

Dedico a

minha esposa Maria Lúcia

meus filhos Evandro e Luciana

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Ahmed A. El-Dash pelo constante apoio, entusiasmo e dedicada orientação a esta tese.

À Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola da UNICAMP, na pessoa da Prof^a Iracema de Oliveira Moraes, por ter me proporcionado a realização do Curso de Doutorado e as facilidades para execução deste trabalho.

Ao Dr. Eduardo Antonio Bulizani, da Seção de Leguminosas do Instituto Agronômico de Campinas, pelo fornecimento de guandu e pelo constante incentivo à realização deste trabalho.

Aos colegas Renato Cruz, Norma Mancilla, Celina Camargo e Yoon Kill Chang pela amizade, pela convivência nas horas alegres e pelo apoio nas dificuldades.

Aos colegas e companheiros de última morada, Eduardo e Arnaldo, pelo acolhimento e cordialidades, nossos sinceros agradecimentos.

ÍNDICE

	Página
RESUMO	ix
SUMMARY	xi
LISTA DE TABELAS	xiii
LISTA DE FIGURAS	xvii
I. INTRODUÇÃO	1
II. REVISÃO DE LITERATURA	3
A. CARACTERÍSTICAS, COMPOSIÇÃO E USOS DO GUANDU..	3
1. Características agronômicas	3
2. Composição química	5
3. Moagem do guandu	9
4. Usos do guandu como alimento	10
B. O PROCESSO DE EXTRUSÃO	11
1. Definição	11
2. Elementos básicos do extrusor	12
3. Vantagens do processo de extrusão	16
4. Efeito de importantes variáveis nas caracte	19
rísticas dos extrudados	
a. Efeito da temperatura	19
b. Efeito do teor de umidade	24
c. Efeito combinado das variáveis	26

III. MATERIAL E MÉTODOS	30
A. MATÉRIA PRIMA	30
B. MOAGEM DO GUANDU	30
1. Condicionamento	30
2. Quebra	31
3. Peneiragem e ventilação	31
4. Moagem	31
C. EXTRAÇÃO DO AMIDO	32
D. EXTRUSÃO DA FARINHA DE GUANDU	32
1. Matéria-prima	32
2. Equipamento	33
3. Processamentos	35
E. MÉTODOS ANALÍTICOS	36
1. Amostragem dos grãos de guandu	36
2. Densidade aparente dos grãos	37
3. Classificação dos grãos por tamanho	37
4. Peso e dimensão dos grãos	37
5. Dessecação dos grãos	37
6. Densidade dos extrudados	38
7. Absorção de água dos extrudados	38
8. Expansão dos extrudados	38
9. Dureza dos extrudados	39
10. Índice de absorção de água das farinhas extrudadas	39

11. Índice de solubilidade das farinhas extru-	
dadas	40
12. Solubilidade da proteína	40
13. Amido danificado	40
14. Viscosidade	41
15. Análise estatística	42
16. Análises químicas	43
a. Umidade	43
b. Proteína	43
c. Gordura	43
d. Fibra	44
e. Minerais	44
f. Aminoácidos	44
g. Amido	44
IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
A. CARACTERÍSTICAS DA MATÉRIA PRIMA	45
1. Estrutura dos grãos	45
2. Composição química	47
B. MOAGEM DOS GRÃOS DE GUANDU	47
1. Desenvolvimento do processo de moagem	47
2. Composição química das frações de moagem ..	54
C. CARACTERÍSTICAS DA FARINHA E DO AMIDO DE GUANDU	58
1. Composição química da farinha e do amido ..	58
2. Amidos danificados na farinha	58

3. Viscosidade da farinha e do amido	61
4. Poder de inchamento e solubilidade do amido	70
D. EXTRUSÃO DA FARINHA DE GUANDU	70
1. Efeito do teor de umidade inicial da farinha	71
a. Torque	71
b. Características físicas dos extrudados..	75
c. Características físico-químicas das farinhas extrudadas	81
d. Viscosidade das farinhas extrudadas	86
2. Efeito da temperatura e taxa de compressão da rosca	86
a. Torque	89
b. Produção de extrudados por minuto	95
c. Teor de umidade dos produtos extrudados após a extrusão	95
d. Densidade dos produtos extrudados	99
e. Expansão dos produtos extrudados	102
f. Porosidade dos extrudados	105
g. Dureza dos extrudados	105
h. Absorção de água dos extrudados	117
i. Solubilidade da proteína	120
j. Índice de absorção de água das farinhas extrudadas	123
k. Índice de solubilidade das farinhas extrudadas	123

1. Viscosidade das farinhas extrudadas	125
i. Viscosidade inicial a 25°C	125
ii. Viscosidade a 95°C	134
iii. Viscosidade a 50°C	134
V. CONCLUSÕES	135
VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	138

RESUMO

Grãos de guandu (*Cajanus Cajan*, Millsp.), variedade Kaki, foram inicialmente caracterizados fisicamente com relação à suas dimensões, distribuição por tamanhos em peneiras e dessecados afim de verificar a proporção de cotilédones, casca e embrião. Foram determinados na farinha integral, casca e cotilédones os teores de proteína, lipídeos, cinzas, fibra, amido e minerais. O grão de guandu estudado possui 87,1% de cotilédones, 12,1% de casca e 0,6% de embrião. Os cotilédones apresentaram maiores teores de proteína, gordura e amido do que na casca. À exceção do fósforo, todos os minerais tiveram teores maiores na casca do que nos cotilédones.

Um processo de produção de farinha foi desenvolvido utilizando um moinho de rolos. Os grãos, inicialmente com 13% de umidade, foram condicionados com umidades variando até 16% e tempos de 15 até 120 minutos, afim de facilitar a separação da casca por peneiragem. Antes da passagem no moinho de rolos os grãos foram quebrados em moinho de disco e a casca separada por ventilação. As farinhas e subprodutos da moagem foram analisados quanto à sua composição química. Determinou-se também nas farinhas o teor de amido danificado. Dois tipos de farinhas foram obtidos, uma farinha de quebra com 15,76% de proteína e 46,78% de amido e uma farinha de redução com 24,11% de proteína e 38,22% de amido.

O amido de guandu foi isolado da farinha e foram desenvolvidos amilogramas para ambos, em várias concentrações. O

amido foi caracterizado também pelo inchamento e solubilidade em várias temperaturas. Tanto o amido como a farinha apresentaram uma viscosidade sempre crescente com o aquecimento e agitação, e valores baixos de inchamento e solubilidade (ambos em torno de 20), características de grânulos de alta resistência.

A farinha de guandu foi extrudada com teores de umidade inicial de 20, 22, 24 e 26%, temperaturas de 160, 180 e 200°C e taxas de compressão da rosca de 2:1, 3:1 e 4:1. As seguintes características foram avaliadas em ambos experimentos: torque durante o processamento, produção de extrudados, teor de umidade após a extrusão, densidade, dureza e absorção de água dos produtos extrudados, solubilidade da proteína, índice de absorção de água, índice de solubilidade e viscosidade das farinhas extrudadas. O efeito conjugado das variáveis temperatura e taxa de compressão da rosca foi analisado através de superfícies respostas utilizando um modelo de regressão de 2^a ordem.

O teor de umidade inicial da farinha, nas condições pesquisadas, não afetou as características dos produtos. Os extrudados apresentaram uma superfície rugosa e uma estrutura interna aberta bastante porosa. A temperatura foi a variável que mais afetou as características como umidade após a extrusão, densidade, dureza e proteína solúvel. O torque durante o processamento, a expansão das amostras, a absorção de água, e as viscosidades a 25, 95 e 50°C das farinhas extrudadas, tiveram, entretanto, suas variações influenciadas também pela taxa de compressão.

SUMMARY

Pigeon pea (*Cajanus cajan* Mill sp) grains, variety Kaki, were initially characterized by physical analyses such as dimensions, size distribution by sieving and dissected to verify the proportions of cotyledons, husk and embryo. The content of protein, lipids, ash, fiber, starch and minerals in full-flour, husk and cotyledons were determined. The grain studied was composed of 87.1% cotyledons, 12.1% husk and 0.6% embryo. The cotyledons had higher contents of protein, lipids and starch as compared with the husk. Except phosphorus, all others minerals were in higher levels in the husk than in the cotyledons.

A process for flour production was developed using a rollermill. Grains, initially with 13% of moisture were conditioned with different moisture levels up to 16%, during different time periods ranging from 15 to 120 minutes, with the aim of increasing the degree of husk removal during sieving. Before milling the grains were broken using a disc mill and the husk was separated by air circulation. The resulting flours and by-products of milling had their chemical compositions analysed and the amount of damaged starch of flours evaluated. As a consequence two types of flours were obtained: a break flour with 15.78% of protein and 46.78% of starch and a reduction flour with 24.11% of protein and 38.22% of starch.

Pigeon pea starch was isolated from flours and respective amilograms were developed at several concentrations.

The starch was also characterized by determining its swelling and water solubility properties at different temperatures. Both starch and flour had increased viscosity during heating and mixing and a low degree of swelling and solubility (in the order of 20), wich is characteristic of starches of high resistance.

Pigeon pea flours were extruded at moisture contents of 20, 22, 24 e 26%, temperatures of 160, 180 e 200⁰C, and screw compression rates of 2:1, 3:1 and 4:1. The following characteristics were evaluated in both experiments: torque during processing, extruded production, moisture content after extrusion, density, hardness and water absorption of extruded products, protein solubility, water absorption index, solubility index and viscosity of extruded flours. The conjugated effect of parameters such as temperature and screw compression rate were analysed through response surfaces using a second order regression model.

Initial moisture content of flours, in the conditions under study, did not affect product characteristics. All extruded products presented a wrinkle surface and a very porous internal structure. Temperature was the variable that most affected product characteristics such as moisture after extrusion, density, hardness and soluble protein content. Torque after processing, sample expansion, water absorption and viscosiities at 25, 95 and 50⁰C of extruded flours were also influenced by compression rates.

LISTA DE TABELAS

TABELA		Página
I	Características físicas dos grãos de guandu	46
II	Composição química do grão integral, cotilédones e da casca do guandu	48
III	Rendimento das diversas frações da moagem de guandu em função da umidade e do tempo de condicionamento	52
IV	Efeito das variáveis nos rendimentos de farinha de guandu	53
V	Teores médios de fibra das farinhas de guandu <u>con</u> dicionado em dois teores de umidade e diferentes tempos de condicionamento	55
VI	Composição química das frações de moagem do <u>guan</u> du	56
VII	Composição química da farinha mista de guandu ..	59
VIII	Teor de aminoácidos da farinha de guandu	60
IX	Características de viscosidade da farinha mista de guandu em função da concentração	66
X	Características de viscosidade do amido de <u>guan</u> du em função da concentração	67

TABELA

Página

XI	Características de viscosidade das farinhas de guandu, conc. 65g/460 ml	68
XII	Valores máximos e mínimos de torque (m.g.) da ex- trusão de farinha de guandu em função do teor de umidade inicial da farinha	74
XIII	Produção e teor de umidade dos extrudados de <u>guan</u> <u>du</u> após a extrusão, em função do teor de umidade inicial da farinha	77
XIV	Absorção de água e expansão dos produtos extruda <u>d</u> <u>os</u> de guandu, em função do teor de umidade da fa <u>r</u> <u>inha</u>	79
XV	Densidade e dureza dos produtos extrudados de guandu, em função do teor de umidade inicial da farinha	82
XVI	Características físico-químicas das farinhas <u>ex</u> <u>trudadas</u> de guandu, em função do teor de umidade inicial da farinha	84
XVII	Viscosidade da farinha extrudada de guandu, em função do teor de umidade inicial da farinha ...	88
XVIII	Valores máximos e mínimos de torque da extrusão de guandu, em função da temperatura e taxa de <u>com</u> <u>pressão</u>	91

TABELA

Página

XIX	Coeficientes de regressão do modelo de resposta de segunda ordem para as variáveis torque, <u>umida</u> de após a extrusão, densidade e expansão de extrudados de guandu em função da temperatura e <u>ta</u> xa de compressão	92
XX	Variáveis mais significativas para as respostas de torque, umidade após a extrusão, densidade e expansão de extrudados de guandu, em função da temperatura e taxa de compressão	93
XXI	Produção de extrudados de guandu em função da <u>tem</u> peratura e taxa de compressão	96
XXII	Umidade dos produtos extrudados de guandu, após a extrusão, em função da temperatura e da taxa de compressão	97
XXIII	Densidade dos produtos extrudados de guandu em função da temperatura e da taxa de compressão ..	100
XXIV	Expansão dos produtos extrudados de guandu em <u>fun</u> ção da temperatura e taxa de compressão	103
XXV	Dureza dos produtos extrudados de guandu em <u>fun</u> ção da temperatura e taxa de compressão	111
XXVI	Coeficientes de regressão do modelo de respos- ta de segunda ordem para as variáveis absorção	

TABELA

Página

de água, solubilidade da proteína, dureza da superfície e dureza da estrutura interna de extrudados de guandu, em função da temperatura e de taxa de compressão	113
XXVII Variáveis mais significativas para as respostas de absorção de água, solubilidade da proteína, dureza da superfície e dureza da estrutura interna dos extrudados de guandu, em função da temperatura e taxa de compressão	114
XXVIII Absorção de água dos produtos extrudados de guandu em função da temperatura e taxa de compressão	118
XXIX Solubilidade da proteína nos extrudados de guandu em função da temperatura e taxa de compressão	121
XXX Índice de absorção de água e de solubilidade da farinha extrudada de guandu em função da temperatura e da taxa de compressão da rosca	124
XXXI Variáveis mais significativas para as respostas de viscosidade a 25°C, a 90°C e a 50°C, das farinhas extrudadas de guandu, em função da temperatura e taxa de compressão	129
XXXII Coeficientes de regressão do modelo de resposta para as variáveis viscosidade a 25°C, a 95°C e a 50°C, das farinhas extrudadas de guandu, em função da temperatura e taxa de compressão	130

LISTA DE FIGURAS

FIGURA		Página
1	Seções funcionais de um típico extrusor de cozimento	13
2	Extrusor utilizado no cozimento da farinha de guandu	34
3	Fluxograma da moagem de guandu	50
4	Suscetibilidade das farinhas de quebra e redução à α -amilase (160 SKB) por 2 horas, para determinação de amido danificado	62
5	Amilogramas da farinha de guandu em várias concentrações (g/460 ml)	63
6	Amilogramas do amido de guandu em várias concentrações	64
7	Amilogramas da farinha de quebra e da farinha de redução do guandu	65
8	Solubilidade e absorção de água do amido de guandu em função da temperatura	69
9	Vazões do alimentador em função da rotação e teores de umidade de condicionamento das farinhas..	72

FIGURA

Página

10	Registros de torque indicando o efeito do teor de umidade inicial da farinha na estabilidade dos processamentos	73
11	Fotografia dos produtos de guandu inteiros e <u>cor</u> tados, extrudados com teores diferentes de <u>umida</u> de inicial da farinha	76
12	Efeito do teor de umidade inicial da farinha na produção de extrudados de guandu e na umidade <u>a-</u> pós a extrusão	78
13	Efeito do teor de umidade inicial da farinha na absorção de água e na expansão dos extrudados de guandu	80
14	Registros dos testes de compressão no Instron, dos produtos extrudados de guandu com teores diferentes de umidade inicial da farinha e taxa de compressão 2:1	83
15	Efeito do teor de umidade inicial da farinha de guandu na solubilidade da proteína, índice de <u>ab</u> sorção e índice de solubilidade da farinha <u>extru</u> dada	85
16	Influência do teor de umidade inicial da farinha na viscosidade das farinhas extrudadas	87

FIGURA

Página

17	Registros de torque indicando o efeito da temperatura e taxa de compressão na estabilidade dos processamentos	90
18	Efeito da temperatura e taxa de compressão no <u>tor</u> que durante a extrusão da farinha de guandu	94
19	Efeito da temperatura e taxa de compressão no <u>te</u> or de umidade dos produtos extrudados de guandu após a extrusão	98
20	Efeito da temperatura e taxa de compressão na <u>den</u> sidade dos produtos extrudados de guandu	101
21	Efeito da temperatura e taxa de compressão na <u>ex</u> pansão dos produtos extrudados de guandu	104
22	Fotografias dos produtos da extrusão de farinha de guandu com diferentes temperaturas e taxa de compressão	106
23	Fotografias de produtos seccionados de guandu <u>mo</u> strando a estrutura interna e porosidade	107
24	Registros dos testes de compressão no Instron, dos produtos extrudados de guandu com diferentes temperaturas e taxa de compressão 2:1	108

FIGURA

Página

25	Registros dos testes de compressão no Instron, dos produtos extrudados de guandu com diferentes <u>tem</u> peraturas e taxa de compressão 3:1	109
26	Registros dos testes de compressão no Instron, dos produtos extrudados de guandu com diferentes <u>tem</u> peraturas e taxa de compressão 4:1	110
27	Efeito da temperatura e taxa de compressão na <u>du</u> reza da superfície externa dos produtos extrudados de guandu	115
28	Efeito da temperatura e taxa de compressão na <u>du</u> reza da estrutura interna dos produtos extrudados de guandu	116
29	Efeito da temperatura e taxa de compressão na <u>ab</u> sorção de água dos produtos extrudados de guandu	119
30	Efeito da temperatura e taxa de compressão na <u>so</u> lubilidade de proteína dos produtos extrudados de guandu	122
31	Influência da temperatura de extrusão na <u>viscosi</u> dade das farinhas extrudadas de guandu, com taxa de compressão 2:1	126
32	Influência da temperatura de extrusão na <u>viscosi</u> dade das farinhas extrudadas de guandu, com taxa de compressão 3:1	127

FIGURA

Página

33	Influência da temperatura de extrusão na viscosidade das farinhas extrudadas de guandu, com taxa de compressão 4:1	128
34	Efeito da temperatura e taxa de compressão na viscosidade a 25 ⁰ C da farinha extrudada de guandu..	131
35	Efeito da temperatura e taxa de compressão na viscosidade a 95 ⁰ C da farinha extrudada de guandu..	132
36	Efeito da temperatura e taxa de compressão na viscosidade a 50 ⁰ C da farinha extrudada de guandu..	133

I. INTRODUÇÃO

O guandu está situado em quinto lugar entre as leguminosas alimentícias mais utilizadas no mundo. Há muito tempo tem sido considerado como um importante alimento na Índia, Kenia, Porto Rico e Bahamas. Em muitas partes dos Trópicos, entretanto, o seu potencial como alimento tem sido negligenciado. Como todo legume oferece algumas vantagens sobre outras plantas, como a simplicidade de preparo e multiplicidade de suas formas comestíveis tais como folhas, brotos, vagens verdes e grãos secos.

Devido a sua grande adaptação em clima árido e solos inférteis, o guandu pode ser considerado uma cultura de grande potencial sócio-econômico para as regiões Norte (quente e úmido) e Nordeste (árido e seco) do Brasil, desfavoráveis ao cultivo de soja e feijão. O seu fácil cultivo o torna independente de modernas tecnologias, podendo se ajustar bem dentro de uma estrutura agrária ainda precária ou em fase de desenvolvimento.

