

## PROPRIEDADES VISCOAMILOGRÁFICAS DE MISTURAS EXTRUSADAS DE POLVILHO AZEDO E FARELO DE MANDIOCA

Viscoamylography properties of extruded mixes of sour cassava starch and cassava bagasse

Karina Fernandes de CAMARGO<sup>1</sup>

Magali LEONEL<sup>2</sup>

Martha Maria MISCHAN<sup>3</sup>

### RESUMO

Neste trabalho analisou-se a influência da temperatura de extrusão (39,5 a 90,5°C), umidade (12,5 a 19,5%) e teor de fibras (0 a 8%) sobre as propriedades de pasta de misturas de polvilho azedo e farelo de mandioca. O processamento foi realizado em um extrusor mono rosca (IMBRA RX) e foi utilizado o delineamento central composto rotacional para avaliar o efeito das variáveis independentes. Os resultados mostraram que a temperatura de extrusão, seguida pela umidade das misturas e porcentagem de fibras exerceram influência significativa sobre as propriedades de pasta das misturas, ocorrendo aumento da viscosidade inicial e diminuição do pico, da viscosidade final e da tendência a retrogradação. As condições intermediárias dos parâmetros extrusados promoveram a obtenção de uma mistura com características desejáveis em produtos instantâneos com considerável teor de fibras.

**Palavras-chave:** Amido, viscosidade, extrusão, fibras

### SUMMARY

In this work it was analyzed influence of the barrel extrusion temperature (39,5 to 90,5 °C), humidity (12,5 to 19.5 %) and fiber content (0 to 8 %) on the viscoamylography properties of mixtures of sour starch and cassava bagasse. The processing was carried through in a single screw extruder (IMBRA RX). It was used the central composite design to evaluate the effect of the independent variables on viscosity characteristics. The results showed that the extrusion temperature followed for the humidity of the mixes and fibre percentage had significant influence on the mixtures viscosity properties, occurring to increase of initial viscosity and reduction of the peak, final viscosity and the retrogradation. In the intermediate conditions of the extrusion parameters it was possible to obtain mixtures with desirable characteristics for use in instantaneous products with considerable fiber content.

**Keywords:** starch, viscosity, extrusion, fiber

<sup>1</sup> Nutrição- Instituto de Biociências, UNESP, Botucatu-SP.

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

<sup>3</sup> Departamento de Bioestatística, Instituto de Biociências, UNESP, Botucatu-SP.

## 1. INTRODUÇÃO

A mandioca é uma cultura plantada em mais de 90 países, alimentando cerca de 500 milhões de pessoas em todo o mundo. O Brasil é segundo maior produtor mundial de mandioca, com cerca de 24 milhões de toneladas anuais, colocando esta cultura entre as principais explorações agrícolas do país.

A agroindustrialização da mandioca vem crescendo largamente nos últimos anos, o que vem causando mudanças significativas nos processos de obtenção de seus principais produtos: fécula, farinha e polvilho azedo. Uma mudança benéfica é o interesse dos empresários do setor no aproveitamento dos resíduos gerados nos processos.

O polvilho azedo é um produto típico do Brasil que se obtém da fermentação natural da fécula de mandioca durante o período de 30 a 40 dias, seguida de secagem ao sol (PLATA-OVIEDO & CAMARGO, 1995). Durante o processo de produção é gerado um resíduo sólido denominado farelo, massa ou bagaço que consiste das fibras retidas nas peneiras, durante a purificação do polvilho.

Gerado na etapa de separação da fécula, o farelo de mandioca é composto pela fécula que não foi extraída no processamento e as fibras, apresentando um elevado grau de umidade, cerca de 85%. O balanço de massa em uma fecularia brasileira que processa em torno de 200 toneladas de raízes / dia é de 51 toneladas fécula e 18 toneladas de farelo úmido (cerca de 85% de umidade) por dia (LEONEL, 2001).

Frente aos benefícios de uma dieta com alto teor de fibra tem ocorrido um aumento na inclusão destas nos mais diversos produtos alimentícios, o que justifica o interesse dos empresários que processam mandioca em tecnologias que propiciem a produção de

produtos que permitam a inclusão do farelo residual como co-produto em suas indústrias.

Uma possibilidade de incremento na agroindustrialização da mandioca seria o uso de seus derivados como matérias-primas para produtos extrusados. O cozimento por extrusão ocorre sob altas temperaturas em curto tempo e é usado na indústria de alimentos para produzir produtos expandidos assim como *snacks*, cereais matinais, produtos instantâneos e rações. A energia térmica gerada da dissipação da viscosidade durante a extrusão, combinada com o efeito da umidade, cozinha rapidamente a mistura, tanto que as propriedades físico-químicas e reológicas do material são modificadas (THIMY et al., 2004).

Na tentativa de otimizar o processo de extrusão, muitos pesquisadores costumam controlar uma ou mais variáveis dependendo dos parâmetros estruturais ligados à matéria-prima, que são responsáveis pela extensão da quebra estrutural do material, do qual depende o comportamento de solubilidade e viscosidade, que determinam o tipo de aplicação do produto extrusado (CHANG et al., 2001).

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 devido às modificações estruturais da molécula de amido e, também, à tendência a retrogradação durante o resfriamento. Estas características determinam as propriedades funcionais das matérias-primas amiláceas e suas diversas aplicações industriais.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito das condições operacionais do processo de extrusão sobre as propriedades de pasta de misturas de polvilho azedo e farelo de mandioca.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### Matérias-primas

Foram utilizados como matérias-primas o polvilho azedo e o farelo de mandioca, doados por empresas processadoras de mandioca, em misturas com diferentes proporções de cada material.

### Condicionamento das amostras

As amostras foram condicionadas para a obtenção de diferentes teores de fibras na mistura polvilho azedo e farelo de mandioca. Analisou-se a média percentual de fibra encontrada no polvilho azedo e no farelo de mandioca: 0,4 % e 10 % respectivamente (AOAC, 1980). Foram preparados 20 tratamentos com 800 g, compostos pela mistura das duas matérias-primas de forma a ficarem com as porcentagens de fibras descritas no delineamento experimental.

