

49365

MFN34597

**RAQUEL VIEIRA DE CARVALHO**

**FORMULAÇÕES DE SNACKS DE TERCEIRA GERAÇÃO POR  
EXTRUSÃO: CARACTERIZAÇÃO TEXTUROMÉTRICA E  
MICROESTRUTURAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Ciência dos Alimentos, área de concentração em Ciência e Engenharia de Alimentos, para a obtenção do título de "Mestre".

Orientador

Prof. Dr. Eng. José Cal-Vidal

LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2000

BIBLIOTECA CENTRAL

UFLA  
N.º CLAS. T.664.6

PAR

49365  
N.º REGISTRO

DATA 19/06/00

BIBLIOTECA CENTRAL - UFLA



49365

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca Central da UFLA**

**Carvalho, Raquel Vieira de**

Formulações de snacks de terceira geração por extrusão: caracterização texturométrica e microestrutural / Raquel Vieira de Carvalho. -- Lavras : UFLA, 2000.

89 p. : il.

Orientador: José Cal-Vidal.

Dissertação (Mestrado) – UFLA.

Bibliografia.

1. Pellet. 2. Textura. 3. Microestrutura. 4. Extrusão. 5. Farinha de banana. 6. Farinha de arroz. 7. Snacks de terceira geração. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-664.6

**RAQUEL VIEIRA DE CARVALHO**

**FORMULAÇÕES DE SNACKS DE TERCEIRA GERAÇÃO POR  
EXTRUSÃO: CARACTERIZAÇÃO TEXTUROMÉTRICA E  
MICROESTRUTURAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Ciência dos Alimentos, área de concentração em Ciência e Engenharia de Alimentos, para a obtenção do título de “Mestre”.

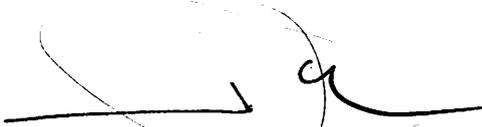
APROVADA em 13 de Março de 2000

 Prof. Dr. José Luis Ramirez Ascheri

UFRRJ

Prof. Dr. Evódio Ribeiro Vilela

UFLA

  
Prof. Dr. Eng. José Cal-Vidal  
UFLA  
(Orientador)

LAVRAS  
MINAS GERAIS – BRASIL

***“Sou livre quando amo o que faço.***

***Sou livre quando aceito que o mais importante é a minha consciência.***

***Sou livre quando sei que, na hora do fracasso é sempre tempo de  
começar outra vez.***

***Sou livre quando sou capaz de amar o instante da vida que eu tenho nas  
mãos.”***

***(Juan Arias)***

A meus pais, J3sus e Luiza, meus  
irm3os J3sus Augusto e Fernando, e em  
especial aos meus av3s Durval e Maria,  
**DEDICO.**

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Professor Dr. Eng. José Cal-Vidal, pela orientação, apoio, confiança e amizade;

Ao Professor Dr. José Luis Ramirez Ascheri, pelo grande auxílio, atenção e sua valiosa colaboração no decorrer do trabalho;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de estudo outorgada durante a realização do trabalho;

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Ciência dos Alimentos, pela oportunidade de realizar o Curso;

Ao CTAA-EMBRAPA, pelas condições oferecidas para o desenvolvimento da pesquisa;

A todos os funcionários do CTAA-EMBRAPA pela colaboração e amizade, em especial Ricardo, Norma, Adriana, Eliane e Sr. Francisco;

Ao Laboratório de Cereais da Faculdade de Engenharia de Alimentos (FEA – UNICAMP), ao Prof. Dr. Yoon Kil Chang, e aos colegas Miguel, Maria Carolina e Kelly, pela colaboração e sugestões nas análises de textura;

Aos colegas de departamento, Joelma e Rogério, pela atenção, auxílio e amizade;

Especialmente aos colegas do laboratório de Microestrutura e Arquitetura Alimentar, Gaby, Clécia e Alexandro, pelo constante apoio, incentivo, críticas e amizade;

Aos amigos e a todos que, direta ou indiretamente, colaboraram para a realização deste trabalho;

A meus pais e meus irmãos pelo imenso incentivo, amor e preocupação sempre demonstrado;

E principalmente minha profunda gratidão a Deus.

# SUMÁRIO

	Página
RESUMO .....	i
ABSTRACT .....	ii
1 INTRODUÇÃO .....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO .....	3
2.1 Arroz .....	3
2.2 Banana .....	5
2.3 Trigo .....	6
2.4 O Processo de Extrusão .....	9
2.5 Descrição do Processo .....	11
2.6 Fatores que Afetam a Extrusão .....	15
2.6.1 Alterações Físicas Advindas da Extrusão de Amido .....	19
2.6.2 Interações do Amido na Formação da Rede Tridimensional do Produto Extrusado .....	21
2.7 Absorção D'água e Estabilidade de Alimentos Obtidos por Extrusão .....	22
2.8 Estudos Microestruturais .....	24
2.8.1 Caracterização dos Produtos Extrusados .....	24
2.8.2 Estrutura Interna do Amido e suas Possíveis Modificações sob o Efeito da Extrusão .....	26
3 MATERIAL E MÉTODOS .....	28
3.1 Matéria-Prima .....	28
3.1.1 Obtenção .....	28
3.1.2 Condicionamento da Matéria-Prima .....	28
3.1.3 Análises da Matéria-Prima .....	29
3.2. Equipamentos .....	30
3.3 Processamento .....	30
3.3.1 Condições do Processo de Extrusão .....	32
3.4 Características Físico, Tecnológicas e Funcionais dos Extrusados .....	33
3.4.1 Densidade Aparente .....	33
3.4.2 Textura .....	33
3.4.3 Viscosidade de Pasta .....	33
3.4.4 Índice de Absorção de Água e Índice de Solubilidade em Água .....	34
3.4.5 Análise Microestrutural .....	35
3.4.6 Delineamento Experimental .....	35
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	40
4.1 Granulometria da Matéria-Prima .....	40

<b>4.2 Composição Centesimal da Matéria-Prima e do Produto Extrusado</b> .....	<b>41</b>
<b>4.3 Caracterização Tecnológica, Física e Funcional do Produto Extrusado</b> .....	<b>42</b>
4.3.1 Densidade Aparente .....	42
4.3.2 Viscosidade de Pasta .....	46
4.3.3 Índice de Absorção de Água (IAA) .....	54
4.3.4 Índice de Solubilidade em Água .....	56
4.3.5 Textura .....	59
4.3.6 Microestrutura.....	61
<b>5 CONCLUSÕES</b> .....	<b>69</b>
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>71</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>82</b>

## RESUMO

CARVALHO, Raquel Vieira de. **Formulações de Snacks de Terceira Geração por Extrusão: Caracterização Texturométrica e Microestrutural.** Lavras: UFLA, 2000. 89p. (Dissertação – Mestrado em Ciência dos Alimentos)\*

Foi estudado o efeito das variáveis de extrusão nas características físicas e químicas dos *pellets* ou *snacks* de terceira geração, obtidos de misturas de farinha de trigo, arroz e banana, submetidos à extrusão termoplástica. Utilizou-se a metodologia de superfície de resposta, do tipo composto central, pela qual foram obtidos modelos matemáticos preditivos para as propriedades estudadas. O desenho experimental foi elaborado para verificar o efeito de três níveis de substituição de farinha de banana (20, 25 e 30%), três níveis de umidade de processamento (30, 35, e 40%), e três condições de aquecimento nas zonas do extrusor (60, 70 e 80°C), originando 20 tratamentos. Os resultados obtidos permitiram verificar a importância das três variáveis durante o processo de extrusão com maior destaque para a umidade. Para a densidade aparente, as três variáveis foram significativas, verificando-se um aumento com o incremento de temperatura e umidade, bem como com a adição de farinha de banana. A umidade foi a variável de maior significância, graças a seus altos valores. A viscosidade inicial a 25°C mostrou ser dependente da variável umidade aumentando consideravelmente com o decréscimo da umidade, enquanto a viscosidade a 95°C mostrou ser proporcional. Já a viscosidade no resfriamento a 50°C mostrou ser influenciada pelas três variáveis, com maior influência da umidade, variando linearmente. O índice de absorção de água (IAA) não variou muito entre os tratamentos. A umidade e formulação foram as variáveis de maior influência, sendo a primeira muito mais significativa. A adição de farinha de banana e o aumento da umidade levou à queda de IAA. As três variáveis alteraram o índice de solubilidade em água (ISA) com maior destaque da umidade. A combinação de baixa umidade e alta temperatura aumentou o ISA e a baixa umidade e baixo teor de farinha de banana o ISA aumentou também. Estudando a interação com as variáveis independentes, verifica-se maior dependência da variável formulação na resposta para a textura (força de quebra), assim como sua correlação com a microestrutura registrada por fotos em microscópio ótico.

---

Comitê Orientador: José Cal-Vidal – UFLA (Orientador), José Luiz Ramirez Ascheri – EMBRAPA

## ABSTRACT

**CARVALHO, Raquel Vieira de. Formulation of Third Generation Snacks for Extrusion: Texture and Microstructure Characterization. Lavras: UFLA, 2000. 89p. (Dissertation – Master Program in Science Food)\***

Physical and chemistry characteristics of pellets or third generation snacks were studied from blends of wheat, banana and rice flour, were submitted to thermoplastic extrusion. The response surface methodology, of the central composed type, was used to verify the effect of interaction among different variables proposed. The experimental design was elaborated to verify the effect of 3 levels of banana flour (20, 25 and 30%), 3 levels of processing (30, 35, and 40%), and three temperature conditions in the extruder (60, 70 and 80°C), causing 20 treatments. The results allowed to verify the importance of the 3 variables during the extrusion with larger prominence for the moisture. The bulk density was dependent of three variables, with the moisture variable being the most important, due to its high indexes, an increase was verified with the increment of the temperature and moisture, as well as with the addition of banana flour. The initial viscosity at 25°C was shown dependent of the variable moisture increasing considerably whereas with the decrease of moisture, with the viscosity at 95°C it showed to be proportional. Already the viscosity at 50°C showed to be influenced by the three variables, with greatest influence being moisture, varying linearly. The water absorption index (WAI) didn't vary a lot. The moisture and formulation were the variables of greater influence, the latter being much more significant. The addition of banana flour and the increase of moisture took the fall of WAI. The three variables influenced the water solubility index (WSI) with moisture being of greater prominence. High levels of temperature took to the growth of WSI, and the high moisture decreased WSI. The combination of low moisture and high temperature increased WSI and the low moisture and its lower percentages of banana flour also increased WSI. Studying the interaction with the independent variables, temperature, moisture and formulation, greater dependence of the variable formulation is verified in the response for the texture (break point energy), as well its correlation with the microstructure registered by photos using the optical microscope.

---

Guidance Committee: Prof. Dr. José Cal-Vidal – UFLA (Major Professor), Prof. Dr. José Luiz Ramirez Ascheri – EMBRAPA

# 1 INTRODUÇÃO

O processo de extrusão vem ganhando destaque e expansão na indústria de alimentos por ser uma importante técnica que, além de aumentar a variedade de alimentos processados, apresenta muitas vantagens quando comparado a outros sistemas tradicionais de processamento de alimentos. É também uma tecnologia alternativa no aproveitamento de alguns subprodutos que influencia na alimentação humana, afetando o valor nutricional dos alimentos, sendo assim, de especial interesse em programas de alimentação suplementar, nos quais países em desenvolvimento buscam uma tecnologia para a produção de alimentos nutritivos de baixo custo, destinados às populações mal nutridas.

A extrusão permite a obtenção de um efeito nutricional benéfico no produto, uma vez que viabiliza a mistura de diferentes fontes de proteínas e outros nutrientes. Essa técnica permite maior facilidade na produção de misturas alimentícias destinadas ao consumo humano, produzindo uma variedade de produtos. Existem muitos trabalhos utilizando o processo para obtenção de novos produtos alimentícios, tais como: refeições ligeiras de cereais (RTE), *snacks*, produtos de confeitaria, proteínas de vegetais texturizados, bebidas em pó instantâneas, alimentos infantis, entre outros (Fast, 1993). A técnica pode ser um mecanismo efetivo na preservação para o aumento da vida útil de vários alimentos, uma vez que pode inativar complexos enzimáticos, microrganismos, e uma completa inativação tanto da microflora natural, como componentes anti-nutricionais (Andersson, 1990).

Os produtos extrusados não expandidos denominados *pellets* ou ainda *snacks* de terceira geração são também conhecidos como produtos intermediários (*half products*), graças à sua elaboração. Após o cozimento por extrusão, de acordo com o formato da matriz, o produto é submetido à etapa de secagem e estará pronto para o consumo após sofrer expansão, por meio da

fritura rápida em óleo, por aquecimento com ar quente ou forno de microondas. Esse produto em estágio intermediário foi preparado primeiramente em países orientais, com utilização de fécula de raízes, principalmente mandioca, obtendo boa aceitação por causa da simplicidade no armazenamento estocado à temperatura ambiente e por períodos relativamente longos.

Os sistemas de extrusão para *snacks* de terceira geração são eficientes, econômicos e os produtos têm flexibilidade de mercado graças à longa vida de prateleira e alta densidade antes de serem expandidos.

Muitas pesquisas têm sido feitas nos últimos anos, para verificar o efeito das variáveis do processo de extrusão nas características dos produtos extrusados, porém poucas foram publicadas sobre produtos extrusados não expandidos ou *pellets*.

A elaboração de *pellets* pode ser feita com misturas de diferentes ingredientes, entre os quais se incluem farinhas de cereais, tubérculos, amidos, especiarias, óleos e condicionadores de massa entre outros.

O arroz, a banana e o trigo são alimentos de grande aceitação pela população e, ao mesmo tempo, estão entre os principais produtos agrícolas produzidos no Brasil.

Mediante o presente trabalho, objetiva-se desenvolver novas formulações de *pellets* utilizando misturas de farinhas de arroz e banana. Será objeto de estudo a microestrutura dos alimentos obtidos por extrusão pela microscopia ótica, para avaliação da estrutura física dos produtos.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Arroz

O arroz (*Oryza sativa*, L) é o cereal mais consumido no mundo, sendo portanto a base alimentar da população mundial (Raghavendra Rao e Juliano, 1970, Adair, 1972, Amato e Silveira Filho, 1988). A maior parte da produção e do consumo de arroz mundial está localizada no continente asiático, embora seja cultivado em todos os continentes, por cerca de 120 países. No Brasil, nono produtor mundial, o arroz é cultivado em todas as regiões. A produção mundial de arroz, na safra de 1996/97, situou-se em torno de 551 milhões de toneladas, ocupando uma área de 147,9 milhões de hectares. O Brasil contribuiu com 1,8% dessa produção, situando-se na nona colocação, enquanto entre os países sul-americanos, é o maior produtor respondendo por 54,9% da produção, seguido da Colômbia, que é responsável por 8,7%. (Yokoyama et al., 1999).

Considerando o arroz o alimento básico da dieta de milhões de pessoas, praticamente em todos os países do mundo, o Brasil, na América Latina, coloca-se entre os países de maior consumo, com cerca de 45 Kg/habitante/ano. O domínio das técnicas de seu cultivo no país retomam ao início da colonização, quando as primeiras sementes foram trazidas e lançadas ao solo.

Basicamente um alimento amiláceo fornecedor de calorias, o arroz é composto de 80% de amido; 8% de proteína; 0,69 de gordura; 13,6% de umidade; 0,41% de cinza; 0,36% de fibra bruta e 0,25% representado por outros componentes (Ensminger et al., 1994). Quanto à qualidade da proteína do arroz polido, com base no balanço adequado dos 8 aminoácidos essenciais em g/16,8gN, encontrou-se, lisina: 3,8g; treonina: 4,34g; valina: 7,21g; metionina: 3,37g; isoleucina: 4,13g; fenilalanina: 6,02g; leucina: 8,24g e triptofano: 1,21g, (Sgarbieri, 1996). O arroz é deficiente nos aminoácidos essenciais lisina e

treonina. As frações de albumina localizadas no germe e na aleurona são mais ricas em lisina, mas são eliminadas durante o polimento, reduzindo a utilização da proteína em aproximadamente 26% (Kibuuka e El-Dash,1980).

De acordo com Juliano (1994), os minerais presentes no arroz são o cálcio (10 a 30mg/100g); fósforo (0,08 a 0,15mg/100g); ferro (0,2 a 0,8mg/100g), etc. Com relação às vitaminas, destacam-se as do complexo B: tiamina (0,02 a 0,11mg/g); riboflavina (0,02 a 0,06mg/g); niacina (1,3 a 2,4mg/g); ácido pantotênico (6,4 a 8,0mg/g); ácido fólico (0,16mg/g); zinco (0,6 a 2,3mg/g) e biotina (0,04 a 0,06mg/g) (Sgarbieri, 1987).

O amido está presente essencialmente nas células do endosperma do arroz integral. Este é o maior constituinte do arroz beneficiado, chegando até a 90% do peso seco. O amido é constituído por uma fração de amilose com ligações  $\alpha$ -1,4 e outra fração denominada amilopectina com ligações  $\alpha$ -1,4 e com pontos de ramificação em ligações  $\alpha$ -1,6. O conteúdo de amilose pode variar de 7 a 33% em relação ao conteúdo de amido, porém o componente majoritário é formado de amilopectina. A proporção de amilose e amilopectina determina muitas das propriedades do arroz cozido (Juliano, 1973).

Gutkoski e Elias (1994) afirmaram ser o arroz um produto agrícola cujo principal uso ocorre na forma de arroz beneficiado polido. Já, Luh e Bhumiratana (1980) e Kent (1983) verificaram que, além do consumo na forma de arroz beneficiado polido, é também empregado em menor escala, como matéria-prima industrial para elaboração de cereais matinais, cervejaria, saquê, farinhas, *snacks*, amido e outros.

Diante do exposto, surge então a possibilidade de aproveitar o cereal mediante o processamento por extrusão termoplástica. Esse procedimento tecnológico é, atualmente, responsável pela transformação de um grande número de produtos disponíveis nas prateleiras dos supermercados, o que se deve, principalmente, à versatilidade que este processo de produção oferece. Assim,

baseando-se nas qualidades e vantagens que o processo de extrusão oferece, é possível o uso de um número ilimitado de materiais para serem transformados.

## 2.2 Banana

O Brasil por muito tempo ocupou o primeiro lugar na produção mundial de banana e atualmente ocupa o terceiro lugar com 6 milhões de toneladas/ano, atrás da Índia e Uganda, que produzem cerca de 10 milhões de toneladas/ano, cada país (FAO, 1997). A cultura da banana é encontrada em quase todos os estados brasileiros, desde a faixa litorânea até as regiões de planalto, ocupando segundo lugar entre as fruteiras em relação à área colhida, com aproximadamente 500.000ha (Anuário... 1996).

No mercado interno, a banana pode ser ofertada em quantidade e qualidade praticamente iguais de janeiro a dezembro, mas é um gênero perecível, devendo ser consumido em até 25 dias após sua colheita.

Em consequência do alto rendimento que pode ser obtido do cultivo racional da bananeira, é de interesse sócio-econômico essa cultura no país, com práticas de cultivo e manejo de pós-colheita adequados. Além disso, tornam-se necessários incrementos na atividade agroindustrial, particularmente nos casos de matéria-prima abundante, como alternativa de utilização dessa matéria-prima de custo reduzido. Assim sendo, a industrialização da banana apresenta-se como forma de minimizar as perdas da fruta *in natura*, incentivando as exportações da fruta industrializada, além de estimular seu cultivo.

A banana (*Musa cavendishi* L.) é um alimento energético com cerca de 85 cal/100g em base úmida e cerca de 340 cal/100g na banana em pó (Santos e Zamboni, 1989). É formada de 75,6% de água; 22,2% de carboidratos; 1,2% de proteína; 0,2% de gordura e 0,8% de cinza (Nucci, 1981). Possui ainda, uma quantidade significativa de sais minerais, com destaque para o potássio (350 a 400mg/g); fósforo (25 a 30 mg); cálcio (8 a 10 mg/g); sódio (40 a 50mg/g);

magnésio (25 a 35 mg/g), e também uma proporção significativa de ferro e zinco (Sarathathevy e Ganesharane, 1993).

Da banana podem ser obtidos diversos produtos desidratados, cujas características dependem do estágio de maturação e da técnica de secagem ou desidratação utilizada. As farinhas constituem produtos obtidos de secagem natural ou artificial de banana verde ou semi-verde. Para a indústria, a farinha de banana apresenta grande viabilidade, podendo ser utilizada principalmente em produtos de panificação, produtos dietéticos e alimentos infantis (Loures et al., 1990).

Para a obtenção da farinha de banana, dá-se preferência aos frutos mais ricos em amido e os cachos devem ser colhidos antes da maturação, quando ainda não ocorreu a transformação do amido em açúcares. A banana verde é mais utilizada para a obtenção da farinha do que a banana madura, em razão de esta última estar sujeita às reações de oxidação, inversão de açúcares, caramelização. A composição da farinha de banana varia de 8 a 12% de umidade; 56 a 70% de amido; 3,5% de proteína; 1,5% de matéria graxa; 2,0% de açúcares redutores e 3,5% de cinza (Carvalho e Cardoso, 1980). Farinha de banana à venda no comércio apresenta teores apreciáveis de até 84,2% de amido.

### 2.3 Trigo

Na civilização ocidental, o trigo é considerado, como o “alimento da vida”. Para a outra metade da população mundial, principalmente na Ásia, ilhas do Pacífico e vários países da América Latina, no entanto, esse papel é ocupado pelo arroz, do qual dependem fundamentalmente para sua nutrição diária.

No Brasil, há algum tempo, vem-se trabalhando com a cultura do trigo (*Triticum aestivum* L.). Na maioria dos países desenvolvidos são cultivadas as espécies *T. aestivum* L., usadas na produção de pães, bolos e biscoitos e *T. durum* L., usadas principalmente na elaboração de massas alimentícias

(Camargo et al., 1993). O endosperma do *T. durum* L. é mais resistente (duro) que o do trigo para pão (*T. aestivum* L.), apresentando geralmente maiores níveis de cinzas e proteínas. Em geral, os grãos são mais largos e pesados, possuindo característica de vitreosidade. A farinha do *T. durum* L. tem qualidade de glúten e possibilita a produção de massas alimentícias com estabilidade ao cozimento e textura adequadas (Irvine, 1978; Dick e Matsuo, 1988).

O grau de vitreosidade é também considerado um importante fator de qualidade de trigo, e freqüentemente, é indicador da dureza dos grãos, do conteúdo protéico e da granulometria da farinha (Heilman e Wilson, 1988). De uma maneira geral, quando a proporção de grãos vítreos diminui, a granulometria e o conteúdo protéico da farinha também diminuem (Matsuo e Dexter, 1980).