Antes de se tornar uma planta industrial o uso direto do guandu como alimento viria complementar a alimentação de cereais e raízes nestas regiões em valores proteicós, energéticos e de minerais e vitaminas. A complementação nutricional de cereais e leguminosas é de extrema importância e tem sido usada há bastante tempo, principalmente em regiões menos desenvolvidas, na forma de grãos cozidos de arroz e feijão comum.

As leguminosas amiláceas como o guandu possuem teor de amido entre 40 e 50% e teor de proteína em torno de 20%, com poponents que podem transmitir a farinha de guandu propriedades funcionais necessárias para atuar, conjuntamente com farinhas de cereais, em sistemas de alimentos como pastas alimentícias, produtos de panificação, produtos de extrusão e pratos tradicionais da dieta caseira.

O processo de cozimento por extrusão é relativamente novo na indústria de alimentos. As matérias prima mais utilizadas são milho, arroz, soja e mandioca. A utilização de farinha de guandu em extrusão vem testar um novo tipo de matéria prima com um teor de proteína maior que nos cereais e um teor de amido relativamente alto.

Os objetivos deste trabalho são:

- . Desenvolver um método de moagem a seco de guandu para a produção de farinha e determinar características químicas e funcionais da farinha.
- . Estudar o comportamento da farinha no processo de extrusão e avaliar o efeito da umidade da farinha, temperatura de extrusão e taxa de compressão da rosca nas características dos produtos extrudados.

II. REVISÃO DE LITERATURA

A. CARACTERÍSTICAS, COMPOSIÇÃO E USOS DE GUANDU

1. Características agronômicas

O guandu (*Cajanus cajan* Millsp.) pertence à família Leguminosae e sub-família Papilionoideae. Segundo Vieira (81) é provavelmente uma planta nativa da Ásia. Foi introduzida posteriormente na África, América Tropical e Austrália.

Pode ser cultivado como cultura anual ou perene com duas colheitas anuais. A produção de grãos pode atingir normalmente 800 a 1.500 kg/ha, porém rendimentos de 5.000 kg/ha já foram relatados na Índia (81). No Instituto Agronômico de Campinas, em experimento para definir melhores épocas de plantio (42), obteve-se um rendimento de 4.290 kg/ha de sementes com plantio em outubro. Rendimentos superiores a 3.000 kg/ha foram conseguidos com plantio em janeiro.

Rachie (60) ao discutir os méritos agronômicos de várias leguminosas, a serem cultivadas em regiões tropicais, coloca o guandu em 2º lugar, precedido somente pelo feijão de corda (*Vigna unguiculata*, Walf.). O autor se refere às qualidades do guandu da seguinte maneira:

- a) Cultura de clima semi-árido a úmido, de ampla adaptação nos trópicos;

- b) uso potencial em ambos sistemas de produção a curto e longo termo (de forma perene ou anual);
- c) potencial de rendimento de 3.000 a 5.000 kg/ha, maior que outras leguminosas, só superado pela soja;
- d) grande variabilidade genética e taxa alta de cruzamento, facilitando recombinação natural e uso de métodos de melhoramento genético com populações;
- e) baixa incidência de doenças e ataques de insetos;
- f) excelente qualidade nutricional, com baixo teor de inibidores metabólicos.

Morton (50) apresenta um trabalho de revisão sobre guandu com descrição da planta, origem, distribuição, produção e valor econômico, variedades e cultivares utilizadas no mundo, práticas culturais e valor como alimento. Com relação a sua adaptação relata o autor que o guandu é sensível a geadas e se desenvolve bem em regiões tropicais e subtropicais, úmidas e secas. Na Venezuela ele cresce desde o nível do mar até elevações de 3.000 m; em Java até 2.000 m; na Jamaica até 1.100 m. Melhores crescimentos no Hawaí foram conseguidos entre 30 e 457 m. A planta não é exigente quanto a tipo de solo, desde que seja bem drenado. Irrigação é desnecessária, pois é resistente à seca.

2. Composição química

Uma composição química típica (de cultivares não especificadas) citada por Morton (50), é a seguinte:

Componentes	Teor (% base seca)
Proteína	21,3
Gordura	1,7
Carboidratos	64,0
Fibra	9,0
Cinza	4,2

Singh et alii (70) determinaram a distribuição de nutrientes nas partes anatômicas do grão de uma variedade na Índia (Pusa best), e encontraram os seguintes teores dos componentes no grão inteiro e em cada fração:

	Grão Inteiro 100	Casca 15,5%	Cotiledone 83%	Embrião 1,5%
Cinza	4,07	3,5	4,17	5,98
Proteína	21,8	5,6	24,3	48,1
Lipídeos	3,85	0,3	4,4	13,5
Fibra	5,22	31,9	0,4	1,4
Carboidrato	64,6	58,7	66,7	31,0
P (mg/100g)	269,1	30,5	432,0	890,0
Ca (mg/100g)	394,0	917,0	176,0	400,0
Fe (mg/100g)	6,71	9,5	6,1	13,0

Ao analisarmos a composição das frações verificamos que o embrião é uma fração rica em componentes que dão o valor nutritivo do grão, como proteína, lipídeos e minerais. Porém ele corresponde somente a 1,5% do total do grão, e por isso estes nutrientes raramente atingem 5% em relação ao total, conforme se pode ver na tabela a seguir, que nos dá a proporção dos componentes nas frações:

	Casca (%)	Cotiledone (%)	Embrião (%)
Cinza	13	85	2
Proteína	4	93	3
Lipídeos	1	94	5
Fibra	94	5,6	0,4
Carboidratos	14	85,3	0,7
Fósforo	1,3	95	3,7
Cálcio	48	49	3
Ferro	22	75	3

O cotiledone devido a sua alta proporção no grão (83%) contém a grande maioria dos nutrientes, só sendo ultrapassado em fibra pela casca (94%) o que é uma vantagem tanto do ponto de vista tecnológico como nutricional. A casca é rica em cálcio, com uma proporção semelhante à do cotiledone. Pela composição apresentada pode-se concluir que a eliminação da casca durante o processamento não diminui o valor dos produtos obtidos.

Hulse (35) cita o teor de lipídeos do guandu como sendo entre 1 e 2%, com mais de 50% consistindo de ácidos graxos polinsaturados. Morton (50) apresenta os seguintes valores para os ácidos graxos: linolenico 5,56, linoleico 51,41%, oleico 6,33%, saturados 3,7%.

Segundo Hulse (35) o guandu é uma boa fonte de ferro (6-9 mg/100g) e contém 5-10 vezes mais cálcio do que os principais cereais.

Em comum com outros legumes o guandu apresenta somente modestas quantidades de vitamina A, aproximadamente 150 UI/100g. O teor de niacina é razoável, variando entre 1,5-2,5 mg/100g (35). Valores médios para outras vitaminas citados por Morton (50) são os seguintes: tiamina 0,5 mg/100g; riboflavina 0,15 mg/100g, ácido nicotínico 2,3 mg/100g.

O teor de carboidratos, que consiste principalmente de amido, varia segundo Hulse (35) entre 50 e 60%. Morton (50) apresenta os seguintes valores para os outros açúcares: sacarose 1,6%, rafinose 1,1%, estaquiose 2,7%, verbascose 4,1%.

Três características indesejáveis associadas com grãos de leguminosas são: a) presença de substâncias que aglutinam as células vermelhas do sangue; b) inibidores de tripsina e c) tendência a induzir flatulência. A atividade hemaglutinante no guandu é pequena comparada com outros feijões como o feijão preto e feijão comum e a antitripsina também parece ser de pouca consequência, conforme Hulse (35). Elias et alii (26) encontraram os seguintes teores de inibidores de tripsina (TUI/

ml) em diferentes espécies: guandu 10,1, feijão de corda 4,8-13,7, feijão comum 12,9-14,8 e soja 24,5.

Fósforo-fitina (75-89% de fitina) está presente no teor de 200 mg por 100g de semente (50). Devido ao cálcio ser no guandu significativamente mais alto do que nos cereais o ácido fítico pode não interferir seriamente com este mineral, todavia quando suficientemente alto pode interferir com a absorção de ferro, magnésio e zinco.

Geralmente o guandu é tido como rico em proteína de alta qualidade, variando entre 19 e 28%. As principais proteínas são 2 globulinas: cajanina que representa 58% do nitrogênio total e concajanina que representa 8%. Ambas são altas em tirosina, moderadamente altas em cistina, arginina e lisina. Cajanina é deficiente em metionina, triptofano e treonina (50).

Dados do Indian Agricultural Research Institute (IARI), citados por Hulse (35), apresentam variações do teor protéico de 20,7-21,1% e rendimentos de proteína de 259-340 kg/ha.

Valores apresentados por Hulse (35) mostram variações de 18-23% de proteína para grãos inteiros e de 23-27% para grãos descascados. Variações de 18-26% são citadas no trabalho de Swaminathon e Jain (78). Outras informações sobre teor de proteína, amino-ácidos e valor nutricional podem ser encontradas nos trabalhos de Laxman Singh et alii (39), Mtenga e Sugiyama (52), Evans e Bouter (27), Elias et alii (26), Bressani et alii (13) e Gopala Krishna et alii (29).

3. Moagem do guandu

A moagem de grãos de leguminosas como o guandu tem sido mais amplamente utilizada em regiões da África e da Ásia que são grandes consumidores destes grãos na alimentação. A operação inicial é de descascamento dos grãos, principalmente aqueles que possuem uma casca dura e fibrosa. É um processo no qual as camadas externas do grão, principalmente aquelas que compõem a casca, são sucessivamente removidas através de forças de ação abrasivas ou de cisalhamento sobre os grãos inteiros. Moinhos simples, operados manualmente, são usados para preparação de metades descascadas, farinhas ou grits.

Na Índia, segundo Siegel e Fawcett (69) mais de 75% dos grãos alimentícios de leguminosas são processados para produzir metades descascadas (dhals) para consumo direto. A prática caseira consiste em liberação e remoção da casca e divisão em dois cotilédones. O descascamento pode ser feito por método úmido ou a seco. Na África usa-se o sistema tradicional de quebra em pilão e peneiragem para eliminar a casca. Em seguida os pedaços descascados são moídos manualmente no pilão ou em pequenos moinhos comerciais de placas. Operações em grande escala, utilizando ambos os métodos úmido ou seco, são descritas por Kurien e Parpia (38).

No método úmido os grãos são imersos em água por 4-12 horas e a seguir secos em terreiro para facilitar a separação da casca. Após a secagem os grãos são passados em descascadores horizontais de pedra ou verticais de esmeril, denomina-

dos "chakkı" na Índia. A casca é a seguir aspirada e as metades separadas por peneiragem. No método seco os grãos são inicialmente respados por meio de rolos cobertos com esmeril. A seguir são misturados com 1% de óleo de linhaça que é utilizado para facilitar a separação da casca. Os grãos oleados são secos ao sol e após a secagem passados através de rolos para o descascamento por abrasão. A maior desvantagem do método seco é a grande perda devido a quebra e formação de finos. Além do mais a liberação de casca neste processo é inadequada.

4. Usos do guandu como alimento

Em Java e na Índia as vagens jovens, com as sementes ainda indistintas, são cozidas como verdura ou são utilizadas como temperos. As sementes maduras podem ser germinadas para produzir brotos que são consumidos com 2 cm de altura. As sementes jovens são amassadas com alho e outros condimentos e consumidas cruas com arroz. De outro modo as sementes são fervidas normalmente, um completo cozimento requerendo de 1 1/4 a 2 horas (50).

Sementes maduras, não maceradas, necessitam de 4 a 5 horas para cozinhar. Se maceradas durante a noite o tempo de cozimento é reduzido para 2-3 horas. O tempo de cozimento pode ser reduzido, assim como o gasto com combustível, pelo processamento do guandu descascado em flocos e cozimento destes flocos em vapor por 15 minutos. O produto assim preparado torna-se macio quando colocado em água fervente por 10 a 20 minutos.

Em trabalho citado por Morton (50) foi sugerido que a aceitabilidade do guandu, quando consumido inteiro, pode ser aumentada com o descascamento, eliminando o gosto levemente acre que existe. Em Java as sementes maduras e secas são maceradas em água, trituradas e fritas, ou são cozidas com vapor e consumidas puras ou misturadas com côco ralado ou outros alimentos. Na Índia são transformados em purê, normalmente temperado, ao lado de outros pratos.

Em Porto Rico as sementes frescas imaturas são muito populares por terem um melhor sabor, mais macias, cozinham em menos tempo e não necessitam ficar imersas em água antes do cozimento (65). Neste país as sementes verdes ou maduras de guandu são também processadas para enlatamento (66).

B. O PROCESSO DE EXTRUSÃO

1. Definição

A extrusão de alimento 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 para criar novas texturas e formatos (25).

Muitos dos extrusores de cozimento usados hoje em dia foram desenhados inicialmente para expelir óleo de sementes oleaginosas e gelatinizar amido em rações. A variedade de ali-

mentos produzidos, hoje, pelo extrusor, excede muitas vezes o que se previu inicialmente (72). Extrusores de diferentes desenhos são utilizados na produção de alimentos pré-cozidos, refeições (breakfasts) de cereais e "snacks", proteínas vegetais texturizadas, bebidas instantâneas em pó, alimentos a base de cereal, enriquecidos com proteína, sopas instantâneas, alimentos infantis, farinhas e amidos pregelatinizados para finalidades industriais.

2. Elementos básicos do extrusor

O extrusor consiste de um parafuso giratório firmemente encaixado dentro de um cilindro (Fig. 1). O parafuso ao girar empurra o alimento na direção de uma matriz, revirando-o e pressionando-o contra as paredes do cilindro, e exercendo sobre ele um trabalho de cisalhamento, transformando-o em uma massa uniforme. O alimento absorve calor por dissipação viscosa da energia mecânica aplicada no parafuso. Calor pode ser adicionado também por camisas de vapor ao redor do cilindro ou por aquecimento elétrico. Quando há necessidade de resfriamento usa-se camisa de água fria. O tempo de residência do alimento no extrusor é de poucos segundos e varia com o desenho do parafuso e sua velocidade de rotação. A temperatura de descarga pode exceder a 200°C.

A alimentação no processo de extrusão deve ser mantida uniforme e contínua afim de permitir o bom funcionamento do extrusor e evitar flutuações no cozimento e nas característi

cas dos produtos extrudados. Para isto os alimentadores devem ser equipados com agitadores e roscas afim de manter um fluxo contínuo de alimentação.

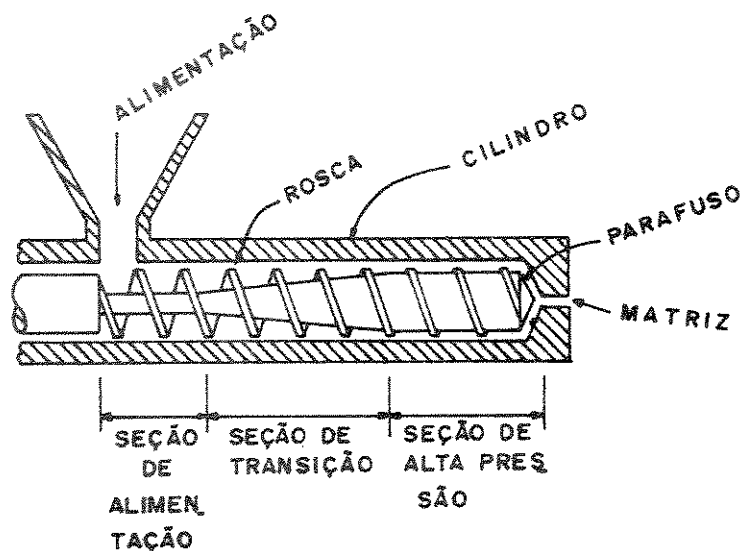


FIGURA 1 - Seções funcionais de um típico extrusor de cozimento.

A maior parte dos extrusores de cozimento usa um único parafuso para alimentar, cozinhar e pressionar o material (Fig. 1). Há, contudo, extrusores com 2 parafusos, denominados extrusores gêmeos. O parafuso é a parte central e principal do equipamento, pois a sua geometria influencia grandemente o processamento. Está dividido em três seções:

- a) Seção de alimentação - sua função é de receber o material, comprimi-lo e iniciar o seu transporte através do extrusor.

Durante o transporte o alimento começa a ser transformado em uma massa contínua, o ar é expelido e os espaços da rosca são ocupados. É caracterizada por uma maior profundidade da rosca ou por roscas de maior passo;

- b) Seção de transição - nesta seção a geometria do parafuso modifica-se gradualmente pela decrescente altura da rosca ou existem restrições internas ao fluxo pela presença de placas perpendiculares ao mesmo. Estas restrições aumentam a taxa de cisalhamento e a energia mecânica consumida, resultando em aumento de temperatura. Quando o material move através da região de transição, ele é completamente trabalhado transformando-se em uma massa e cozido parcialmente. A temperatura e a pressão se elevam. A água não evapora dentro do extrusor, devido a alta pressão desenvolvida;
- c) Seção de alta pressão - é talvez, a parte mais importante do parafuso. Aqui a profundidade da rosca é menor e/ou a distância entre as mesmas (passo) é diminuída. Sua função é de receber o material comprimido, homogeneizá-lo, e forçá-lo através da matriz a pressão constante. No caso de um extrusor de cozimento a taxa de cisalhamento é muito alta nesta seção, a intensidade de mistura é drasticamente aumentada e a dissipação da energia mecânica está no seu ponto máximo. O aumento de temperatura é muito rápido e alcança o máximo justamente antes do produto emergir da matriz. Nesta região a massa é cozida até o grau desejado. Quando a massa passa através da matriz a pressão é rapidamente liberada, e a água

superaquecida evapora instantaneamente. A rápida perda de umidade após a matriz resulta em resfriamento do alimento que se solidifica e se firma.

A parte interna do cilindro é normalmente ranhurada em extrusores de cozimento, para evitar deslizamento da massa, aumentando assim a taxa de cisalhamento. Camisas que circundam o cilindro permitem a circulação de vapor ou água fria e proporcionam maior controle e flexibilidade da operação. A seção de alimentação, em geral, funciona com baixa temperatura, enquanto que nas seções finais, onde deve ocorrer o cozimento, normalmente há aquecimento.

A matriz em um extrusor pode ter várias configurações. Geralmente consiste de múltiplos orifícios ou fendas situadas em um círculo cujo diâmetro corresponde ao centro do parafuso. Uma placa perfurada pode ser usada antes da matriz. Sua função é aumentar a contrapressão no extrusor, assegurar uniformidade de pressão atrás da matriz, e parar alguma peça dura ou não cozida que poderá entupir a matriz.

Após a matriz pode haver um cortador com motor de velocidade variável que lhe permita o ajuste com a velocidade da extrusão, para que se consiga pedaços uniformes do produto.

Além das partes referidas é necessário que o extrusor tenha força motriz variável para que se possa controlar o fluxo e a taxa de cisalhamento. Um mancal de pressão absorve o impulso de retrocesso que resulta quando o alimento é transportado através do parafuso.