As amostras das misturas após o ajuste do teor de fibras foram condicionadas para os diferentes níveis de umidade a serem testados em batedeira planetária. O condicionamento foi realizado com água destilada adicionada lentamente com pipeta. A quantidade de água adicionada às amostras foi calculada pela equação:

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

Onde: Y = quantidade de água a ser adicionada (mL)

$U_f$  = umidade final da amostra

$U_i$  = umidade inicial da amostra

$P_a$  = peso da amostra (g)

### Processo de extrusão

A extrusão foi efetuada em uma linha completa de extrusão IMBRA RX da Imbramaq S/A com motor de 10HP acoplado a redutor de velocidade, sistema de extrusão através de

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 45Kg/h. Os parâmetros de processamento foram divididos em parâmetros variáveis e fixos.

### Parâmetros Variáveis

- Temperatura de extrusão; umidade da matéria-prima; porcentagem de fibra total na mistura de polvilho azedo e farelo de mandioca

### Parâmetros Fixos

- Taxa de compressão da rosca (4,5mm profundidade e 14mm de largura); taxa de alimentação: 200g/min; abertura da matriz: 3mm; temperatura na 1<sup>a</sup> zona e 2<sup>a</sup> zona: 20°C e 40°C respectivamente; rotação da rosca: 272 rpm

### Propriedades de pasta

Para a avaliação das propriedades viscoamilográficas do polvilho azedo, do farelo de mandioca e dos produtos extrusados foi utilizado o Rapid Visco Analyser (RVA), série 4, da Newport Scientific. A 2,5g de amostra adicionou-se 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. Devido à formação de grumos nas amostras extrusadas, adicionou-se 1g de etanol.

As programações utilizadas para o farelo de mandioca (*Flour method*), polvilho azedo (*Starch method*) e produtos extrusados (*Extrusion 2*) estão apresentadas na Tabela 1. A viscosidade foi expressa nas unidades do aparelho, ou seja, *Rapid Visco Units* (RVU) (NEWPORT SCIENTIFIC, 1998).

**Tabela 1.** Programações do software *Termocline for Windows*, versão 2.2 do *Rapid Visco Analyser*.

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

### Delineamento experimental

Para analisar o efeito combinado das variáveis independentes nas características tecnológicas dos extrusados, utilizou-se o delineamento 'central composto rotacional' para três fatores, com um total de 15 tratamentos (COCHRAN & COX, 1957), a saber (Tabela 2):

- 8 tratamentos correspondentes ao fatorial  $2^3$ , onde os três fatores são:

T = temperatura (°C), U = umidade (%),  
F = % de fibras

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 experimentos foram conduzidos num delineamento fatorial  $3^3$  incompleto, com três fatores ou variáveis independentes, e três níveis codificados.

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%.

**Tabela 2.** Níveis dos fatores temperatura (T), umidade (U) e porcentagem de fibras na mistura (F) e os correspondentes níveis codificados (X)

| X      | $-\alpha = -1,682$ | -1 | 0  | 1  | $\alpha = 1,682$ |
|--------|--------------------|----|----|----|------------------|
| T (°C) | 39,4               | 50 | 65 | 80 | 90,4             |
| U (%)  | 12,5               | 14 | 16 | 18 | 19,5             |
| F (%)  | 0,5                | 2  | 4  | 6  | 7,5              |

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A viscosidade de pasta do amido, avaliada em viscoamilógrafo, parece ser determinada por dois fatores: o grau de inchamento dos grânulos e a resistência desses à dissolução pelo calor ou a fragmentação pela agitação mecânica (FRANCO et al., 2001).

As propriedades de pasta dos extrusados assumem grande importância quando as misturas secas pré-gelatinizadas por extrusão são utilizadas em alimentos para espessamento.

A viscosidade inicial do polvilho azedo foi próxima de zero mostrando a ausência de amido gelatinizado no produto (Figura 1, Tabela 3). Os valores de pico de viscosidade (PV), quebra de viscosidade (QV) e tendência a retrogradação diferiram dos observados por Leonel et al (2002) para fécula de mandioca que foram de: PV de 247,8 RVU, QV de 153,1 RVU, VF de 169,6 RVU, TR de 74,9 RVU. Já a temperatura de pasta observada (67,95°C) foi próxima à temperatura de pasta da fécula, 66,7 °C.

Resultados comparativos das propriedades físico-químicas e funcionais de duas féculas fermentadas de mandioca (polvilho azedo), mostram que os menores valores de viscosidade intrínseca apresentados pelos polvilhos azedos analisados, quando comparados

com o valor de viscosidade intrínseca da fécula nativa industrial, indicam uma degradação parcial do grânulo de fécula durante a fermentação. Outro ponto a ser observado é a presença de ácidos orgânicos no produto, o que interfere no processo de formação de gel de amido (PLATA-OVIEDO & CAMARGO, 1995).

O perfil de viscosidade do farelo de mandioca mostrou curva com pico de formato agudo, característica de grânulos que apresentam homogeneidade estrutural, e, em seguida, antes mesmo de atingir 95 °C, uma queda acentuada de viscosidade, revelando baixa estabilidade da pasta a quente frente à agitação (Figura 2, Tabela 3). Entretanto, se comparada com a obtida para o polvilho azedo a quebra de viscosidade foi inferior no farelo de mandioca. O farelo de mandioca também apresentou elevada tendência à retrogradação, superior à observada para o polvilho azedo e a observada para fécula de mandioca (LEONEL et al., 2002). A temperatura de pasta foi de 69,60 °C, próxima às observadas nos produtos de mandioca (polvilho azedo e fécula). Este perfil diferenciado se deve principalmente a presença de elevadas quantidades de fibras.