Na indústria de alimentos, a qualidade do trigo é julgada por sua conveniência para o uso particular. Quase todo o trigo é utilizado na alimentação humana, sendo, inicialmente, moído tornando-se um produto farináceo ou granular, como farinha ou semolina. Embora a variedade seja um fator influente na qualidade do trigo, este é raramente posto no mercado baseando-se apenas numa variedade individual. É prática comum separar o trigo no mercado de acordo com a classe que consiste em um grupo de variedades com características de certa forma semelhantes e geralmente usadas para propósitos similares. Como acontece com os grãos de trigo, a qualidade da farinha varia diferentemente para usos distintos nos produtos e é definida pela sua capacidade de produzir uniformemente um produto final atrativo, com um custo competitivo, após condições impostas pelas unidades manufadoras do produto final.

Como as frações protéicas que predominam no trigo são as do glúten (prolaminas e glutelinas) pobres em lisina, o valor protéico da farinha de trigo é limitado pelo conteúdo desse aminoácido essencial.

A importância do glúten na tecnologia do trigo se prende às propriedades de coesividade-elasticidade da massa panificável obtida com base na farinha e em outros ingredientes incorporados à farinha no processo de panificação.

Elasticidade do glúten hidratado é devida principalmente à glutenina pela sua resistência à ruptura, que por sua vez se deve à sua estrutura e peso molecular. O glúten da farinha de trigo deverá conter um teor apropriado de grupos amídicos para garantir a sua hidratação e formação de pontes de hidrogênio, além de conteúdo e posicionamento adequados de grupos sulfidrilos que se convertem em pontes dissulfeto que garantem a correta conformação e tamanho molecular. Por esse motivo, as boas propriedades funcionais do glúten são atributos de apenas variedades de trigo.

Em base seca, a farinha de trigo contém aproximadamente 80% de amido, 14% de proteínas, 4,5% de lipídeos e 2% de pentosanas (Chung, 1986). As proteínas do trigo são geralmente caracterizadas em quatro classes, com base em sua solubilidade: albuminas solúveis em água, globulinas solúveis em sal, gliadinas solúveis em álcool e gluteninas solúveis em ácido e base. Essas são fisicamente elásticas e aparentemente responsáveis pela propriedade elástica do glúten.

A composição aminoacídica do glúten é composta por 1/3 de glutamina, que não está na forma ácida. Esse é um importante fator, pois o ácido glutâmico fornece uma carga negativa à proteína, particularmente sob condições alcalinas. Além disso, a amida é neutra e promove pontes de hidrogênio, por doação e aceitação de elétrons. O segundo aminoácido mais abundante é a prolina (14% do total de proteínas), que tem como principal efeito promover uma torção na cadeia da proteína, formando um tipo de estrutura tridimensional, que é típica de muitas proteínas. Como o glúten tem uma densidade de carga muito baixa, com forças de repulsão bastante pequenas, esses polímeros interagem e formam uma

rede coesiva, com alto grau de pontes de hidrogênio na massa de farinha de trigo (Hoseney e Rogers, 1990).

A farinha e o amido de trigo têm sido muito usados como matérias-primas no processo de extrusão. Muitos cereais, raízes e tubérculos podem ser usados na produção de *pellets* porém, devem ser manipulados em função do produto desejado. São comumente produzidos na indústria nacional utilizando farinha de trigo em extrusores de um parafuso de configuração única (Ascheri, Carvalho, e Matsuura, 2000).

Para a produção de produtos com características sensoriais mastigáveis, a incorporação de altos níveis de glúten, especialmente alta elasticidade (alta resistência à extensão), ou seja, o uso de farinha de trigo duro, pode ser apropriado para esse propósito, especialmente quando acompanhado pela extrusão com alto teor de umidade para produzir um produto mais denso. Para produzir um produto mais macio o glúten deve ser de baixa resistência à extensão (farinha de trigo mole), com um baixo conteúdo de proteína. (Smith, 1976).

## 2.4 O processo de extrusão

O processo de extrusão vem sendo praticado como alternativa de texturização, cozimento e tratamento térmico de alimentos (Harper, 1981). Foi aplicado pela primeira vez para processar alimentos em 1935, na produção de pastas alimentícias (Rossen e Miller 1973). Alguns estudos reportam a extrusão de alimentos à base de farinha de soja (Remsen e Clark, 1978; Morgan, 1978; Wagner, 1987; Baird e Reed, 1989), amido de trigo (Davidson et al., 1984; Díosady et al., 1985) e cereais (Bhattacharya e Hanna, 1986).

A extrusão de alimentos é definida como um processo contínuo no qual o trabalho mecânico é combinado com calor para gelatinizar amido e desnaturar proteínas, plasticizando e reestruturando o material no intuito de criar novas

texturas e formatos, (El-Dash, 1982). O princípio básico desse processo é converter um material sólido em fluido, por meio de calor e trabalho mecânico, comprimi-lo por intermédio de uma matriz a fim de formar um produto com características físicas e geométricas pré-determinadas (Chiang e Johnson, 1977). A extrusão pode ser classificada como um processo de alta temperatura em tempo curto (HTST). Tal processo segundo Björck (1983), é preferido para a retenção de nutrientes e a destruição de inibidores de microrganismos. As principais funções desse processo são cozinhar, estruturar e dar forma aos alimentos, sendo que pode ter cada uma dessas ou as três funções ao mesmo tempo.

Os produtos prontos para o consumo humano como cereais matinais e *snacks*, em geral, tiveram grande evolução num curto espaço de tempo, tendo ocorrido em três gerações. Na primeira geração, a matéria-prima era processada na forma de grãos inteiros, usando combinações de umidade, temperatura de cozimento, redução de tamanho e secagem. Nos chamados *snacks* de segunda geração, os cereais eram trabalhados na forma de uma massa, produzida com diferentes farinhas e, ou amidos de cereais e, ou tubérculos a qual é transformada em pequenas peças, usando um extrusor simples ou de duplo parafuso, seguindo-se a secagem e o armazenamento. Estes *snacks* geralmente são expandidos e prontos para o consumo (Harper, 1981; Huber e Rokey, 1989). Já os *snacks* de terceira geração, denominados também de *half-products*, ou *pellets*, são preparados em condições semelhante aos de segunda geração, com a diferença de que os *pellets* não são expandidos. Ao saírem do extrusor, os *pellets* elaborados possuem forma de acordo com as características da matriz, e seguem um controlado processo de secagem (Guy e Home, 1988). A expansão desses produtos ocorre posteriormente, por meio da fritura, aquecimento com ar quente ou por microondas.

Os extrusores foram desenvolvidos originalmente como um método econômico para gelatinizar amido, apresentando diferentes configurações. Esses por sua vez, oferecem, segundo Smith (1970) e Harper (1979), muitas vantagens no processamento em relação aos outros métodos de cozimento. Dixon (1983), entretanto, relata que apesar do mínimo dano térmico provocado às proteínas e carboidratos o processo pode apresentar desvantagens.

## 2.5 Descrição do processo

O extrusor é composto de cinco partes principais, sendo um sistema de alimentação, parafuso com mecanismo de acionamento, cilindro, matriz e mecanismo de corte. Para utilizar efetivamente esse potencial, é necessário então, conhecer os elementos da engenharia, as mudanças físicas e químicas envolvidas no processo e os meios de controle, os quais possibilitam a obtenção de produtos distintos.

O sistema de alimentação formado por um alimentador, é composto por uma moega que recebe o material a ser extrusado e um parafuso de alimentação localizado horizontalmente ou verticalmente. Para permitir um melhor fluxo, o alimentador é equipado com um agitador. O modelo do sistema de alimentação é um ponto muito crítico, pois é necessário que haja um suprimento adequado do material a fim de permitir o bom funcionamento do extrusor e evitar flutuações no cozimento e nas características dos produtos obtidos.

O extrusor consiste em um parafuso giratório firmemente encaixado dentro de um cilindro (Figura 1). A maioria dos extrusores de cozimento utiliza apenas um parafuso para alimentar, cozinhar e pressionar o material. Entretanto, existem extrusores com dois parafusos denominados rosca dupla.

O parafuso é acionado por um motor elétrico de velocidade variável. Ao girar, o parafuso leva o alimento em direção a uma matriz, revirando e pressionando-o contra as paredes do cilindro, exercendo sobre ele um trabalho

de cisalhamento, e transformando-o em uma massa uniforme. O parafuso é a parte central e principal do equipamento sendo que sua geometria influencia grandemente o processamento. Está dividido em três seções: alimentação, transição e alta pressão. O alimento absorve calor por dissipação de energia mecânica aplicada ao parafuso. O calor pode ser adicionado também por meio através de camisa de vapor ao redor do cilindro ou por aquecimento elétrico. Quando há necessidade de resfriamento usa uma camisa de água fria.

O cilindro de um extrusor pode ser constituído de seções, a fim de que a desmontagem seja facilitada, ou de uma única peça. O controle da temperatura em cada uma das zonas do extrusor pode ser feito por meio de serpentinas de ar comprimido ou camisas de água fria. Muitos cilindros são equipados com sensores de pressão e temperatura para controle do processo.

O final do cilindro é equipado com uma placa que, geralmente, possui vários orifícios conhecida como matriz. A matriz tem duas funções moldar o produto no formato desejado e trabalhar como um redutor de fluxo aumentando a pressão nas zonas de cozimento do extrusor. Graças ao papel crítico de sua geometria na determinação do formato e características do extrusado, um vasto número de matrizes tem sido desenvolvido, desde uma simples matriz de forma cilíndrica, fenda ou anular com vários modelos a matrizes de múltiplas fases, em que as saídas de dois extrusores são combinadas por uma matriz simples para produzir produtos com características duplas, tais como duas cores ou dois sabores.

Um mecanismo para cortar o produto extrusado pode ser instalado logo após a matriz. O motor do cortador deve ser de velocidade variável para permitir a obtenção de extrusados de comprimento uniforme. As lâminas devem permanecer limpas quando em operação. Para que isso ocorra, o espaço entre a lâmina e a matriz deve ser menor que 0,2 mm, porém maior que 0,05 mm para evitar uma alta fricção entre as lâminas e a matriz, (El-Dash, 1982).

O tempo de residência do alimento no extrusor é função do desenho do parafuso e de sua velocidade de rotação, sendo que a duração é de poucos segundos e a temperatura de descarga muito alta podendo exceder a 200°C. A ebulição ou vaporização da umidade não ocorre dentro do extrusor, mesmo a altas temperaturas, pois a pressão é bastante alta variando de 40 a 60 atm. A alta pressão dentro do extrusor é liberada quando o produto emerge pela matriz. A rápida liberação da pressão causa a evaporação instantânea da água superaquecida ocorrendo, conseqüentemente, a expansão do produto. A rápida perda de umidade após a matriz resulta em um resfriamento do produto a uma temperatura próxima de 80°C em questão de segundos, ocorrendo simultaneamente a sua solidificação.

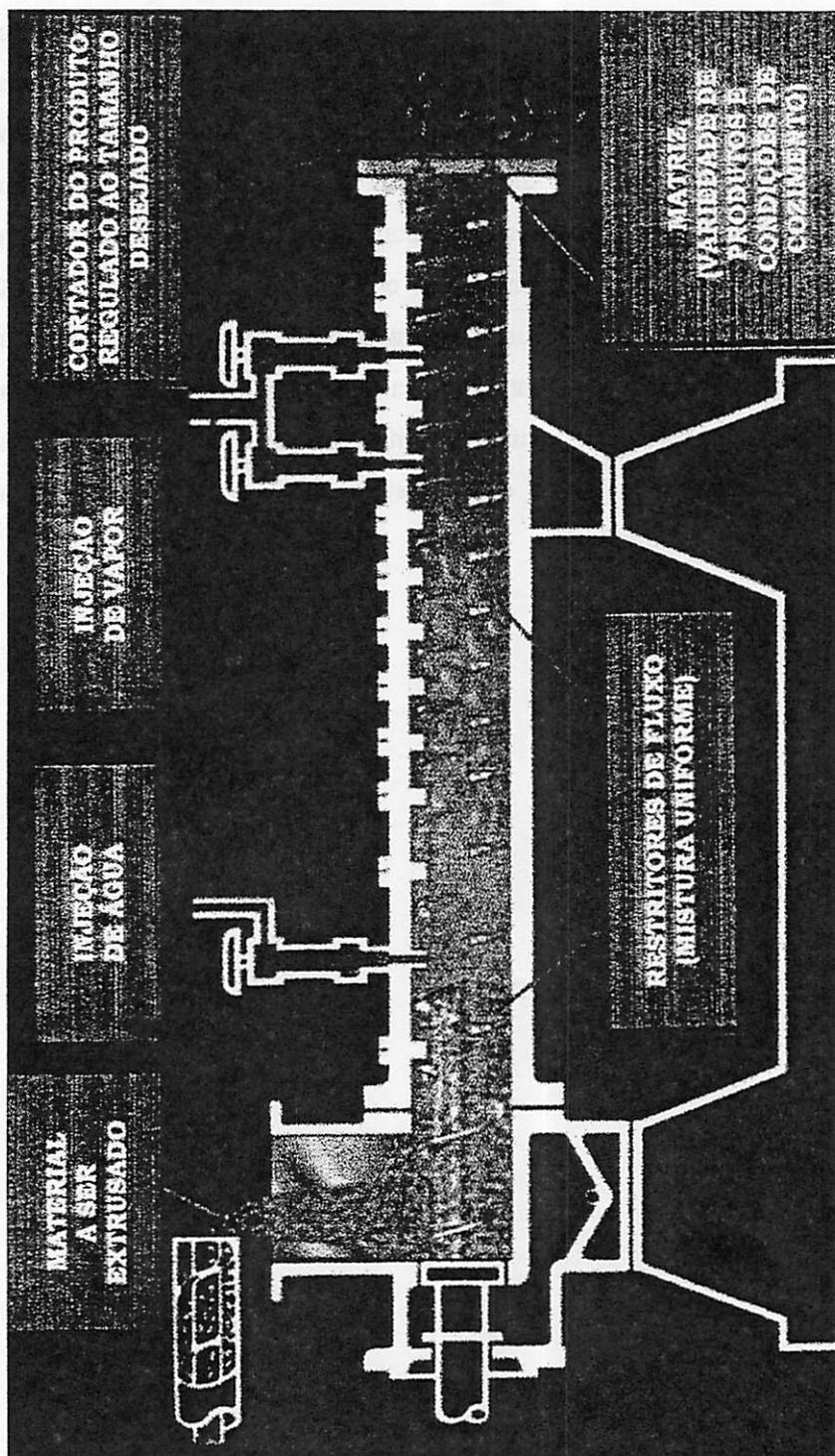


FIGURA 1- Componentes básicos de um extrusor

## 2.6 Fatores que afetam a extrusão

É importante o controle do processo de extrusão para permitir a obtenção de produtos com características variadas, como também melhorar a eficiência e economia da operação. Embora a extrusão seja um processo tecnológico simples, seu controle é complicado, graças ao grande número de variáveis envolvidas no processo e sua complexidade. O controle das condições de extrusão tais como temperatura, taxa de compressão da rosca, taxa de alimentação, teor de umidade e componentes de alimentação é essencial para garantir a boa qualidade do produto e evitar a perda de nutrientes.

A etapa do cozimento no processo de extrusão pode ser eliminada se forem usados na formulação farinhas ou amidos pré-gelatinizados, passando apenas por um extrusor para formar os *pellets*, o qual opera a temperaturas abaixo do ponto de ebulição da água. Outra forma de elaborar esses produtos consiste em usar um extrusor com um cilindro relativamente comprido, de modo que o cozimento e a formatação sejam feitas ao mesmo tempo (Guy e Horne, 1988). Em vários trabalhos de pesquisa verificou-se que o aumento da temperatura do produto, levou a um decréscimo na viscosidade sem afetar o tempo de residência do produto no cilindro do extrusor.

Nos trabalhos de Ryu, Neumann e Walker (1993) foram avaliados os efeitos de alguns ingredientes cozidos na expansão, densidade do volume, força de quebra e estrutura celular de extrusados de farinha de trigo, utilizando um extrusor de rosca dupla. O açúcar adicionado e monoestearato de glicerol (GMS) afetaram significativamente os índices de expansão transversal e longitudinal. A interação do açúcar (sacarose) e agente tensoativo afetaram o índice de expansão transversal e também afetaram significativamente a força de quebra e a estrutura celular. A sacarose, o emulsificante e o sal afetaram a densidade e o volume.

Mercier e Feillet (1975) e Chinnaswamy e Hanna (1988) estudaram o efeito das misturas de amilose e amilopectina em diferentes proporções para

verificar o seu efeito na expansão, sendo que misturas contendo 50% de amilose apresentaram maior expansão a 140°C e 14% de umidade. Por outro lado Bhuiyan e Blanshard, (1982) reportaram que misturas de farinha de milho e amido de milho contendo 35% de amilose possuíam melhores índices de expansão. Os fatores ligados à matéria-prima tais como teor de umidade, proporção de amilose e amilopectina (Faubion et al., 1982), conteúdo de proteína, lipídeos e fibra, fontes de amido utilizada, tamanho de partículas, entre outros (Merciere e Feillet, 1975; Chinnaswamy e Hanna, 1988; Alvarez-Martinez, Kondury e Harper, 1988; Gomez et al., 1988; Onwulata, et al., 1992), exercem grande influência no produto acabado.

Alvarez-Martinez, Kondury e Feillet (1988) num estudo sobre a expansão dos produtos extrusados, tentaram explicar o que ocorre nas duas formas de expansão radial e longitudinal. Estes autores postularam que a energia armazenada na estrutura do amido favorece uma expansão radial, por causa da tensão de cisalhamento, confirmando uma relação inversa entre a expansão radial e longitudinal.

Noguchi et al. (1981) constataram que os produtos extrusados produzidos com farinha de arroz fortificada com isolado protéico de soja apresentaram uma ligeira diminuição na capacidade de absorção de água, quando comparados com aqueles extrusados apenas à base de farinha de arroz. O processo de extrusão termoplástica aumentou as interações não covalentes e ligações dissulfídicas, resultando numa diminuição da solubilidade de proteína.

Chauan e Bains (1985) misturaram a farinha de arroz de diversas variedades com a farinha de soja desengordurada nas respectivas proporções de 100:0; 85:15 e 70:30%, e cozinharam a mistura por extrusão. Os autores notaram que a adição de 15% da farinha de soja desengordurada não exerceu efeito sobre a qualidade de absorção de água no produto, mas houve um ligeiro decréscimo com a adição de 30% da farinha de soja desengordurada. Ao contrário, um

aumento da farinha de soja desengordurada aumentou consideravelmente o índice de solubilidade na água. A adição gradativa da farinha de soja desengordurada diminuiu o conteúdo de amido danificado nas farinhas e aumentou o teor de proteínas solúveis em água.

Em outro estudo, Chauhan e Bains (1988) constataram que a incorporação de diferentes farinhas de leguminosas (incluindo a soja) na farinha de arroz, aumentou a crocância e diminuiu a força de quebra do produto extrusado. O índice de solubilidade na água é perceptivelmente maior com o aumento da temperatura de saída do extrusor.

San Martin (1990) estudou o efeito da adição de monoglicerídeos no processo de extrusão do amido de milho e verificou que a formação de complexos amido-monoglicerídeos, o efeito lubrificante e a dextrinização do amido estariam intimamente ligados às condições operacionais do processo. A formação desses complexos depende da temperatura do processo de extrusão, umidade do amido e da concentração de monoglicerídeos adicionados ao amido antes do processo. O aumento da concentração de monoglicerídeos, até 1,8% em relação ao amido, favoreceu a formação de complexos. Acima dessa concentração, o grau de complexação amido-monoglicerídeo, diminuiu em função do efeito lubrificante causado pela presença do monoglicerídeo no processo de extrusão. A elevação dos teores de umidade e monoglicerídeos intensificaram o efeito lubrificante diminuindo (minimizando) as forças de cisalhamento e a degradação molecular do amido.

Tomas et al. (1994) analisaram a densidade, umidade final e a força máxima de quebra em farinha de arroz. Verificaram que o aumento da umidade foi altamente significativo afetando a curva máxima da força de deformação, já a temperatura e taxa de fluxo afetavam a umidade final.

Em outro trabalho, Ha, Wei e Padua (1996), avaliaram o índice de solubilidade do nitrogênio, teor de gordura e pH de extrusados de farinha de soja

em uma matriz de duplo orifício. Essas variáveis afetavam grandemente as propriedades de textura e a integridade estrutural dos extrusados.

Observando-se alguns trabalhos, percebe-se que um aumento na rotação da rosca do extrusor pode levar, primeiramente, a um crescimento no grau de cisalhamento do material e em segundo lugar a um decréscimo no tempo de residência do material no extrusor, sem alterar a taxa de alimentação inicial. Alguns estudos mostram ainda que, quando a rotação da rosca aumenta observa-se uma pequena queda na pressão e temperatura, enquanto outros afirmam que elas permanecem estáveis.

No trabalho de Chinnaswamy e Hanna (1988), verificou-se que o índice de expansão do extrusado de amido de milho varia de acordo com a velocidade do parafuso. Considerando-se que a temperatura e umidade foram constantes, a taxa de expansão cresce como aumento da velocidade do parafuso, até um máximo, e então declina. Entretanto, foi observado um incremento na expansão quando a temperatura do cilindro foi até 140°C, decrescendo a partir daí. Por outro lado, a expansão aumentou quando o conteúdo de umidade de processamento diminuiu de 30% para 14%.

Burros et al. (1987) estudaram a cinética de gelatinização de grits de milho usando um calorímetro (diferencial scanning calorimetry-Perkin-Elmer DSC-4). Com a equação de Arrhenius estabeleceram um modelo matemático que permitiu verificar os efeitos de dependência da temperatura de gelatinização, numa equação de primeira ordem, da seguinte forma:

$$\ln = [UG_t - UG_f] / [UG_l - UG_f] = kt$$

onde:  $UG_t$  = quantidade de amido não gelatinizado a um certo tempo  $t$ ;  
 $UG_f$  = quantidade de amido não gelatinizado à temperatura final;  
 $UG_l$  = quantidade de amido não gelatinizado na fase lag

$k$ = taxa de reação específica ( $\text{min.}^{-1}$ );

$t$ = tempo (min).