A classificação dos extrusores, desenho e aspectos mecânicos operacionais, modelamento matemático e relação das diferentes variáveis do processo de extrusão são revistos nos trabalhos de Rossen e Miller (61), Harman e Harper (30, 31), Harper (32, 33) e El. Dash (25). As variáveis do processo de extrusão podem ser divididas em três grandes grupos:

- a) desenho do parafuso e da matriz;
- b) variáveis operacionais - velocidade de alimentação, temperatura e rotação do parafuso e
- c) matéria-prima - teor de umidade e composição química.

3. Vantagens do processo de extrusão

O extrusor tem como uma de suas principais vantagens a possibilidade de executar três funções ao mesmo tempo, ou seja de misturar, cozinhar e estruturar o alimento.

Produtos de vários formatos, densidades e tamanhos, pós, flocos, grânulos podem ser produzidos por extrusão de matérias-prima de várias origens. Estes produtos podem ser salgados, adoçados, aromatizados, coloridos, enriquecidos, cobertos, para usos diretos em refeições ou como ingredientes por processadores.

O processo de extrusão é muito versátil e segundo El. Dash (25) com somente pequenas modificações no equipamento básico e o controle próprio do processamento, uma ampla relação de produtos pode ser produzida desde alimentos infantis até pro

teínas vegetais texturizadas e amidos modificados para uso alimentar ou industrial. Com os mesmos ingredientes a extrusão pode produzir numerosos produtos finais com diferentes formatos, texturas, sabores e aparências. Pode também ser empregada para controlar e inativar fatores antinutricionais e enzimas e para pasteurizar e esterilizar alimentos.

Sanderude e Ziemba (63) relatam como os produtos novos podem ser desenvolvidos através da extrusão. Além dos fatores antinutricionais como antitripsina e hemaglutinina encontrados na soja crua, fatores anti-palatáveis encontrados na soja e outras leguminosas podem também ser eliminados. O processo pode estender a vida de prateleira de seus produtos sem refrigeração. O desenvolvimento de rancidez oxidativa em certos cereais e farinhas contendo germe é apreciavelmente reprimido. Proteínas, vitaminas e minerais podem ser ligados com carboidratos para assegurar a desejada distribuição destes componentes.

Sanderude (62) revê alguns pontos principais do processamento por extrusão na produção de "snacks" (produtos estruturados para refeições ligeiras) como princípios básicos, e equipamentos, variáveis de processo e matéria-prima. Boettger (12) descreve sobre a instalação de uma planta piloto para a produção de "snacks". Outras informações sobre aspectos técnicos e econômicos, ingredientes, técnicas modernas e contínuas de produção de "snacks" podem ser encontrados nos trabalhos de Smith (73), Horn e Bronikowski (34), Smith (74), Toft (80) e Bain (10).

O valor do processo de extrusão em remover fatores antinutricionais, inativar enzimas para manter boa estabilidade na armazenagem e bom sabor, e ao mesmo tempo manter as propriedades nutricionais em farinha de soja integral, foi pesquisado por Mustakas (54) e Mustakas et alii (55). Valores altos de PER como 2,8 (caseína - 3,3) ou 2,15 (caseína - 2,5) foram alcançados com 89% de inativação de antitripsina. A disponibilidade de lisina nas farinhas extrudadas, expressa como porcentagem da proteína, variou de 6,1 a 6,4, indicando uma alta disponibilidade da lisina total em relação à farinha de soja original (6,5). A perda de tiamina também foi mínima comparando-se o valor de 0,85 mg/100g na farinha extrudada, com 1,07 mg/100g na soja original.

O efeito do processo de extrusão no valor nutricional de produtos extrudados é relatado também por de Muelenaere e Buzzard (53). Produtos obtidos de mistura de milho, soja e amendoim tiveram perdas de niacina de somente 2,8% durante a extrusão. Em farinha integral de soja, valores de lisina disponível de 5,32 g/100g de proteína se mantiveram constantes após a extrusão. Em misturas contendo soja, leite em pó e cereais a destruição de lisina foi de 28% pela extrusão. Perdas de 13% foram constatadas em produtos obtidos da mistura de soja desengordurada, milho e sorgo. Retenções médias de 54% de tiamina e 92% de riboflavina foram registradas por Beetner et alii (11).

Outra vantagem do processo de extrusão é a possibilidade de complementar farinhas de cereais com farinhas proteicas, vitaminas e minerais, afim de melhorar o balanço de amino

ácidos e o valor nutricional de maneira geral. Aguilera e Kosikowski (2) obtiveram produtos extrudados com boas características e valor nutricional pela mistura de 70% de milho, 5-22% de soro de leite e até 25% de farinha de soja. Produtos com desejável sabor e textura foram também obtidos por Spadaro et alii (76) em extrusão de arroz com farinha de algodão e de amendoim.

4. Efeito de importantes variáveis nas características dos extrudados

a. Efeito da temperatura

A temperatura tem efeito de cozimento ao gelatinizar o amido e desnaturar proteínas durante a extrusão. A extensão deste efeito na viscosidade do gel que se forma no extrusor reflete nas características finais do produto tais como expansão, densidade, textura, estrutura e outras propriedades funcionais como viscosidade, absorção de água, solubilidade de carboidratos e proteínas.

Anderson et alii (6) processando farinha de milho com temperatura variando de 104 a 232°C, encontraram que a absorção de água das farinhas extrudadas aumentou progressivamente com o aumento de temperatura até o valor máximo de 7 (grama de gel por grama de matéria-seca) na temperatura de 176°C, decrescendo então com posteriores aumentos de temperatura até o valor de 5 a 232°C. Mercier e Feillet (46) encontraram valor máximo

de absorção próximo a 6 entre 180 a 200°C, para farinha de milho extrudada, decrescendo também com posteriores aumentos até o valor de 4 a 250°C.

Mercier e Feillet (46) extrudaram também diversos tipos de amido com temperatura variando de 70 a 225°C. Amidos normais de milho, trigo e arroz atingiram valores máximos de absorção de 8,3, 7,3 e 8,3 respectivamente, à 170°C. A absorção de água se comportou de maneira diferente para o amido de milho ceroso (99% de amilopectina), com 3,8 de absorção a 70°C e diminuindo com aumento de temperatura até 0,8 à 225°C. Amidos com 52 e 61% de amilose não apresentaram variações no índice de absorção de água em função da temperatura de extrusão, mantendo valores baixos em torno de 3,6 e 3,3, respectivamente. Em extrusão de amido de batata Mercier (45) verificou que o índice de absorção atingiu o máximo de 9 já à 95°C, diminuindo com aumento da temperatura até o valor menor que 1 à 225°C. Com amido de mandioca Mercier et alii (47) encontraram um valor máximo de 7,5 à 95°C, diminuindo posteriormente até o valor de 3 à 225°C.

Enquanto que o índice de absorção de água aumenta até um máximo valor a uma dada temperatura, o índice de solubilidade (% de matéria solúvel em relação ao peso seco) continua aumentando com o aumento de temperatura. No trabalho de Anderson et alii (6) o índice de solubilidade da farinha de milho extrudada alcançou valores superiores a 40 no mais alto valor de temperatura de 232°C. Com Mercier e Feillet (46) o índice de solubilidade da farinha de milho extrudada aumentou de valores pró

ximos a 7 na temperatura de 65°C até valores superiores a 35 na temperatura de 250°C. A quantidade de carboidrato solúvel em etanol diminuiu de 1,02 na semolina não processada até 0,70 no processamento a 247°C. Porém, o teor de carboidrato solúvel em água aumentou de 0,85 na semolina não processada até 28,1 na extrusão à 247°C.

Mercier e Feillet (46) encontraram um comportamento semelhante às farinhas para o índice da solubilidade de amidos de milho, trigo e arroz extrudados com várias temperaturas. O amido ceroso apresentou, entretanto, um aumento muito grande no índice de solubilidade, com 35 à 70°C e atingindo a alta solubilidade de 94 à 225°C. A solubilidade manteve-se com baixos valores para amidos de alto teor de amilose, em torno de 10-15 para amido com 51% de amilose e 5-8 para amido com 62% de amilose. O amido de batata apresentou altos índices de solubilidade, com 25 à 75°C e atingindo valores altos de 60 a 135°C e 80 a 190°C, segundo Mercier (45). Em contraste com o amido de cereal apresenta uma fração solúvel em solução aquosa de etanol a 85%, indicando a formação de oligossacarídeos com pesos moleculares menores do que 2.000. A quantidade destes carboidratos aumenta com a temperatura de extrusão e o máximo obtido foi de 16% para a temperatura de 190°C. Para o amido de mandioca a solubilidade variou de 20 a 70°C para 50 a 225°C, segundo Mercier et alii (47). No trabalho de Kim e Rottier (37), com semolina de trigo, a matéria solúvel em água aumentou de 7 (farinha não extrudada) até 15,2 a 190°C, enquanto que os carboidratos solúveis aumentaram de 2,9 para 14,2. O teor de proteína solúvel decresceu de 3,5 (farinha não processada) para 0,6 a 190°C.

No trabalho de Anderson et alii (6) a viscosidade da pasta a frio (29°C), registrada por amilograma, seguiu o mesmo padrão da absorção de água, com um máximo de 320 U.A. (unidades amilográficas) na temperatura de 176°C , diminuindo com posteriores aumentos de temperatura. A viscosidade a 95°C apresentou um valor máximo de 250 U.A. a 107°C , diminuindo com aumento da temperatura de extrusão. O amilograma da farinha extrudada a 107°C foi característico de um produto apresentando amidos intactos, isto é, com viscosidade crescente durante os ciclos de aquecimento e resfriamento. A viscosidade final após o cozimento e resfriamento a 50°C diminuiu progressivamente com o aumento de temperatura, de 396 U.A. a 107°C até 100 U.A. a 204°C . Comportamentos semelhantes foram verificados por Conway (18, 19), Mercier e Feillet (46) e por Anderson et alii (7) com farinha de sorgo. Em Kim e Rottier (37) a viscosidade a frio (30°C), de semolina de trigo extrudada, aumentou até o máximo de temperatura utilizada de 190°C , atingindo o valor de 2500 U.A. O efeito foi maior acima de 125°C . A viscosidade a 95°C aumentou até 125°C com 1100 U.A., diminuindo com posteriores aumentos de temperatura. Paton e Spratt (59) trabalhando com farinha de trigo, verificaram que a temperatura de extrusão de 120°C produz uma farinha com viscosidade de 89 no viscosímetro de amido Ottawa, característica de amido não cozido. Com a temperatura de extrusão a 163°C , entretanto, a viscosidade foi de 192, e os autores julgaram como amido cozido.

Mercier e Feillet (46) trabalhando com diferentes tipos de amido verificaram também abaixamento da viscosidade a

50°C com aumento da temperatura de extrusão para o amido de milho ceroso e amidos normais de milho, trigo e arroz. Os amidos com 52 e 61% de amilose não mostraram qualquer tendência de variação da viscosidade a 50°C em função da temperatura, permanecendo com baixos valores de 30 - 40 e 10 - 25 U.A., respectivamente. A viscosidade dos amidos de batata e de mandioca tiveram comportamento semelhante ao amido ceroso e amidos normais, segundo trabalhos de Mercier (45) e Mercier et alii (47). À altas temperaturas, entretanto, estes amidos, juntamente com o amido de milho ceroso, tiveram uma viscosidade a 50°C muito baixa (10-20 U.A.).

A expansão dos produtos extrudados em função da temperatura tem também um comportamento semelhante à absorção de água. Segundo Mercier e Feillet (46), em extrusão de farinha de milho, a expansão aumentou até um valor próximo a 6 entre 180 a 200°C, diminuindo com posteriores aumentos na temperatura de extrusão. Em extrusão de farinha protéica não há expansão, conforme demonstraram Cumming et alii (23) com texturização de farinha de soja desengordurada. A expansão de produtos extrudados de amido de milho aumentou até valores próximos a 11 com temperatura de 170°C, segundo trabalho de Mercier e Feillet (46). Os extrudados de amido de batata tiveram a expansão aumentada até 10 à 190°C e de mandioca até 9 à 200°C, conforme trabalhos de Mercier (45) e Mercier et alii (47).

A resistência à ruptura dos produtos extrudados de farinha de milho decresceu de valores próximos a 5.000 kg à 130°C até valores abaixo de 1.000 kg a 250°C, conforme demons-

traram Mercier e Feillet (47). A força de cisalhamento para proteínas texturizadas, entretanto, aumentam com o aumento de temperatura. Utilizando o Warner-Bratzler Shear, Cumming et alii (23) observaram um aumento de 1,6 kg a 130°C para 2,8 kg a 170°C em texturização de farinha de soja desengordurada. Maurice et alii (44) também estudaram a textura e estrutura de farinhas de soja texturizadas a 135, 165 e 180°C . Através de observações microscópicas verificaram que a medida que a temperatura aumenta o produto torna-se menos compactado e mais esponjoso na aparência. A 165°C um alinhamento parcial pode ser observado e poucas fibras são vistas, porém a densidade do material ainda é alta. Uma fibrilação definida da proteína e orientação destas fibras ocorre a 180°C a qual é responsável pela textura a partir deste ponto.

Lorenz et alii (41) trabalhando com triticales verificaram que o aumento da temperatura de extrusão na ordem de 149, 204 e 232°C diminuíram significativamente o torque do processamento e o teor de umidade dos produtos após a extrusão. Em texturização de farinha de soja Cumming et alii (23) verificaram que o teor de umidade dos produtos extrudados mostrou somente um leve decréscimo de 31,5 a 29,3 na faixa de temperatura investigada de $107-191^{\circ}\text{C}$.

b. Efeito do teor de umidade

O teor de umidade inicial da farinha, antes da extrusão, influencia a fricção das partículas dentro do extrusor, a

viscosidade do gel formado e conseqüentemente as características dos produtos extrudados. O seu efeito se faz sentir no grau de gelatinização e rompimento dos grânulos de amido.

A influência da umidade na absorção de água de farinhas extrudadas de milho foi estudada por Mercier e Feillet (46) com temperatura de 225°C e teores de umidade variando de 10,5 a 28,5. O índice de absorção foi maior com maior teor de umidade. Com 10,5% de umidade o índice de absorção foi de 4,4 e com 28,5% o índice aumentou para 6,7. O mesmo efeito foi observado por Anderson et alii (6) e por Gomez e Aguilera (28) em extrusão de farinha integral de milho.

O índice de solubilidade diminui com o aumento do teor de umidade. No trabalho de Mercier e Feillet (46) o índice de solubilidade com 10,5 de umidade foi de 35 enquanto que à 28,5 de umidade o índice caiu para 20. Anderson et alii (6) e Gomez e Aguilera (28) também encontraram este comportamento em farinha de milho extrudada. Gomez e Aguilera (28) verificaram também uma diminuição do teor de carboidrato insolúvel com a diminuição do teor de umidade antes da extrusão de 74,82 na farinha crua para 21,43 na extrusão de farinha com 7,6% de umidade.

A viscosidade tanto a frio como após o cozimento é maior nos produtos extrudados com maior teor de umidade. Este fato foi observado por Mercier e Feillet (46) e Anderson et alii (6) em extrusão de farinha de milho degerminado, em extrusão de farinha de milho integral por Gomez e Aguilera (28) e por Mottern et alii (51) em extrusão de arroz.

A expansão dos produtos aumenta com a diminuição do teor de umidade antes da extrusão. No trabalho de Mercier e Feillet (46) a expansão atingiu o valor de 6,2 com 10,5% de umidade e caiu para 1,5 quando a umidade inicial da farinha foi de 28,5%. A resistência a ruptura, ao contrário, diminui com a extrusão de farinha a mais baixos teores de umidade. Para extrudados de farinha de milho a resistência caiu de 4550 kg para 1500 kg, quando a umidade variou de 28,5 a 10,5%, segundo Mercier e Feillet (46).

c. Efeito combinado das variáveis

O estudo do efeito da interação entre as variáveis na extrusão é importante, visto que elas agem concomitantemente para modificar o comportamento do material dentro do extrusor, com reflexos nas características dos produtos extrudados.

Williams et alii (82) mostraram como a temperatura e umidade podem afetar o índice de solubilidade em produtos extrudados de farinha de milho degerminado. A matéria prima tem cerca de 2% de solúveis em água fria. Condições de cozimento moderadas dentro do extrusor (30% de umidade e 87°C) resulta em um produto tendo cerca de 4% de solubilidade. A medida que aumentamos a temperatura e diminuimos o teor de umidade o índice de solubilidade nas farinhas extrudadas aumenta. Sob condições de extrusão de aproximadamente 15% de umidade e 204°C o produto terá 75% de solubilidade em água fria. A solubilidade aumenta também quando aumentamos o grau de cisalhamento com roscas de maior taxa de compressão. Conway (19) encontrou um índice de

solubilidade de 6,4 quando processou farinha de milho degerminado com 25% de umidade, temperatura de 107-110°C e rosca com taxa de compressão de 1,5:1. Quando o teor de umidade foi de 15%, a temperatura 176°C e a taxa de compressão da rosca de 3:1 o índice de solubilidade se elevou para 22,8.

A absorção de água de farinhas extrudadas aumenta até certo ponto com a gelatinização do amido, e então começa a decrescer quando todos os grãos já estão gelatinizados e grande parte deles inicia a dextrinização. No trabalho de Williams et alii (82) a absorção em condições de 30% de umidade e 87°C foi de somente 2,5. O máximo poder de absorção de 7 foi obtido com 27% de umidade e 135°C.

O grau de gelatinização do amido em farinha de trigo foi determinado por método enzimático, durante o processo de extrusão, por Chiang e Johnson (16). Análises estatísticas indicaram que a interação temperatura e umidade afetaram significativamente a gelatinização do amido durante a extrusão. A gelatinização do amido aumentou intensamente com o aumento de temperatura nos teores de umidade de 24 ou 27%, porém aumentou mais gradualmente quando os teores de umidade foram de 18 ou 21%. O teor de umidade não afetou significativamente a gelatinização do amido a baixas temperaturas (65 e 85°C), porém a altas temperaturas (95 e 110°C) aumentando o teor de umidade aumentou significativamente a gelatinização do amido.

O efeito da temperatura e teor de umidade na extrusão de amido de milho foi investigado por El-Dash (25) atra-

vés de análise de superfície resposta. A viscosidade a frio foi influenciada por ambas variáveis, simultaneamente. A um dado teor de umidade, aumentando a temperatura a viscosidade da pasta a frio aumentou até um máximo, seguida por um declive. Comportamento semelhante foi observado quando se fixou a temperatura. A viscosidade máxima a frio foi obtida na faixa de umidade de 21-30% e temperaturas de 175-228°C. Outro estudo foi feito pelo autor para verificar o efeito da temperatura e teor de umidade na gelatinização do amido como relação inversa da viscosidade a 95°C. Encontrou que o mais alto grau de gelatinização acontece com o mais baixo teor de umidade e temperaturas mais altas.