**Tabela 3.** Propriedades de pasta do polvilho azedo e farelo de mandioca.

| Produtos              | Viscosidade (RVU) |        |        |                           | Temperatura de Pasta (°C) |
|-----------------------|-------------------|--------|--------|---------------------------|---------------------------|
|                       | Pico              | Quebra | Final  | Tendência a retrogradação |                           |
| <b>Polvilho azedo</b> | 343,92            | 286,58 | 77,83  | 20,50                     | 67,95                     |
| <b>Farelo</b>         | 345,42            | 172,25 | 310,17 | 137,00                    | 69,60                     |

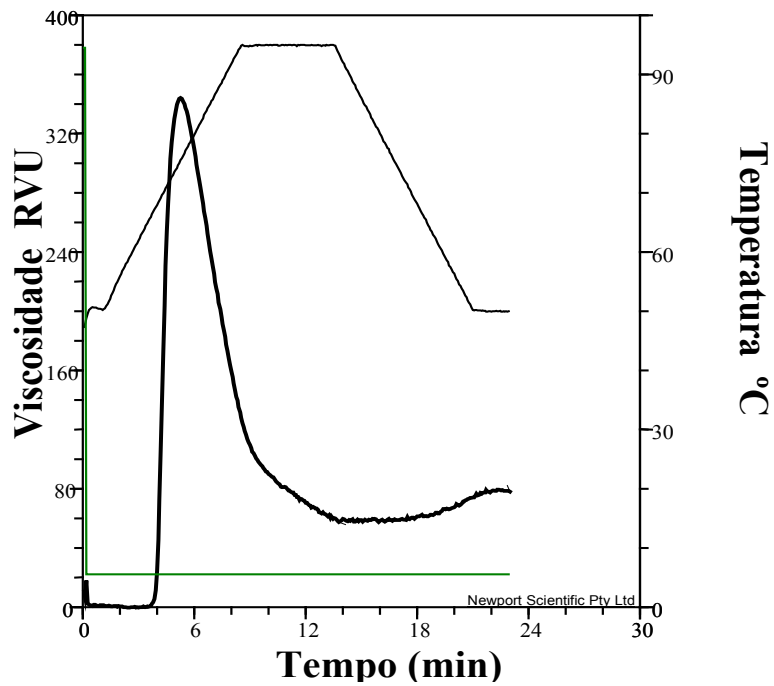


Figura 1. Perfil da curva de viscosidade do polvilho azedo.

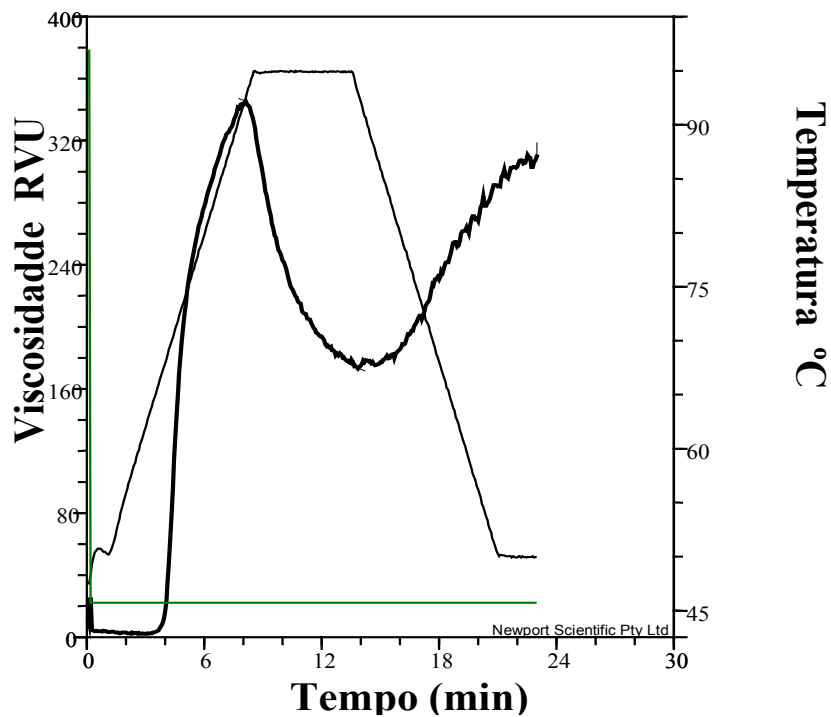


Figura 2. Perfil da curva de viscosidade do farelo de mandioca.

Dependendo das condições do processo de extrusão, o tratamento térmico pode destruir a estrutura cristalina do amido, de tal forma que, no ciclo de aquecimento, o viscoamilograma apresenta ausência de pico ou valores muito baixos de viscosidade (CARVALHO et al., 2002).

A viscosidade inicial ou viscosidade de pasta a frio indica a capacidade do produto amiláceo em absorver água a temperatura ambiente e formar pasta, gel ou líquido viscoso (FRANCO et al., 2001).

