods. The extrusion cooking process provides to the gelatinization of starch and denaturation of proteins, improving the technological and functional properties of products produced with this process. The aim of this study was to assess the effects of independent variables moisture, temperature and formulation on the pasting properties of pre-cooked pasta, gluten-free, made from mix flour of rice and bean. The central rotational experimental design was used to determine the effect of three levels of moisture (30, 35 and 40%), three levels of temperature in the area of high pressure (70, 80 and 90°C) and three levels of replacement of beans flour (20, 40 and 60%), resulting in 20 experiments. The results indicated that for the initial viscosity at 25°C, maximum viscosity at 95°C, breakdown, final viscosity at 25°C and setback, the percentage of bean flour had the greatest effect significant. However, for minimum viscosity, the extrusion temperature had negative effect of greater influence. In general, the pasta prepared with 6,36 and 20% of bean flour showed the best pasting properties as compared to commercial pastas with semolina wheat and rice.

■**KEYWORDS:** Gluten free pasta; Extrusion; Pasting properties; Rice; Bean.

## REFERÊNCIAS

1. ALONSO, R.; AGUIRRE, A.; MARZO, F. Effect of extrusion and traditional processing methods on antinutrients and in vitro digestibility of protein and starch in faba and kidney beans. *Food Chem.*, v. 68, p. 159-195, 2000.
2. ASCHERI, D. P. R. et al. Obtenção de farinhas mistas pré-gelatinizadas a partir de arroz e bagaço de jaboticaba: efeito das variáveis de extrusão nas propriedades de pasta. *B. CEPPA*, v. 24, n. 1, p. 115-144, 2006.
3. BECKER, A.; HILL, S. E.; MITCHELL, J. R. Milling – a further parameter affecting the rapid visco analyzer (rva) profile. *Cereal Chem.*, n. 78, p. 199-172, 2001.
4. BERRIOS, J. J. Extrusion cooking of legumes: dry bean flours. *Enc. Agric. Food Biol. Eng.*, v. 1, p. 1-8, 2006.
5. BHATTACHARYA, S.; SUDHA, M. L.; RAHIM, A. Pasting characteristics of an extruded blend of potato and wheat flours. *J. Food Eng.*, v. 40, p. 107-111, 1999.
6. BOBBIO, F. O.; BOBBIO, P. **Introdução à química de alimentos**. 3. ed. São Paulo: Varela, 2003. 238p.
7. BORGES, J. T. S. **Elaboração de macarrão pré-cozido à base de farinha integral de quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd) e farinha de arroz (*Oryza sativa*, L) utilizando o processo de extrusão termoplástica**. 2002. 115f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Instituto de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.
8. BOX, G. E. P.; BEHEKEN, D. W. Somenew three level designs for the study of quantitative variables. *Technometrics*, v. 2, n. 4, p. 455-475, 1960.
9. BOX, G. E. P.; HUNTER, W. G. **Statistics for experimenters: na introduction to design, data analysis and model building**. New York: John Wiley & Sons, 1978. 630p.
10. BOX, G. E. P.; WETZ, J. **Criteria for judging adequacy of estimation by approximate response function**. Wisconsin: University of Wisconsin, 1973. 95p. (Technical Report, n.9).
11. CARVALHO, R. V.; ASCHERI, J. L. R.; CAL-VIDAL, J. Efeito dos parâmetros de extrusão nas propriedades físicas de extrusados (3G) de misturas de farinhas de trigo, arroz e banana. *Ciênc. Agrotec.*, v. 26, n. 5, p.1006-1018, 2002.
12. COCHRAN, B. Y.; COX, G. M. **Experimental design**. 2<sup>nd</sup> ed. New York: John Wiley, 1964. 611p.
13. EL-DASH, A. A. Application and control of thermoplastic extrusion of cereals for food and industrial uses. In: POMERANZ, Y.; MUNICH, L. **Cereals: a renewable resource, theory and practice**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1981. cap.10, p. 165-216.