O resultado da expressão de Arrhenius, com as constantes foi, descrita da seguinte forma:

$$K = 1,47 \times 10^{(\text{exp})} \frac{[-86,41 \text{ kJ g-mol}^{-1}]}{RT \text{ min}^{-1}}$$

Onde:  $K$ = constante,  $\text{kJ}$ = Kilo joules,  $R$ = constante gasoso,  $T$ = temperatura ( $^{\circ}\text{K}$ ) e  $g$ = gramas.

### 2.6.1 Alterações físicas advindas da extrusão de amido

O amido, ao ser extrusado, sofre uma desordenação molecular e perda da cristalinidade, sendo primeiramente convertido numa pasta viscosa dentro do cilindro do extrusor por causa da combinação de água, calor e cisalhamento.

Chiang e Johnson, (1977) avaliaram o efeito da gelatinização em farinha de trigo em função da velocidade do parafuso, temperatura operacional e teor de água. Concluíram que o grau de gelatinização do amido diminuiu com a alta umidade e o aumento da velocidade do parafuso, sendo isso atribuído também à redução do seu tempo de residência no extrusor. Com o aumento da temperatura, ocorre uma maior gelatinização. Lawton, Henderson e Derlatska, (1972) consideraram a temperatura de extrusão e a umidade inicial da matéria-prima como as variáveis de maior efeito na gelatinização do amido. Verificaram que o grau máximo de gelatinização ocorre quando essas variáveis agem com os valores extremos opostos. Em outro trabalho Gomez e Aguilera (1983), apuraram que a elevação da temperatura e o aumento da umidade provocava perda da estrutura granular, vista ao Microscópio Eletrônico de Varredura.

Harmann e Harper (1973) verificaram também o efeito da temperatura de extrusão e teor de umidade inicial do material na produção e densidade dos extrusados durante o processamento de grãos de milho degerminado. Firmaram então, que a produção de extrusados não foi influenciada pela temperatura de extrusão, mas aumentou quando foi diminuído o teor de umidade.

Os índices de absorção de água (IAA) e solubilidade em água (ISA) são propriedades funcionais fortemente influenciadas pelo tamanho da partícula. Esses índices são explicados pelas interações amido-água e são importantes na avaliação da adequabilidade do uso de produtos amiláceos extrusados em suspensões ou em soluções. Assim, as alterações do amido no extrusor dependem dos parâmetros do processo tais como velocidade e configuração do parafuso, temperatura, taxa de fluxo do material, configuração da matriz e das características do material (proporção de amilose/amilopectina, teor de umidade, granulometria e tipo de grânulos).

O calor e o cisalhamento no interior do cilindro do extrusor, contendo pastas muito viscosas causaram a degradação do amido (quebra do polímero) em moléculas de baixo peso molecular segundo Colonna et al., (1984). A temperatura e atividade de água exerceram um papel importante assim como a taxa de cisalhamento, sendo fundamental na determinação da degradação molecular.

Segundo Hauck (1981) a gelatinização do amido, desnaturação protéica, reestruturação dos componentes, resulta dos efeitos combinados da elevada temperatura, pressão e alto atrito mecânico produzido dentro do cilindro do extrusor. Esse processo tem sido extensivamente empregado como uma tecnologia para texturizar proteínas vegetais.

## **2.6.2 Interações do amido na formação da rede tridimensional do extrusado**

Segundo Hennesey, Stansbury e Resell (1971), Olkku et al. (1980) e Harper (1981), a extrusão provoca alterações em várias propriedades funcionais do amido as quais dependem principalmente da relação amilose/amilopectina e de parâmetros operacionais de processo de extrusão como a umidade da matéria-prima, temperatura de extrusão, velocidade e geometria do parafuso do extrusor.

A homogeneidade estrutural do amido contendo apenas um tipo de monossacarídeo, capaz principalmente de interações do tipo eletrostáticas, faz com que se tenha uma série de condições favoráveis para a sua extrusão.

As interações entre as moléculas de amilose e amilopectina na extrusão do amido são fundamentalmente de natureza eletrostática como as que se verificam nas pontes de hidrogênio. A estrutura final do produto é, conseqüentemente, sensível à água que é capaz de romper as pontes de hidrogênio com facilidade. Esta homogeneidade no tipo de interação do amido durante a extrusão faz com que as propriedades reológicas do amido durante o processo sejam fundamentalmente determinadas pela concentração das espécies macromoleculares.

Os grânulos de amido intactos não são solúveis em água fria, mas podem absorver pequenas quantidades de água de forma reversível, ocasionando um pequeno aumento de volume. Entretanto, quando se aumenta a temperatura, as moléculas de amido vibram vigorosamente, rompendo os enlaces intermoleculares e permitindo assim a formação de pontes de hidrogênio com a água. A penetração da água, bem como a separação progressiva de mais e maiores segmentos de cadeias de amido, aumenta ao acaso na estrutura geral e diminui o número e tamanho das regiões cristalinas. O aquecimento contínuo em presença de água abundante resulta na completa perda de cristalinidade, como pode ser percebido pela perda da birrefringência e a natureza da difração de raios X (Chiang e Johnson, 1977).

O efeito da formação de complexos amido-lipídeos durante o processamento nas características tecnológicas, mudanças estruturais, e comportamento ante o ataque enzimático do amido tem merecido a atenção de vários pesquisadores (Krog, 1977 e Eliasson, 1980). Mercier et al. (1980) mostraram que o processo de extrusão destruiu a estrutura física de diversos tipos de amido. Por meio de difratometria de raios X, estes autores puderam observar que durante o processo ocorria uma reorganização das macromoléculas gelatinizadas, dando origem a frações cristalinas no produto extrusado. Essas mudanças foram detectadas apenas quando a extrusão foi realizada usando amidos que continham a fração amilose e lipídica.

## **2.7 Absorção d'água e estabilidade de alimentos obtidos por extrusão**

As principais propriedades funcionais do amido extrusado disperso em água, são a absorção e a solubilidade nesta. Como é conhecido, o amido nativo não absorve água a temperatura ambiente sendo sua viscosidade praticamente nula. Entretanto, o amido extrusado absorve água rapidamente formando uma pasta a temperatura ambiente a qual é formada por macromoléculas solubilizadas e também inclui partículas entumecidas por água (gel). Essas duas propriedades são fortemente influenciadas pelo tamanho de partículas. Quanto menor a partícula maior a velocidade e seu nível de solubilização.

Foi observado que a retrogradação das pastas de amido extrusadas é função do conteúdo de umidade, temperatura e velocidade de rotação do extrusor. Amidos com altos teores de umidade produzem extrusados com alta capacidade de retrogradação, usando-se rotação da rosca moderada. Porém os extrusados de amido com baixo conteúdo de umidade, apresentam uma baixa capacidade de retrogradação.

Alterações no índice de absorção e índice de solubilidade em água podem ser interpretadas com base nas interações de amido-água que governam a

estrutura da fase sólida no processamento de extrusão do amido. Um baixo índice de absorção de água no amido extrusado, leva à formação de uma estrutura compacta.

O índice de absorção e índice de solubilidade em água podem ser usados para estimar a conveniência de se usarem ou não produtos extrusados de amido em suspensões ou soluções. Aplicações em situações de limite de água são baseados nessas duas propriedades funcionais e às vezes envolvem capacidade de ligação. O amido gelatinizado durante a extrusão possui uma força de ligação entre partículas fortes sendo resistentes durante o cozimento, não ocorrendo assim sua desintegração.

O índice de absorção de água em milho ceroso diminuiu com o aumento da temperatura durante o processo de 70 à 225°C. Anderson et al., (1969) e Olkku e Linko (1977) concluíram que o conteúdo de umidade, temperatura do extrusor, tamanho das partículas de alimentação, taxa de alimentação e desenho do parafuso determinavam o índice de absorção de água. Em amidos com alta taxa de amilose, o índice de absorção de água aumentou repentinamente por volta de 200°C. Paton e Spratt (1984) não observaram diferenças significativas no índice de absorção de água abaixo das condições de extrusão examinadas com a farinha de trigo no extrusor de rosca simples.

Conway, Lancaster e Bookwalter, (1986) mostraram o efeito da temperatura e umidade da matéria-prima no índice de solubilidade em água e sua viscosidade, em produtos extrusados de farinha de milho, processada em um extrusor de laboratório. À medida que aumentaram a temperatura e diminuíram o teor de umidade das farinhas, o índice de solubilidade aumentou. Porém, efeitos variados foram encontrados quando estudaram a interação entre as variáveis temperatura e teor de umidade no índice de absorção de água.

O índice de solubilidade aumentou com a severidade do tratamento térmico no extrusor. Isso mostra que o aumento no teor de umidade é menor

para grãos de milho (Anderson et al., 1969; Conway, 1971), amido de milho e amido de trigo.

Jin, Hsieh, e Huff (1995) usando um extrusor de rosca dupla com sistema de co-rotação, observaram que o teor de fibras e açúcares e a velocidade do parafuso afetavam o índice de absorção e o índice de solubilidade em água, sendo que essas alterações tiveram uma boa relação com a densidade e volume específico dos extrusados.

Owusu-Ansah, Voort e Stanley (1984) processando amido de milho, procuraram estabelecer as variáveis mais diretamente ligadas a cada modificação físico-química provocada no amido. O grau de gelatinização e o índice de absorção em água foram afetadas, principalmente, pela interação da temperatura e umidade e pela temperatura isoladamente. Mantendo-se a velocidade do parafuso em 90 rpm, a gelatinização máxima foi obtida com o aumento do teor de umidade e a diminuição da temperatura. O índice de absorção em água variou da mesma maneira que o grau de gelatinização. Para as viscosidades inicial e a quente, a umidade foi a variável mais importante e, por meio de cromatografia em papel, foi constatada a formação de oligossacarídeos.

## **2.8 Estudos microestruturais**

### **2.8.1 Caracterização dos produtos extrusados**

Durante o cozimento por extrusão, o amido que se apresenta inicialmente numa forma granular é progressivamente comprimido e transformado primeiramente em um material fluido e em seguida torna-se denso e compacto, desaparecendo sua estrutura cristalina e granular (Ascheri, 1995). Esse cozimento pode destruir a estrutura cristalina organizada do amido, conforme estudos feitos usando as técnicas de difração em raio X. Essa destruição poderá ser parcial ou completa, dependendo das variáveis de extrusão tais como, velocidade da rosca, fluxo de massa, temperatura da camisa de vapor,

diâmetro da matriz, configuração da rosca entre outros. É bem claro que os grânulos de amido podem resistir à quebra dos seus componentes na extrusão em certas condições tipicamente de alta umidade e baixo grau de cisalhamento, mas aumentando a severidade do tratamento térmico, como exemplo à umidade de 19% e 150°C, os grânulos perdem suas estruturas organizadas.

Produtos extrusados podem ser avaliados por suas características físicas externas, (medidas pela densidade, cor e grau de expansão) e internas (pela microscopia ótica ou eletrônica, difração de raios X), características mecânicas, funcionais (solubilidade, capacidade de absorver água), reológicas (consistência, fluidez), químicas (disponibilidade enzimática dos amidos) e por análise sensorial.

Pelos trabalhos de Stanley e Maurice (1978), verificou-se por microscopia eletrônica, que o nível de proteína influenciou acentuadamente a microestrutura do produto. O aumento dos níveis de proteína conduziu a uma melhor orientação e texturização da proteína que estava de acordo com as análises de regressão dos parâmetros.

Owusu-Ansah, Voort e Stanley (1984), avaliaram os efeitos da temperatura, teor de umidade na alimentação e velocidade do parafuso, na expansão, força de quebra e microestrutura de extrusados de amido usando o método de superfície de resposta. A microestrutura dos extrusados foi descrita em resposta à expansão e força de quebra. A porosidade dos extrusados aumentou com o decréscimo da umidade, com um aumento concomitante na expansão e um decréscimo na força de quebra.

Aguilera e Stanley (1990), explicaram o fenômeno da gelatinização de amido, como sendo o inchamento irreversível dos grânulos. Microestruturalmente, ocorre o desdobramento da rede em grânulos, pelos polímeros lineares mais curtos que se difundem no meio aquoso, aumentando sua viscosidade. Se se diminui a quantidade de água ou se se agrega soluto, ao

material, a temperatura de gelatinização aumenta. Como o amido pode ser considerado um polímero esferóide, a gelatinização pode ser vista como um processo de fusão e corresponde à transição de primeira ordem.

### **2.8.2 Estrutura interna do amido e suas possíveis modificações sob o efeito da extrusão**

A insolubilidade em água dos grânulos nativos de amido é devida à sua organização que possui regiões cristalinas que se entrelaçam de modo covalente com regiões amorfas formadas por segmentos flexíveis. O amido, como polímero, pode estar no estado físico cristalino, fundido ou em solução (estado estável) ou estar em forma amorfa (vítrea) que são instáveis. Em uma primeira fase de qualquer processamento, ao se colocar o amido em contato com a água, esta se difunde pelas regiões amorfas, produzindo um aumento de volume reversível. Ao se elevar a temperatura do sistema, e quando a quantidade de água presente foi suficiente, este aumento progride e leva a um ponto em que já não é mais reversível.

A estrutura granular e cristalina desaparece ao sofrer extrusão e se converte num amido de fase homogênea com grânulos fundidos. Para a despolimerização das moléculas de amido, a energia mecânica fornecida a uma longa cadeia é primeiro armazenada dando lugar às transições de conformações, depois às deformações moleculares e enfim às rupturas de ligações covalentes (Porter e Casale, 1985).

Os conceitos clássicos de grânulos gelatinizados avolumados não podem aplicar-se aos extrusados. As estruturas cristalinas dos amidos sofrem modificações que são qualificadas como amidos extrusados. Isto faz com que os investigadores questionem a validade dos métodos óticos e enzimáticos para medir os graus de transformação.

Em relação às mudanças ocorridas na estrutura molecular do amido, durante o processo de extrusão, verifica-se que o conteúdo de amido não é

afetado pela temperatura. Porém, quando há quebra da molécula em amilose e amilopectina, ocorrem alterações na amilopectina. Em geral, não se formam açúcares nem oligossacarídeos (não existe uma fração solúvel em álcool).

Os amidos extrusados, graças à presença de amilopectinas degradadas, retrogradam menos. Os produtos extrusados podem ser visualizados como uma mistura de produtos nativos, gelatinizados e dextrinizados.

A limitação do conteúdo de água, elevação de temperatura e incremento da força de cisalhamento, promoveram transformações do tipo dextrinização, entretanto em condições opostas favoreceram as transformações do tipo gelatinização (Lawton, Henderson e Derlatska, 1972).

## **3 MATERIAL E MÉTODOS**

### **3.1 Matéria-prima**

#### **3.1.1 Obtenção**

##### **A) Farinha de Banana**

A farinha de banana do tipo “Nanicão”, foi adquirida do comércio sendo armazenada em sacos plásticos e mantida sob refrigeração.

##### **B) Farinha de Arroz**

O arroz da marca Blue-Patina foi adquirido do comércio da cidade do Rio de Janeiro. Esse produto foi então moído, peneirado (peneira de 2mm) e armazenado em saco plástico sendo mantido sob refrigeração.

##### **C) Farinha de Trigo**

A farinha de trigo obtida do comércio também foi armazenada sob refrigeração.

##### **D) Isolado Protéico de Soja**

Amostras de Isolado Protéico de Soja do tipo NB foram fornecidas pela CEVAL ALIMENTOS.

#### **3.1.2 Condicionamento da matéria-prima**

As amostras de matéria-prima foram acondicionadas para os diferentes níveis de umidade conforme o delineamento experimental. Os teores de farinha de trigo, isolado protéico de soja, emulsificante e sal foram mantidos constantes, 39%, 8%, 2% e 1%, respectivamente, variando apenas os teores de farinha de arroz e banana de 20 a 30%.

A quantidade de água adicionada às amostras indicada na Tabela 1 é calculada de acordo com a seguinte fórmula:

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

Onde:

Y = quantidade de água a ser adicionada (ml)

$U_f$  = umidade final da amostra

$U_i$  = umidade inicial da amostra

$P_s$  = peso da amostra (g)

A umidade inicial das amostras foi calculada de acordo com as umidades encontradas para as farinhas, sendo o cálculo feito para a farinha de maior umidade (12,90 %).

$$Y = \frac{(30 - 12,90) \times 2000}{100 - 30}$$

$$100 - 30$$

$$Y = 488,60 \text{ ml}$$

E assim sucessivamente.

As amostras após acondicionadas foram homogeneizadas utilizando uma bateadeira industrial com agitação durante aproximadamente 15 min.

TABELA 1 - Níveis de umidade da matéria-prima para o processo de extrusão

Formulação (g)		Umidade desejada (%)	Água adicionada (ml)
Farinha de Banana	Farinha de Arroz		
16,59	33,41	26,59	372,97
20,00	30,00	30,00	488,60
25,00	25,00	35,00	680,00
30,00	20,00	40,00	903,34
33,50	16,50	43,41	1078,28

### 3:1.3 Análises da Matéria-Prima

#### A) Granulometria

Para a determinação do tamanho das partículas das farinhas de banana e arroz usadas nas formulações, foi utilizado um agitador de peneiras, por um

período de 10 minutos, com um conjunto de peneiras de: 20, 50, 60, 80, 100, 150 e 200 *mesh* e uma base.

### B) Composição Centesimal

- Umidade: foi determinada segundo o método AACC 44-15 A (1983), método estufa-ar: 10 g de amostra foram pesados e colocados numa estufa Brabender com circulação de ar 130°C por 1 hora.
- Proteína: foi determinada segundo o método AACC 46-13 (1983), método Micro-Kjeldahl.
- Lipídeos: foram determinados segundo o método AACC 30-25 (1983), mediante um extrator Soxhlet.
- Cinzas: determinadas segundo o método AACC 08-01 (1983), mediante uma calcinação a 550°C.
- Fibra: foi determinada considerando o método da AOAC (1984).

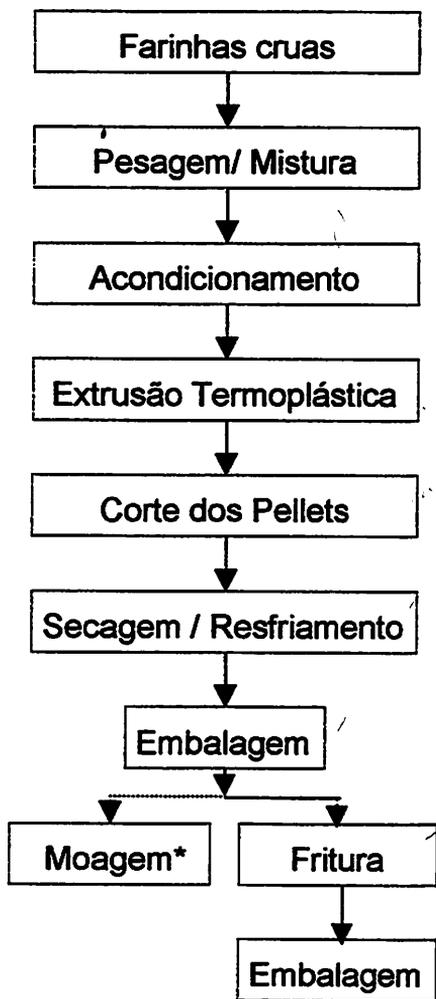
### 3.2 Equipamentos

Além dos equipamentos de uso comum em laboratórios, foram também utilizados:

1. Extrusor Brabender dupla rosca
2. Estufa com circulação de ar
3. Viscoamilógrafo
4. Analisador de Textura – (Texture Analyser, modelo TA-XT2)
5. Centrífuga
6. Banho-maria
7. Agitador de Peneiras
8. Microscópios

### 3.3 Processamento

O processamento foi conduzido de acordo com o fluxograma 1.



**FLUXOGRAMA 1-** Processo de obtenção de pellets a partir de misturas de farinhas através do processo de extrusão.

A extrusão das amostras foi iniciada após as três zonas (alimentação, transição e alta pressão), atingirem as temperaturas desejadas, conforme o delineamento experimental.

Após o processo de extrusão, os *pellets* foram cortados em tiras de 2 a 3 cm e colocados em estufa com circulação de ar a 60°C por 6 horas, para a secagem dos mesmos, até alcançarem uma umidade entre 4 e 7%, sendo em seguida armazenados em sacos plásticos, à temperatura ambiente. Em algumas análises, foi necessário, realizar a moagem dos *pellets* em moinho de facas obtendo-se assim a farinha dos extrusados.

### 3.3.1 Condições do processo de extrusão

Os parâmetros considerados como variáveis e como constantes durante o processo de extrusão, incluindo a secagem após o processamento, foram os seguintes:

#### •PARÂMETROS VARIÁVEIS

- Proporções do material – Teor de farinha de banana adicionada: 20 a 30%
- Temperatura – 60 a 80°C
- Umidade do Processamento – 30 a 40%

#### •PARÂMETROS CONSTANTES

- Diâmetro da matriz – 1 mm laminar
- Taxa de alimentação – 148g/min
- Rotação do parafuso – 100 rpm

#### •SECAGEM

- Temperatura de secagem: 65 a 70°C

### **3.4 Características físicas, tecnológicas e funcionais dos extrusados**

#### **3.4.1 Densidade Aparente**

A densidade aparente é uma forma indireta de verificar os níveis de expansão dos *pellets* fritos e medir sua densidade. Assim, pelo método do deslocamento da massa ocupada (utilizando-se semente de canola) e o seu volume determinado numa proveta graduada, mediu-se a densidade aparente dos *pellets* fritos. A fórmula utilizada para o cálculo foi:  $D=p/v$ , onde  $D$ =densidade,  $p$ =peso,  $v$  = volume.

#### **3.4.2 Textura**

A textura dos *pellets* fritos, foi determinada mediante um analisador de textura (Texture Analyser, modelo TA-XT2), da Texture Technologies Scarsdale (Stable Micro Systems). A velocidade de ruptura foi de 2,0 mm/s a uma distância de 20 mm. As amostras foram colocadas em uma plataforma e utilizando-se de uma faca de aço retangular (Blade Set With Knife) a amostra extrusada foi rompida sobre o suporte. O valor considerado foi obtido pela média aritmética de 6 determinações da força de quebra para cada amostra.

#### **3.4.3 Viscosidade de pasta**

A viscosidade de pasta em unidades amilográficas ou Brabender (UA ou UB) utilizada como parâmetro para avaliar as modificações do amido durante o processo de extrusão, foi determinada no viscoamilógrafo Brabender.

A temperatura foi aumentada de 25°C a 95°C, com uma taxa constante de elevação de 1,5°C por minuto. Ao chegar a 95°C a temperatura foi mantida constante por 20 min e depois procedeu-se ao resfriamento até 50°C, com diminuições de temperatura de 1,5°C por minuto.