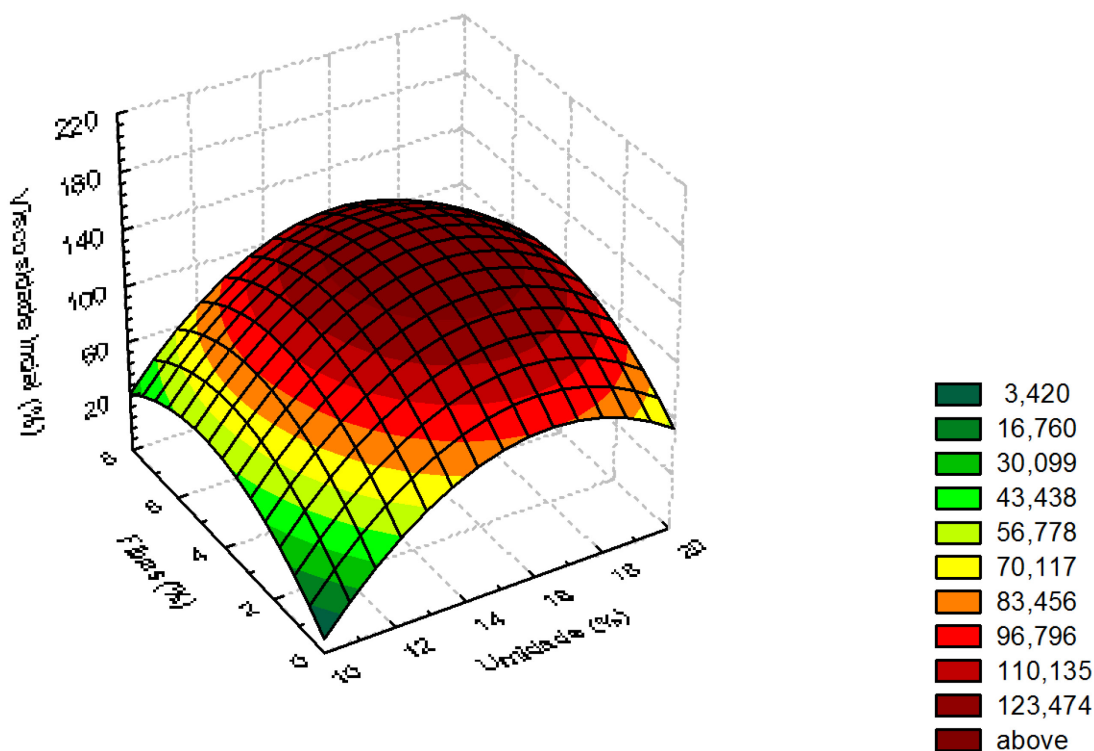
As viscosidades iniciais das misturas de polvilho azedo e farelo de mandioca após a extrusão variaram de 24 RVU a 240,08 RVU. A análise dos coeficientes de regressão mostrou efeito significativo da umidade e da porcentagem de fibras sobre este parâmetro. O coeficiente de determinação foi de 77,57 % (Tabela 4).

As maiores viscosidades iniciais foram obtidas nas condições de elevada umidade e condição intermediária de porcentagem de fibras, mantendo-se a temperatura no ponto central (65 °C) (Figura 3). O efeito da umidade na viscosidade inicial pode ser explicado pela lubrificação que o alto teor de água provoca na rosca do extrusor evitando, assim, maior ocorrência de degradação mecânica dos grânulos de amido, com conseqüente maior VI (SEBIO, 1996).

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.

**Tabela 4.** Coeficientes de regressão estimados e ANOVA para a viscosidade inicial (VI) das misturas de polvilho azedo e farelo de mandioca extrusadas.

|                | Coeficientes de regressão | Erro padrão | GL      | P valor |        |
|----------------|---------------------------|-------------|---------|---------|--------|
| Média          | -2411,33                  | 785,34      |         |         |        |
| T              | 20,2084                   | 9,79        | 1       |         | 0,0659 |
| U              | 202,5440                  | 70,24       | 1       |         | 0,0163 |
| F              | 128,0063                  | 64,90       | 1       |         | 0,0768 |
| TxT            | -0,0958                   | 0,047       | 1       |         | 0,0700 |
| UxU            | -4,1167                   | 1,93        | 1       |         | 0,0590 |
| FxF            | -8,7964                   | 1,93        | 1       |         | 0,0011 |
| TxU            | -0,6232                   | 0,46        | 1       |         | 0,2057 |
| TXF            | 0,7948                    | 0,46        | 1       |         | 0,1150 |
| UXF            | -6,6950                   | 3,45        | 1       |         | 0,0813 |
| R <sup>2</sup> | 0,7757                    |             |         |         |        |
| ANOVA          |                           |             |         |         |        |
|                | GL                        | SQ          | QM      | F valor | Pr>F   |
| Regressão      | 9                         | 52777,60    | 5864,18 | 3,84    | 0,0237 |
| Resíduos       | 10                        | 15265,47    | 1526,55 |         |        |
| Total          | 19                        | 68043,07    |         |         |        |



**Figura 3.** Efeito da umidade das misturas e porcentagem de fibras sobre a viscosidade inicial, com a temperatura no ponto central (65°C).

O pico de viscosidade se refere à viscosidade máxima obtida após o início do aquecimento e antes do início do resfriamento da suspensão no viscoamílografo. 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 presença de amido não gelatinizado ou parcialmente gelatinizado (GUHA et al., 1998).

Os valores de pico de viscosidade das misturas extrusadas de polvilho azedo e farelo de mandioca variaram de 44 a 258,42 RVU. A análise dos coeficientes de regressão mostrou ter ocorrido efeito significativo dos três fatores: temperatura, umidade e porcentagem de fibras, sobre o pico de viscosidade. O coeficiente de

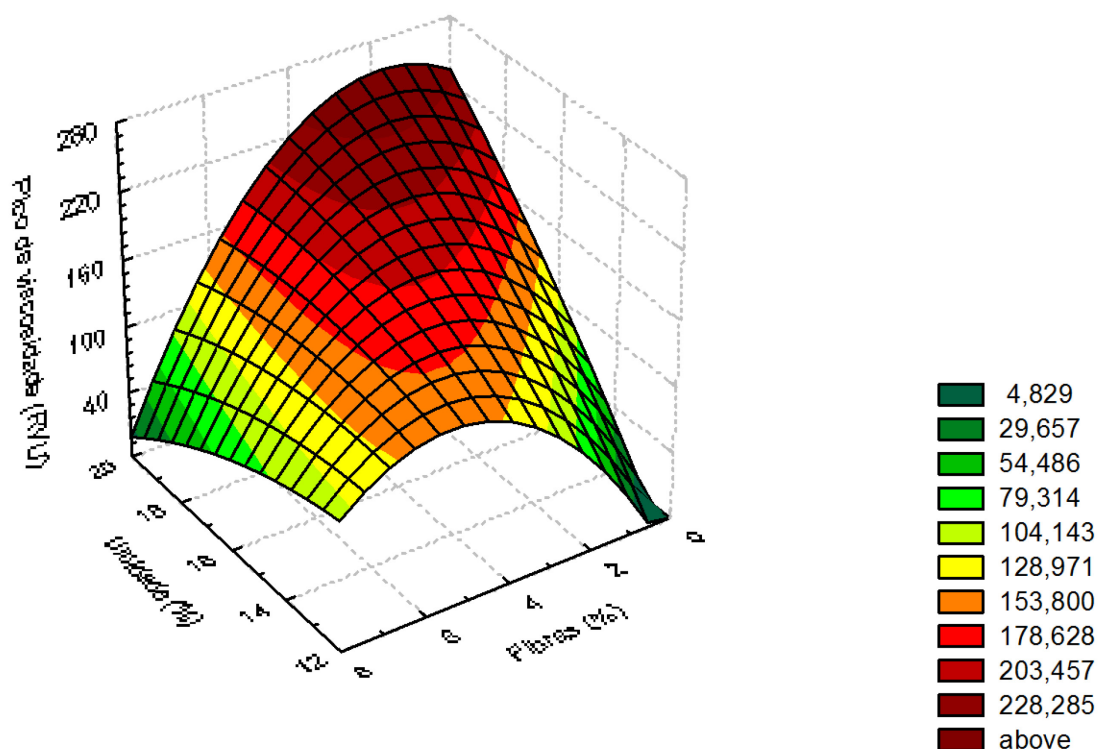
determinação foi de 81,33 % (Tabela 5).