14. EL-DASH, A. A. **Termoplastic extrusion of food, theory and techniques**. Campinas: UNICAMP, 1982. 81p.
15. EL-DASH, A. A.; GONZALES, 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.
16. EL-SAIED, H. M. et al. Gelatinization, pasting characteristics and cooking behaviour of Egyptian rice varieties in relation to amylose and protein contents. **Starch/Stärke**, v. 31, n. 8, p. 270-274, 1979.
17. FELLOWS, P. J. **Food processing technology: principles and practice**. 2<sup>nd</sup> ed. Cambridge: Midway Technology, 2000. 608p.
18. FERNANDES, S. M. et al. Caracterização química de extratos hidrossolúveis desidratados de arroz e soja. **Pesqu. Agropec. Bras.**, v. 35, n. 4, p. 843-847, 2000.
19. GOMEZ, M. H.; AGUILERA, J. M. Changes in the starch fraction during extrusion cooking of corn. **J. Food Sci.**, v. 48, n. 2, p. 378-381, 1983.
20. GUTKOSKI, L. C. Extrusão de produtos de aveia. In: GUTKOSKI, L. C.; PEDÓ, I. **Aveia: composição química, valor nutricional e processamento**. São Paulo: Varela, 2000. p. 103-169.
21. GUY, R. C. E. **Extrusión de los alimentos: tecnología y aplicaciones**. Zaragoza: Acribia, 2002. 218p.
22. ILO, S.; LIU, Y.; BERGHOFER, E. Extrusion cooking of rice flour and amaranth blends. **Lebensm. Wiss. Technol.**, v. 32, n. 2, p. 79-88, 1999.
23. INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas**. 3. ed. São Paulo, 1985. v.1, 533p.
24. MAIA, L. H. **Características químicas e propriedades funcionais do mingau desidratado de arroz e soja e, propriedades reológicas e sensoriais deste mingau reconstituído**. 2000. 110f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Instituto de Tecnologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000.
25. MENDONÇA, X. M. F. D. **A extrusão termoplástica no desenvolvimento de produtos derivados de amaranto e arroz**. 2005. 182f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.
26. MENEGASSI, B. et al. Efeito de parâmetros de extrusão na cor e propriedades de pasta da farinha de mandioca-salsa (*Arracacia xanthorrhiza*). **Ciênc. Agrotec.**, v.31, n.6, p.1780-1792, 2007.
27. MERCIER, C.; CANTARELLI, C. **Pasta and extrusion cooked foods: some technological and nutritional aspects**. London: Elsevier Applied Science, 1986. p. 52-68.
28. MERCIER, C.; FEILLET, P. Modification of carbohydrate components by extrusion-cooking of cereal products. **Cereal Chem.**, v. 52, n. 3, p. 283-297, 1975.
29. OLIVEIRA, J. E. D.; VANNUCCHI, H. The protein requirement of Brazilian rural works studies with a rice and a bean a diet. In: RAND, W.M. **Protein-energy requirements of developing countries: results of international research**. Tokio: United University, 1983. p. 98-114.
30. RIBAS, A. I. et al. **Métodos experimentales en la ingeniería de los alimentos**. Zaragoza: Acribia, 2000. 292p.
31. RYU, G. H.; WALKER, C. E. The effects of extrusion conditions on the physical properties of wheat flour extrudates. **Starch**, v.47, n. 1, p. 33-36, 1993.
32. SCHIERI, R. Dietary patterns and their associations with obesity in the Brazilian city of Rio de Janeiro. **Obes. Res.**, v. 10, p. 42-49, 2002.
33. SCHIERI, R.; CASTRO, J. F. G.; MOURA, A. S. Fatores associados ao padrão de consumo alimentar da população brasileira urbana. **Cad. Saúde Pública**, v. 19, suppl. 1, p. 547-553, 2003.
34. SEBIO, L. **Efeito de alguns parâmetros operacionais de extrusão nas propriedades físico-químicas da farinha de inhame (*Dioscore spp.*)**. 1996. 100f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1996.
35. SHIMELIS, E. A.; RAKSHIT, S. K. Effect of processing on antinutrients and in vitro digestibility of kidney bean (*Phaseolus vulgaris*, L.) varieties grown in East Africa. **Food Chem.**, v. 103, p. 161-172, 2007.
36. SHUEY, W. C.; TIPPLES, K. H. **The amylograph handbook**. Saint. Paul: AACC, 1980. 37p.
37. SILVA, E. M. M. **Produção de macarrão pré-cozido à base de farinha mista de arroz integral e milho para celíacos utilizando o processo de extrusão**. 2007. 102f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Instituto de Tecnologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.
38. SILVA, V. L. M. **Efeito das variáveis de extrusão nas características físicas, químicas, sensoriais e nutricionais da farinha instantânea de misturas de quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd.) e arroz (*Oryza sativa*, L.)**. 2002. 175f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Instituto de Tecnologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.
39. SILVA, M.C. et al. Processamento de amido de milho em câmara de mistura. **Ciênc. Tecnol. Alim.**, v. 24, n. 2, p. 303-310, 2004.
40. SILVEIRA, E. T. F. et al. Farinha composta de resíduo do extrato de soja e de arroz em mistura com trigo para uso em panificação. **B. ITAL.**, v. 18, n. 4, p. 543-561, 1981.

41. SMITH, O. B. Why extrusion cooking? **Cereal Foods World**, v. 21, n. 1, p. 4-8, 1976.
42. SMITH, O. B. Technical aspects of extrusion. **Cereal Foods World**, v. 24, n. 4, p. 132-135, 1979.
43. TORRES, L. L. G. et al. Efeito da umidade e da temperatura no processamento de farinha de banana verde (*Musa acuminata*, grupo AAA) por extrusão termoplástica. **B. CEPPA**, v. 23, n. 2, p. 273-290, 2005.
44. VIEIRA, C. Leguminosas de grãos: importância na agricultura e na alimentação humana. **Inf. Agropec.**, v. 16, n. 174, p. 5-11, 1992.
45. VIJAYAGOPAL, K.; BALAGOPALAN, C.; MOORTHY, S. N. Gelatinization and liquefaction of Cassava flour; effect of temperature, substrate and enzyme concentrations. **Starch/Stärke**, v. 40, n. 8, p. 300-302, 1988.