A influência da temperatura e teor de umidade no torque durante a extrusão foi estudada por El-Dash (25), Harmam e Harper (30) e Maurice e Stanley (43). Verificaram que o torque diminui com o aumento da temperatura e teor de umidade. Quando a temperatura e teor de umidade aumentam a viscosidade diminui, e o material menos viscoso produz menor torque no extrusor.

El-Dash (25) verificou, com extrusão de amido de milho, que a expansão aumenta com abaixamento do teor de umidade e aumento da temperatura. Valores máximos foram alcançados com umidade abaixo de 15% e temperaturas entre 170 e 230°C. A densidade dos produtos extrudados, ao contrário da expansão, diminui quando se abaixa o teor de umidade e se eleva a temperatura de extrusão. Segundo Harmam e Harper (30) o abaixamento da densidade com a elevação da temperatura resulta de: a) diminuição da viscosidade permitindo a massa se expandir mais facil-

mente e b) aumento da pressão de vapor com o aumento da temperatura causando maior velocidade de evaporação ao sair da matriz.

III. MATERIAL E MÉTODOS

A. MATÉRIA PRIMA

Sementes de guandu (*Cajanus cajan* Millsp.), variedade Kaki, foram fornecidas pela Seção de Leguminosas do Instituto Agronômico de Campinas (IAC).

B. MOAGEM DO GUANDU

As etapas da moagem do guandu, desde o grão inteiro até a produção de farinha e outras frações constaram de quebra, ventilação e moagem propriamente dita. Afim de otimizar o processo com vistas ao rendimento e qualidade da farinha, os grãos foram condicionados inicialmente em teores de umidades diferentes.

1. Condicionamento

Os grãos de guandu foram condicionados com 13,9 a 17% de umidade por períodos de 15 a 120 minutos. O condicionamento foi feito em sacos plásticos, utilizando-se 1 kg de grãos em cada tratamento.

2. Quebra

Os grãos foram quebrados em moinho de disco, com um disco denteado rotatório e outro disco denteado fixo e uma abertura de 3000μ entre os discos.

3. Peneiragem e ventilação

Após a quebra o material foi passado em peneira plana oscilante com malha de 1.800 e 2.200μ , e uma área de peneiragem de 595 cm^2 para cada malha. As partículas maiores que 2.200μ foram ventiladas e as cascas separadas através de uma coluna retangular com dimensões de $18 \times 6\text{ cm}$ e 100 cm de comprimento. A casca separada foi pesada, e a fração maior que 2.200μ , livre da casca, foi misturada às frações menores para a moagem final.

4. Moagem

A moagem para a obtenção final das farinhas e frações foi feita no moinho de rolos Quadrumat Senior, experimental para trigos. O moinho possui 2 unidades de moagem com 4 rolos cada uma, utilizadas para quebra e redução. A peneiragem foi feita em um sistema de peneiras com 2 secções superpostas.

C. EXTRAÇÃO DO AMIDO

O amido foi extraído a partir da farinha do guandu, ou seja a farinha de quebra e de redução misturadas na mesma proporção com que elas saem do moinho. Após a pesagem foi feita uma suspensão de farinha e água na proporção de 1:4 e batida em liquidificador por 2 minutos. A suspensão homogeneizada foi passada em peneira de 105 μ , sob filete de água e com agitação e pressão manual, até que o material sobre a peneira se apresentasse como uma mucilagem escura cheia de fibras e em pequena quantidade em relação à suspensão original. Em seguida à peneiragem fez-se 3 decantações e lavagens sucessivas. Após a decantação e lavagem o material foi centrifugado várias vezes até a obtenção do amido sem impurezas. Entre cada centrifugação as impurezas no tubo, acima do amido, foram eliminadas por meio de uma espátula, e o amido novamente resuspenso em água. O amido, assim purificado, foi colocado em estufa, com circulação de ar, a 50°C, para a secagem. Após a secagem o amido foi pesado e o rendimento de extração calculado em relação ao rendimento teórico.

D. EXTRUSÃO DA FARINHA DE GUANDU

1. Matéria Prima

Foi utilizada a farinha de guandu, ou seja a farinha de quebra e farinha de redução misturadas, na proporção com que saem do moinho, em misturador "Planetary mixer" tipo 600.

2. Equipamento

A extrusão foi efetuada em um extrusor de laboratório, de rosca única, com alimentador vertical em hélice de velocidade variável (Fig. 2). O extrusor foi equipado com uma rosca de relação comprimento/diâmetro de 20 e um diâmetro de 19,1 mm. O aquecimento neste extrusor é feito por blocos de alumínio fundidos contendo os elementos de aquecimento elétrico, circundados por canais de ar de resfriamento. A circulação de ar comprimido tem a finalidade de evitar a ultrapassagem da temperatura programada devido ao calor de fricção. A matriz é presa por rosca em um suporte e o conjunto é fixado no cilindro do extrusor. O controle e medidas da temperatura são feitos por termopares que controlam as zonas aquecidas do cilindro. Os requerimentos de energia e variações de velocidade são determinados pelo Do-Corder (dinamômetro) o qual está ligado no extrusor por um acoplamento de pinos que protege o dinamômetro e o extrusor. O Do-Corder está ajustado com um potenciômetro para transformação da rotação em sinais elétricos análogos e um registrador elétrico para registros de rpm.

O extrusor possui 3 regiões de aquecimento que definimos em função do sentido de caminhamento do produto, da seguinte maneira: 1) 1ª zona; 2) 2ª zona e 3) 3ª zona - suporte da matriz. As 2 primeiras zonas aquecem a rosca, e a 3ª zona aquece a região da matriz. A região da rosca onde se dá a alimentação (A) é resfriada por circulação de água fria (R), afim de evitar que a farinha se aqueça e perca umidade em forma de vapor devido à baixa pressão (Fig. 2).

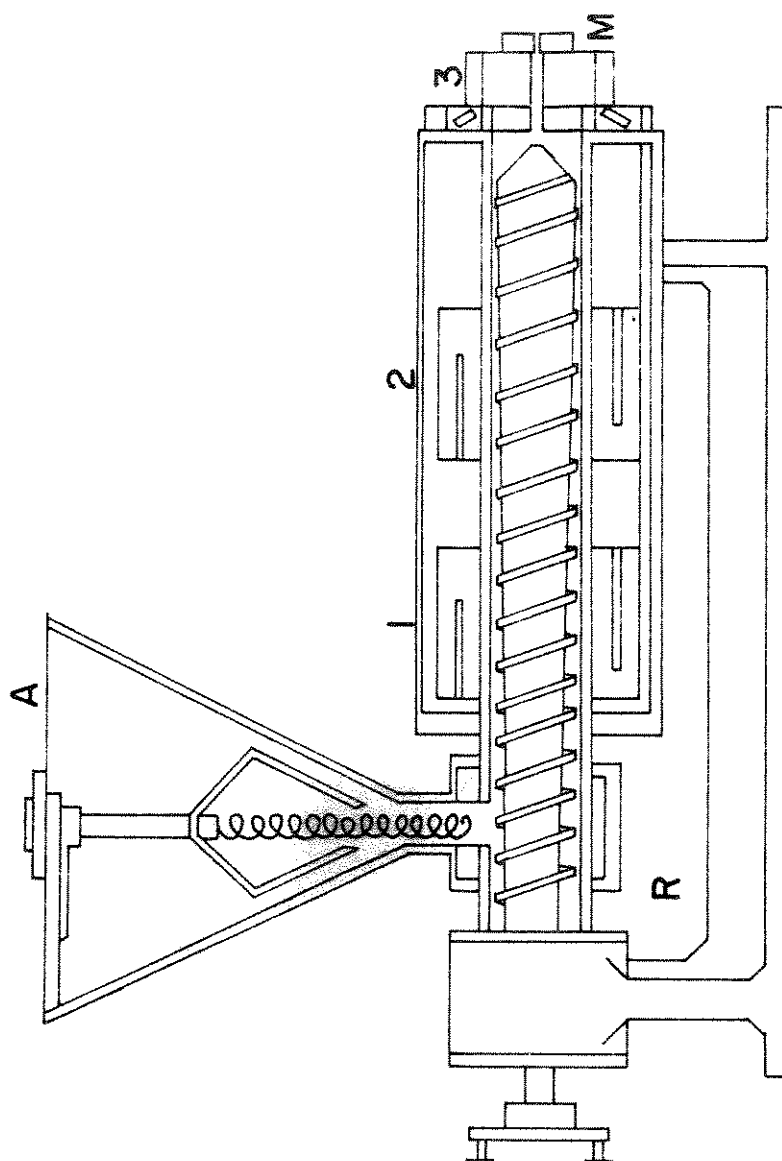


FIGURA 2 - Extrusor utilizado no cozimento da farinha de guandu.

3. Processamentos

Foram estudadas neste trabalho as variáveis taxa de compressão da rosca (TC), temperatura (T) e teor de umidade inicial da farinha (U). Foram efetuados 12 processamentos utilizando-se 2 repetições em cada um. As condições estão mostradas no quadro a seguir.

Condições Nº	Teor de Umidade (%)	Taxa de Compressão (TC)	Temperatura (°C) 2ª e 3ª zona
1	24	2:1	160
2	24	2:1	180
3	24	2:1	200
4	24	3:1	160
5	24	3:1	180
6	24	3:1	200
7	24	4:1	160
8	24	4:1	180
9	24	4:1	200
10	26	2:1	180
11	22	2:1	180
12	20	2:1	180

As outras variáveis do extrusor foram fixadas da seguinte maneira:

Temperatura da 1^a zona - 80°C
Rotação da rosca (R) - 100 rpm
Alimentação (A) - 74,3 g/min.
Diâmetro da matriz - 3 mm

Foram utilizadas em cada processo 800 g de farinha. Para condicionar a farinha ao teor de umidade desejado a água foi adicionada lentamente na farinha, sob agitação, no misturador "Planetary mixer" a 100 rpm. Após adicionar toda a água deixou-se em agitação por mais 10 minutos. Em seguida o material ficou em repouso, em sacos plásticos, por 2 horas antes de ser processado, afim de promover uma maior uniformização da umidade.

Para calcular a produção de extrudados dos diversos tratamentos, durante a extrusão, foram coletadas amostras com tempos de processamento de 1 minuto. Estas amostras foram pesadas imediatamente e em seguida foi determinado o peso seco em estufa e calculado o teor de umidade dos tratamentos após a extrusão.

E. MÉTODOS ANALÍTICOS

1. Amostragem dos grãos de guandu

Uma quantidade inicial de 25 kg de grãos foi homogeneizada e dividida por passagens sucessivas em um divisor cônico tipo Boener, até a obtenção de duas frações de aproximadamente 1,5 kg cada.

2. Densidade aparente dos grãos

A densidade aparente das frações foi determinada em balança hectolítrica com 3 determinações para cada fração.

3. Classificação dos grãos por tamanho

De cada fração de 1,5 kg foram retiradas 3 amostras de 300 g, as quais foram passadas em um conjunto de peneiras oscilatórias com crivos de diâmetro de 5,55, 5,95, 6,35, 6,75, 7,14 e 7,54 mm, por 10 minutos. Os grãos retidos em cada peneira foram pesados e sua porcentagem calculada em relação ao peso inicial.

4. Peso e dimensão dos grãos

De cada peneira foram tomadas 3 amostras de 20 grãos, determinou-se o peso de cada uma e por meio de paquímetro foi determinado o comprimento, largura e espessura dos grãos em cada amostra.

5. Dessecação dos grãos

A dessecação foi feita tomando-se 10 amostras de 20 grãos aleatoriamente no lote inicial de 25 kg e fazendo-se separação da casca, cotilédones e embrião, manualmente, utilizando-se uma lâmina cortante. As partes separadas foram pesadas e a porcentagem determinada em relação ao peso total.

6. Densidade dos extrudados

Em 10 pedaços de 10 cm, tomados aleatoriamente em cada amostra, foram feitas 5 medidas de diâmetro ao longo de cada pedaço. Com as medidas de diâmetro foi calculada a área transversal e volume (área x comprimento). A amostra foi pesada e a densidade calculada ($D = \frac{M}{V}$). Foram feitas 3 repetições para cada amostra.

7. Absorção de água dos extrudados

Foi determinada segundo método descrito por Aguilera e Kosikowski (1), com modificações. Após a pesagem e medição dos diâmetros os 10 pedaços de cada amostra do teste anterior foram colocados em um becker com 300 ml de água e deixados por 15 minutos a 30°C. Após esse tempo as amostras foram retiradas, o excesso de água drenado, e pesadas novamente. A absorção de água foi calculada como a quantidade de água por grama de matéria-seca.

$$\text{Absorção} = \frac{\text{Peso da amostra úmida} - \text{peso inicial}}{\text{Peso da matéria-seca}}$$

8. Expansão dos extrudados

O diâmetro da amostra dividido pelo diâmetro da matriz dá o índice de expansão do produto.

9. Dureza dos extrudados

A dureza das amostras foi determinada por teste de compressão, utilizando-se o Instron modelo 1132 com célula de compressão de 36 mm de diâmetro, carga de compressão de 50 kg, velocidade 20 cm/min, amplitude de força de 20 kg e velocidade do papel de 20 cm/min. Amostras cilíndricas de 20 mm de comprimento foram colocadas horizontalmente e comprimidas até aproximadamente 50% de seu diâmetro. Foram feitas 20 repetições para cada amostra.

10. Índice de absorção de água (IAA) das farinhas extrudadas

Foi determinado pelo método descrito por Anderson et alii (6). Uma amostra da farinha de 2,5 g foi suspensa em 30ml de água destilada a 30°C, em um tubo de centrífuga de 50 ml pesado previamente. A suspensão foi submetida a agitação intermitente durante um período de 30 minutos a 30°C. Em seguida, a suspensão foi centrifugada a 3.000 rpm por 10 minutos, o sobrenadante foi cuidadosamente separado e o peso do resíduo sólido determinado.

O índice de absorção de água é expresso como a relação entre o peso do resíduo e o peso seco da amostra, do qual se subtrai o peso do resíduo de evaporação do sobrenadante.

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

11. Índice de solubilidade (IS) das farinhas extrudadas

O sobrenadante do teste anterior é evaporado em estufa a 105°C até peso constante. O índice de solubilidade é expresso, então, pela relação entre o peso do resíduo de evaporação e o peso seco da amostra.

$$IS = \frac{\text{Peso do resíduo de evaporação}}{\text{Peso seco da amostra}}$$

12. Solubilidade da proteína

A proteína solúvel foi determinada na farinha crua e nas farinhas extrudadas, utilizando o método AACC (4) com algumas modificações. A extração foi feita com 5 g de farinha em 250 ml de água destilada e agitação por 2 horas a 30°C. Após a agitação a suspensão foi centrifugada a 3000 rpm. Foram pipetados 10 ml de extrato e diluídos para 50 ml. Da última diluição foram tomados 10 ml para determinação de nitrogênio pelo método Kjeldahl. O teor de proteína foi calculado usando-se o fator 6,25.

13. Amido danificado

Foi determinado por digestão de 1g de amido com α -amilase bacteriana pelos períodos de 1 e 2 horas, e extrapolação no tempo zero, segundo o método de Sandstedt e Mattern(64).

14. Viscosidade

A determinação da viscosidade foi feita utilizando-se o viscoamilógrafo Brabender, na faixa de temperatura de 25 até 95°C, com aumentos de 1,5°C por minuto, temperatura constante a 95°C por 20 minutos e resfriamento até 50°C com diminuições de temperatura de 1,5°C por minuto.

As seguintes medidas foram utilizadas para interpretar os amilogramas:

- a) Viscosidade inicial - é o valor da viscosidade da suspensão em unidades amilográficas (UA) no início do ciclo de aquecimento a 25°C.
- b) Temperatura inicial de pasta - é a temperatura correspondente ao ponto onde inicia o aumento da viscosidade durante o ciclo de aquecimento.
- c) Viscosidade a 95°C - correspondente ao valor de viscosidade em U.A quando a suspensão chega a 95°C no ciclo de aquecimento.
- d) Viscosidade após 20 minutos a 95°C - é o valor da viscosidade da pasta após 20 minutos de temperatura constante a 95°C.
- e) Viscosidade final a 50°C - correspondente ao valor de viscosidade em U.A, à temperatura de 50°C no ciclo de resfriamento.

Os amilogramas de amido foram desenvolvidos com suspensões de 5, 6, 7 e 8%. Para a farinha de guandu (farinha de quebra e farinha de redução) as curvas de viscosidade foram feitas.

tas com suspensões de 50, 60, 65 e 70 g para 460 ml de água destilada. Suspensões de 65 g/460 ml foram usadas no desenvolvimento dos amilogramas de farinha de guandu (de quebra e redução) e também para farinhas extrudadas.

15. Análise estatística

Metodologia de superfície resposta (RSM) foi aplicada para análise dos dados, segundo Myers (48). Esta metodologia descreve a mudança ou resposta da variável dependente com mudanças nas variáveis independentes. Em um sistema envolvendo uma resposta y , que depende das variáveis $x_1, x_2 \dots x_k$, a resposta pode ser escrita como segue:

$$y = f(x_1, x_2 \dots x_k)$$

A eficiência de RSM depende da aproximação de f por um polinômio de baixa ordem em alguma região das variáveis independentes.

No nosso trabalho para cada observação o modelo de resposta de segunda ordem foi assumido para alguma região da temperatura de extrusão e da taxa de compressão da rosca. Desta forma, cada observação pode ser escrita como segue:

$$y = B_0 + B_1x_1 + B_2x_2 + B_{11}x_1^2 + B_{22}x_2^2 + B_{12}x_1x_2 + e$$

onde y é a função resposta; B_0 é o ponto central do sistema ou ponto estacionário; B_1, B_2 e B_{12} corresponde a efeitos lineares; B_{11} e B_{12}^2 correspondem aos coeficientes dos efeitos de se

gunda ordem; x_1 e x_2 representam os valores das variáveis independentes e e é o valor erro, o qual foi considerado como zero.

Análises de mínimos quadrados e de variância foram aplicadas para testar a adequacidade do modelo. Contornos de superfície resposta foram graficados dentro da faixa de trabalho. Todos os programas de computadores foram feitos em Statistical Analysis System (SAS) com um computador IBM - 370 da Universidade de São Paulo (USP).

16. Análises químicas

a. Umidade

Os teores de umidade foram determinados a 130°C durante 1 hora no Semi-automatic Moisture Tester Brabender, segundo AACC (4).

b. Proteína

Foi determinada pelo método micro-Kjeldahl segundo AOAC (9). O conteúdo total de proteína foi calculado usando-se o fator $N \times 6,25$.

c. Gordura

Foi determinada por extração com eter etílico com auxílio de extrator contínuo de Soxhlet, segundo AOAC (9).

d. Fibra

A determinação de fibra foi feita pelo método de Kammer e Ginkel (36) fazendo-se digestão da amostra com ácido tricloro acético e ácido nítrico.

e. Minerais

O boro e o fósforo foram determinados por método colorimétrico, e o cálcio, magnésio, ferro, manganês, cobre e zinco, por espectrofotometria de absorção atômica (67).

f. Amino-ácidos

Os teores de amino-ácidos foram determinados por cromatografia líquida em coluna de resina de troca-iônica segundo técnica de Spackman et alii (75).

g. Amido

Extração segundo técnica da AOAC (9) e doseado, após hidrólise, pelo método de Somogyi-Nelson (58).