Com a temperatura em 65 °C, os maiores valores de pico de viscosidade foram observados nas condições de elevada umidade e baixa porcentagem de fibras (Figura 4). Mantendo-se o teor de fibras em 4 %, os maiores picos de viscosidade foram observados nas condições de elevada umidade e baixa temperatura. Os menores picos de viscosidade ocorreram nas condições de baixa temperatura e umidade (Figura 5).

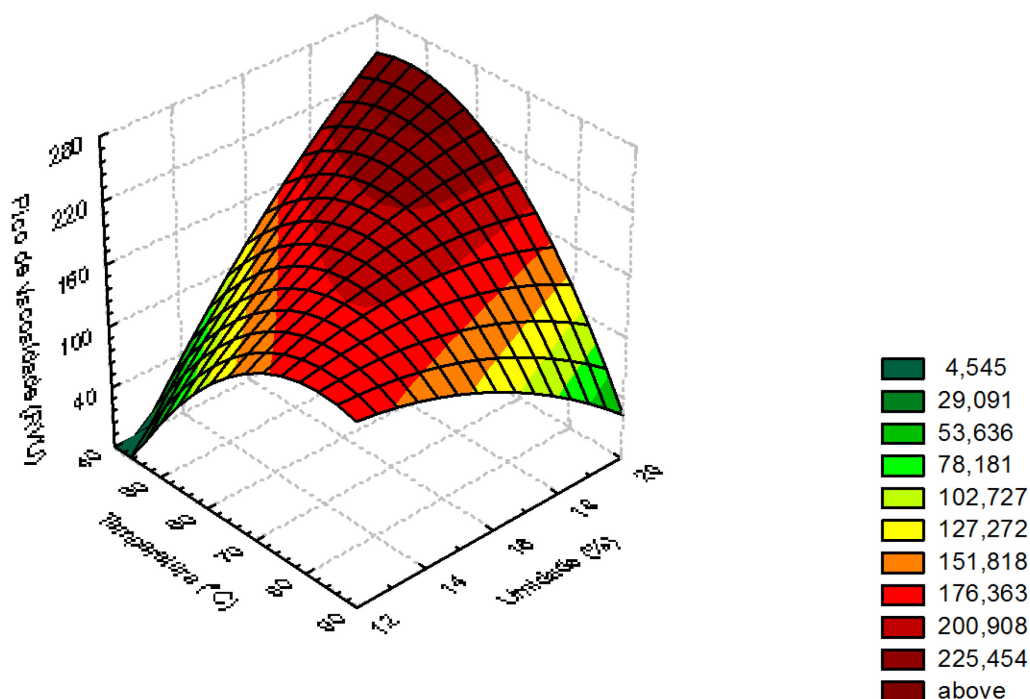


**Tabela 5.** Coeficientes de regressão estimados e ANOVA para o pico de viscosidade (PV) das misturas de polvilho azedo e farelo de mandioca extrusadas.

|                | Coeficientes de regressão | Erro padrão | GL      | P valor |        |
|----------------|---------------------------|-------------|---------|---------|--------|
| Média          | -2872,64                  | 817,87      |         |         |        |
| T              | 34,6190                   | 10,1962     | 1       | 0,0068  |        |
| U              | 201,3569                  | 73,1541     | 1       | 0,0204  |        |
| F              | 116,2905                  | 67,5859     | 1       | 0,1161  |        |
| TxT            | -0,1406                   | 0,0492      | 1       | 0,0170  |        |
| UxU            | -2,3431                   | 2,01245     | 1       | 0,2713  |        |
| FxF            | -7,6843                   | 2,0124      | 1       | 0,0034  |        |
| TxU            | -1,2555                   | 0,4795      | 1       | 0,0257  |        |
| TXF            | 1,0396                    | 0,4795      | 1       | 0,0554  |        |
| UXF            | -7,9012                   | 3,5965      | 1       | 0,0527  |        |
| R <sup>2</sup> | 0,8133                    |             |         |         |        |
| ANOVA          |                           |             |         |         |        |
|                | GL                        | SQ          | QM      | F valor | Pr>F   |
| Regressão      | 9                         | 72125,39    | 8013,93 | 4,84    | 0,0108 |
| Resíduos       | 10                        | 16556,28    | 1655,63 |         |        |
| Total          | 19                        | 88681,67    |         |         |        |



**Figura 4.** Efeito da umidade das misturas e porcentagem de fibras sobre o pico de viscosidade, com a temperatura no ponto central (65°C).



**Figura 5.** Efeito da temperatura de extrusão e umidade das misturas sobre o pico de viscosidade, com a porcentagem de fibras em 4%.

A quebra de viscosidade permite avaliar a estabilidade do produto em altas temperaturas, sob agitação mecânica, e está diretamente relacionada com o pico de viscosidade.