Os amilogramas foram obtidos com base em suspensões preparadas com 450 ml de água destilada e aproximadamente 66 g de extrusados moídos.

As seguintes medidas foram tomadas dos amilogramas:

- Viscosidade da pasta a frio (25°C): é o valor da viscosidade da suspensão em unidades amilográficas (UA), no início do ciclo de aquecimento. Essa viscosidade a frio depende principalmente do grau de gelatinização dos grânulos de amido e da extensão da sua quebra molecular durante o processo de extrusão.
- Viscosidade a quente: corresponde ao valor da viscosidade (em UA) quando a suspensão chega a 95°C no ciclo de aquecimento e permanece à temperatura constante. Quando a estrutura do grânulo é destruída, ele perde a sua capacidade de inchar quando aquecido em água, apresentando baixo valor da viscosidade.
- Viscosidade a 50°C: valor da viscosidade no ciclo de resfriamento. Os elementos presentes na pasta começam a se associar ou retrogradar aumentando a viscosidade.

#### 3.4.4 Índice de absorção de água (IAA) e Índice de solubilidade em água (ISA)

A determinação dos índices de absorção e de solubilidade em água seguiu a metodologia de Anderson et al, 1969. Em um tubo de centrífuga (com tampa), previamente tarado, foram colocados aproximadamente 2,5 g de amostra (com granulometria menor que 60 *mesh*) e 30 ml de água a 30°C. Os tubos foram agitados durante 30 minutos num agitador mecânico, à mesma temperatura de 30°C e, em seguida, foram centrifugados a 3000 x g durante 10 minutos. O líquido sobrenadante foi vertido cuidadosamente em placa de Petri previamente tarada. O gel remanescente foi pesado e o índice de absorção de água foi calculado conforme a seguinte relação:

$$\text{IAA} = \frac{\text{Peso do resíduo da centrifugação}}{\text{Peso da amostra} - \text{peso do resíduo da evaporação}}$$

= g de gel / g de matéria seca

O índice de solubilidade em água (ISA) foi determinado com base na evaporação do sobrenadante obtido no teste anterior. Para o cálculo do ISA foi utilizada a seguinte relação:

$$\text{ISA} = \frac{\text{Peso do resíduo da evaporação}}{\text{Peso da amostra}} \times 100 = \%$$

### 3.4.5 Análise Microestrutural

Pequenas amostras do produto extrusado foram analisadas através da microscopia ótica, com o intuito de verificar as estruturas formadas pelas interações de componentes moleculares oriundos das diferentes proporções das formulações utilizadas, bem como suas implicações sobre a textura do produto. Através das fotomicrografias foi feita a caracterização da produto obtido.

### 3.5 Delineamento experimental

Foram consideradas as variáveis Formulação (F), Temperatura (T) e Umidade (U).

Para analisar o efeito combinado dessas variáveis nas características tecnológicas dos extrusados, estabeleceu-se um experimento estatisticamente delineado em metodologia de superfície de resposta do tipo central composto rotacional de 2ª ordem (Box, Hunter e Hunter, 1978). Os parâmetros do processo estabelecidos como variáveis independentes foram estudados em três níveis codificados como (-1, 0, +1) calculados de acordo com a seguinte equação:

$$x_i = \frac{X_i - Z}{\Delta X_i}$$

onde:

$x_i$  = valor codificado da variável  $X_i$

$X_i$  = valor real da variável

$Z$  = valor real da variável no ponto central

$\Delta X_i$  = valor do intervalo de variação de  $x_i$

Esse delineamento apresenta também dois níveis de variáveis axiais que são codificados como  $(-\alpha)$  e  $(+\alpha)$ . O valor depende do número fatorial ( $F=2^k$ ) do delineamento e do número de variáveis independentes ( $K=3$ ) sendo o valor definido pela equação:

$$\alpha=(F)^{1/4}=(2^k)^{1/4}=1,682$$

Os valores máximos e mínimos de cada independente foram estabelecidos dentro das possibilidades operacionais do processo de extrusão com base nos diversos ensaios preliminares. Para análise de resultados experimentais, a metodologia descreve o comportamento de um sistema no qual estão combinadas as variáveis independentes ( $X_k$ ), a variável dependente ou resposta ( $Y_i$ ). A resposta é uma função dos níveis nos quais estes fatores foram combinados e definidos como segue por (Box e Draper, 1967):

$$Y_i = F(X_1, X_2, \dots, X_k)$$

Mediante uma análise de regressão, pode ser ajustado para cada resposta ( $Y$ ) um polinômio de segunda ordem como as variáveis explicativas ( $X_k$ ). A expressão geral utilizada para prever o comportamento de cada resposta avaliada pode ser escrita da seguinte forma:

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

onde:

$Y_i$  = função resposta

$X_1, X_2, X_3$  = valores das variáveis independentes

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

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

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

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

$\varepsilon$  = erro experimental

O experimento foi conduzido num delineamento fatorial incompleto  $3^3$  (Box e Behrken, 1960) com três fatores ou variáveis independentes (formulação, temperatura e umidade) e três níveis codificados. Tanto os níveis codificados, quanto os axiais ( $-\alpha$ ,  $-1$ ,  $0$ ,  $+1$ ,  $+\alpha$ ) e os fatores têm seus valores reais mostrados na Tabela 2 e o delineamento completo na Tabela 3.

TABELA 2 - Níveis das variáveis independentes a serem estudadas no processo de extrusão.

Variáveis	Níveis				
	$-\alpha= 1,682$	$-1$	$0$	$+1$	$+\alpha= 1,682$
$X_1$	53,18	60	70	80	86,82
$X_2$	26,59	30	35	40	43,41
$X_3$	16,50	20	25	30	33,41

$X_1$  = Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )

$X_2$  = Umidade de processamento (%)

$X_3$  = Formulação (%)

A significância do modelo foi testada pela análise de variância (ANOVA) usando o teste de distribuição F segundo o qual um modelo de regressão é significativo a um certo nível de significância, quando o valor do teste de distribuição F calculado é maior ou igual ao do teste F tabelado neste nível de significância; e quanto maior o teste F calculado, mais preditivo é o modelo (Box e Wetz, 1973). O processamento dos dados e a análise estatística foram elaborados com o auxílio dos programas computacionais "Otimiza, Modreg" (Barros Neto, Scarmínio e Bruns, 1995) e Minitab for Windows". O modelo foi reajustado utilizando-se a técnica "Backward Elimination Procedure" que permite examinar a melhor regressão eliminando-se os termos não significativos, isto é, apresentando uma probabilidade de significância ( $p \geq 0,05$ ) com exceção de alguns casos, considerando, inclusive, algumas interações.

Os modelos matemáticos empregados em geral nos processo de extrusão de alimentos, apesar de estarem em evolução, são uma adaptação feita

considerando a extrusão de plásticos. Todavia, esses modelos adaptados tornam-se muito complicados, graças à natureza heterogênea dos alimentos e da complexidade do processo. Para tanto, as similaridades, as diferenças e às vezes os equívocos no ajuste do modelo são considerados plausíveis, (Janssen, 1989; Eerikainen e Linko, 1989 e Mulvaney, Hsieh e Onwulata, 1988).

Baseando-se na equação de regressão obtida por essa técnica, variando-se duas variáveis enquanto a terceira estudada permanece constante, foi possível elaborar gráficos tridimensionais de superfície de resposta, bem como suas respectivas curvas de nível com auxílio do programa computacional “Basic Statistics and Tables”.

TABELA 3 - Delineamento completo

Número do experimento	Níveis codificados das variáveis			Níveis decodificados das variáveis		
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$X_1$	$X_2$	$X_3$
01	-1,000	-1,000	-1,000	60	30	20
02	1,000	-1,000	-1,000	80	30	20
03	-1,000	1,000	-1,000	60	40	20
04	1,000	1,000	-1,000	80	40	20
05	-1,000	-1,000	1,000	60	30	30
06	1,000	-1,000	1,000	80	30	30
07	-1,000	1,000	1,000	60	40	30
08	1,000	1,000	1,000	80	40	30
09	0,000	0,000	0,000	70	35	25
10	0,000	0,000	0,000	70	35	25
11	0,000	0,000	0,000	70	35	25
12	0,000	0,000	0,000	70	35	25
13	0,000	0,000	0,000	70	35	25
14	0,000	0,000	0,000	70	35	25
15	$-\alpha$	0,000	0,000	53,18	35	25
16	$\alpha$	0,000	0,000	86,82	35	25
17	0,000	$-\alpha$	0,000	70	26,59	25
18	0,000	$\alpha$	0,000	70	43,41	25
19	0,000	0,000	$-\alpha$	70	35	16,50
20	0,000	0,000	$\alpha$	70	35	33,41

$X_1$  e  $x_1$ = Temperatura ( $^{\circ}$ C)

$X_2$  e  $x_2$ = Umidade (%)

$X_3$  e  $x_3$ = Formulação (%)

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Granulometria da matéria-prima

Os resultados encontrados para a granulometria das farinhas de arroz, de banana e trigo utilizadas nas formulações dos extrusados, são mostradas na Tabela 4.

Observa-se, nos resultados, que cerca de 45% das partículas na farinha de banana são retidas nas peneiras de 20 e 50 *mesh*, e cerca de 37% são retidas em peneiras de 150 *mesh*. Por outro lado, na farinha de arroz observa-se uma distribuição do tamanho de partículas relativamente homogênea nas diferentes peneiras testadas. Já a farinha de trigo encontra-se em maior porcentagem na peneira de 100 *mesh*, 36% e na de 200 *mesh*, 24,5%.

TABELA 4 - Análise gravimétrica das farinhas

Peneiras <i>Mesh</i>	Matéria-Prima		
	%FAR	% FBN	% FTR
20	12,32	23,80	0,10
50	25,68	22,64	1,27
60	22,03	6,76	0,86
80	17,77	4,32	11,48
100	9,54	2,42	36,35
150	12,56	37,17	12,38
200	0,10	2,37	24,50
Base	0,00	0,52	13,06
Total	100,00	100,00	100,00

% FBN – Porcentagem de Farinha de Banana

% FAR – Porcentagem de Farinha de Arroz

% FTR – Porcentagem de Farinha de Trigo

A granulometria dos materiais utilizados durante o processo de extrusão tem significativa influência nos resultados de cocção durante o processo, assim como, na textura do produto final (Ramirez e Wanderley, 1997).

## 4.2 Composição centesimal da matéria-prima e do produto extrusado

A composição centesimal das farinhas de banana e arroz crus e extrusadas está apresentada na Tabela 5. As amostras dos *pellets* analisadas foram escolhidas por apresentarem as melhores características visuais.

De acordo com Rokey e Huber (1987), a textura e, ou a crocância dos *snacks* dependem da composição da matéria-prima e de sua confecção. Em seus estudos verificaram que a composição da matéria-prima para produtos extrusados por expansão direta e produtos intermediários (*snacks* não expandidos) deveria variar entre: umidade 12-13%; cinzas 0,2-0,3%; e proteína 7-8%. Observa-se que na composição das matérias-primas utilizadas na elaboração dos *pellets* encontram-se valores de umidade das farinhas de arroz e banana pouco acima dos padrões de qualidade do ponto de vista de expansão e valores inferiores para a farinha de trigo, já o teor de cinzas é bem superior na farinha de banana, talvez pelo fato de sua produção, em que há uma secagem, e alto para as farinhas de arroz e de trigo. O teor de proteína também se encontram fora da faixa dos padrões.

Após a extrusão, os componentes das farinhas, não sofrem muitas mudanças em seus valores, com exceção da proteína, por causa da adição de isolado protéico de soja. A umidade dos *pellets* diminui em relação às farinhas, graças ao processo de extrusão sendo seguido pela secagem dos mesmos.

TABELA 5 - Determinação da composição centesimal das farinhas de banana e arroz crus e extrusados

Análises	FBN	FAR	FTR	AM 06	AM 08	AM 10	AM 17
Proteína	5,38	0,93	10,07	14,66	14,68	15,39	14,70
Umidade	14,03	14,30	10,91	9,15	7,73	10,75	9,97
Cinzas	3,44	0,57	0,57	3,59	3,59	3,57	3,46
Éxtrato Etéreo	0,59	0,30	1,13	0,22	0,15	0,21	0,16
Fibra Bruta	2,38	1,62	0,42	1,98	2,27	0,67	0,78
Fibra Alimentar	7,80	1,25	4,76	4,98	4,29	4,60	4,78
Carboidratos por diferença	66,38	81,03	72,14	65,42	67,29	64,81	66,15

\*Resultados em gramas

### 4.3 Caracterização tecnológica, física e funcional do produto extrusado

Os resultados experimentais das variáveis independentes referentes a Temperatura (°C), Umidade (%) e Formulação (%), bem como os valores das médias dos seus efeitos nas propriedades tecnológicas físicas e funcionais do produto extrusado, encontram-se, na Tabela 6.

#### 4.3.1 Densidade Aparente (DAP)

Pela densidade aparente (DAP), assim como o índice de expansão busca-se descrever, de forma indireta, o grau de “transformação” do grânulo de amido e as variações de peso e volume que sofreu a massa amilácea ao sair do extrusor.

A determinação do grau de expansão dos *pellets* na maioria das vezes é dificultada pelas suas características geométricas, em consequência dos diferentes formatos das matrizes. Sendo assim, avalia-se sua densidade aparente ou massa volumétrica aparente.

Na Tabela 1A do anexo são apresentados os valores da análise de variância (ANOVA) da variável resposta densidade aparente (DAP), estudando sua interação com as variáveis independentes (temperatura, umidade e formulação). Verifica-se que o coeficiente de determinação ( $R^2=0,4183$ ) explica 42% da variação da DAP. A equação apresentada na tabela, mostra o modelo matemático completo correspondente à densidade aparente (DAP) com 5% de probabilidade. Em virtude do baixo valor de  $R^2$ , o modelo serve apenas para estudar a tendência da resposta.

TABELA 6- Resultados Experimentais da caracterização do produto extrusado

T	X1	X2	X3	DAP	VI25	V95	V50	IAA	ISA	TEX
1	60	30	20	0,153	65,000	125,000	220,000	6,403	3,170	635,328
2	80	30	20	0,143	125,000	75,000	120,000	6,310	8,654	666,133
3	60	40	20	0,166	35,000	205,000	460,000	3,969	3,144	353,989
4	80	40	20	0,154	10,000	230,000	405,000	3,954	3,541	557,387
5	60	30	30	0,119	60,000	90,000	130,000	6,615	4,901	1020,393
6	80	30	30	0,097	190,000	65,000	100,000	6,559	11,222	1500,852
7	60	40	30	0,100	45,000	215,000	300,000	4,880	3,857	618,271
8	80	40	30	0,114	10,000	180,000	265,000	4,898	4,547	490,340
9	70	35	25	0,112	20,000	140,000	235,000	4,347	3,581	789,373
10	70	35	25	0,106	25,000	120,000	205,000	4,974	3,842	581,151
11	70	35	25	0,102	55,000	135,000	220,000	6,567	4,247	783,014
12	70	35	25	0,107	50,000	135,000	205,000	6,064	3,900	644,974
13	70	35	25	0,190	10,000	195,000	265,000	5,678	4,243	501,842
14	70	35	25	0,205	20,000	165,000	225,000	5,494	3,411	1129,223
15	53,18	35	25	0,144	40,000	140,000	255,000	5,364	4,545	864,784
16	86,82	35	25	0,258	10,000	95,000	125,000	5,548	5,990	1052,676
17	70	26,59	25	0,103	10,000	60,000	115,000	5,795	5,964	2427,017
18	70	43,41	25	0,195	20,000	280,000	410,000	5,036	2,378	618,098
19	70	35	33,50	0,161	70,000	110,000	175,000	5,036	5,400	1047,423
20	70	35	16,59	0,105	15,000	160,000	255,000	5,604	2,544	575,463

T= Tratamentos

DAP = Densidade Aparente (g/cm<sup>3</sup>)

IAA= Índice de Absorção de água (g gel/g matéria seca)

X1= Temperatura (°C)

VI25= Viscosidade Inicial a 25°C (UA)

ISA = Índice de Solubilidade em água (%)

X2= Umidade (%)

V95= Viscosidade a 95°C (UA)

TEX= Textura (Kg/mm)

X3= Formulação (%)

V50= Viscosidade de Resfriamento a 50°C (UA)

Pela Figura 1A, pode-se verificar o efeito das variáveis umidade e temperatura na densidade aparente da formulação. Observa-se que a formulação foi a variável que mais influenciou a densidade aparente, sendo que a alta percentagem de farinha de banana leva a baixos índices de densidade aparente.

Pela Figura 1B, observa-se o gráfico de superfície de resposta correspondente ao modelo que estabelece a variação da DAP em função da temperatura e formulação.

Verificou-se que o aumento da temperatura aumenta a DAP. A formulação, por sua vez, causa alteração quando a temperatura apresenta valores baixos (na faixa de 53°C). Sendo assim, a adição de farinha de banana entre 17 a 25% aumenta os valores da DAP. Por outro lado, ela diminui quando a temperatura varia de 53°C a aproximadamente 75°C com um teor de farinha de banana aproximadamente 31 a 33% de farinha de banana na formulação.

Gomez e Aguilera (1984), Chinnaswamy e Hanna (1988) e Kirby et al. (1988) observaram que a expansão estava diretamente relacionada com a temperatura e indiretamente com a umidade, na elaboração de produtos por expansão direta. Porém, na elaboração de produtos intermediários, ou *pellets*, os produtos, ao saírem da extrusora, apresentam estrutura laminar (de acordo com o formato desejado) sem expansão, mas apresentando certo grau de gelatinização (Ascheri et al., 1995). Assim, a umidade de condicionamento na manufatura desses *pellets*, deverá ser tão alta quanto necessária para evitar a expansão na saída da matriz, e ao mesmo tempo com a umidade suficiente para que o atrito produzido no canhão da extrusora provoque certa gelatinização, a fim de que, durante a fritura, apresente altos níveis de expansão.

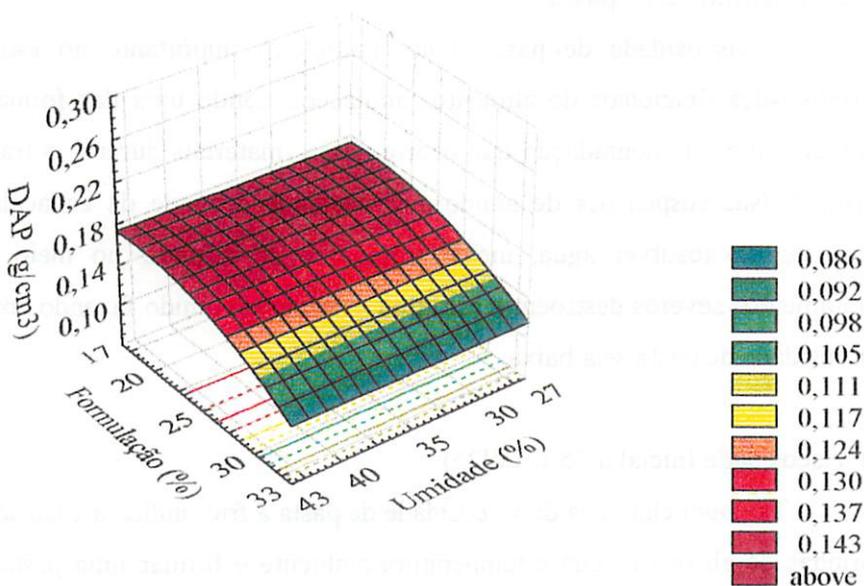


FIGURA 1A Efeito da umidade de processo e formulação na densidade aparente dos extrusados.

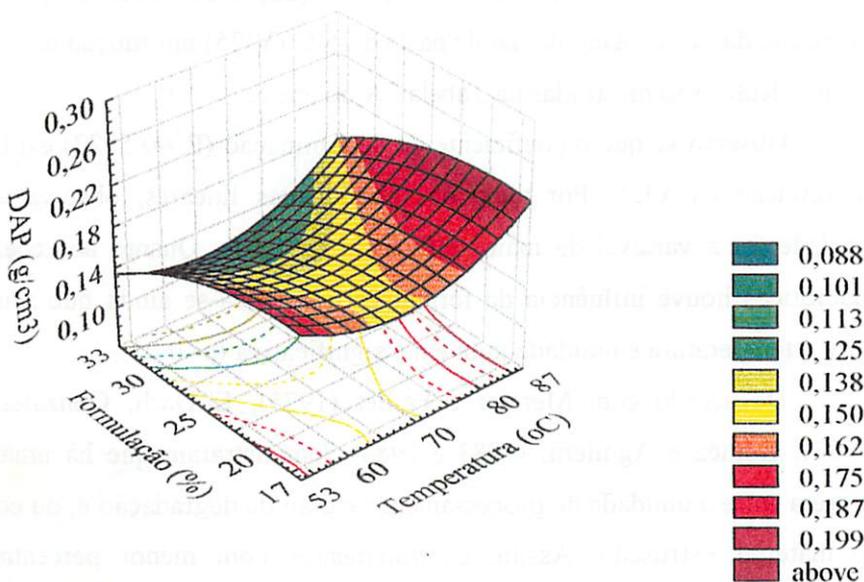


FIGURA 1B Efeito da temperatura de extrusão e formulação na densidade aparente dos extrusados.

### 4.3.2 Viscosidade de pasta

A viscosidade de pasta é um parâmetro importante no estudo das propriedades funcionais de alimentos amiláceos, sendo uma das formas de se avaliar o grau de degradação que ocorre nesses materiais durante o tratamento térmico. Nas suspensões de amido a viscosidade depende da capacidade dos grânulos de absorver água, inchar, romper e se difundir no meio líquido. Tratamentos severos destroem a estrutura granular do amido fazendo com que a viscosidade de pasta seja baixa.

#### a) Viscosidade Inicial a 25°C (VI25)

Também chamada de viscosidade de pasta a frio, indica a capacidade das farinhas de absorver água à temperatura ambiente e formar uma pasta, gel ou líquido viscoso, sendo expressa em Unidades Amilográficas (UA), ou ainda, em Unidades Brabender (UB).

A análise de variância (ANOVA) e a equação de regressão que expressa a variação da viscosidade inicial de pasta a 25°C (VI25) em função das variáveis independentes são mostradas na Tabela 2A do anexo.

Observa-se que o coeficiente de determinação ( $R^2=0,5122$ ) explica 51% da variação da VI25. Por meio dos coeficientes lineares, observa-se que a umidade foi a variável de maior influência ( $p<0,01$ ). Quanto aos coeficientes quadráticos houve influência da formulação. Verifica-se ainda que a interação entre a temperatura e umidade também é significativa ( $p<0,01$ ).