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A. CARACTERÍSTICAS DA MATÉRIA-PRIMA

Devido a escassez de trabalhos sobre moagem de guandu e sobre a variedade estudada, a primeira etapa deste trabalho foi de determinar as características estruturais e a composição química, informações necessárias para desenvolvimento do processo de moagem.

1. Estrutura dos grãos

As distribuições de tamanho e peso dos grãos de guandu pela retenção em seis peneiras e suas características médias, podem ser vistas na tabela I. A densidade média aparente dos grãos foi de 889,86 kg/m³.

Os grãos possuem um formato oval, aproximadamente arredondado, cor cinza salpicada de vermelho. Menos achatado do que o feijão comum e menos arredondado do que a soja.

Após a dessecação foram encontradas as seguintes porcentagens das partes do grão: cotiledones 87,3; casca 12,1 e embrião 0,6%.

TABELA I

Características físicas dos grãos de guandu

PENEIRAS (mm)	% DE GRÃOS	PESO DE 100 GRÃOS (g)	DIMENSÕES		
			COMPRIMENTO (mm)	LARGURA (mm)	ESPESSURA (mm)
5,55	1,80	11,45	6,30	5,64	4,55
5,95	9,18	14,06	6,46	6,24	4,95
6,35	31,57	16,81	7,09	6,47	5,51
6,75	37,47	18,27	7,40	6,70	5,49
7,14	17,70	20,48	7,77	7,08	5,29
7,54	4,28	21,83	7,86	7,27	5,64
MÉDIAS		18,21	7,43	6,79	5,51

2. Composição química

Os componentes principais e mais importantes sob o aspecto tecnológico no grão de guandu são o amido e a proteína, os quais perfazem um total de 58,9% no grão integral e 65,8% nos cotilédones, conforme tabela II. Dentre os outros carboidratos incluem-se os açúcares e polissacarídeos não amiláceos, e se situam em 3º lugar em ordem de quantidade no grão, ao redor de 16%. Na casca estes últimos estão em 2º lugar (21,82%) e juntamente com a fibra (46,61) somam-se em um total de 67,4%.

À exceção do fósforo e cobre todos os minerais possu em um maior teor na casca do que nos cotilédones. Com relação ao cobre as diferenças são pequenas. As maiores diferenças foram encontradas para o cálcio com um teor 5 vezes maior na cascas, e o fósforo com um teor aproximadamente 9 vezes maior nos cotilédones.

B. MOAGEM DOS GRÃOS DE GUANDU

1. Desenvolvimento do processo de moagem

O descascamento dos grãos, antes da moagem, não foi possível com a simples quebra e ventilação, devido à forte aderência da casca nos cotilédones em aproximadamente 30% dos grãos na variedade estudada. A moagem destes grãos com cascas aderidas produziu uma farinha escura, de má aparência, devido a alta contaminação de fibras.

TABELA II

Composição química do grão integral, cotilédones e
da casca de guandu

COMPONENTES % bu	PARTES DO GRÃO		
	INTEGRAL	COTILÉDONES ¹	CASCA
Umidade	11,02	11,11	10,17
Proteína	19,02	20,90	5,08
Gordura	1,63	1,96	0,47
Fibra	8,00	1,35	46,61
Cinza	4,01	3,82	3,57
Amido	39,88	44,89	12,28
Outros Carboidratos ²	16,44	15,97	21,82

Minerais (mg/100g)

Cálcio	100,0	93,0	513,0
Fósforo	395,0	448,0	48,0
Magnésio	130,0	120,0	250,0
Ferro	6,1	4,0	7,3
Cobre	1,2	1,3	1,0
Manganês	2,3	2,0	3,4
Zinco	4,1	3,5	4,3
Boro	1,7	1,4	2,3

1 - Inclui também o embrião

2 - Calculados por diferença

Através de testes preliminares verificou-se a possibilidade de obtenção de farinha de guandu com um moinho experimental de rolos. Os grãos foram inicialmente quebrados em partículas menores que 3 mm em moinho de disco. O material quebrado foi passado em peneiras de 1,8 a 2,2 mm para separar as partículas mais finas e proceder a separação da casca por ventilação, conforme fluxograma da Figura 3. Após a ventilação, os cotilédones quebrados, livres ou com cascas aderentes, foram unidos às frações finas das peneiras e daí para o moinho de rolos.

Após a moagem, no sistema de quebra, o material caiu inicialmente em uma peneira de 500 μ que reteve a fração denominada farelo constituída em sua maior parte por cascas floculadas. A seguir as partículas menores de 500 μ foram peneiradas 2 vezes por peneiras de 150 μ produzindo a fração denominada farinha de quebra. As partículas do tamanho de 150 - 500 μ foram novamente moídas no sistema de redução. Da redução o material caiu novamente no sistema de peneiragem. As partículas maiores que 195 e 250 μ foram unidas na fração farelinho que contém o restante de cascas floculadas. O material que passou nas peneiras de 150 e 195 μ formou a fração farinha de redução.

Afim de melhorar a qualidade da farinha, minimizando a contaminação com partículas de casca, os grãos foram condicionados com teores de umidade diferentes antes de serem processados. O condicionamento tem a finalidade de promover uma maior floculação da casca e facilitar a sua separação por peneiragem. O endosperma deve permanecer com a devida maciez e friabilidade para produzir uma farinha pura, com menor gasto

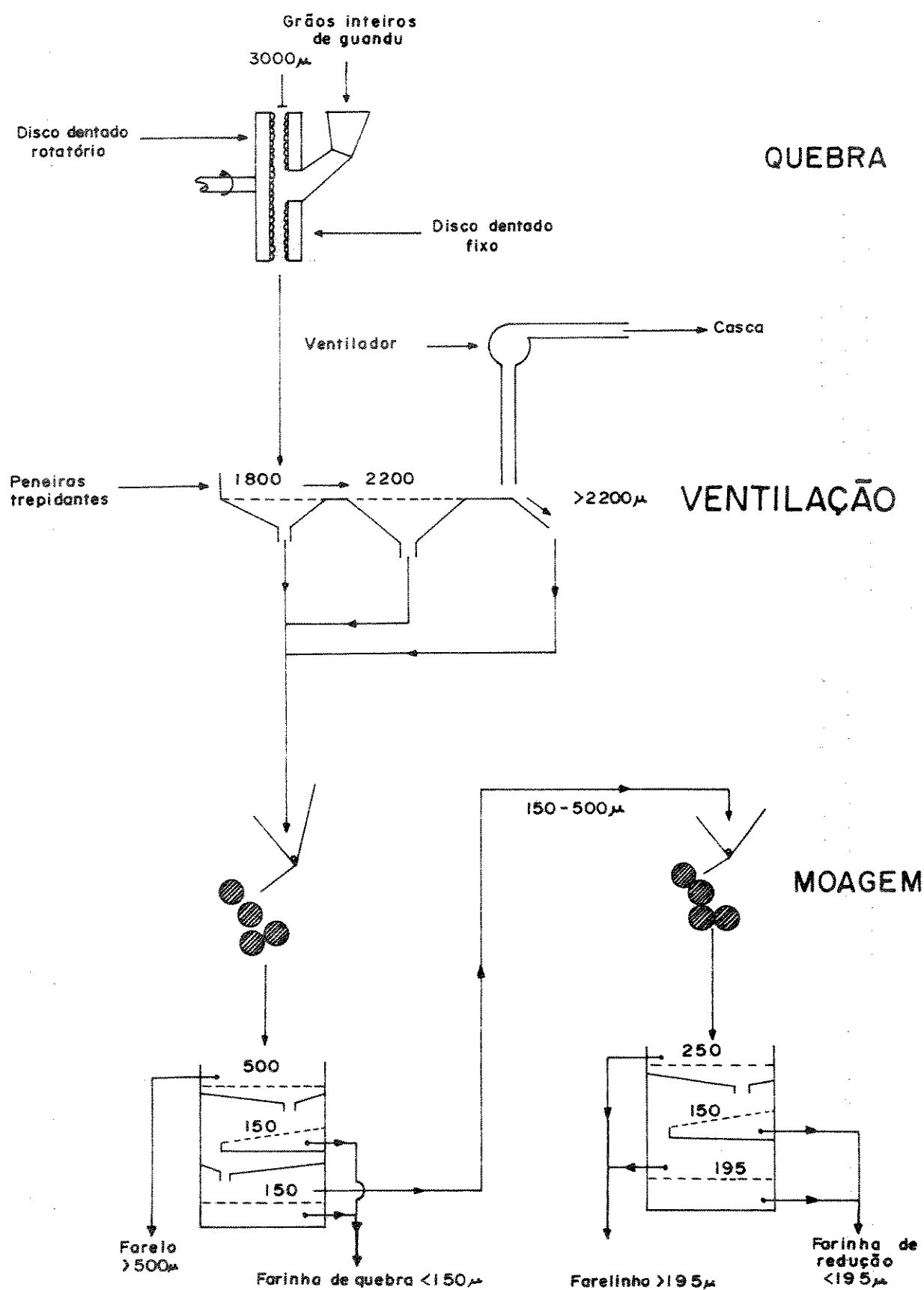


FIGURA 3 - Fluxograma de moagem do guandu.

de energia e mínimo de danos no amido e proteína. Para os grãos que foram condicionados com teores de umidade de 16 e 17% e 60 minutos foi impossível a moagem devido a forte floculação e em pastamento do material causando a paralização dos rolos.

Os rendimentos das frações de moagem, dos tratamentos realizados, estão na tabela III. Nota-se uma diminuição de rendimento das farinhas de quebra e redução com o aumento da umidade e do tempo de condicionamento, e um aumento do teor de farelo como consequência do aumento de floculação dos cotilédones juntamente com a casca. As variações de rendimento do farelinho foram pequenas e irregulares. Com relação à fração casca, praticamente não há variação entre tratamentos ou entre qual^uquer tratamento e a moagem sem condicionamento. O farelo apresenta, entretanto, variações muito grandes em relação a moagem de grãos não condicionados, podendo chegar a até 5 vezes mais, como no tratamento de 15,5% de umidade e 120 minutos de condi^ucionamento.

Por análise de regressão múltipla verificamos o efei^uto das variáveis no rendimento de farinha total e os resultados juntamente com o modelo de regressão estão na tabela IV. A variável que mais contribuiu para o coeficiente de determina^ução de 93,2 foi a umidade de condicionamento, com 71,5%, segui^uda do tempo de condicionamento, com 14,6%, ambas com efeitos li^uneares. O efeito quadrático do teor de umidade não foi signifi^ucativo.

Na produção de farinha de trigo o índice adotado para definir a qualidade ou pureza da farinha em endosperma é o

TABELA III

Rendimento das diversas frações da moagem de guandu em função
da umidade e tempo de condicionamento

UMIDADE DE CONDICIONAMENTO %bu	TEMPO DE CONDICIONAMENTO min.	RENDIMENTO DAS FRAÇÕES(%)				
		FARINHA DE QUEBRA	FARINHA DE REDUÇÃO	TOTAL DE FARINHA	FARELO	FARELINHO CASCA
Sem condiciona- mento 13,0	0	28,10	52,39	80,49	5,25	2,28
	30	26,38	51,43	77,81	8,16	3,35
	45	24,90	48,43	73,33	10,21	2,48
	60	24,19	49,37	73,56	11,03	3,44
	120	20,37	46,99	67,36	13,86	5,39
13,9	30	22,18	48,09	70,27	15,39	2,11
	45	20,11	47,20	67,31	16,41	3,91
	60	18,28	46,09	64,37	17,47	3,71
	120	19,15	46,90	66,05	18,32	3,55
14,7	30	20,30	45,42	65,72	20,28	2,57
	45	17,86	42,22	60,08	23,42	1,68
	60	17,49	41,59	59,08	24,24	1,85
	120	18,00	41,08	59,08	28,04	2,50
15,5	30	20,30	45,42	65,72	20,28	2,57
	45	17,86	42,22	60,08	23,42	1,68
	60	17,49	41,59	59,08	24,24	1,85
	120	18,00	41,08	59,08	28,04	2,50

TABELA IV

Efeito das variáveis nos rendimentos de farinha de guandu

VARIÁVEL	SINAL DO COEFICIENTE DE REGRESSÃO	CONTRIBUIÇÃO AO R^2	NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA
Umidade de condicionamento (u)	-	71,5	< 0,01
Tempo de condicionamento (t)	-	14,6	< 0,01
(Tempo) ²	+	5,9	< 0,01
Umidade x Tempo	+	1,2	< 0,01

$$R^2 = 93,20 \quad (P \leq 0,1)$$

u^2 - não significativo

$$\text{Modelo} - R = 218,7825 - 0,7896535 t - 9,43061 u + 0,02894829 ut + 0,001914646 t^2$$

teor de cinzas, devido a grande diferença entre este componente na casca e no endosperma. Entretanto, na moagem de guandu não foi possível utilizar o teor de cinza como indicador da eficiência da moagem devido ao teor semelhante na casca e cotilédones (tabela II). Assim, o grau de pureza foi determinado pelo teor de fibra. Os teores de fibra médios das farinhas de guandu, em função da umidade e tempo de condicionamento, estão na tabela V.

A análise de variância dos resultados demonstrou uma variação altamente significativa entre os tratamentos com relação ao rendimento e não significativa com relação ao teor de fibra. Comparando-se os rendimentos dos tratamentos com a moagem sem condicionamento, pelo teste de Tukey, somente os tratamentos com 13,9% e tempos de 30, 45 e 60 minutos foram estatisticamente iguais a moagem sem condicionamento. Com relação ao teor de fibra não houve diferenças significativas dentro dos tratamentos, ou entre os tratamentos e a moagem sem condicionamento.

2. Composição química das frações da moagem

Os teores de diversos componentes das frações de moagem do guandu podem ser vistos na tabela VI. O processo de moagem de rolos normalmente permite a extração gradual de farinha do centro para fora do grão. Desta forma, a farinha de quebra, provavelmente em sua maior parte, se origina da parte interna do grão (Fig. 3). Esta farinha contém somente partículas dos

TABELA V

Teores médios de fibra das farinhas de guandu condicionado em
dois teores de umidade e diferentes tempos de condicionamento

UMIDADE DE CONDICIONAMENTO % bu	TEMPO DE CONDICIONAMENTO min.	FARINHA DE QUEBRA % bu	FARINHA DE REDUÇÃO % bu	FARINHA TOTAL % bu
Sem condiciona- mento 13,0	0	1,25	2,15	1,83
	30	1,28	2,05	1,79
	45	1,35	1,96	1,75
	60	1,17	1,92	1,67
	120	1,32	1,90	1,72
13,9	30	1,32	2,09	1,85
	45	1,30	2,01	1,80
	60	1,23	1,93	1,73
	120	1,18	1,98	1,79
14,7	30	1,32	2,09	1,85
	45	1,30	2,01	1,80
	60	1,23	1,93	1,73
	120	1,18	1,98	1,79

TABELA VI

Composição química das frações de moagem de guandu

COMPONENTES %, base úmida	FARINHA DE QUEBRA	FARINHA DE REDUÇÃO	FARELINHO	FARELO	CASCA
Umidade	13,40	13,00	11,50	10,90	11,10
Proteína	15,76	24,11	20,90	16,53	10,53
Gordura	1,53	1,97	1,83	1,38	0,80
Fibra	1,28	2,05	18,65	28,92	35,95
Cinza	2,77	4,10	4,35	4,07	3,44
Amido	46,78	38,22	13,80	13,20	13,05
Outros carboidratos ¹	18,48	16,55	42,77	38,20	38,18
Cálcio	0,0248	0,0349	0,230	0,300	0,392
Fósforo	0,298	0,410	0,298	0,188	0,118
Magnésio	0,088	0,082	0,183	0,181	0,204
Ferro	0,0048	0,0042	0,0055	0,0052	0,0075

¹ - Calculado por diferença

cotilédones, o que pode ser comprovado pelo seu baixo teor de fibra em relação a farinha de redução (tabela V). A farinha de redução, por sua vez, é obtida de uma nova moagem das partículas provenientes do sistema de quebra, e conseqüentemente da parte mais externa dos cotilédones. Somente o teor de amido é maior na farinha de quebra do que na farinha de redução (tabela VI), com conseqüência do seu maior teor na parte mais interna do grão. A farinha de redução possui teores bem mais elevados dos outros nutrientes devido a maior concentração de proteína, lipídeos, fibras e minerais nas partes externas dos cotilédones.

Com relação as outras frações a sua composição depende do teor de casca adquirido no processamento. Esse teor aumenta na sequência vista na tabela VI, ou seja farelinho, farelo e casca. Assim, o farelinho possui maiores teores de proteína, gordura e amido e menor teor de fibra que as frações de farelo e casca.

Devido ao maior teor de minerais na casca do que nos cotilédones, à exceção do fósforo, as frações farelinho, farelo e casca são mais ricas nestes nutrientes do que as farinhas, sendo a fração casca, conseqüentemente a mais rica de todas. Com o fósforo ocorre o contrário devido ao maior teor deste mineral nos cotilédones.

C. CARACTERÍSTICAS DA FARINHA E DO AMIDO DE GUANDU

1. Composição química da farinha e do amido

A farinha mista, resultante da mistura de farinha de quebra e redução na mesma proporção com que elas saem do moinho (rendimento 80,49%), tem a sua composição química apresentada na tabela VII, e o seu teor em aminoácidos na tabela VIII. Possui cor amarelada, característica dos cotilédones de guandu, e tamanhos das partículas menores que 195 μ .

O amido foi extraído dessa farinha. O rendimento médio de 3 extrações foi de 64,01% em relação ao total de amido na farinha. Apresentou a seguinte composição química:

- . Cinza 0,08%,
- . Proteína 0,75%,
- . Gordura 0,13% e
- . Fibras 0,05%.

2. Amidos danificados na farinha

Os grânulos de amido são facilmente danificados por pressão e cisalhamento em processos de moagem a seco como o que foi realizado neste trabalho. A danificação do amido na moagem pode afetar muitas propriedades tecnológicas da farinha como absorção de água, produção de gás, manuseio da massa e características finais dos produtos. Qualquer farinha amilácea que se destina a produtos de panificação deve ser caracterizada quanto ao seu teor de amido danificado.