Os valores de quebra de viscosidade variaram de 42,25 a 252,92 RVU evidenciando o efeito das condições operacionais sobre este parâmetro. O modelo de regressão adotado para a quebra de viscosidade dos extrusados foi significativo. O coeficiente de determinação foi de 81,65 %, mostrando bom ajuste do modelo aos dados. Observou-se o efeito significativo dos três fatores do modelo: temperatura, umidade e fibra (Tabela 6).

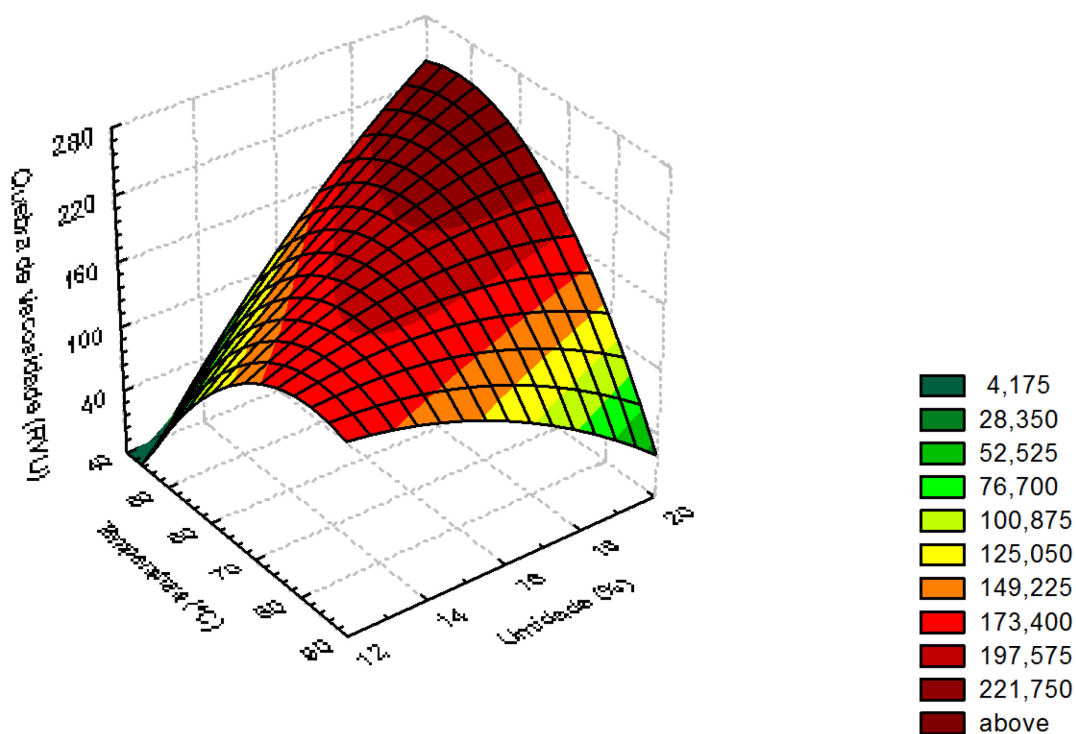
Com o teor de fibras na condição central (4 %) observou-se que a quebra de viscosidade aumenta com o aumento da temperatura e umidade até a faixa de temperatura de empastamento do amido de mandioca (52 – 65

°C)<sup>[8]</sup>, e decresce significativamente com o aumento destes parâmetros (Figura 6). As condições de temperatura mais elevada e baixa porcentagem de fibras a quebra de viscosidade foi maior, contudo, nas condições extremas desses parâmetros a QV é baixa (Figura 7).

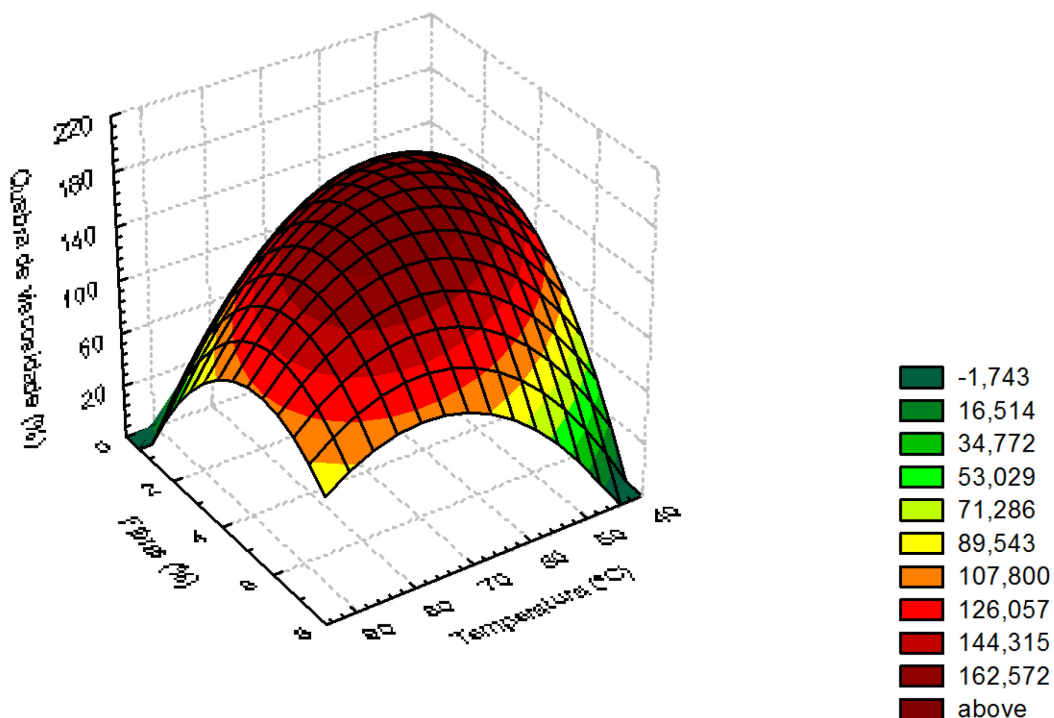
Resultados de pesquisa com a extrusão de misturas de farinha de batata e de trigo, onde a temperatura foi mantida a 160 °C e a rotação de rosca variou de 200 a 400 rpm, mostraram os menores valores de QV em baixa umidade (15,5 %), e a elevação desse teor para 20,7 % proporcionou aumento significativo nos valores de QV. Segundo os autores, os elevados teores de umidade na matéria-prima poderiam estar agindo como lubrificantes, reduzindo a viscosidade de fusão durante a extrusão e elevando os valores de QV (BHATTACHARYA et al., 1999).