De acordo com Mercier e Feillet (1975), El-Dash, Gonzales e Ciol (1983), Gomez e Aguilera, (1983 e 1984) demonstraram que há uma relação indireta entre a umidade de processamento e grau de degradação e, ou conversão do material extrusado. Assim, os tratamentos com menor percentagem de umidade tiveram a sua estrutura amilácea sujeitas a uma maior degradação em comparação aos tratamentos com maior umidade. No desenho experimental

eram considerados como  $-x$  26,0%, 30, 35, 40 e  $+x$  43% em umidades de condicionamento. Tanto a umidade quanto a temperatura de processo são fatores competitivos nos graus de “transformação” do material amiláceo, sendo difícil a identificação de qual deles foi o responsável pela mudança.

Verifica-se na Figura 2A, a influência da umidade e temperatura. A temperatura é proporcional à VI25 e a umidade inversamente proporcional. Observa-se ainda que à temperatura acima de 80°C e umidade abaixo de 30%, obtêm-se maiores índices de viscosidade a frio. Na mesma faixa de temperatura e umidade maior, por volta de 40%, ocorre uma diminuição na viscosidade. Altas viscosidades são típicas de um produto gelatinizado, enquanto que baixas, com uma umidade menor, indicam quebra de polímero. Embora a temperatura de processamento afete a viscosidade de pasta a 25°C, a umidade foi a variável de maior influência, o que também foi constatado por El-Dash (1983) e Owusu-Ansah, Voort e Stanley (1983) em trabalhos com amido de milho, Srebernich (1989) com sorgo e Torres (1991), trabalhando com amido de banana.

Já pela Figura 2B, observa-se a curva tridimensional do efeito das variáveis umidade e formulação a VI25. Verifica-se que com uma formulação contendo menor percentagem de farinha de banana sob baixa umidade há um aumento da viscosidade inicial a 25°C, assim como com alto teor de farinha de banana a umidade baixa. Independente da formulação, um aumento da umidade de processo leva a uma diminuição da viscosidade. Isso ocorre porque tratamentos com alta umidade levam à degradação parcial da estrutura granular do amido do produto. A quebra total da estrutura implica um viscoamilograma com baixos valores de viscosidade inicial de pasta.

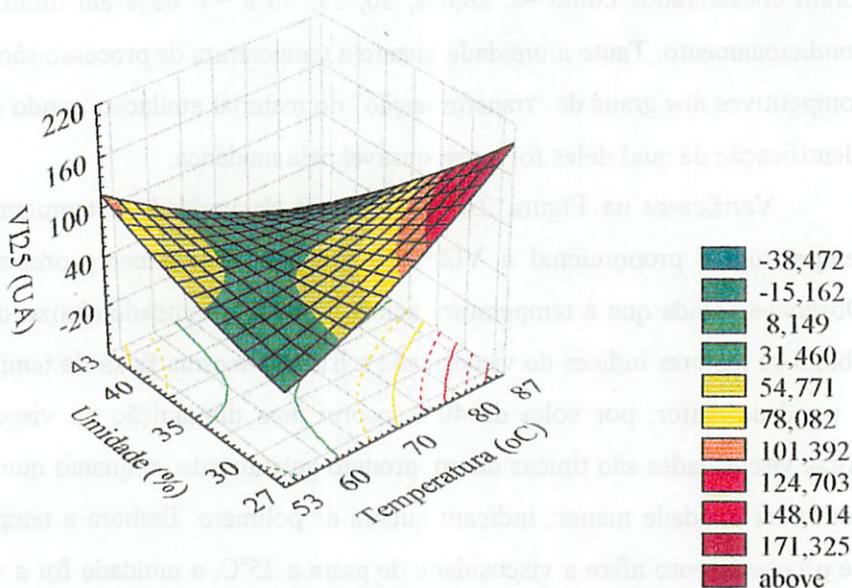


FIGURA 2A Efeito da temperatura de extrusão e umidade de processo na viscosidade inicial a 25°C dos extrusados.

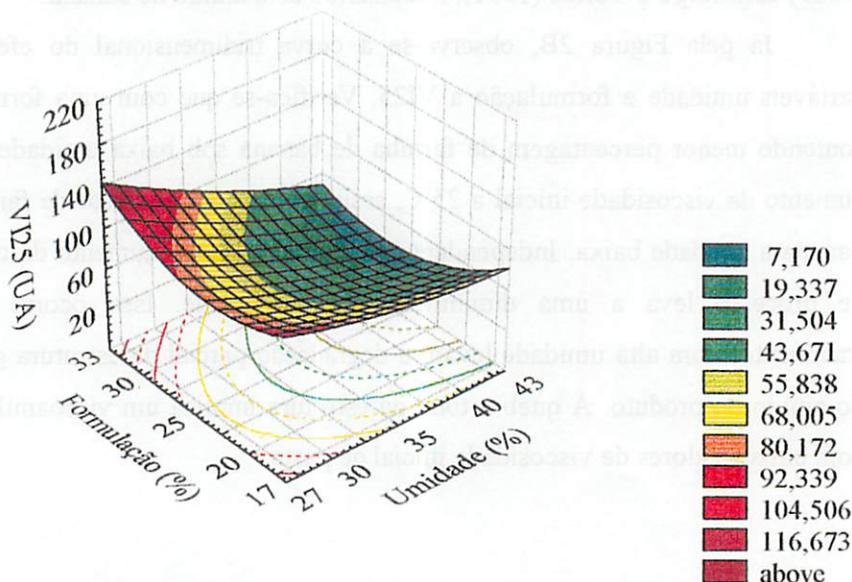


FIGURA 2B Efeito da umidade de processo e formulação na viscosidade inicial a 25°C dos extrusados.

### b) Viscosidade a 95°C (V95)

A viscosidade de pasta a 95°C é um parâmetro que mede a resistência do grânulo de amido ao colapso resultante da ação da temperatura e o atrito mecânico no viscoamílografo. Durante o ciclo de aquecimento até 95°C, ocorre intumescimento e gelatinização dos grânulos de amido, atingindo o pico máximo nesta etapa. 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 viscoamílograma apresenta ausência de pico e valores muito baixos de viscosidade. Porém, se os tratamentos não são tão severos, determinada percentagem de grânulos de amido podem ter conservado parte da estrutura amilácea. Nessa condição observam-se valores relativamente altos de viscosidade de pasta, pois há maior número de grânulos em condição de intumescimento.

Na Tabela 3A são apresentados os resultados da análise de variância (ANOVA) da resposta viscosidade de pasta a 95°C (V95), relativo às variáveis independentes. Observa-se que pelo coeficiente de determinação ( $R^2=0,8908$ ) pode-se explicar 89% da variação da viscosidade a 95°C, verificando-se que o modelo se ajusta bem aos dados obtidos. Observa-se ainda que a variável umidade foi altamente significativa quanto ao coeficiente linear ( $p<0,01$ ). Já os coeficientes quadráticos e as interações entre as variáveis não foram significativas ( $p>0,05$ ).

Na Figura 3A, verifica-se o efeito da temperatura e umidade nas características de viscosidade de pasta a 95°C, sendo que a alta umidade implicou um aumento da viscosidade. A baixas umidades (na faixa de 27 a 40%), ocorre um decréscimo na V95, e com a temperatura acima de 80°C leva a um menor valor na viscosidade. Isso ocorre porque a alta temperatura torna a massa plástica menos viscosa, permitindo, assim, que as moléculas se tornem mais suscetíveis à ação de cisalhamento. Dessa forma, tem-se uma maior ação

térmica e mecânica, resultando numa maior degradação do amido e, conseqüentemente, obtendo-se menores valores de viscosidade a 95°C. Em alguns trabalhos, verificou-se que a temperatura não interferiu muito nos valores de viscosidade máxima, confirmando a hipótese de que mesmo em condições mais brandas de temperatura já tenha ocorrido a gelatinização.

Na Figura 3B, pode-se apurar o efeito da umidade e formulação. Nota-se que a umidade continua sendo a variável de maior significância, uma vez que aumentando-se a umidade, aumenta-se também a V95, mesmo variando o teor de farinha de banana de 17 a 33%.

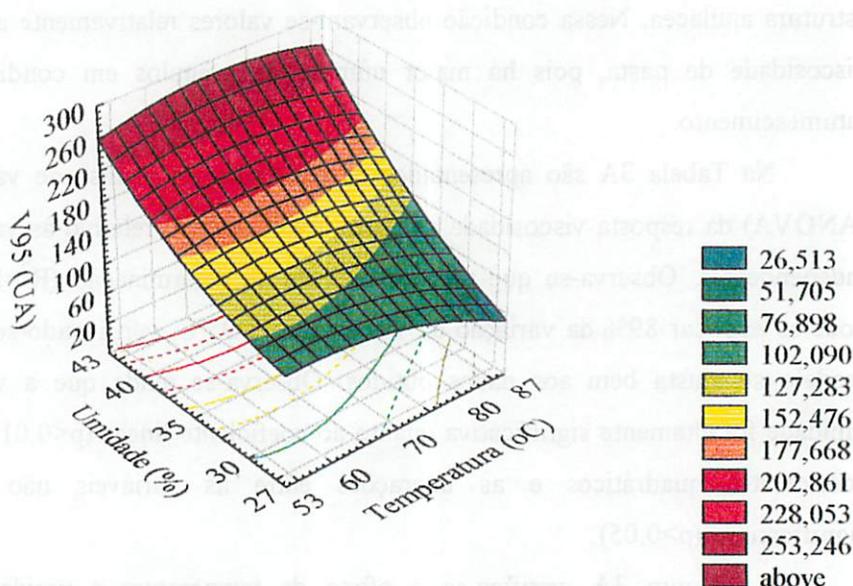


FIGURA 3A Efeito da temperatura de extrusão e umidade de processo na viscosidade de pasta a 95°C.

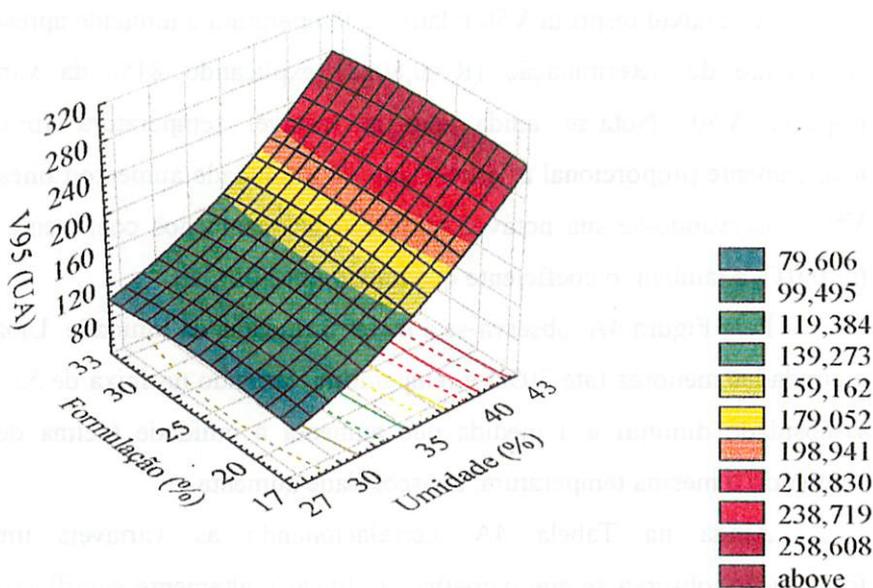


FIGURA 3B Efeito da umidade de processo e formulação na viscosidade de pasta a 95°C.

### c) Viscosidade a 50°C (V50)

Durante a determinação da viscosidade de pasta no viscoamilógrafo, pelo ciclo de resfriamento normalmente constata-se a tendência à retrogradação por efeito da recristalização das moléculas de amilose e amilopectina. O efeito dessa retrogradação implica o aumento da viscosidade de pasta a 50°C.

Na Tabela 4A do anexo estão apresentados os resultados da análise de variância (ANOVA), da variável resposta viscosidade a 50°C (V50). O valor do coeficiente de determinação ( $R^2 = 0,8663$ ) explica 87% da variação da resposta V50, verificando-se, assim, que o modelo se ajusta bem aos dados encontrados. Observa-se ainda que os coeficientes lineares das três variáveis, o coeficiente quadrático para a umidade, bem como as interações umidade e formulação foram significativos.

A variável resposta V50 relativo à temperatura e umidade apresentou um coeficiente de determinação ( $R^2=0,8083$ ) explicando 81% da variação da resposta V50. Nota-se ainda que a variável temperatura ( $p<0,01$ ) foi inversamente proporcional à viscosidade. Já a umidade aumentou linearmente a V50, observando-se sua notável significância quanto aos coeficientes lineares ( $p<0,01$ ), e também o coeficiente quadrático ( $p<0,05$ ).

Pela Figura 4A, observa-se a maior influência da umidade. Uma vez que a umidades menores (até 30%) e temperatura variando na faixa de 53 a 87°C, a viscosidade diminui e à medida que aumenta a umidade (acima de 35%) e mantendo a mesma temperatura, a viscosidade aumenta.

Ainda na Tabela 4A, correlacionando as variáveis umidade e formulação, observa-se que o coeficiente linear é altamente significativo para a variável umidade ( $p<0,01$ ) e também significativo para a variável formulação, bem como para suas interações ( $p<0,05$ ). Pelo coeficiente de determinação ( $R^2=0,7831$ ) pode-se explicar 78% da variação da viscosidade no ciclo de resfriamento.

Na Figura 4B verifica-se o efeito das variáveis umidade e formulação nas características de pasta no ciclo de resfriamento. Observa-se que à medida que aumenta a umidade, aumenta a viscosidade a 50°C. Os maiores valores de V50 ocorrem com adição de farinha de banana acima de 17% variando até aproximadamente 25%. A umidades menores ocorre uma diminuição na viscosidade a 50°C em todas as formulações, confirmando assim, a maior influência da variável umidade.

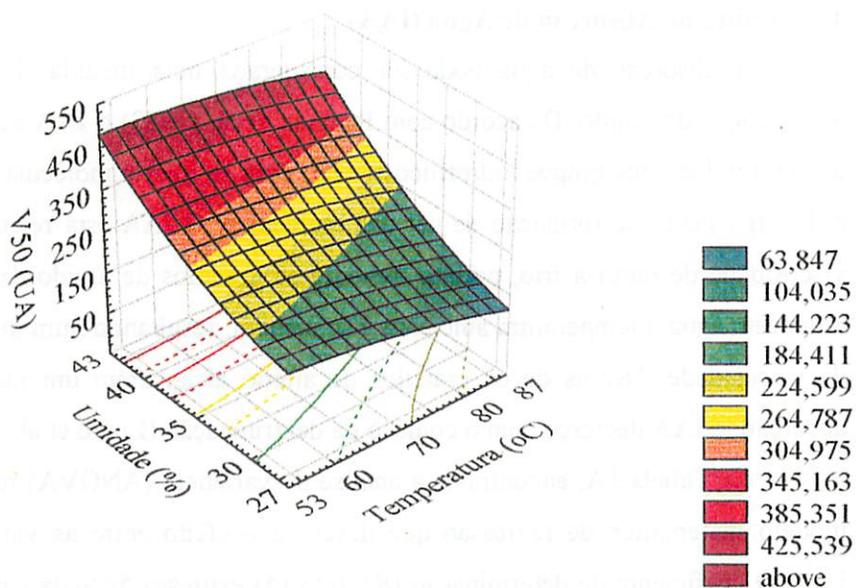


FIGURA 4A Efeito da temperatura de extrusão e umidade de processo na Viscosidade de pasta a 50°C.

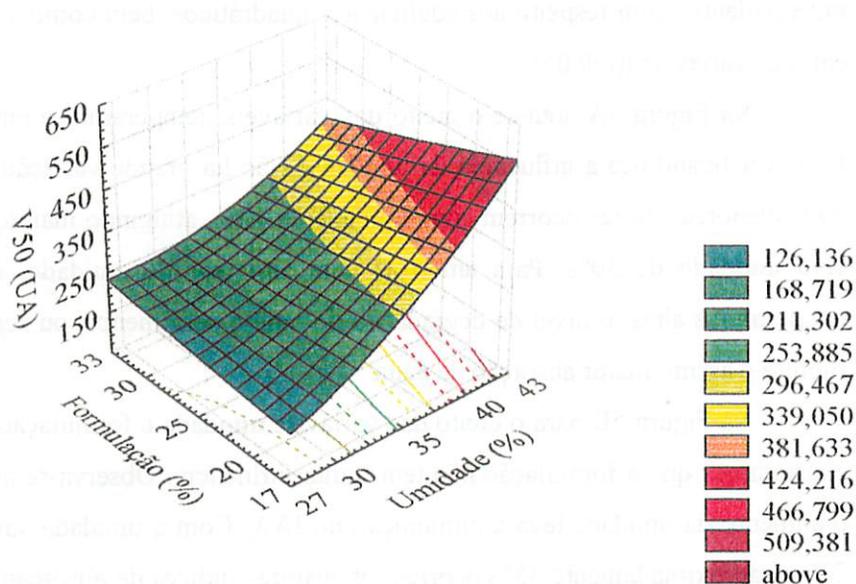


FIGURA 4B Efeito da umidade de processo e formulação na Viscosidade de pasta a 50°C.

### 4.3.3 Índice de Absorção de Água (IAA)

A absorção de água pode ser considerada uma medida do grau de modificação do amido. De acordo com Faubion et al. (1982) o IAA depende da disponibilidade dos grupos hidrofílicos (-OH) para se ligar a moléculas de água e da capacidade de formação de gel das moléculas. O IAA está relacionado à viscosidade de pasta a frio, porque somente os grânulos de amido danificados absorvem água à temperatura ambiente e se incham, resultando num incremento da viscosidade. Depois de os grânulos de amido alcançarem um máximo de absorção, o IAA decresce com o começo da dextrinização (Linko et al. 1980).

Na Tabela 5A, encontra-se a análise de variância (ANOVA) relativa ao modelo matemático de regressão que descreve o efeito entre as variáveis no IAA. O coeficiente de determinação ( $R^2=0,5915$ ) expressa 59% da variação no IAA. Apenas o coeficiente linear da variável umidade mostra ser significativo ( $p<0,05$ ). Observa-se que não houve significância para as variáveis independentes com respeito aos coeficientes quadráticos, bem como a interação entre as variáveis ( $p>0,05$ ).

Na Figura 5A nota-se o efeito das variáveis, temperatura e umidade no IAA, verificando-se a influência da umidade. Não há grande variação no IAA. Seus menores valores ocorrem com umidade de 40%, atingindo maiores índices com umidade de 30%. Para amostras com alto teor de umidade, mesmo a temperaturas altas, o nível de degradação do amido será menor, ou seja, menor ruptura e assim, maior absorção de água.

Na Figura 5B para o efeito das variáveis umidade e formulação no IAA, constatamos que a formulação não tem muita influência. Observa-se ainda, que o aumento da umidade leva à diminuição no IAA. Com a umidade variando de 27% a aproximadamente 35% ocorrem os maiores índices de absorção de água, sendo que acima desse valor este índice diminui. Com a adição de farinha de

banana tem-se um aumento no IAA (com 33% de farinha de banana e umidade baixa, registra-se um maior índice).

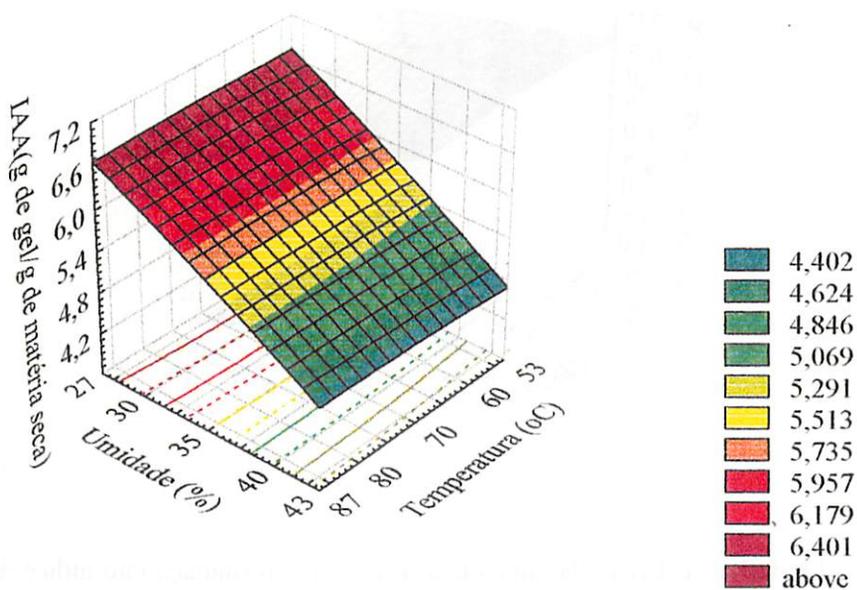


FIGURA 5A Efeito da temperatura de extrusão e umidade de processo no índice de absorção de água.

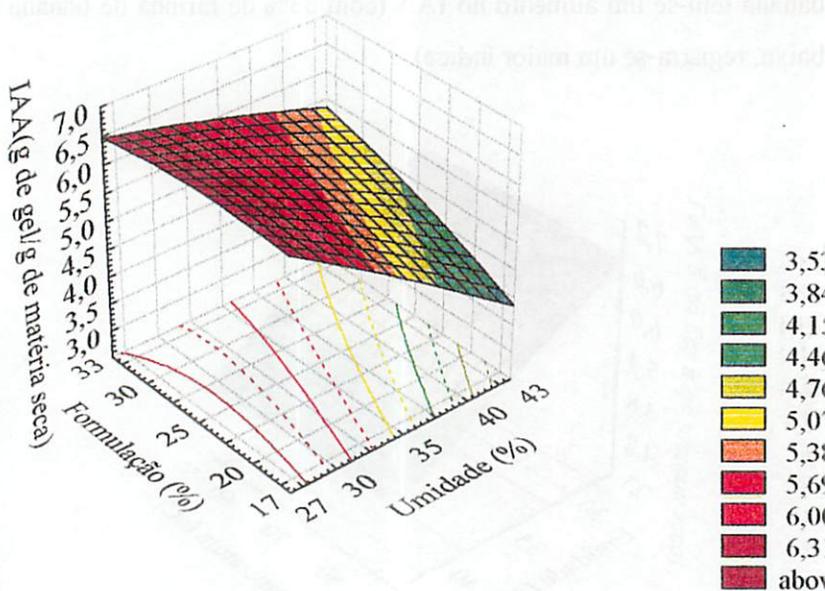


FIGURA 5B Efeito da umidade de processo e formulação no índice de absorção de água nos extrusados

#### 4.3.4 Índice de Solubilidade em Água (ISA)

O Índice de Solubilidade em Água (ISA) está relacionado à quantidade de sólidos solúveis em uma amostra seca, permitindo verificar o grau de severidade do tratamento, em função da degradação, gelatinização, dextrinização e conseqüente solubilização do amido. De acordo com alguns autores (Mercier e Feillet, 1975 e Olkku et al. 1984), o ISA aumenta com a severidade do tratamento.