TABELA VII

Composição química da farinha mista de guandu

COMPONENTES	TEOR %, base úmida
Umidade	12,00
Proteína	21,28
Gordura	1,82
Fibra	1,79
Cinza	3,65
Amido	42,06
Outros carboidratos ¹	17,20
Cálcio	0,0315
Fósforo	0,372
Magnésio	0,084
Ferro	0,0044

1 - Por diferença

TABELA VIII

Teor de aminoácidos da farinha de guandu

AMINOÁCIDOS	TEOR g/100g de proteína
Lisina	8,13
Histidina	3,99
Arginina	12,17
A. Aspártico	9,91
Treonina	4,88
Serina	6,20
A. Glutâmico	21,90
Prolina	5,31
Glicina	4,23
Alanina	4,79
Valina	5,73
Metionina	1,22
Isoleucina	4,84
Leucina	9,73
Tirosina	3,76
Fenilalanina	12,64

A farinha de guandu foi sujeita a ação de α -amilase bacteriana por 2 horas. O teor de amido danificado foi determinado extrapolando-se os dados de 1 e 2 horas à zero, conforme figura 4. O teor de amido danificado na farinha de redução foi de 1,49% e na farinha de quebra 0,26%. O maior teor de amido danificado na farinha de redução se explica pela passagem do material em 2 sistemas de moagem (quebra e redução).

3. Viscosidade da farinha e do amido

Os desenvolvimentos da viscosidade da farinha e do amido de guandu, no ciclo de aquecimento e resfriamento do amilógrafo, com 4 concentrações diferentes, podem ser vistos nas figuras 5 e 6. Nas tabelas IX e X mostramos os valores de 4 pontos importantes de viscosidade.

O comportamento do amido mostrado pelos amilogramas é característico de leguminosas amiláceas (68), ou seja: a) uma viscosidade sempre crescente, não há formação de picos, b) grande estabilidade da pasta a quente, não diminuindo a viscosidade durante a agitação a 95°C e c) retrogradação mais acentuada nas concentrações mais altas. Todas estas características do amido se refletem na viscosidade da farinha como se pode ver na figura 5. A temperatura inicial de pasta de 73°C é maior que a dos amidos de cereais (57), indicando uma maior resistência ao inchamento e ruptura no amido de guandu.

As diferenças que podem ser observadas nos amilogramas, entretanto, são de um aumento mais rápido na viscosidade

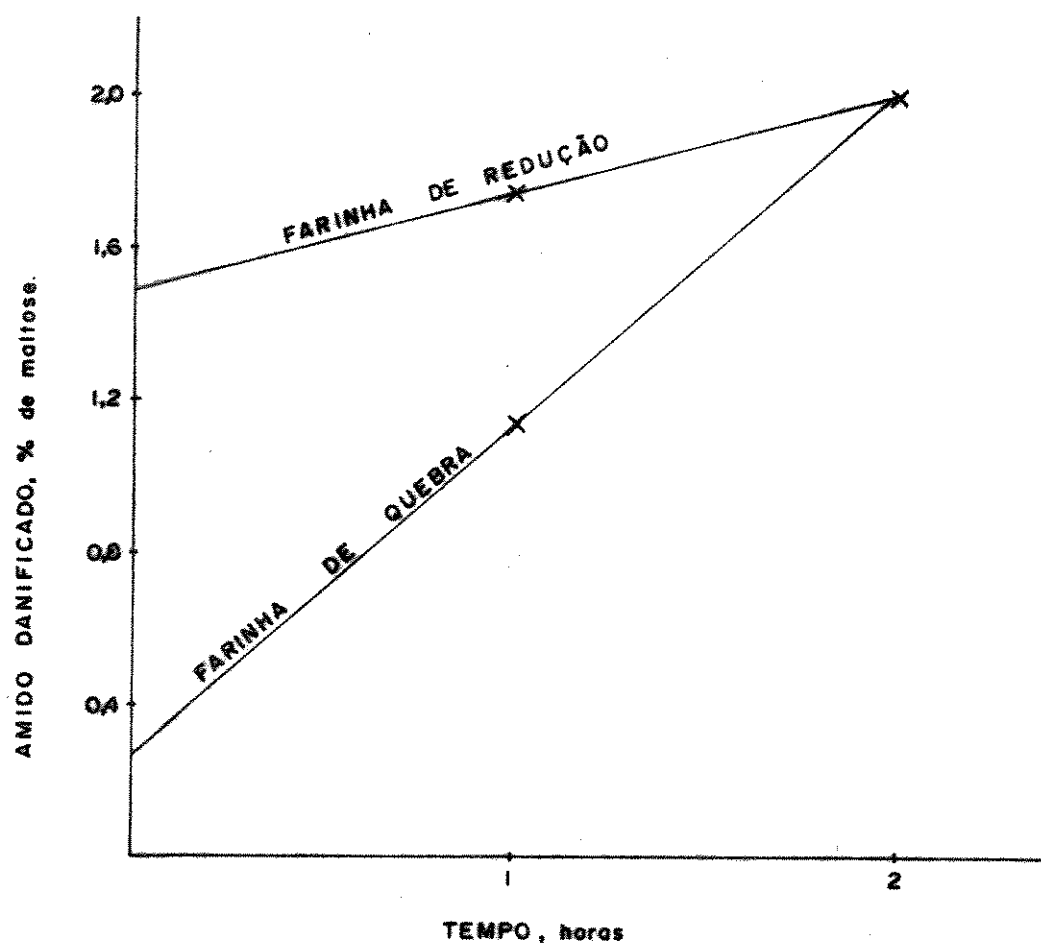


FIGURA 4 - Suscetibilidade das farinhas de quebra e redução à α -amilase (160 SKB) por 2 horas, para determinação de amido danificado.

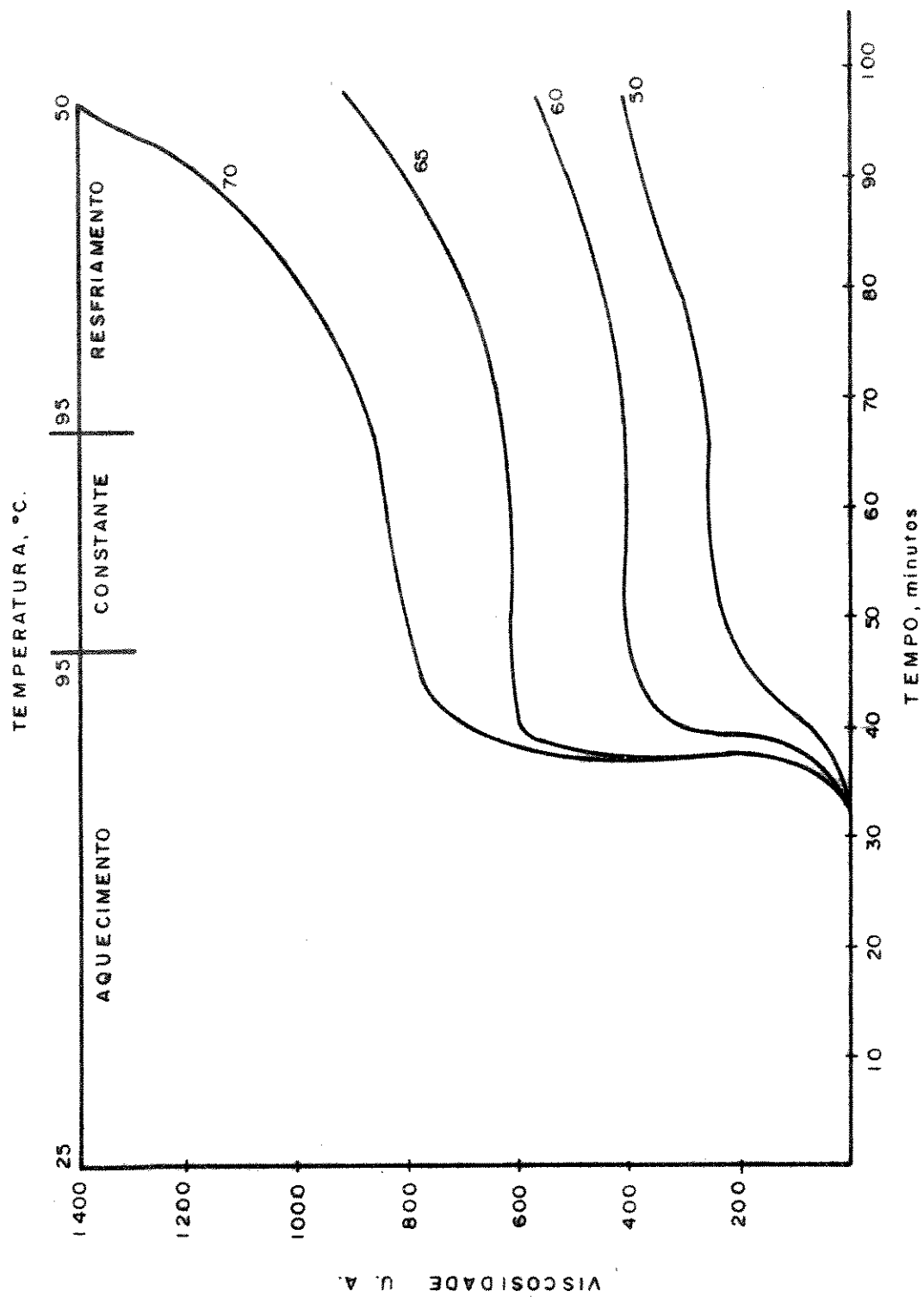


FIGURA 5 - Amilogramas da farinha de guandu em várias concentrações (g/460 ml).

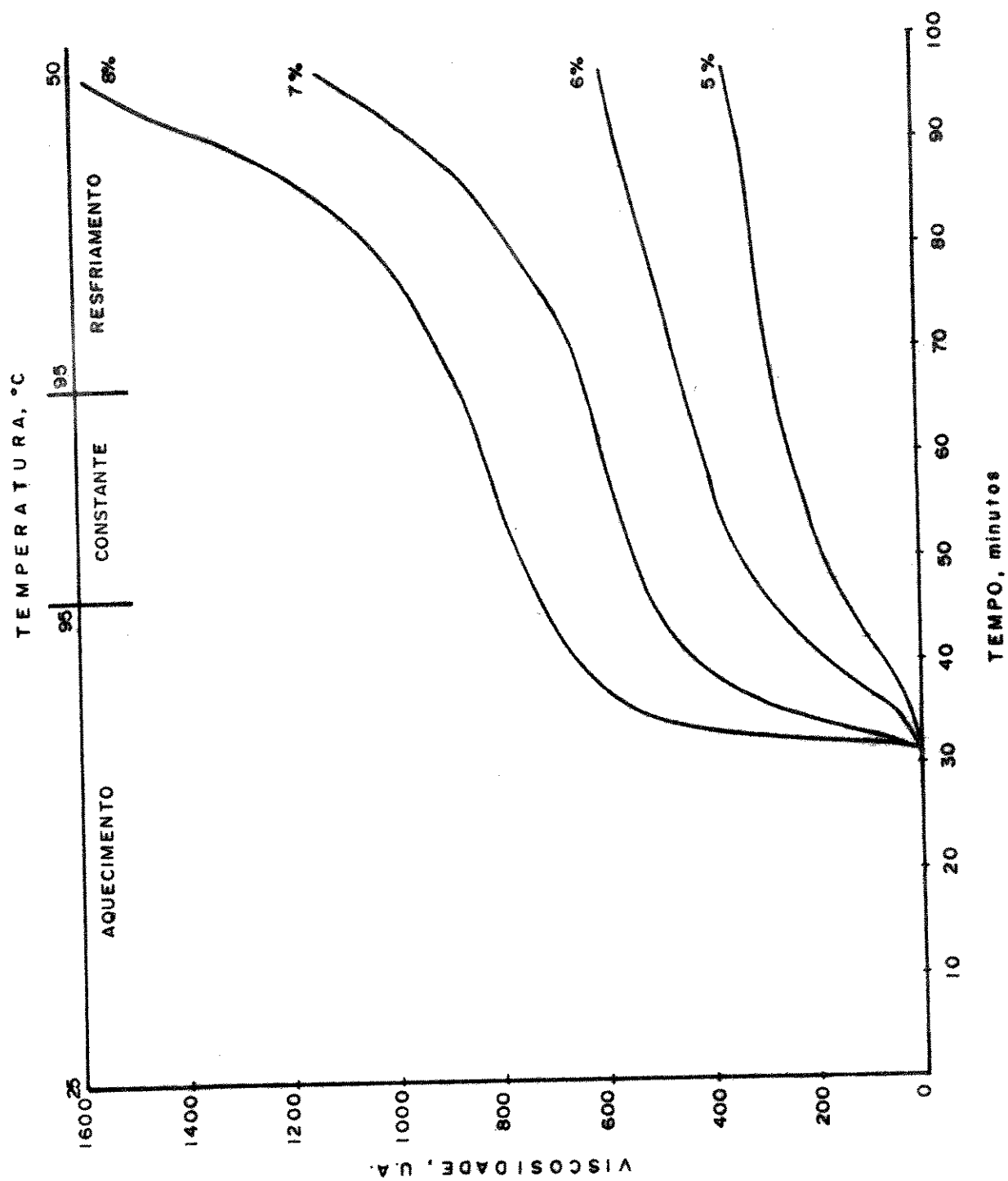


FIGURA 6 - Amilogramas do amido de guandu em várias concentrações (P/V).

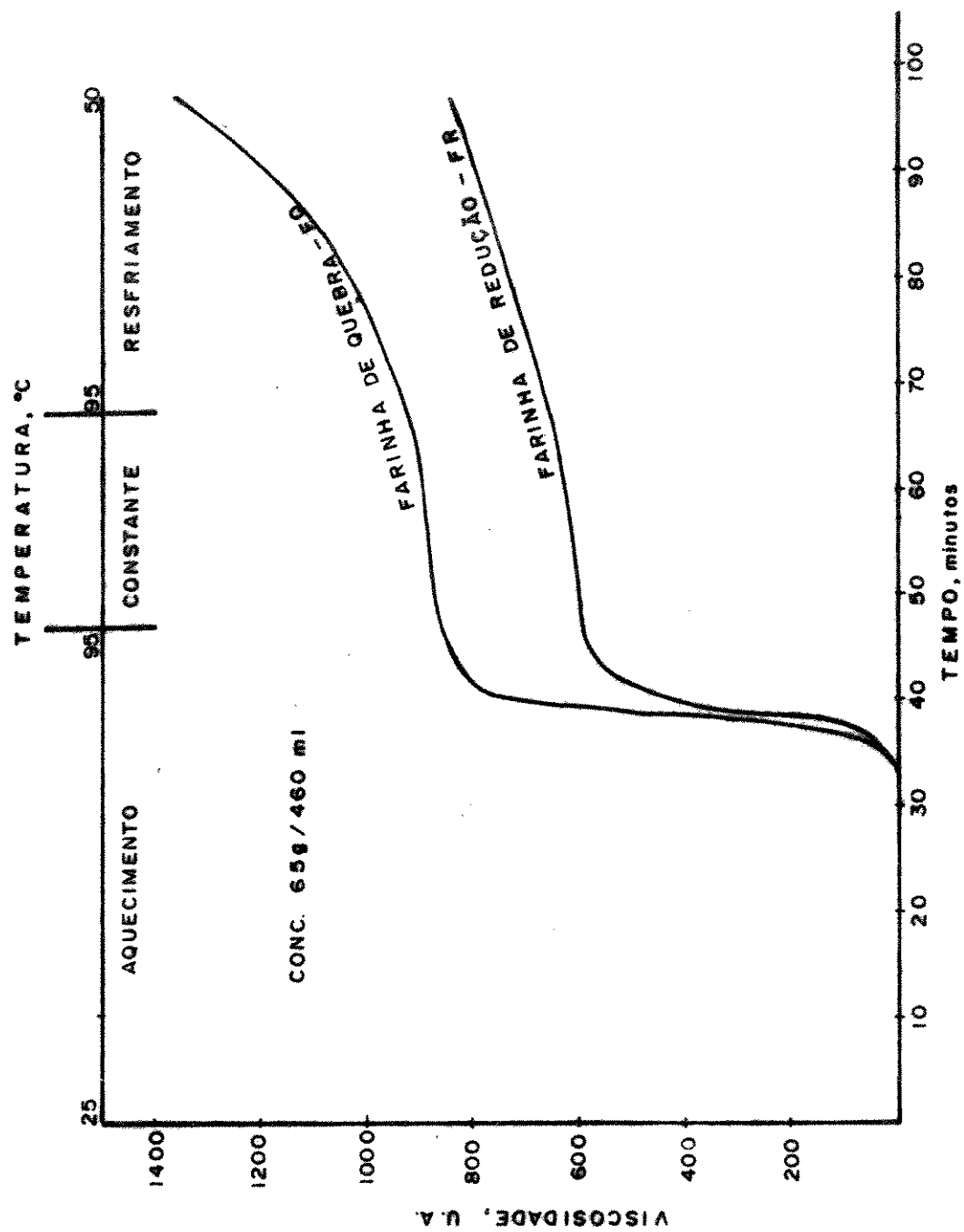


FIGURA 7 - Amilogramas da farinha de quebra (FQ) e da farinha de redução (FR) do guandu.