**Tabela 6.** Coeficientes de regressão estimados e ANOVA para a quebra de viscosidade (QV) das misturas de polvilho azedo e farelo de mandioca extrusadas.

|                | Coeficientes de regressão | Erro padrão | GL      | P valor |      |
|----------------|---------------------------|-------------|---------|---------|------|
| Média          | -2874,05                  | 804,48      |         |         |      |
| T              | 34,9408                   | 10,0293     | 1       | 0,0059  |      |
| U              | 201,5708                  | 71,9566     | 1       | 0,0188  |      |
| F              | 111,9293                  | 66,4796     | 1       | 0,1232  |      |
| TxT            | -0,1442                   | 0,0484      | 1       | 0,0138  |      |
| UxU            | -2,3751                   | 1,9795      | 1       | 0,2579  |      |
| FxF            | -7,5473                   | 1,9795      | 1       | 0,0034  |      |
| TxU            | -1,2565                   | 0,4717      | 1       | 0,0237  |      |
| TXF            | 1,0704                    | 0,4717      | 1       | 0,0466  |      |
| UXF            | -7,8309                   | 3,5376      | 1       | 0,0512  |      |
| R <sup>2</sup> | 0,8165                    |             |         |         |      |
| ANOVA          |                           |             |         |         |      |
|                | GL                        | SQ          | QM      | F valor | Pr>F |
| Regressão      | 9                         | 71265,77    | 7918,42 | 4,94    | 0,01 |
| Resíduos       | 10                        | 16018,68    | 1601,87 |         |      |
| Total          | 19                        | 87284,45    |         |         |      |



**Figura 6.** Efeito da temperatura de extrusão e umidade das misturas sobre a quebra de viscosidade, com a porcentagem de fibras em 4%.



**Figura 7.** Efeito da temperatura e da porcentagem de fibras sobre a quebra de viscosidade, com a umidade em 16%.

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 (EL-DASCH, 1982).

O modelo de regressão adotado para a viscosidade final foi significativo ( $p=0,05$ ). O coeficiente de determinação foi de 73,11 %. Não ocorreu efeito significativo dos fatores: temperatura, umidade e porcentagem de fibras sobre a viscosidade final dos produtos (Tabela 7).

A viscosidade final dos produtos extrusados variou de 7,17 a 23,17 RVU, sendo que o maior valor foi obtido no maior teor de umidade testado (20 %), com a temperatura a 65 °C e o teor de fibras na mistura em 4 %.

A retrogradação é a tendência das moléculas de recrystalizarem, sendo que em tratamentos térmicos severos ocorre uma maior degradação dos polímeros reduzindo a capacidade de recrystalização. A tendência a retrogradação permite avaliar o comportamento do amido durante a fase de resfriamento.

O modelo de regressão adotado para a tendência a retrogradação dos produtos extrusados não foi significativo. Dentre os fatores que compõem o modelo, a temperatura de extrusão teve efeito significativo sobre esta propriedade de pasta. O coeficiente de determinação foi de 71,9 % (Tabela 8).

**Tabela 7.** Coeficientes de regressão estimados e ANOVA para a viscosidade final (VF) das misturas de polvilho azedo e farelo de mandioca extrusadas.

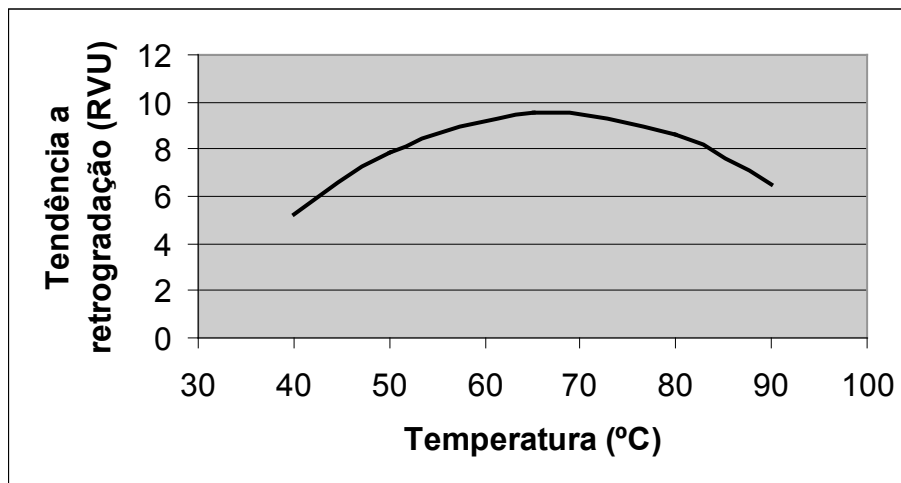
|                | Coeficientes de regressão | Erro padrão | GL    | P valor |        |
|----------------|---------------------------|-------------|-------|---------|--------|
| Média          | -57,8936                  | 58,5176     |       |         |        |
| T              | 0,9524                    | 0,7295      | 1     |         | 0,2209 |
| U              | 2,04028                   | 5,2341      | 1     |         | 0,7049 |
| F              | 4,8411                    | 4,8357      | 1     |         | 0,6404 |
| TxT            | -0,0038                   | 0,0035      | 1     |         | 0,3080 |
| UxU            | 0,01327                   | 0,1440      | 1     |         | 0,9284 |
| FxF            | -0,1848                   | 0,1440      | 1     |         | 0,2282 |
| TxU            | -0,1525                   | 0,03403     | 1     |         | 0,6662 |
| TXF            | -0,03883                  | 0,03430     | 1     |         | 0,2841 |
| UXF            | 0,000                     | 0,2573      | 1     |         | 1,00   |
| R <sup>2</sup> | 0,7311                    |             |       |         |        |
| ANOVA          |                           |             |       |         |        |
|                | GL                        | SQ          | QM    | F valor | Pr>F   |
| Regressão      | 9                         | 230,44      | 25,60 | 3,02    | 0,05   |
| Resíduos       | 10                        | 84,76       | 8,48  |         |        |
| Total          | 19                        | 315,19      |       |         |        |