A análise de variância (ANOVA) e a equação de regressão que expressa a variação do ISA das amostras extrusadas em função das variáveis independentes está na Tabela 6A. Pelo coeficiente de variação ( $R^2=0,7947$ ) pode-se verificar que o modelo matemático se ajusta bem aos dados obtidos, explicando 79% da variação da resposta ISA. Nesta tabela verifica-se que os coeficientes lineares tanto da temperatura como da umidade são significativos

9% de probabilidade ( $p < 0,01$ ). Com relação aos coeficientes quadráticos, observa-se que a temperatura e umidade foram significativas ao nível de 1% e 5% respectivamente. Finalmente as interações entre as variáveis temperatura e umidade, e umidade e formulação foram significativas ao nível de 5%.

O gráfico tridimensional de superfície de resposta da Figura 6A estabelecido com base no modelo, ilustra o efeito das variáveis temperatura e umidade no ISA. Neste caso, todos os coeficientes e interações são significativos.

Observa-se que a altas temperaturas há um aumento no ISA. Com relação à umidade, o ISA aumentou quando esta varia de 27% a 33% a alta temperatura (acima de 75°C). Já com uma umidade alta, de 43%, o ISA diminuiu. Nesse modo, a combinação de baixo teor de umidade e alta temperatura resultou em uma maior degradação dos grânulos de amido, contribuindo para o aumento do valor de ISA. Portanto, foi verificado que a severidade do tratamento influencia grandemente o ISA, provocando degradação, gelatinização, dextrinização e solubilização do amido.

Na Figura 6B são mostradas as variáveis independentes umidade e formulação. Quanto menor a umidade e maior percentagem de farinha de banana, maior ISA. Observa-se que a formulação não interfere muito nos valores de ISA.

Os valores de ISA obtidos experimentalmente foram relativamente baixos em comparação aos encontrados para estudos feito com *snacks*, pelo método de expansão direta. Isso ocorre em razão das umidades de processamento serem relativamente altas e temperaturas baixas, acarretando um menor cisalhamento da massa e, conseqüentemente, uma degradação macromolecular também menor.

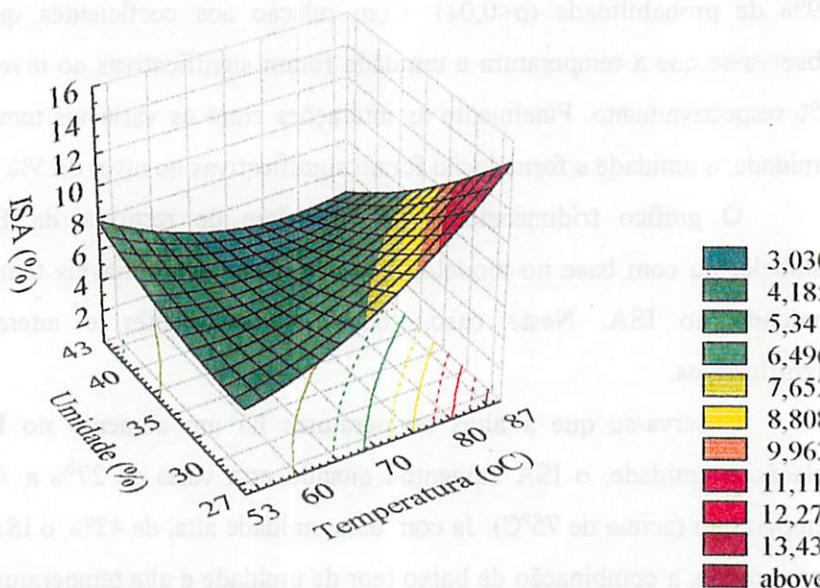


FIGURA 6A Efeito da temperatura de extrusão e umidade de processo no índice de solubilidade em água.

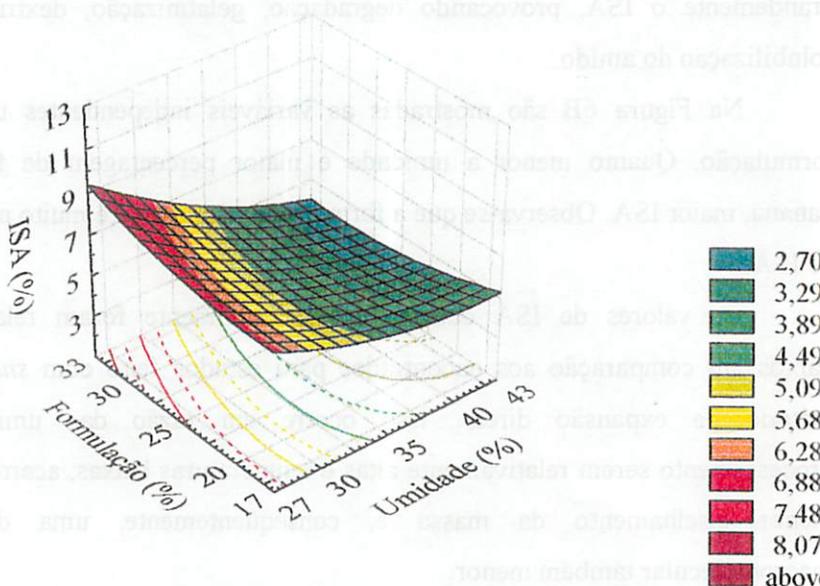


FIGURA 6B Efeito da umidade de processo e formulação no índice de solubilidade em água dos extrusados.

### 3.5 Textura

As propriedades mecânicas dos produtos extrusados são geralmente caracterizadas por meio de testes de impacto mecânico, que medem a velocidade e deformação do produto.

A chamada “força de quebra”, é a energia gasta na quebra dos extrusados. A dureza, ou seja, a resistência à ruptura, pode ser descrita pela deformação compressiva de sólidos, quando submetidos a alta pressão (esforço).

A dureza do extrusado é uma propriedade onde a temperatura de transição vítrea é de grande importância. Para o material extrusado, o aumento da mobilidade molecular, em relação à temperatura de transição vítrea, provoca uma modificação rápida na crocância do produto (Attemburrow et al. 1993). A dureza do extrusado depende pois, por um lado, da composição da formulação, isto é, a estrutura mista de amidos, tanto da origem como das suas particularidades intrínsecas, quanto do grau de expansão atingido pela matéria-prima em questão e da forma a qual as células de ar são distribuídas na formação da estrutura final. A resistência à ruptura, portanto, pode não ter correlação com os IAA e ISA e até mesmo com a DAP, como ocorreu nos resultados experimentais de esforço de quebra.

Na Tabela 7A encontra-se a análise de variância (ANOVA) correspondente ao modelo de regressão preditivo, que apresentou  $R^2=0,6396$ . Observa-se que apenas a umidade é significativa.

Na Figura 7A, foi analisada a relação entre a umidade e formulação. As altas umidades (acima de 35%) e com uma formulação de 30% a 33% de farinha de banana tem-se a menor força de quebra.

Observou-se que a força de quebra diminui com o incremento de farinha de banana na formulação, demonstrando assim, sua influência, o que mostra que as características intrínsecas da matéria-prima utilizada foram importantes nas propriedades do produto final.

Pela Figura 7B percebe-se a influência da umidade em relação temperatura. Observa-se que a força de quebra aumenta com o declínio da umidade. O valor mais alto encontrado para a textura, ficou na faixa de 75 a 87°C e umidade entre 27 e 29%.

Em termos gerais, os resultados das análises de textura têm como principal objetivo, quantificar a resistência à ruptura das amostras e estabelecer critérios sobre a sua qualidade quando formulados nas condições deste estudo. Em alguns casos, a adição de monoglicerídeos, bicarbonato de sódio, modificam a textura, tornando-os produtos de melhor palatabilidade (Ascheri, 1995).

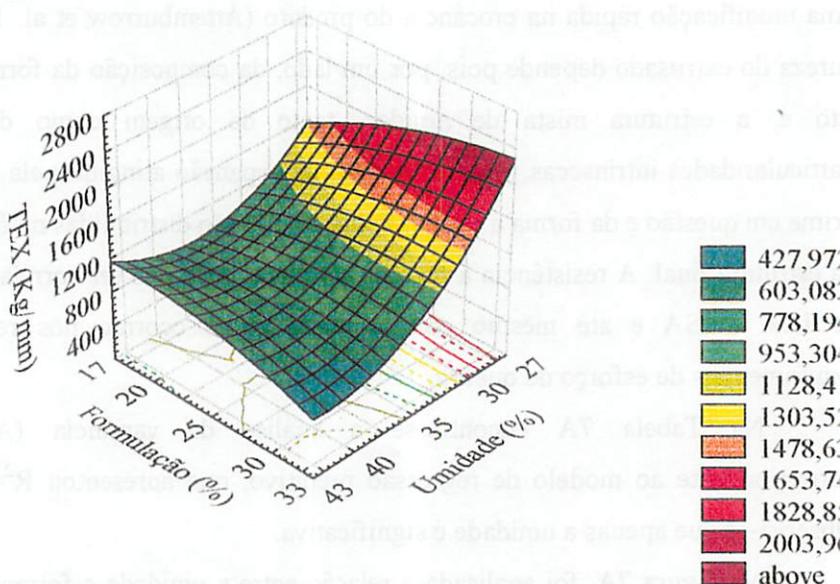


FIGURA 7A Efeito da umidade de processo e formulação na textura de extrusados.

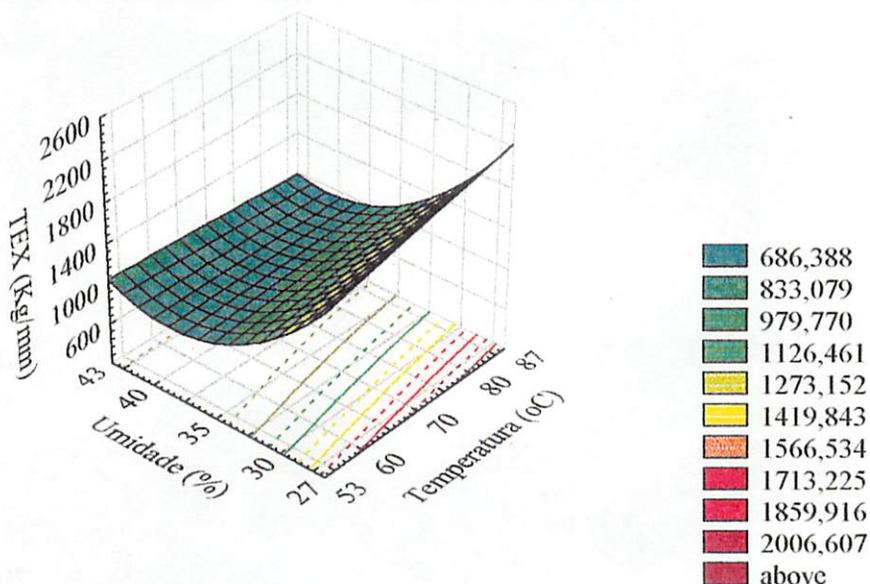


FIGURA 7B Efeito da temperatura de extrusão e umidade de processo na textura dos extrusados.

#### 4.3.6 Microestrutura

Os alimentos com tendências quebradiças, em geral têm uma estrutura celular deficiente. A cocção altera o produto, como, por exemplo, um grânulo arenoso duro passa a um material plástico ou elástico, o que permite o desenvolvimento da textura.

Com base nas fotomicrografias estabelecemos a correlação entre textura e microestrutura dos *pellets*.

Observa-se que, de maneira geral, as amostras com alto teor de umidade e alta temperatura são as que apresentam valores de força de quebra menor, maior porosidade, como pode ser visto nas Figuras 8 e 9.

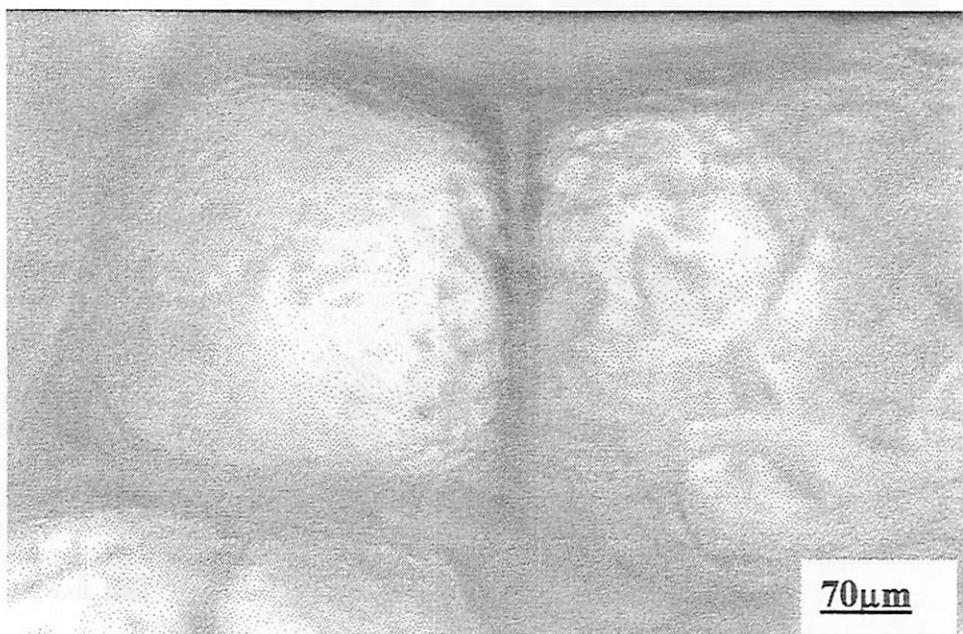


FIGURA 8 Amostra 04 depois da fritura: Temperatura =80°C; Umidade=40% e  
Formulação=20%

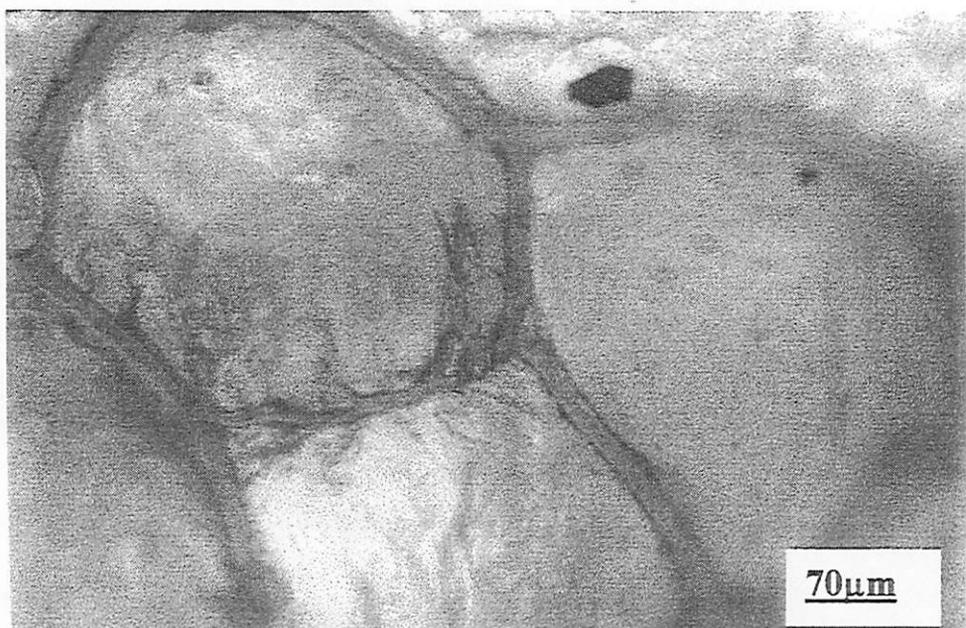


FIGURA 9 Amostra 06 depois da fritura: Temperatura=80°C; Umidade=30% e  
Formulação=30%

O produto se expande quando a temperatura é suficientemente elevada produzindo vapor, sendo este responsável pela formação de pequenas bolhas no seu interior. Essa transferência de calor eleva a temperatura do produto por aumento do ponto de ebulição, ocasionando assim, uma evaporação instantânea do vapor d'água. Desse modo, a pressão de vapor infla as células do produto.

Analisando a temperatura, percebe-se que para alta temperatura, 86,82°C e baixa temperatura, 53,18°C, a estrutura dos *pellets* é afetada. Pela Figura 10A, verifica-se que à temperatura de 53,18°C, e umidade de 35%, resultou em uma estrutura porosa, com bolhas pequenas e ordenadas. Já seu valor para a força de quebra foi alto como pode ser visto na Tabela 6. O mesmo foi observado para a amostra 16, com mesma umidade e temperatura alta, 86,82°C. Porém sua estrutura encontra-se mais compactada, chegando a parecer uma “esponja” como é mostrado na Figura 10B. Essa amostra já se encontrava expandida ao sair do extrusor, por causa das condições empregadas durante o processamento. A demasiada porosidade pode ter impedido a expansão total criando uma textura rugosa na superfície.

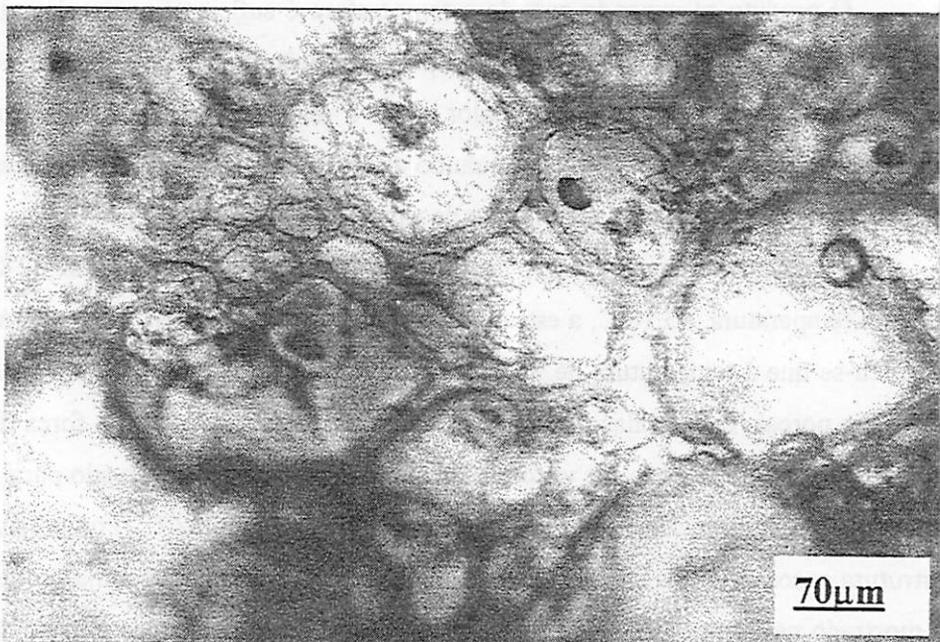


FIGURA 10A Amostra 15 após fritura: Temperatura=53,18°C; Umidade=35%  
Formulação=25%

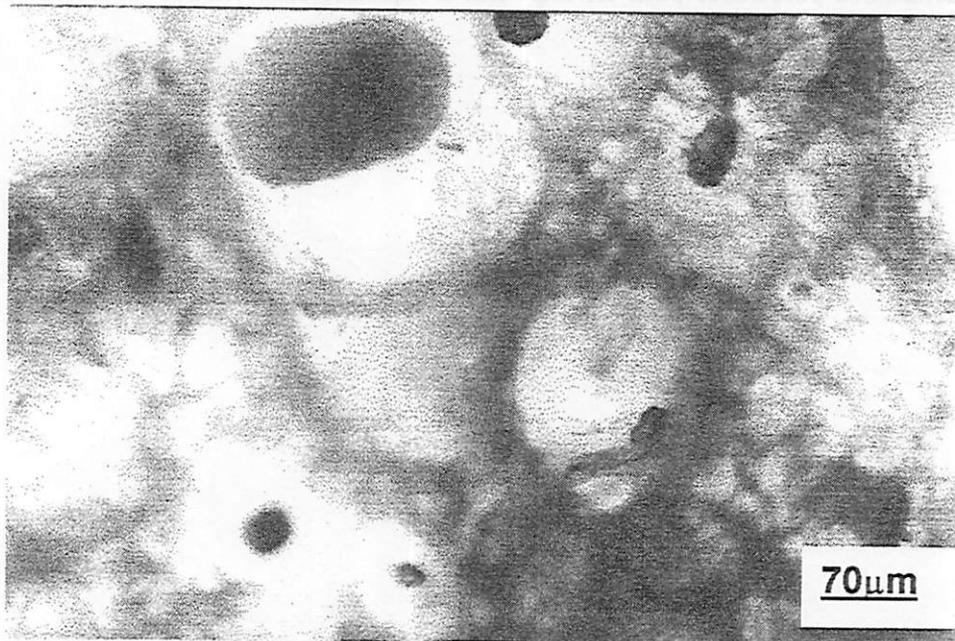


FIGURA 10B Amostra 16 após fritura: Temperatura=86,82°C; Umidade=35%  
Formulação=25%

Com relação à umidade, a Figura 11B, cuja amostra apresenta a menor umidade, 26,59%, possui uma estrutura também porosa, porém uma espessura maior, com bolhas grandes, e uma força de quebra maior. Além disso, essa amostra já se encontrava expandida no momento em que saía da matriz do extrusor, graças às condições de alta temperatura e baixa umidade como pode ser visto na Figura 11A.

Já a amostra 18, contendo maior teor de umidade, 43,41%, apresenta uma estrutura mais compacta, espessura fina e as células mais juntas e uniformes, sendo sua força de quebra menor (Figura 11C).