TABELA IX

Características de viscosidade da farinha mista de
guandu em função da concentração

CARACTERÍSTICAS	CONCENTRAÇÃO g/460ml H ₂ O			
	50	60	65	70
Temperatura inicial da pasta (°C)	73	73	73	73
Viscosidade a 95°C	200	400	610	790
Viscosidade após 20 minutos a 95°C	260	410	630	870
Viscosidade após resfriamento a 50°C	420	570	920	1400

TABELA X

Características de viscosidade do amido de guandu em função da concentração

CARACTERÍSTICAS	CONCENTRAÇÕES (% , p/v)			
	5	6	7	8
Temperatura inicial da pasta (°C)	73	73	73	73
Viscosidade a 95°C	150	300	520	730
Viscosidade após 20 minutos a 95°C	270	450	640	880
Viscosidade após o resfriamento a 50°C	360	600	1130	1570

TABELA XI

Características de viscosidade das farinhas de guandu, conc. 65g/460ml

CARACTERÍSTICAS	FARINHAS		
	QUEBRA	REDUÇÃO	MISTA
Temperatura inicial da pasta (°C)	73	73	73
Viscosidade a 95°C	860	600	610
Viscosidade após 20 minutos a 95°C	930	660	630
Viscosidade após o resfriamento a 50°C	1360	850	920

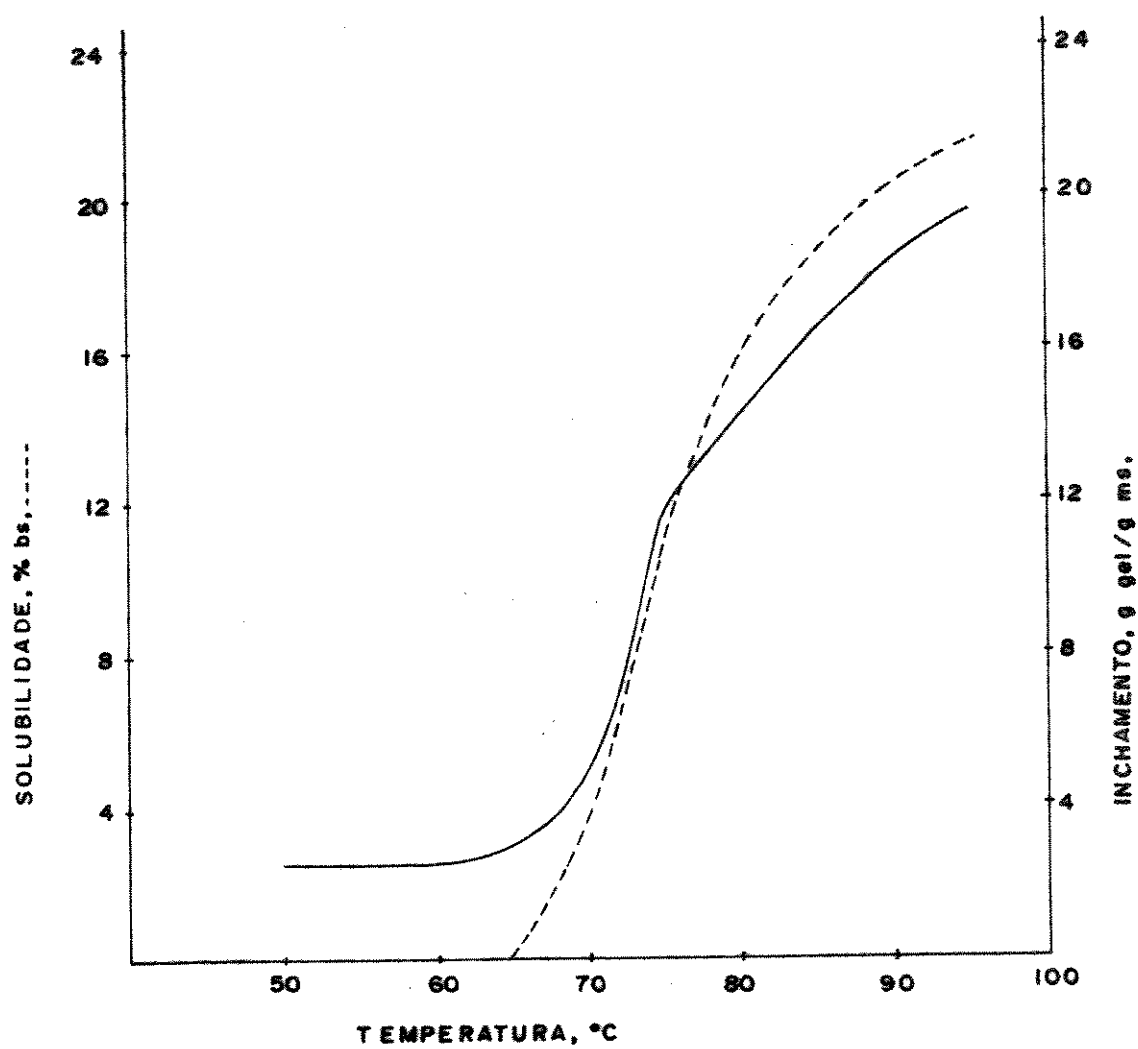


FIGURA 8 - Solubilidade e absorção de água (inchamento) de amido de guandu em função de temperatura.

durante o aquecimento e formação de um platô durante a agitação a 95°C para as farinhas. A viscosidade da farinha de quebra é maior devido ao seu maior teor de amido que a farinha de redução (Fig. 7).

4. Poder de inchamento e solubilidade do amido

O poder de inchamento e solubilidade dos grânulos de amido de guandu em função da temperatura estão apresentados no gráfico da figura 8. A 50°C o amido apresentou um inchamento de 2,5, porém a solubilização do grânulo só teve seu início à temperatura de 65°C.

Há somente um estágio de inchamento e solubilidade, e um poder de inchamento menor que 20 a 95°C. Este inchamento restrito e em uma única fase é também característica de grânulos de amido de leguminosas e tem sido interpretado como indicativo da presença de ligações fortes e homogêneas que se enfraquecem em uma faixa somente de temperatura, e não em duas faixas como ocorre em amidos de cereais (40).

D. EXTRUSÃO DA FARINHA DE GUANDU

Foram estudados os efeitos de umidade inicial da farinha, temperatura e taxa de compressão da rosca nas características dos produtos extrudados. A faixa de valores utilizada para cada uma destas variáveis foi baseada em testes preliminares.

1. Efeito do teor de umidade inicial da farinha

Nos testes preliminares realizados utilizando-se farinhas com teor de umidade menor que 20% houve problemas de compactação da farinha na entrada do extrusor, desuniformidade do fluxo, variações altas de torque e na maioria das vezes paralisação do processo. Acima de 26% a adição de água na farinha foi difícil, com formação de aglomerados e alimentação irregular do extrusor durante o processamento. As outras variáveis foram fixadas em 80 rpm no alimentador, taxa de compressão 2:1, rotação da rosca 100 rpm, matriz de 3mm e 180°C de temperatura, por estes níveis apresentarem maior estabilidade nos testes. O fluxo do material no alimentador varia com o teor de umidade. Foram realizados, então, testes de vazões do alimentador para os diversos teores de umidade a serem estudados, em função da rotação. Com as retas obtidas determinou-se para cada teor de umidade a rotação do alimentador para a vazão fixa de 74,3g/min., conforme se pode ver na figura 9. O efeito do teor de umidade em várias características dos produtos extrudados é apresentado a seguir.

a. Torque

Os valores de torque em extrusão medem o trabalho mecânico necessário para bombear o material através da matriz. O torque foi registrado continuamente, por meio de gráfico, em todos os processos, e serve como controle e verificação da estabilidade do processamento.

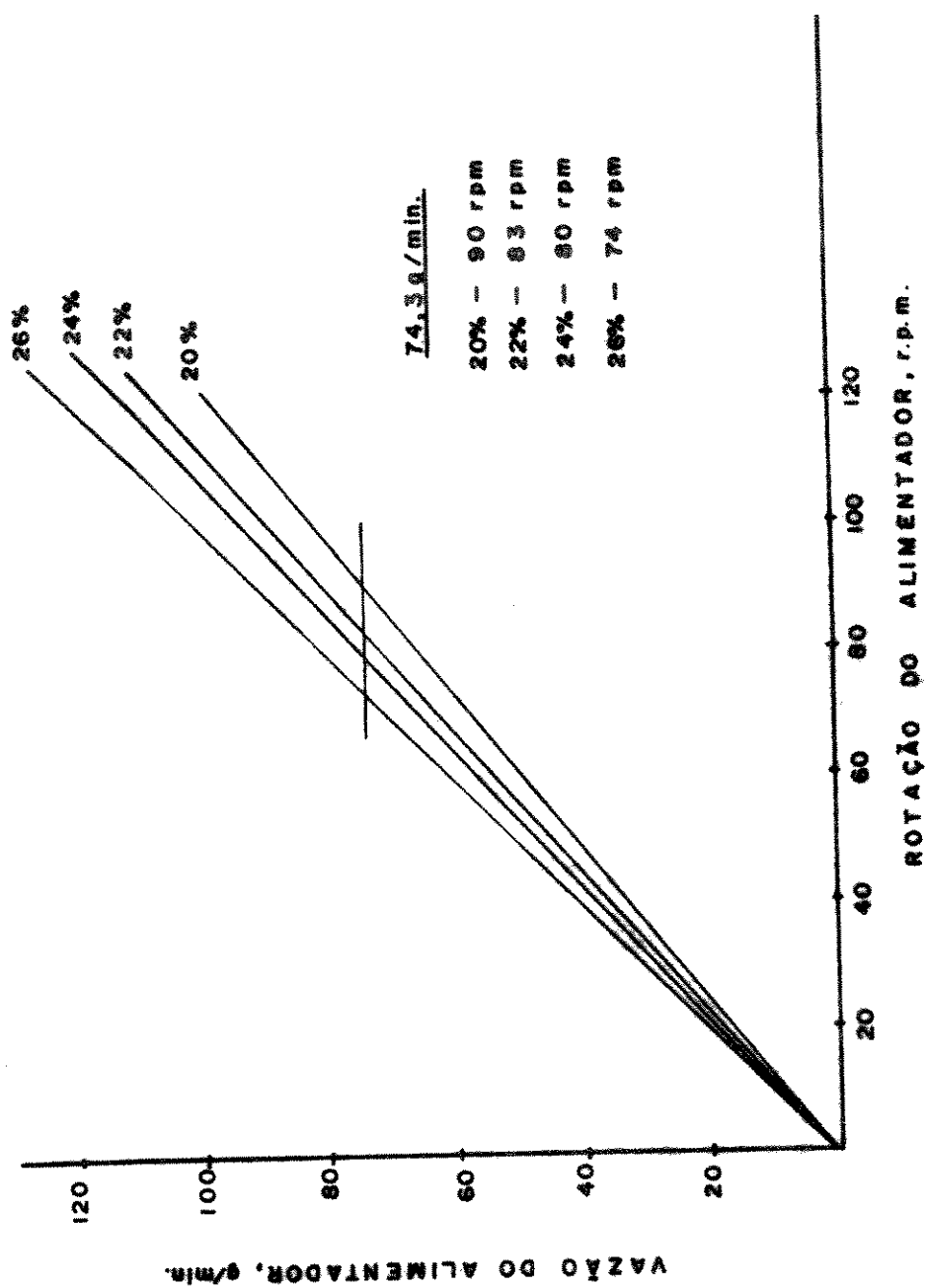


FIGURA 9 - Vazões do alimentador, em função da rotação e teores de umidade de condicionamento das farinhas.

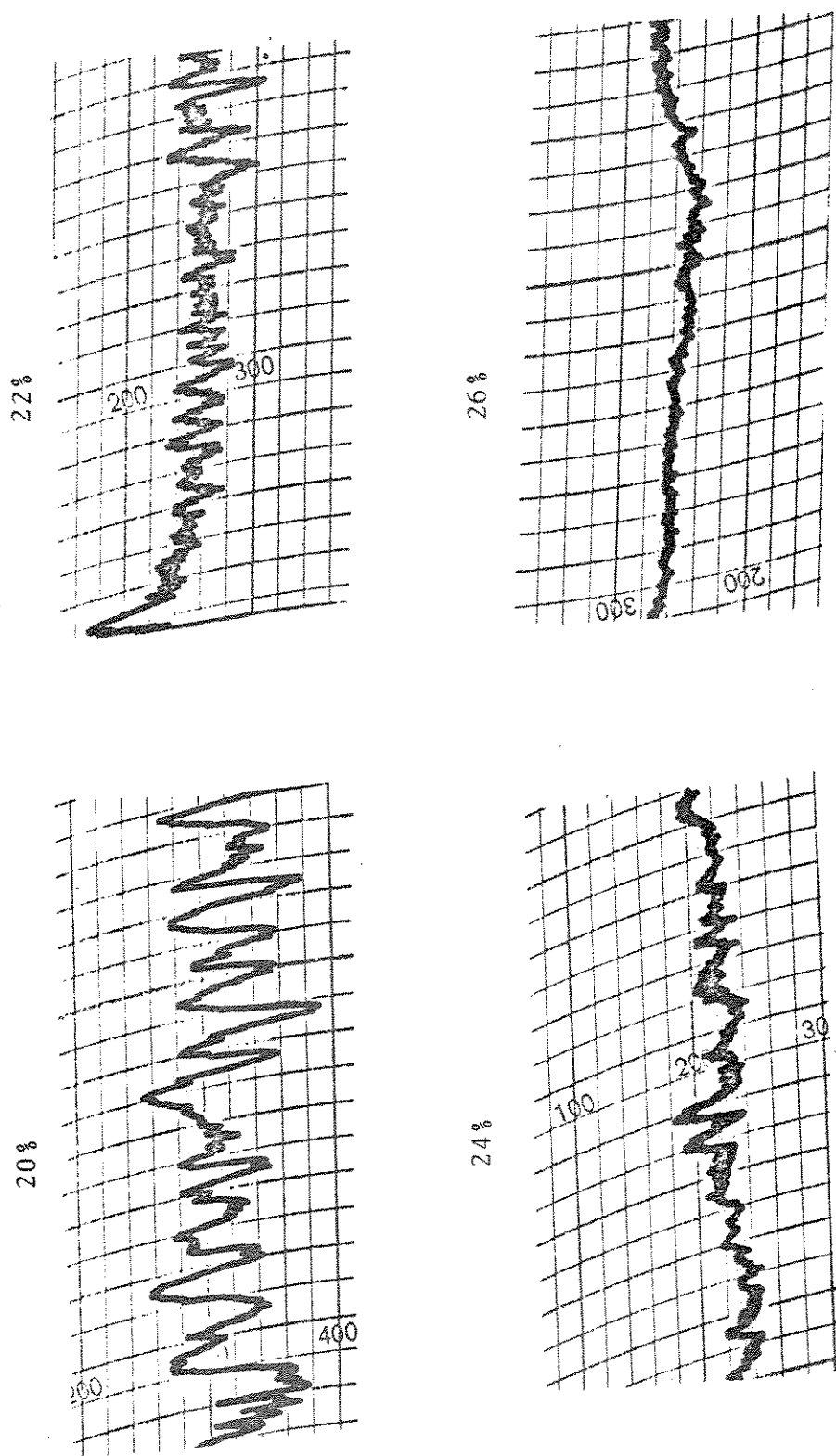


FIGURA 10 - Registros de torque indicando o efeito do teor de umidade inicial da farinha na estabilidade dos processamentos.

TABELA XII

Valores máximos e mínimos de torque(m.g.) da extrusão de
farinha de guandu em função do teor de
umidade inicial da farinha

UMIDADE INICIAL % bu	VALORES DE TORQUE	
	MÁXIMO	MÍNIMO
20	1700	1300
	1800	1300
22	1800	1500
	1400	1200
24	1200	1000
	1300	1000
26	1400	1200
	1500	1400

Os registros de torque dos processamentos da farinha de guandu, por extrusão, com teores de umidade diferentes, estão na figura 10, e os valores máximos e mínimos das duas amostras de cada tratamento na tabela XII. Nos gráficos verifica-se que a medida que se diminui o teor de umidade da farinha o processo torna-se menos estável, isto é com uma faixa de variação mais ampla. Houve uma tendência de diminuição dos valores de torque com o aumento do teor de umidade, embora as diferenças sejam muito pequenas na faixa de teores de umidade estudada. Aumentando-se o teor de umidade da farinha há uma diminuição da viscosidade e conseqüentemente dos valores de torque.

b. Características físicas dos extrudados

As fotografias da figura 11 mostram a cor e a estrutura dos extrudados. Os produtos obtidos com diferentes teores de umidade e fixando-se todas as outras variáveis, apresentaram diferenças pequenas na cor e na estrutura interna, com uma coloração amarelada e uma estrutura porosa. As variações no teor de umidade não provocaram mudanças aparentes nos produtos, dentro da faixa pesquisada.

A produção de extrudados aumentou linearmente, com o aumento no teor de umidade (tabela XIII e figura 12). Aumentos semelhantes foram registrados para a umidade após a extrusão. A absorção de água dos produtos extrudados foi maior nos extremos de teor de umidade da farinha (20 e 26%), com pequena diferença nos teores de 22 e 24% (tabela XIV e figura 13).

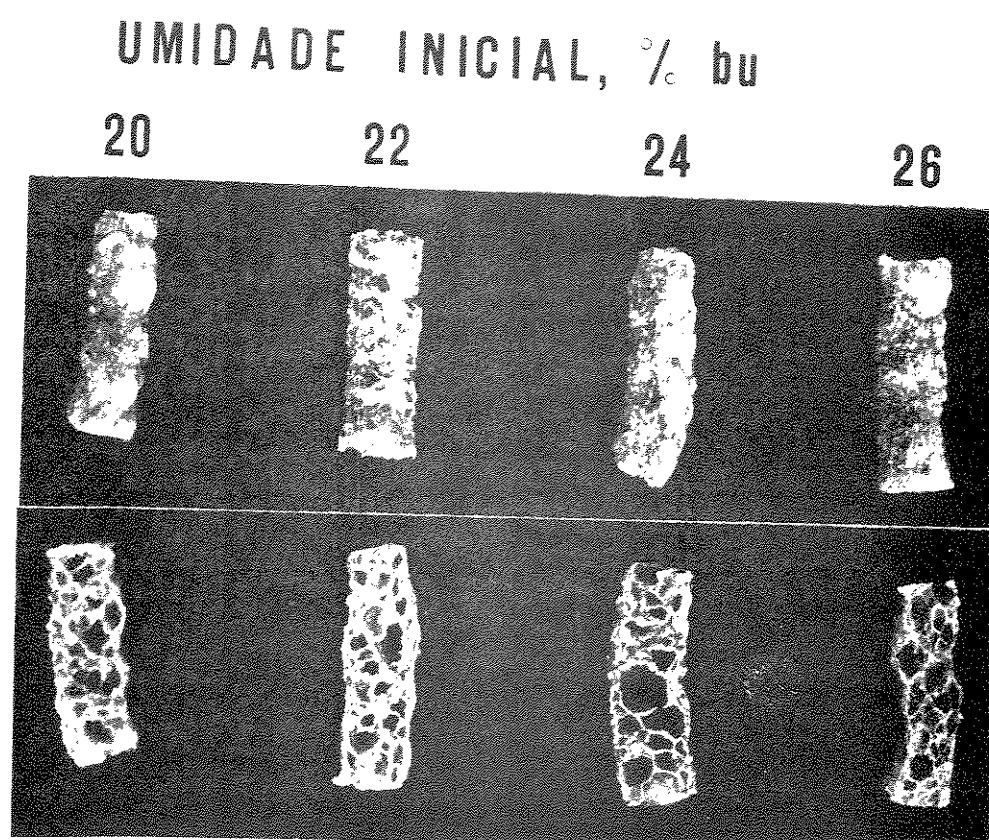


FIGURA 11 - Fotografia dos produtos de guandu inteiros e cortados, extrudados com teores diferentes em umidade inicial da farinha.