**Tabela 8.** Coeficientes de regressão estimados e ANOVA para a tendência a retrogradação (TR) das misturas de polvilho azedo e farelo de mandioca extrusadas.

|                | Coeficientes de regressão | Erro padrão | GL    | P valor |        |
|----------------|---------------------------|-------------|-------|---------|--------|
| Média          | -39,0520                  | 42,1998     |       |         |        |
| T              | 1,086                     | 0,5261      | 1     |         | 0,0659 |
| U              | 0,4947                    | 3,7746      | 1     |         | 0,8983 |
| F              | 0,0400                    | 3,4872      | 1     |         | 0,9911 |
| TxT            | -0,0059                   | 0,0025      | 1     |         | 0,0412 |
| UxU            | 0,0363                    | 0,1038      | 1     |         | 0,7342 |
| FxF            | 0,0072                    | 0,1038      | 1     |         | 0,9461 |
| TxU            | -0,0163                   | 0,0247      | 1     |         | 0,5251 |
| TXF            | -0,0080                   | 0,0247      | 1     |         | 0,7543 |
| UXF            | 0,0703                    | 0,1856      | 1     |         | 0,7127 |
| R <sup>2</sup> | 0,7190                    |             |       |         |        |
| ANOVA          |                           |             |       |         |        |
|                | GL                        | SQ          | QM    | F valor | Pr>F   |
| Regressão      | 9                         | 112,77      | 12,53 | 2,84    | 0,0596 |
| Resíduos       | 10                        | 44,08       | 4,41  |         |        |
| Total          | 19                        | 156,85      |       |         |        |

Os resultados obtidos para a tendência a retrogradação dos produtos extrusados variaram de 5,17 a 15,84 RVU. Com a elevação da temperatura após a faixa de temperatura de empastamento do amido de mandioca, ocorreu um decréscimo da tendência a retrogradação, confirmando a degradação mais acentuada da

fração amilácea da mistura de polvilho azedo e farelo de mandioca, nos tratamentos com temperatura mais elevada (Figura 8). De modo geral, baixas umidades da matéria-prima e altas temperaturas de extrusão resultam em extrusados caracterizados por baixos graus de retrogradação (GUTKOSKI et al., 1999).



**Figura 8.** Efeito da temperatura de extrusão sobre a tendência a retrogradação dos extrusados, com a umidade (16%) e o teor de fibras (4%) no ponto central.

#### 4. CONCLUSÕES

As condições operacionais do processo de extrusão afetaram as propriedades de pastas das misturas de polvilho azedo e farelo de mandioca. Dentre os parâmetros estudados a temperatura de extrusão exerceu efeito mais pronunciado sobre as propriedades estudadas, seguida pela umidade e porcentagem de fibras.

O processo de extrusão proporcionou o aumento significativo da viscosidade inicial das misturas e a redução do pico, viscosidade final e tendência a retrogradação.

As misturas obtidas nas condições intermediárias dos três parâmetros de processo estudados apresentaram características desejáveis para produtos instantâneos com considerável teor de fibras.

#### 5. REFERÊNCIAS

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**. 13 ed. Washington, 1980. 109p.

BHATTACHARYA, S.; SUDHA, M. L.; RAHIM, A. Pasting characteristics of an extruded blend of potato and wheat flours. **Journal of Food Engineering**, v. 40, p. 107-111, 1999.

CARVALHO, R. V.; ASCHERI, J. L. R.; CALVIDAL, 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.

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

COCHRAN, W. G.; COX, G. M. **Experimental Designs**. 2nd.ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1957, 611p.

EL-DASH, A. A. Application and control of thermoplastic extrusion of cereals for food and industrial uses. In: POMERANZ, Y.; MUNCH, L.

**Cereals a renewable resource:** theory and practice. St. Paul: AACC, 1982. cap. 10, p. 165-216.

FRANCO, C. M. L.; DAIUTO, E. R.; DEMIATE, I. M.; CARVALHO, L. J. C. B.; LEONEL, M.; CEREDA, M. P.; VILPOUX, O. F.; SARMENTO, S. B. S. **Propriedades gerais do amido.** São Paulo: Fundação Cargill, 2001. v. 1, 224p. (Cultura de Tuberosas Amiláceas Latino americanas).

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 and Technology**, v. 33, 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, p. 315-325, 1999.

LEONEL, M. O farelo, subproduto da extração de fécula de mandioca. In: CEREDA, M. P. L. **Manejo, uso e tratamento de subprodutos da industrialização da mandioca**, v. IV. São Paulo. Ed. Fundação Cargill, 2001. Cap. 15, p. 213-214.  
LEONEL, M.; SARMENTO, S. B. S.; CEREDA, M. P. Processamento de araruta (*Maranta*

*arundinacea*) para extração e caracterização da fração amilácea. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 5, p. 151-155, 2002.

NEWPORT SCIENTIFIC. **Applications manual for the Rapid Visco Analyser.** Warriewood, 1998. 123p.

PLATA-OVIEDO, M.; CAMARGO, C. R. O. Determinação de propriedades físico-químicas e funcionais de duas féculas fermentadas de mandioca (polvilho azedo). **Ciência Tecnologia dos alimentos**, v. 15, n. 1, p. 59-65, 1995.

SEBIO, L. **Efeito de alguns Parâmetros Operacionais de Extrusão nas Propriedades Físico-químicas da farinha de inhame (*Dioscorea rotundata*).** Campinas, 1996. 106p. Dissertação (Mestrado)- Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.

THIMY, S.; KROKIDA, M. K.; PAPPA, A.; MAROULINS, Z. B. Structural properties of extruded corn starch. **Journal of food engineering**, v. 68, p. 519-526, 2005.