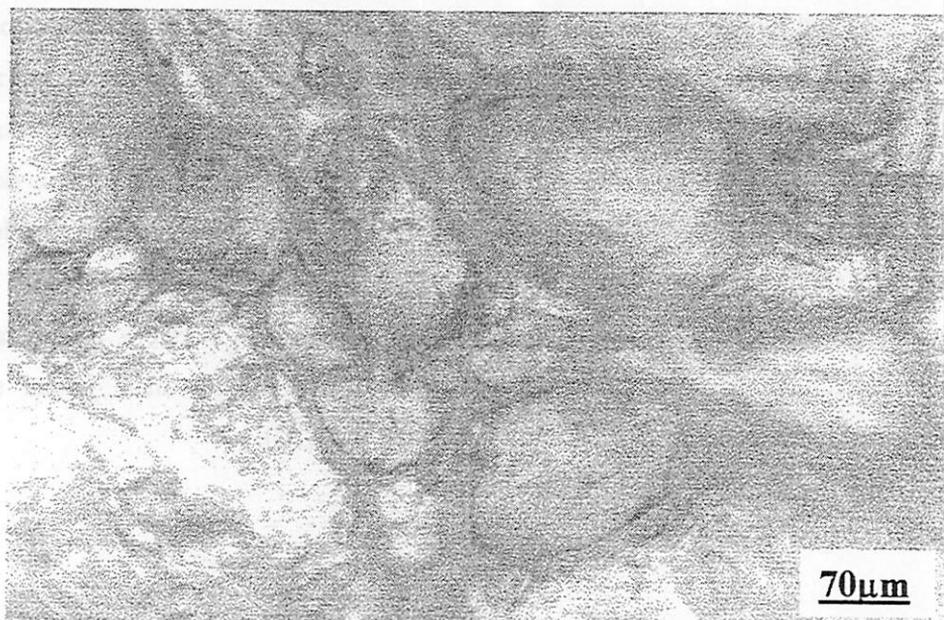


FIGURA 11A Amostra 17 antes da fritura: Temperatura=70°C  
Umidade=26,59% e Formulação=25%

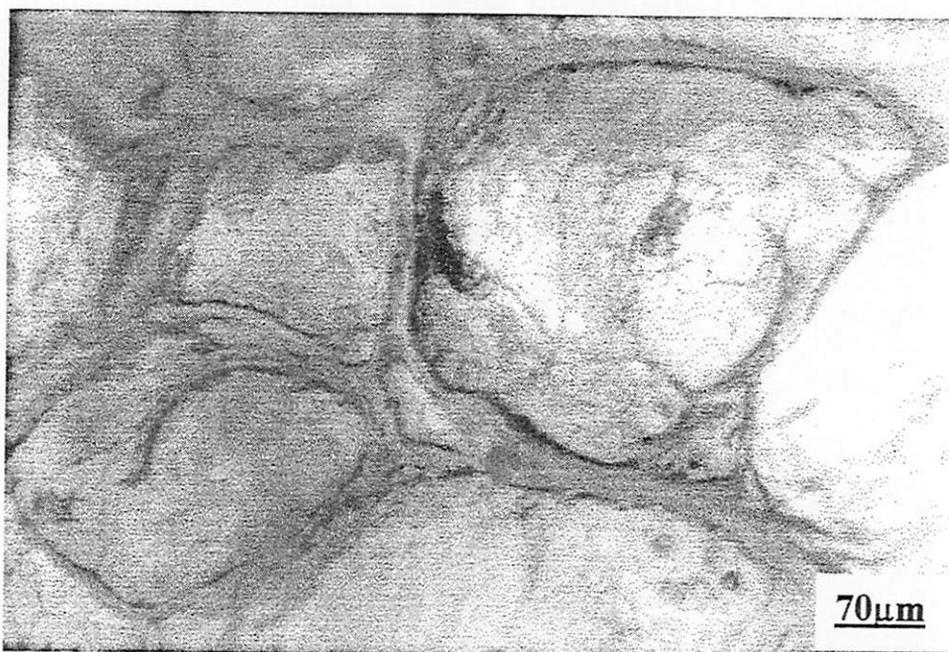


FIGURA 11B Amostra 17 após a fritura: Temperatura=70°C; Umidade=26,59%  
e Formulação=25%

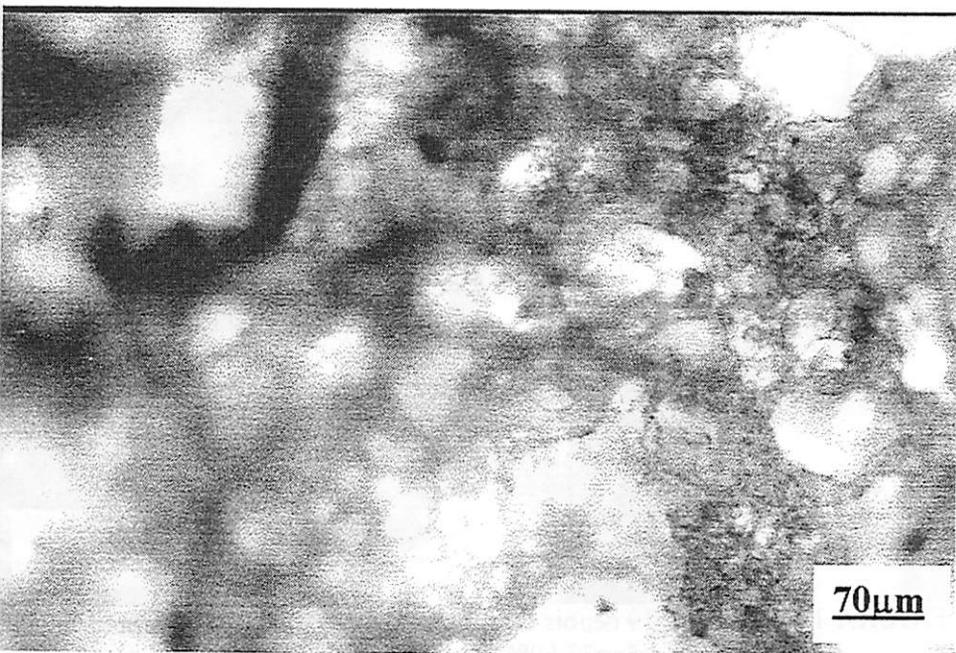


FIGURA 11C Amostra 18 após a fritura: Temperatura=70°C; Umidade=43,41%;  
Formulação=25%

Analisando pelo ponto de vista da formulação, a uma mesma umidade e temperatura, verifica-se a influência das diferentes matérias-primas. A Figura 12 A, contendo maior teor de farinha de banana 33,50%, apresenta uma estrutura porosa e valor de força de ruptura pequena, já na amostra 20, com menor teor de farinha de banana 16,59%, e valor de força de quebra alto, nota-se uma estrutura compacta e bolhas pequenas. A resistência à tensão pode ter impedido um desenvolvimento celular adequado durante a “transformação”. Sem essa transformação, formam-se pequenos grumos em volta das bolhas convertendo-se assim, em corpos duros, o que resulta em uma textura arenosa.



FIGURA 12A Amostra 19 depois da fritura: Temperatura=70°C; Umidade=35% e Formulação=33,50%

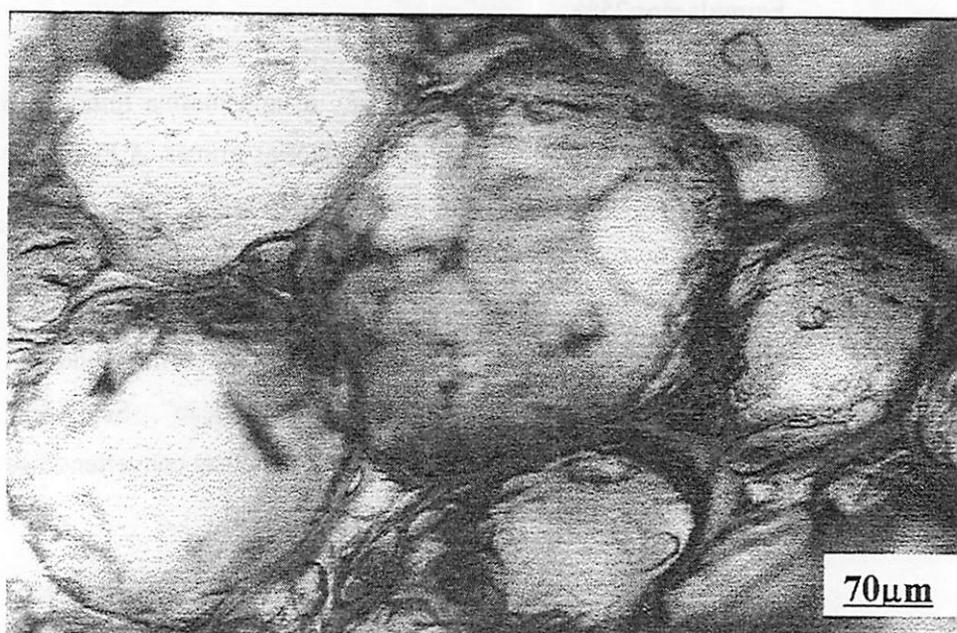


FIGURA 12B Amostra 20 depois da fritura: Temperatura=70°C; Umidade=35% e Formulação=16,59%

## 5 CONCLUSÃO

Pelos resultados obtidos constata-se que as farinhas de matérias-primas como arroz, banana, e trigo, podem ser usadas na produção de *pellets*. O processo de cozimento das misturas por extrusão termoplástica é um meio adequado para se obter em *pellets* ou produtos intermediários com boas características de expansão após a fritura.

As amostras foram avaliadas quanto às características físico-químicas, tecnológicas, além da avaliação da textura, para verificar a influência das variáveis temperatura, umidade e formulação durante o processo de extrusão.

De um modo geral, as misturas utilizadas e as condições de processo desenvolveram produtos com características aceitáveis, sendo a umidade a variável de maior influência.

Pela análise dos dados experimentais obtidos no presente trabalho, concluiu-se que as melhores condições para a produção de *pellets* foram as seguintes:

- Formulação: 39% de farinha de trigo; 30% de farinha de banana; 20% de farinha de arroz; 8% de isolado protéico de soja;
- Umidade de processamento: 30%;
- Temperatura no extrusor: 80°C.

Em geral as amostras apresentaram baixa densidade aparente e boa expansão. Verificou-se que a amostra 06 apresentou a menor DAP e maior expansão, sendo assim a combinação mais adequada para obtenção de um bom produto.

As viscosidades a 25, 95 e 50°C são fortemente influenciadas pela umidade de processamento, sendo que a 25°C é inversamente proporcional à umidade e a 95 e 50°C são proporcionais à umidade.

Os valores de índice de absorção de água não variaram muito entre os tratamentos. As três variáveis influenciaram no IAA, sendo que a alta umidade e alta temperatura provocaram uma maior absorção de água, menor degradação de amido, e uma menor resistência à ruptura.

O índice de solubilidade em água foi dependente das três variáveis do processo com maior destaque da umidade. Temperaturas elevadas e umidade baixas implicam valores altos de ISA, bem como baixa umidade e percentagem menor de farinha de banana.

A textura dos *pellets*, sofre influência da variável formulação, sendo que a força de quebra diminui com o incremento na formulação, ou seja altos teores de farinha de banana, e alta umidade, apresentando assim, uma maior maciez.

Pela análise microestrutural, observou-se que, de maneira geral, a porosidade dos *pellets*, tamanho e distribuição das células de ar, foram fortemente influenciadas pelas variáveis temperatura e umidade.

Com base neste estudo e tendo em vista a análise geral dos dados conclui-se que as misturas de diferentes matérias-primas, sob as condições de extrusão adotadas, não influenciaram negativamente o produto final, sendo que todas as amostras apresentaram expansão após a fritura.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DAIR, C. R. Production and utilization of rice. In: HOUSTON, D.F. (ed.). **Rice chemistry and technology**. St. Paul: AACC, 1972. Cap.1, p.1-15.
- GUILERA, J. M.; STANLEY, D. W. **Microstructural principles of food processing & engineering**. Cap. 3 p. 87-227 1990.
- LVAREZ-MARTINEZ, L.; KOUNDURY, K. P.; HARPER, J. M. A general model for expansion of extruded products. **Journal of Food Science**, Chicago, v.53, n.2, p.609-615, Mar./Apr. 1988.
- MATO, G. W.; SILVEIRA FILHO, S. Parboilizado: Importância e perspectivas. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v.41, n.382, p.9-11, nov./dez. 1988.
- AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS (AACC). **Approved methods of the American Association of Cereal Chemists**. 8. ed. St. Paul, 1983. (AACC Methods: 44-15A; 46-13; 30-25; 08-01).
- ANDERSON, R. A.; CONWAY, H. F.; PFEIFER, V. F.; GRIFFIN, L. Jr. Gelatinization of Corn Grits by Roll-and Extrusion-Cooking. **Cereal Science Today**, St. Paul, v.14, n.1, p.4-11, 1969.
- ANDERSSON, Y.; HEDLUND, B. Extruded wheat flour: correlation between processing and product quality parameters. **Food Quality and Preference**, Oxford, v.2, p.201, 1990.
- ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO BRASIL. Rio de Janeiro: FIBGE, 1997. v.56, sec.3-52.
- SCHERI, J. L. R.; CIACCO, C. F.; RIAZ, M. N.; LUSAS, E. W. Efecto de la formulación sobre las expansión y viscosidad de snacks (pellets) producidos por extrusión termoplástica. **Alimentaria**, Madrid, v. 268, n.12, p.111-116, 1995.
- SCHERI, J. L. R. **Curso: Extrusão termoplástica de alimentos**. Rio de Janeiro: UFFRJ/CTAA-EMBRAPA, 1995. 33p. Apostila.

- ASCHERI, J.L.R.; CARVALHO, C.W.P.; MATSUURA, F.C.A.U Elaboración de Pellets de harina de raspa de mandioca por extrusión termoplástica (escala piloto e Industrial). *Alimentaria*, v.37, n.309, p.101-106, ene./feb. 2000.
- ASSOCIATION OF THE OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. *Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists* 14.ed. Arlington, 1984. p.160.
- ATTENBURROW, G. E.; DAVIES, A P.; GOODBAND, R. M.; INGMAN, S. J. The fracture behaviour of starch and gluten in the glassy state. *Journal of Cereal Science*, New York, v.16, p.1-12, 1993.
- BAIRD, D. G.; REED, C. M. Transport properties of food doughs. In: MERCIER, C.; LINKO, P.; HARPER, J. M. (eds). *Extrusion cooking*. St Paul: AACC, 1989.
- BARROS, N. B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. *Planejamento e otimização de experimentos*. Campinas: UNICAMP, 1995.
- BHATTACHARYA, M.; HANNA, M. A. Viscosity modeling of dough in extrusion. *Journal of Food Technology*, Oxford, v.21, n.2, p.167-174, Apr 1986.
- BHATTACHARYA, M.; HANNA, M. A. Kinetics of starch gelatinization during extrusion cooking. *Journal of Food Science*, Chicago, v.52, n.3, p.764-766, Mar./June 1987.
- BHUIYAN, M. Z.; BLANSHARD, J. M. V. The behavior of maize flours and grits in relation to extrusion quality. II. Gelatinization characteristics of extruder starches. *Stärke*, Deertild Beach, Florida, v.34, p.262-265, 1982.
- BJÖRCK, I.; ASP, N. G.; BIRKHED, D.; LUNDWVIST, I. Effect of processing on starch availability in vitro and in vivo: Extrusion-cooking of wheat flour and starch. *Journal of Cereal Science*, New York, v.2, p.91-103, 1983.
- BOX, G. E. P.; BEHEKEN, D. W. Some new three level designs for the study of quantitative variables. *Technometrics*, Washington, v.2, n.4, p.455-473, 1960.
- BOX, G. E. P.; DRAPER, N. R. *Empirical model-building with response surface*. New York: John Wiley & Sons, 1987. 669p. (Wiley Series in probability and mathematical statistics).

- BOIX, G. E. P.; WETZ, J. **Criteria for judging adequacy of estimation by approximate response function.** Wisconsin: University of Wisconsin, 1973. (Technical Report, 9).
- BOIX, G. E. P.; HUNTER, W. G.; HUNTER, J. S. **Statistics for experimenters: an Introduction to design, data analysis, and model building.** New York: John Wiley and Sons, 1978.
- BURROS, B. C.; YOUNG, L. A.; CARROAD, P. A. Kinetics of corn meal gelatinization at high temperature and low moisture. **Journal of Food Science**, Chicago, v.52, n.5, p.1372-1376, 1987.
- CAMARGO, C. E. de O. Trigo. In: FURLAN, A. M. C. (ed.). **O melhoramento de plantas no Instituto Agronômico de Campinas.** São Paulo: IAC, 1993. p.433-488.
- CHAUHAN, G. S.; BAINS, G. S. Effect of defatted soy flour on the physicochemical characteristics of extruded rice products. **Journal of Food Science and Technology**, Chicago, v.22, n.2, p.115-118, Mar./Apr. 1985.
- CHAUHAN G. S.; BAINS, G. S. Effect of some extruder variables on physicochemical properties of extruded rice-legume blends. **Food Chemistry**, New York, v.27, n.3, p.213-224, June 1988.
- CHIANG, B. Y.; JOHNSON, J. A. Gelatinization of starch in extruded products. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v.54, n.3, p.436-443, 1977.
- CHINNASWAMY, R.; HANNA, M. A. Relationship between amylose content and extrusion-expansion properties of corn starches. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v.65, n.2, p.138-143, Mar./Apr. 1988.
- CHUNG, O. K. Lipid-protein interactions in wheat flour, dough, gluten, and protein fractions. **Cereal Foods World**, St. Paul, v.31, n.3, p.242-256, 1986.
- COLONA, P.; MERCIER, C. Macromolecular modification of manioc starch components by extrusion-cooking with and without-lipids. **Journal of Carbohydrate Polymers**, v.3, p.87-108, 1984.
- CONWAY, H. F. Extrusion cooking of cereals and soybeans. I. **Food Product Development**, New York, v.5, n.2, p.27-31, 1971.

- CONWAY, H. F.; LANCASTER, E. B.; BOOKWALTER, G. N. How extrusion cooking varies products properties. *Food Engineering*, Radnor, PA, v.4 n.11, p.102-114, 1986.
- DAVIDSON, V. J.; PATON, D.; DIOSADY, L. L.; RUBIN, L. J. A model for mechanical degradation of wheat starch in a single-screw extruder. *Journal of Food Science*, Chicago, v.40, n.4, p.1154-1157, July/Aug. 1985.
- DICK, J. W.; MATSUO, R. R. Durum wheat and pasta products. In: POMERANZ, Y. (ed.). *Wheat: chemistry and technology*. St Paul: AACC, 1988. v.2, p. 507-547.
- DIOSADY, L. L.; PATON, D.; ROSEN, N.; RUBIN, L. J.; ATHANASSOULIAS, C. Degradation of wheat starch in a single-screw extruder: mechano-kinetic breakdown of cooked starch. *Journal of Food Science*, Chicago, v.50, n.6, p.1697-1699, Nov./Dec. 1985.
- DIXON, J. M. Extrusion -cooking: A hot topic. *Food Engineering International*, Radnor, PA, v.8, n.7, p.34-38, 1983.
- EERIKÄINEN, T.; LINKO, P. Extrusion cooking modelling, control and optimization. In: MERCIER, C.; LINKO, P.; HARPER, J. M. (eds) *Extrusion cooking*. St. Paul: AACC, 1989. p.157.
- EL-DASH, A.A. Application and control of thermoplastic extrusion of cereal for food and industrial uses. In: POMERANZ, Y.; MUNCH, L.(eds). *Cereals: a renewable reserch: theory and pratice*. Illinois, 1982. 52p.
- EL-DASH, A. A.; GONZALES, R.; CIOL, M. Response surface in the control of thermoplastic extrusion of starch. *Journal of Food Engineering*, Radnor, PA, v.2, p.129-152, 1983.
- ELLIASSON, A C. Effect of water content on the gelatinization of wheat starch. *Starch/starke*, Deerfield Beach, FL, v.32, n.8, p.270, 1980.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa do Arroz e Feijão. *A pesquisa de arroz no Brasil no anos 80: avaliação crítica dos principais resultados*. Goiânia, 1994. 406p.
- ENSIMINGER, A H.; ENSIMINGER, M. E.; KONLANDE, J. E.; ROBSON, J. R. K. *Foods & Nutrition Encyclopedia*. 2.ed. Boca Raton: CRC Press 1994. v.1, p. 2090.

- FAO. **Production yearbook**, Roma:FAO, 1997. v. 51, p. 239.
- FAST, R. B.; CALDWELL, E. W. **Breakfast Cereals and how they are made**. 3.ed. St. Paul: USA/American Association of Cereal Chemists, 1993. 372p.
- FAUBION, J. M.; HOSENEY, R. C. High temperature e short time. Extrusion-cooking of wheat starch and flour. I- Effect of moisture and flour type on extrudate properties. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v.59, n.6, p.529-533, 1982.
- GOMEZ, H.; AGUILERA, J. M. Changes in the starch fraction during extrusion-cooking of corn. **Journal of Food Science**, Chicago, v.48, n. 2, p.378-381, Mar./Apr. 1983.
- GOMEZ, H.; AGUILERA, J. M. A physicochemical model for extrusion of corn starch. **Journal of Food Science**, Chicago, v.49, n.1, p.40-43, Jan./Feb. 1984.
- GOMEZ, M. H.; WANISKA, R. D.; ROONEY, L. W.; LUSAS, E. W. Extrusion cooking of sorghum containing different amounts of amylose. **Journal of Food Science**, Chicago, v.53, n.6, p.1818-1822, Nov./Dec. 1988.
- GUTKOSKI, L. C.; ELIAS, M. C. Estudo da água de maceração de arroz a 60°C em diferentes condições de manejo. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v.47, n.414, p.6-10, maio/jun. 1994.
- GUY, R. C. E.; HORNE, A. W. Extrusion and co-extrusion of cereals. In: BLANSHARD, J. M. V; MITCHELL, J. V. (eds). **Food structure: Its creation and evaluation**. London: Butterworths, 1988. p.331-349.
- HA, T. T.; WEL, L. S.; PADUA, G. W. Texturization of extruded/espelled soy flour by twin-screw extruder. In: IFT ANNUAL MEETING: book of abstracts, 1996, Pennsylvania Ave. **Proceedings...** Pennsylvania Ave:IFT, 1996. p.183.
- HARMANN, D. V.; HARPER, J. M. Effect of extruder geometry on torque and flow. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.16, n.6, p.1175-1178, Nov./Dec. 1973.
- HARPER, J. M. Food Extrusion, **Critical Review in Food Science and Nutrition**, Boca Raton, v.2, n.2, p.155-215, 1979.
- HARPER, J. M. **Extrusion of foods**. Boca Raton: CRC Press, 1981.

- HAUCK, B. W. Control of process variables in extrusion-cooking. *Cereal Foods World*, St. Paul, v.26, n.4, p.170-173, 1981.
- HEILMAN, R. G.; WILSON, W. W. Durum marketing. In: FABRIANI, C. LINTAS, C. (eds). *Durum wheat: chemistry and technology*. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1988. p.303-316.
- HENNESEY, G. R.; STANSBURY, M. F.; PERSELL, R. M. USDA created nutritive functional products. *Food Engineering*, Radnor, PA, v.43, p.71-719, 1971.
- HOSENEY, R. C.; ROGERS, D. E. The formation and properties of wheat flour doughs. *Food Science and Nutrition*, Hampshire, v.42, n.2, p.73-93, 1990.
- HUBER, G. R.; ROKEY, G. J. *Expansion extrusion and normal extrusion snacks*. Sabetha, Kansas: Wenger Manufacturing, 1989. Apostila.
- HUI, Y. H. *Encyclopedia of food science and technology*. New York: Interscience Publication John Wiley & Sons, 1992. v.4, p.2264-2284.
- IRVINE, G. N. Durum wheat and paste products. In: POMERANZ, Y. (ed). *Wheat: chemistry and technology*. St Paul: American Association of Cereal Chemists, 1978. p. 777-798.
- JANSSEN, L. P. B. M. Models for cooking extrusion. In: Le MAGUER, M. JELEN, P. (eds). *Food Engineering and Process Application, Unit Operations*. London: Elsevier Applied Science Publishers, 1989. v.2, p.111-129.
- JIN, Z.; HSIEH, F.; HUFF, H. E. Effects of soy fiber, salt, sugar and screw speed on physical properties and microstructure of corn meal extrudates. *Journal of Cereal Science*, New York, v.22, n.2, p.185-194, 1995.
- JULIANO, B. O. The rice caryopsis and its composition. In: HOUSTON, D. L. (ed.). *Rice chemistry and technology*. St. Paul: AACC, 1973. p.16-24.
- JULIANO, B. O. Valor nutritivo del arroz y de las dietas a base de arroz. In: FAO. *El arroz en la nutrición humana*. Rome, 1994. cap.4, p.67-92.
- KENT, N.L. *Technology of cereals*. 3.ed. Oxford: Pergamon Press, 1983. p.184-191.

- KIBUUKA, G. K.; EL-DASH, A.** O efeito do polimento na composição do arroz para consumo. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.5, p. 3-17, mar. 1980.
- KIRBY, A. R.; OLLETT, A. L.; PARKER, R.; SMITH, A. C.** An experimental study of screw configuration effects in the twin-screw extrusion-cooking of maize grits. **Journal of Food Engineering**, Radnor, PA, v.8, n.4, p.247-272, 1988.
- KROG, N.** Theoretical aspects of surfactans in relation to their use in breadmaking. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v.58, n.3, p.158-164, May/June 1981.
- LAWTON, B. J.; HENDERSON, G. A.; DERLATSKA, E. J.** The effects of extruder variables on the gelatinization of corn starch. **Canadian Journal of Chemical Engineering**, Ottawa, v.50, n.4, p.168, 1972.
- LINKO, Y. Y.; VUORIEN, H.; OLKKU, J.; LINKO, P.** The effect of HTST on retention of cereal alfa-amylase activity and enzymatic hydrolysis of barley starch. In: **LINKO, P.; LARINKARI, J.** (eds). **Food Processing Engineering**. London: Elsevier Applied Science Publishers, 1980. v.2, p.210-223.
- LOURES, A.; COELHO, D.T.; CRUZ, R.; LENZA, L.C.** Obtenção, caracterização e utilização da farinha de banana (*Musa sp*) em panificação. **Instituto de Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 10, n.1, p.57-71, 1990.
- LUH, B. S.; BHUMIRATANA, A.** Breakfast rice cereals and baby foods In: **LUH, B. S.** (ed.). **Rice production & utilization**. Westport: AVI, 1980. cap.18, p. 622-649.
- MARTINAZZO, A P.** Utilização da fofina em combinação com dióxido de carbono no controle do *Rhizopertha dominica* (F.). Viçosa: UFV, 1998, 87p. (Tese – Mestrado em Engenharia Agrícola).
- MATSUO, R. R.; DEXTER, J. E.** Relationship between some durum wheat physical characteristics and semolina milling properties. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v.60, n.1, p.49-53, 1980b.
- MERCIER, C.; FEILLET, P.** Modification of carbohydrate componentes by extrusion-cooking of cereal products. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 52, n.3, p.283-297, 1975.

- MERCIER, C.; CHERBONNIERE, R.; GREBAUT, J.; GUERIVIERI, J. F.  
 la. Formation of amilose-lipid complexes by twin-screw extrusion-cooking cereal products. *Cereal Chemistry*, St. Paul, v.57, n.1, p.4-9, 1980.
- MORGAN, R. G.; SUTER, D. A.; SWEAT V. E. Design and modelling of capillary food extruder. *Journal of Food Process Engineering*, Westpo v.2, p.65-81, 1978.
- MULVANEY, S. J.; HSIEH, F.; ONWULATA, C. Computer control and modelling of an extruder: dynamics. *ASAE Meeting Chicago 3-88-651* 1988.
- NOGUCHI, A.; KUGIMIYA, W.; HAQUE, Z.; SAIO, K. Physical and chemical characteristics of extruded rice flour fortified with soybean protein isolate. *Journal of Food Science*, Chicago, v.47, n.1, p.240-245, Jan./Feb. 1981.
- NUCCI, T. A. Sim, nós temos bananas. *Casa da Agricultura*, Campinas, v. n.1, p.18-24, jan./fev. 1981.
- OLKKU, J.; LINKO, P. Effects of thermal processing on cereal based food systems. In: DAWNEY, W. K. (ed.). *Food quality and nutrition research priorities for thermal processing*. London: Applied Science Publishers 1977.
- OLKKU, J.; VAINIONPÄÄ, J. Response surface analysis of HTST extruded texturized starch-protein-sugar paste. In: LINKO, P.; MÄLKKI, Y.; OLKKU, J.; LARINKARI, J. (eds). *Food Process Engineering*. London: Elsevier Applied Science Publishers, 1980. v.1, p.821-826.
- OLKKU, J.; HAGQVIST, A.; LINKO, P. Steady state modelling of extrusion cooking employing response surface methodology. In: JOWITT, R. (ed). *Extrusion cooking technology*. London: Elsevier Applied Science Publishers, 1984.
- ONWULATA, C. I.; MULVANEY, S. J.; HSIEH, F.; HEYMANN, H. Starch changes in screw speed affected extrusion temperature and pressure and extrudate characteristics. *Journal of Food Science*, Chicago, v.57, n.1, p.512-515, Mar./Apr. 1992.
- OWUSU-ANSAH, J.; VOORT, F. R. van de; STANLEY, D. V. Physicochemical changes in corn starch as a function of extrusion variables. *Cereal Chemistry*, St. Paul, v.60, n.4, p.319-324, 1983.

- OWUSU-ANSAH, J.; VOORT, F. R. van de; STANLEY, D. W. Textural and microstructural changes in corn starch as a functional of extrusion variables. **Canadian Institute of Food Science and Technology Journal**, Ottawa, v.17, n.2, p.65-70, 1984.
- PATON, D.; SPRATT, W. A. Component interactions in the extrusion cooking process: influence of process conditions on the functional viscosity of the wheat flour sistem. **Journal of Food Science**, Chicago, v.49, n.5, p.1380-1385, Sept./Oct. 1984.
- PORTER, R. S.; CASALE, A. Recent studies of polymers reactions caused by stress. **Polymer Engineering and Science**, Brookfield Center, v.25, p.129-156, 1985.
- RAGHAVENDRA RAO, S.N.; JULIANO, B. O. Effect of parboiling on some physicochemical properties of rice. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v.18, n.2, p.289-294, 1970.
- RAMIREZ, J. L. A.; WANDERLEY, C. P. Efecto de los Parámetros de Extrusión, Características de pasta y textura de Pellets (Snacks de Tercera Generación) producidos a partir de trigo e maíz. **Alimentaria**, Madrid, v. 279, n.1, 1997.
- REMSEN, C. H.; CLARK, J. P. **Journal Food Process Engineering**, Westport, 2, 39, 1978.
- ROKEY, G. L.; HUBER, G. R. **Texturization of vegetable food proteins**. Sabetha. Kansas: Wenger Manufacturing, 1987. 27p. Apostila.
- ROSSEN, J. L.; MILLER, R. C. **Food Extrusion**. **Food Technology**, Chicago, v.27, n.8, p.46-53, 1973.
- RYU, G. H.; NEUMANN, P. E.; WALKER, C. E. Effects of some baking ingredients on physical and structural properties of wheat flour extrudates. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v.70, n.3, p.291-297, May/June 1993.
- SAN MARTIN-MARTINEZ, E. **Efeito do processo de extrusão na formação de complexos amido-monoglicéridos**. Campinas: FEA-UNICAMP, 1990, 108p. (Tese – Doutorado em Tecnologia de Alimentos).

- SANTOS, M. dos C.; ZAMBONI, C. de Q. Caracterização de banana (*Musa sapientum*) em produtos industrializados por coloração diferencial de células de tanino. **Revista do Instituto Adolfo Lutz, São Paulo, v. 49, n.1, p. 35-39, jun. 1984.**
- SARATHATHEVY, S.; GANESHARANEE, R. Physical and biochemical properties of green banana flour. **Plant Foods for Human Nutrition Dordrecht, v.43, n.1, p.19-27, Jan.1993.**
- SGARBIERI, V. C. **Alimentação e nutrição: fator de saúde e desenvolvimento**. Campinas: UNICAMP, 1987. 387p.
- SGARBIERI, V. C. **Proteínas em alimentos protéicos: propriedades e modificações**. São Paulo: Varela, 1996. 517 p.
- SMITH, O. B. Extrusion-cooking systems. 105-113. In: **Feed Manufacturing Technology**. Am. Feed Manuf. Assoc., Feed Producers Council, Chicago, 1970.
- SMITH, O. B. Why extrusion cooking. **Cereal Food World, v.21, p.1-4. 1976.**
- STANLEY, D. W.; MAURICE, J. Texture-Structure Relationships in Texturized Soy Protein IV. Influence of Process Variables on Extrusion Texturization. **Journal of Canadian Institute Food Science Technology, Ottawa, v.2, n.1, p.1-6, jan. 1978.**
- SREBERNICH, S. M. **Efeito da umidade, temperatura, velocidade de rotação do parafuso e diâmetro da matriz nas características do amido de sorgo submetido à extrusão termoplástica**. Campinas: FEA - UNICAMP, 1984. 107p. (Dissertação – Mestrado em Tecnologia de Alimentos)
- TOMAS, R. L. et al. Effect of operation conditions on physical characteristics of extruded rice starch. **International Journal of Food Science & Technology, v.29, n.5, p.503-514, 1994.**
- TORRES, L. L. G. **Desenvolvimento de um processo para produção de farinha de banana por extrusão termoplástica**. Rio de Janeiro: UFRRJ, 1991. 128p. (Dissertação – Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos).

WAGNER, L. L. Numerical modelling of the cooking extrusion of a biopolymer. Blacksburg, VA: Virginia Polytechnic Institute and State University, 1987.

YOKOYAMA, L. P.; RUCATTI, E. G.; KLUTHCOUSKI, J. Economia da produção: Conjuntura, Mercados e Custos. In: VIEIRA, N. R. de A. SANTOS, A. B. dos; SANT'ANA, E. P. (eds). – A cultura do arroz no Brasil. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. Cap.2, p.36-57.

## ANEXOS

ANEXO A	Página
TABELA 1A Análises de variância (ANOVA) e equação de regressão para a variável resposta Densidade Aparente (DAP), relativo às variáveis Temperatura, Umidade e Formulação .....	83
TABELA 2A Análises de variância (ANOVA) e equação de regressão para a variável resposta Viscosidade Inicial de Pasta a 25°C (VI25), relativo às variáveis Temperatura, Umidade e Formulação .....	84
TABELA 3A Análises de variância (ANOVA) e equação de regressão para a variável resposta Viscosidade a 95°C (V95), relativo às variáveis Temperatura, Umidade e Formulação.....	85
TABELA 4A Análises de variância (ANOVA) e equação de regressão para a variável resposta Viscosidade a 50°C (V50), relativo às variáveis Temperatura, Umidade e Formulação .....	86
TABELA 5A Análises de variância (ANOVA) e equação de regressão para a variável resposta Índice de Absorção de Água (IAA), relativo às variáveis Temperatura, Umidade e Formulação .....	87
TABELA 6A Análises de variância (ANOVA) e equação de regressão para a variável resposta Índice de Solubilidade em Água (ISA), relativo às variáveis Temperatura, Umidade e Formulação .....	88
TABELA 7A Análises de variância (ANOVA) e equação de regressão para a variável resposta Textura (TEX), relativo às variáveis Temperatura, Umidade e Formulação .....	89

TABELA 1A – Análises de variância (ANOVA) e equação de regressão para a variável resposta Densidade Aparente (DAP), relativo às variáveis Temperatura, Umidade e Formulação.

FATOR	S.Q.	G.L.	Q.M.	F	p
Temperatura (L)	0,001910	1	0,001910	0,856424	0,397210 <sup>ns</sup>
Temperatura (Q)	0,003641	1	0,003641	1,632192	0,257502 <sup>ns</sup>
Umidade (L)	0,002262	1	0,002262	1,014253	0,360109 <sup>ns</sup>
Umidade (Q)	0,000078	1	0,000078	0,035078	0,858795 <sup>ns</sup>
Formulação (L)	0,000614	1	0,000614	0,275401	0,622159 <sup>ns</sup>
Formulação (Q)	0,000931	1	0,000931	0,417595	0,546625 <sup>ns</sup>
1L x 2L	0,000142	1	0,000142	0,063832	0,810597 <sup>ns</sup>
1L x 3L	0,000026	1	0,000026	0,011540	0,918631 <sup>ns</sup>
2L x 3L	0,000100	1	0,000100	0,045040	0,840312 <sup>ns</sup>
Ajuste	0,015232	5	0,003046	1,365768	0,370327 <sup>ns</sup>
Erro	0,011153	5	0,002231		
Total	0,036564	19			
R <sup>2</sup>	0,27838				
Equação	$DAP=0,138+0,012T+0,159T^2+0,129U-0,002U^2+0,067F-0,008F^2+0,004TxU-0,018TxF+0,035UxF$				

\* = p<0,05; ns = não significativo

TABELA 2A – Análises de variância (ANOVA) e equação de regressão para variável resposta Viscosidade Inicial de Pasta a 25°C (VI25) relativo às variáveis Temperatura, Umidade e Formulação.

FATOR	S.Q.	G.L.	Q.M.	F	p
Temperatura (L)	463,21	1	463,208	1,40366	0,289352
Temperatura (Q)	647,57	1	647,567	1,96232	0,220170
Umidade (L)	7647,05	1	7647,051	23,17288	0,004825*
Umidade (Que)	144,64	1	144,637	0,43829	0,537236
Formulação (L)	1933,59	1	1933,594	5,85937	0,060072
Formulação (Q)	2394,52	1	2394,516	7,25611	0,043107
1L x 2L	7812,50	1	7812,500	23,67424	0,004610*
1L x 3L	450,00	1	450,000	1,36364	0,295559
2L x 3L	312,50	1	312,500	0,94697	0,375185
Ajuste	15093,88	5	3018,776	9,14780	0,014846
Erro	1650,00	5	330,000		
Total	38213,75	19			
R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> =0,56184				
Equação	$VI_{25} = -28,7088 + 5,8236T + 6,7021T^2 - 23,6619U + 3,1674U^2 - 11,8983F + 12,8878F^2 - 31,2500T \times U - 7,5000T \times F + 6,2500U \times F$				

\*= p<0,05; \*\* = p<0,01; ns = não significativo

**TABELA 3A – Análises de variância (ANOVA) e equação de regressão para a variável resposta Viscosidade a 95°C (V95), relativo às variáveis Temperatura, Umidade e Formulação.**

FATOR	S.Q.	G.L.	Q.M.	F	p
Temperatura (L)	1890,53	1	1890,53	2,56633	0,170062 <sup>ns</sup>
Temperatura (Q)	1237,49	1	1237,49	1,67986	0,251542 <sup>ns</sup>
Umidade (L)	52282,88	1	52282,88	70,97224	0,000387**
Umidade (Q)	1244,77	1	1244,77	1,68974	0,250333 <sup>ns</sup>
Formulação (L)	2093,59	1	2093,59	2,84198	0,152642 <sup>ns</sup>
Formulação (Q)	136,69	1	136,69	0,18556	0,684579 <sup>ns</sup>
L x 2L	528,13	1	528,13	0,71691	0,435799 <sup>ns</sup>
L x 3L	153,13	1	153,13	0,20786	0,667566 <sup>ns</sup>
L x 3L	3,12	1	3,12	0,00424	0,950593 <sup>ns</sup>
Ajuste	1299,62	5	259,92	0,35284	0,861237 <sup>ns</sup>
Erro	3683,33	5	736,67		
Total	64830,00	19			
$R^2$	$R^2=0,92314$				
Equação	$V95=148,0843-11,7651T-9,2649T^2+61,8703U+9,2921U^2+12,3808F-3,0792F^2+8,1250TxU+4,3750TxU+0,6250UxF$				

\*\* =  $p < 0,01$ ; ns = não significativo

TABELA 4A – Análises de variância (ANOVA) e equação de regressão para variável resposta Viscosidade a 50°C (V50), relativo às variáveis Temperatura, Umidade e Formulação.

FATOR	Q.S.	G.L.	Q.M.	F	p
Temperatura (L)	14088,4	1	14088,4	27,9439	0,003228
Temperatura (Q)	671,1	1	671,1	1,3310	0,300773
Umidade (L)	134662,3	1	134662,3	267,0988	0,000016
Umidade (Q)	5097,4	1	5097,4	10,1106	0,024546
Formulação (L)	21711,8	1	21711,8	43,0648	0,001232
Formulação (Q)	58,5	1	58,5	0,1160	0,747261
1L x 2L	200,0	1	200,0	0,3967	0,556458
1L x 3L	1012,5	1	1012,5	2,0083	0,215631
2L x 3L	4512,5	1	4512,5	8,9504	0,030387
Ajuste	6976,5	5	1395,3	2,7675	0,144112
Erro	2520,8	5	504,2		
Total	191895,0	19			
R <sup>2</sup>	0,95051				
Equação	$V50=224,9425-32,1169T-6,8226T^2+9,2946U+18,8037U^2+39,8704F+2,0141F^2+5,0000T \times U-11,2500T \times F+23,7500U \times F$				

\* = p<0,05; \*\* = p<0,01; ns = não significativo

TABELA 5A— Análises de variância (ANOVA) e equação de regressão para a variável resposta Índice de Absorção de Água (IAA), relativo às variáveis Temperatura, Umidade e Formulação.

FATOR	Q.S.	G.L.	Q.M.	F	p
Temperatura (L)	0,00190	1	0,001896	0,00307	0,957980 <sup>ns</sup>
Temperatura (Q)	0,00158	1	0,001577	0,00255	0,961668 <sup>ns</sup>
Umidade (L)	6,55581	1	6,555813	10,60663	0,022526*
Umidade (Q)	0,00898	1	0,008976	0,01452	0,908775 <sup>ns</sup>
Formulação (L)	0,13535	1	0,135350	0,21898	0,659505 <sup>ns</sup>
Formulação (Q)	0,04951	1	0,049509	0,08010	0,788505 <sup>ns</sup>
1L x 2L	0,00293	1	0,002934	0,00475	0,947743 <sup>ns</sup>
1L x 3L	0,00063	1	0,000634	0,00103	0,975696 <sup>ns</sup>
2L x 3L	0,24304	1	0,243044	0,39322	0,558129 <sup>ns</sup>
Ajuste	2,83392	5	0,566783	0,91700	0,536718 <sup>ns</sup>
Erro	3,09043	5	0,618086		
Total	12,91898	19			
$r^2$	0,54142				
Equação	$IAA = 5,518953 + 0,011781T - 0,010460T^2 - 0,692813U - 0,024952U^2 - 0,099548F - 0,058602F^2 + 0,019150TxU - 0,008900TxF - 0,174300UxF$				

\* = p<0,05; ns = não significativo

TABELA 6A – Análises de variância (ANOVA) e equação de regressão para variável resposta Índice de Solubilidade em Água (ISA), relativas às variáveis Temperatura, Umidade e Formulação.

FATOR	S.Q.	G.L.	Q.M.	F	p
Temperatura (L)	17,19086	1	17,19086	148,8837	0,000065*
Temperatura (Q)	6,62554	1	6,62554	57,3813	0,000636*
Umidade (L)	26,12480	1	26,12480	226,2572	0,000024*
Umidade (Q)	1,21533	1	1,21533	10,5255	0,022840
Formulação (L)	8,57344	1	8,57344	74,2514	0,000347*
Formulação (Q)	0,69780	1	0,69780	6,0434	0,057346
1L x 2L	14,35783	1	14,35783	124,3479	0,000101*
1L x 3L	0,15961	1	0,15961	1,3823	0,292632
2L x 3L	0,83244	1	0,83244	7,2094	0,043557
Ajuste	8,10499	5	1,62100	14,0389	0,005758*
Erro	0,57733	5	0,11547		
Total	83,52820	19			
R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> =0,89606				
Equação	ISA=3,84255+1,12189T+0,67792T <sup>2</sup> -1,38302U+0,29035U <sup>2</sup> -0,79228F+0,22001F <sup>2</sup> -1,33968TxU-0,14125TxF+0,32258Ux				

\* = p<0,05; \*\* = p<0,01; ns = não significativo

TABELA 7A – Análises de variância (ANOVA) e equação de regressão para a variável resposta Textura (TEX), relativo às variáveis Temperatura, Umidade e Formulação.

FATOR	Q.S.	G.L.	Q.M.	F	p
Umidade (L)	1718898,0	1	1718898,0	34,83125	0,001987**
Umidade (Q)	557004,0	1	557004,0	11,28696	0,020117*
Formulação (L)	357870,0	1	357870,0	7,25178	0,043148*
Formulação (Q)	45283,0	1	45283,0	0,91761	0,382097 <sup>ns</sup>
2L x 3L	130701,0	1	130701,0	2,64848	0,164577 <sup>ns</sup>
Ajuste	973862,0	9	108207,0	2,19267	0,200508 <sup>ns</sup>
Erro	246747,0	5	49349,0		
Total	4064286,0	19			
$R^2$	0,69967				
Equação	$TEX=747,402-354,754U+195,588U^2-161,870F-55,767F^2+127,819U \times F$				

\* =  $p < 0,05$ ; \*\* =  $p < 0,01$ ; ns = não significativo