TABELA XIII

Produção e teor de umidade dos extrudados de guandu
após a extrusão, em função do teor de
umidade inicial da farinha

TEOR DE UMIDADE % BASE ÚMIDA	PRODUÇÃO g/min.	UMIDADE APÓS A EXTRUSÃO % BASE ÚMIDA
20	58,67	12,1
	60,33	11,9
22	69,75	13,5
	62,38	13,9
24	71,77	15,1
	68,33	15,7
26	75,79	16,3
	83,85	17,7

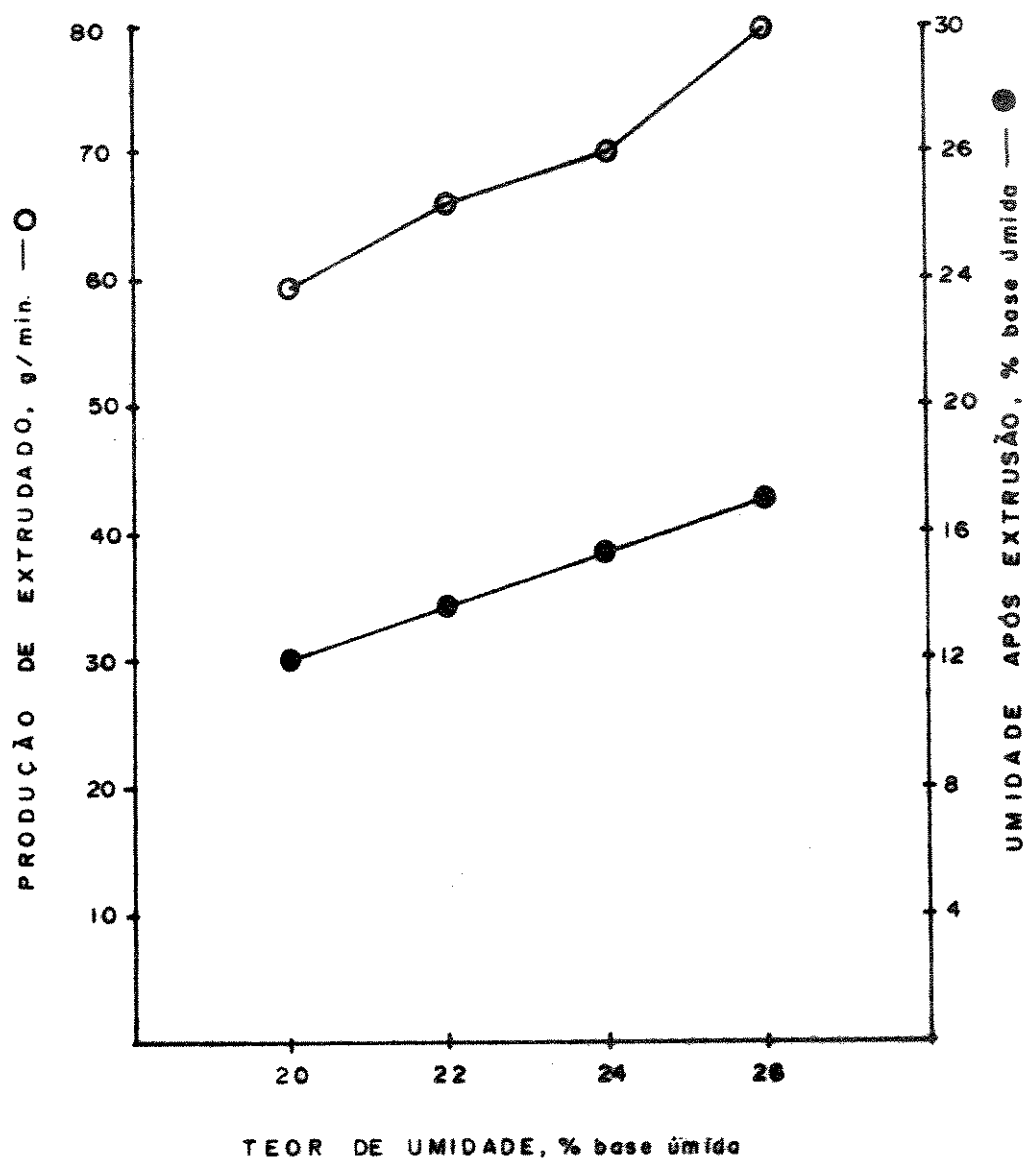


FIGURA 12 - Efeito do teor de umidade inicial da farinha na produção de extrudados de guandu e na umidade após a extrusão.

TABELA XIV

Absorção de água e expansão dos produtos extrudados de
guandu, em função do teor de umidade da farinha

TEOR DE UMIDADE	ABSORÇÃO DE ÁGUA	EXPANSÃO
% bu	% bs	
20	104,21	1,85
	105,18	1,84
22	85,88	1,83
	87,45	1,79
24	88,51	2,01
	90,94	2,00
26	114,51	1,56
	111,35	1,54

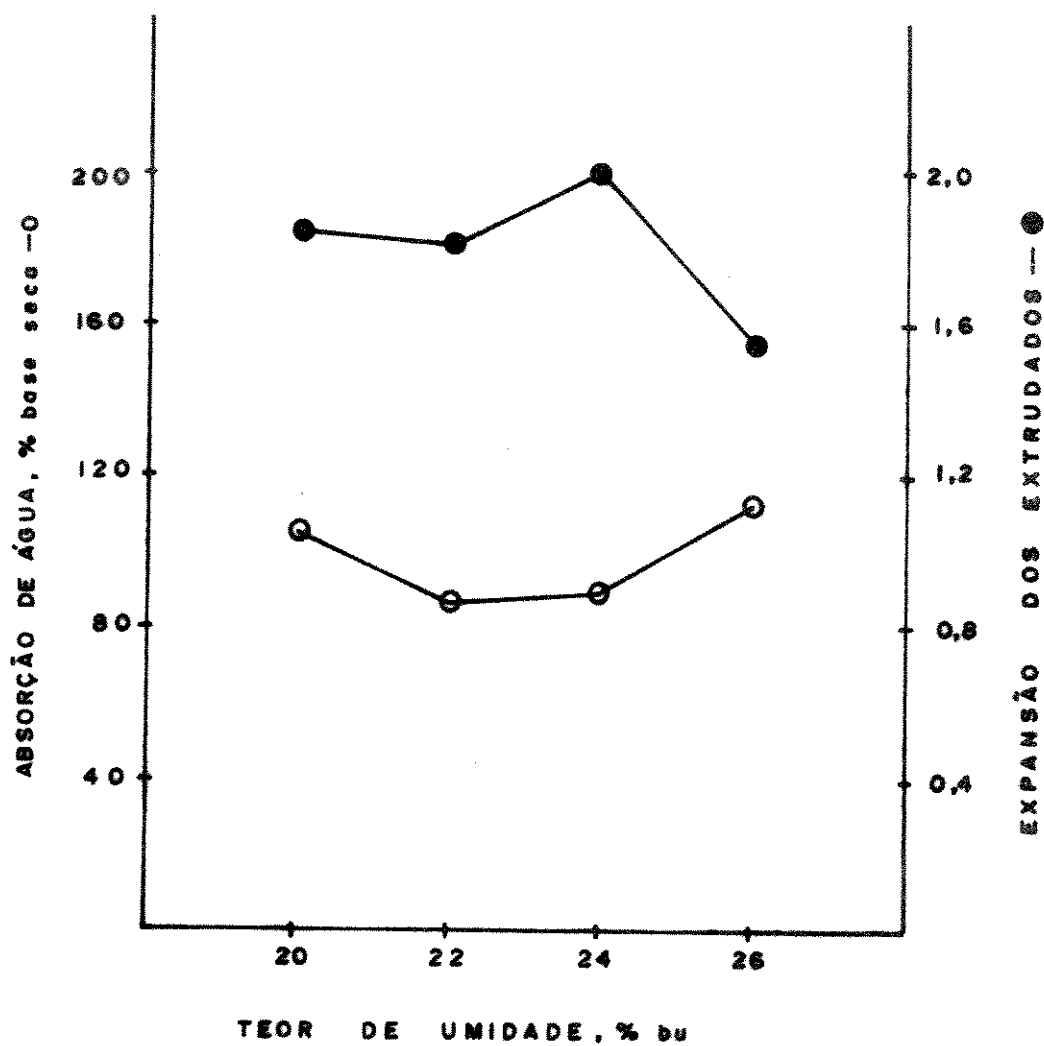


FIGURA 13 - Efeito do teor de umidade inicial da farinha na absorção de água e na expansão dos extrudados de guar.

Há uma tendência de diminuição da expansão dos produtos com o aumento do teor de umidade, havendo porém, um aumento inexplicável da expansão, no processamento a 24% (tabela XIV e figura 13). Com relação a densidade e dureza das amostras, os dados da tabela XV não mostram variações que indiquem uma influência da variável estudada nestas características. Os gráficos na figura 14 registram o rompimento da estrutura sob célula de compressão no Instron. Interpretamos o 1º pico, da direita para a esquerda, como o rompimento da superfície dos extrudados e último pico como o rompimento da estrutura interna. As diferenças entre a dureza da superfície e da região interna dos extrudados também foram pequenas (tabela XV).

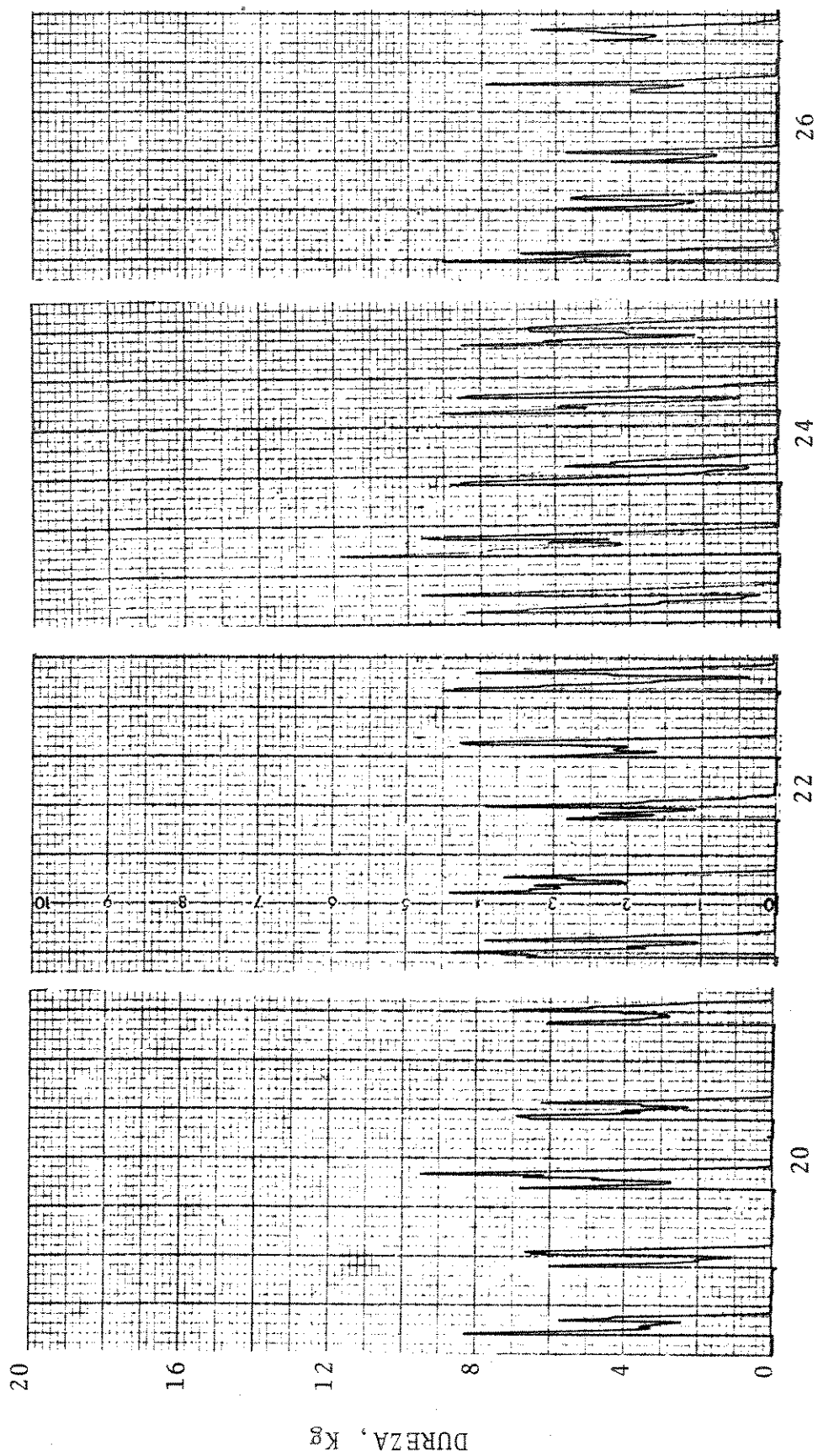
c. Características físico-químicas das farinhas extrudadas

O índice de absorção de água das farinhas extrudadas é menor nas amostras processadas com menor teor de umidade. A medida que aumentamos o teor de umidade da farinha, o produto extrudado tem maior capacidade de absorção de água (tabela XVI e figura 15). Na mesma tabela e gráfico podemos verificar as variações no índice de solubilidade e da proteína solúvel dos extrudados. O índice de solubilidade varia de maneira oposta ao índice de absorção, com um valor mais alto no mais baixo teor de umidade, e diminuindo-se a medida que aumentamos o teor de umidade. O teor de proteína solúvel é maior nos extremos (20 e 26%), não havendo diferença entre os valores intermediários de umidade (22 e 24%).

TABELA XV

Densidade e dureza dos produtos extrudados de guandu,
em função do teor de umidade inicial da farinha

TEOR DE UMIDADE % bu	DENSIDADE g/cm ³	DUREZA (kg)	
		SUPERFÍCIE	INTERNA
20	0,393	6,2	7,5
	0,385	6,6	7,1
22	0,489	7,7	7,0
	0,511	7,3	7,4
24	0,431	7,3	7,5
	0,452	7,1	7,7
26	0,440	6,0	5,4
	0,441	7,0	5,6



TEOR DE UMIDADE, bu

FIGURA 14 - Registros dos testes de compressão no Instron, dos produtos extrudados de gundu com teores diferentes de umidade inicial da farinha e taxa de compressão 2:1.

TABELA XVI

Características físico-químicas das farinhas extrudadas de
guandu em função do teor de umidade inicial da farinha

TEOR DE UMIDADE %, bu	PROTEÍNA SOLÚVEL %, bu	ÍNDICE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA g de gel/g de ms	ÍNDICE DE SOLUBILIDADE % de sólidos
20	3,25	5,26	34,37
	3,38	5,83	32,15
22	3,03	5,59	29,15
	3,03	6,09	29,14
24	2,94	6,48	26,24
	3,13	6,51	27,12
26	3,38	7,02	24,80
	3,50	7,56	22,48

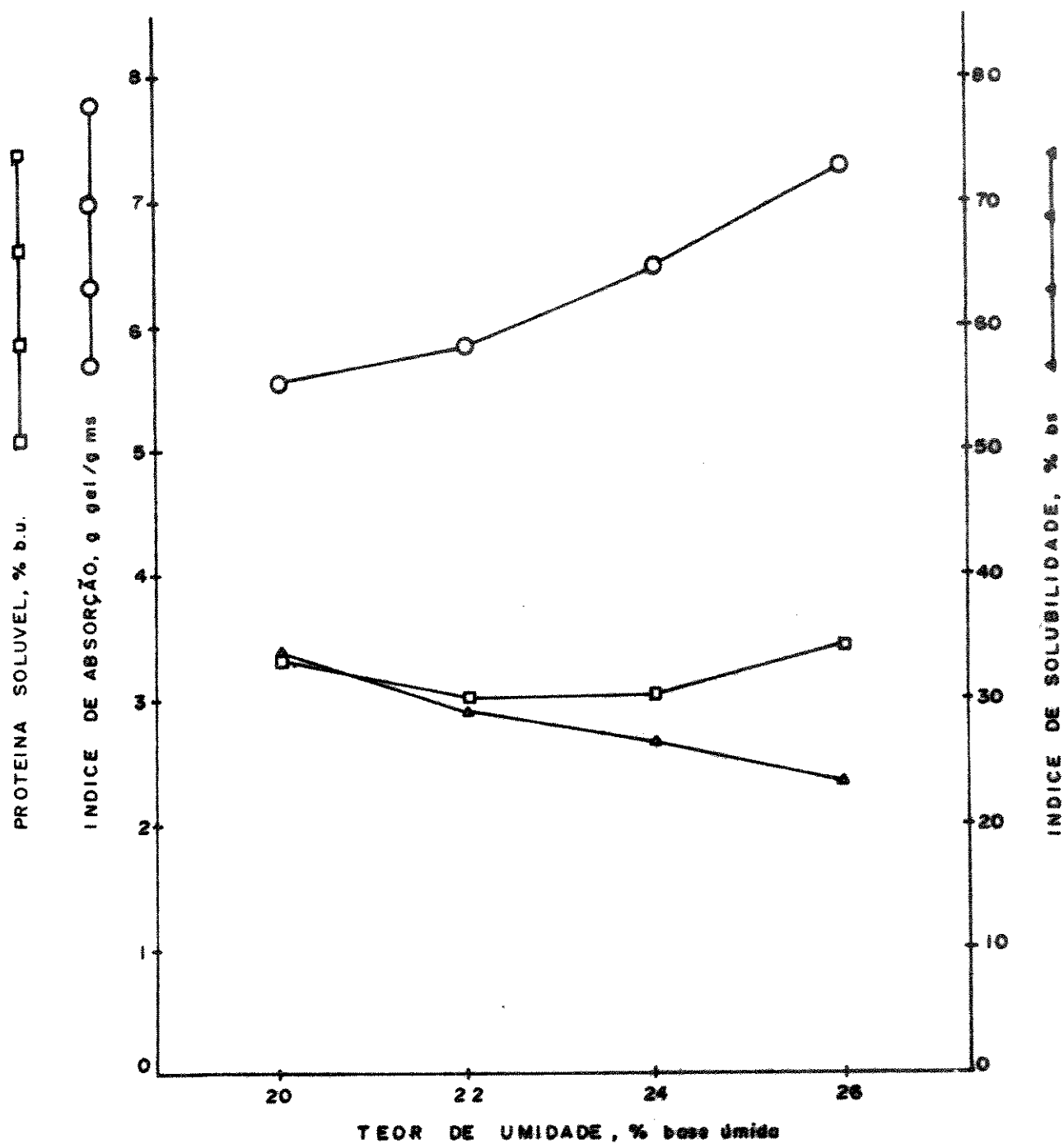


FIGURA 15 - Efeito do teor de umidade inicial da farinha de guandu na solubilidade da proteína, índice de absorção e índice de solubilidade da farinha extrudada.

d. Viscosidade das farinhas extrudadas

As farinhas processadas com diferentes teores de umidade apresentaram viscosidade inicial diferente, com uma queda da viscosidade até 95°C, mantendo-se constante nesta temperatura, e uma pequena elevação com o resfriamento até 50°C (figura 16). Comparados com o amilograma da farinha crua os amilogramas das farinhas extrudadas caracterizam uma completa gelatinização e rompimento dos grânulos de amido.

A viscosidade inicial (à 25°C) foi maior na extrusão com 26% (tabela XVII). O valor mais baixo, entretanto, foi para a farinha extrudada com 24% de umidade, e a diferença entre as farinhas de 22 e 20% foram pequenas. As diferenças de viscosidade à 95°C e 50°C foram pequenas, mas sempre com o maior valor para a farinha processada a 26% e o menor valor para a farinha processada a 24%.

2. Efeito da temperatura e taxa de compressão da rosca

Devido a maior estabilidade e expansão dos extrudados dos processamentos de farinha com 24% de umidade dos testes anteriores, esta variável foi fixada neste nível afim de verificar o efeito da temperatura e taxa de compressão nas características dos produtos extrudados. Foi mantida a mesma taxa de alimentação (74,3 g/min.), mesma rotação da rosca (100 rpm) e matriz cilíndrica de 3 mm. Variou-se a temperatura em torno de 180°C, com 20°C acima (200°C) e abaixo (160°C) e com taxas de compressão de 2:1, 3:1 e 4:1.

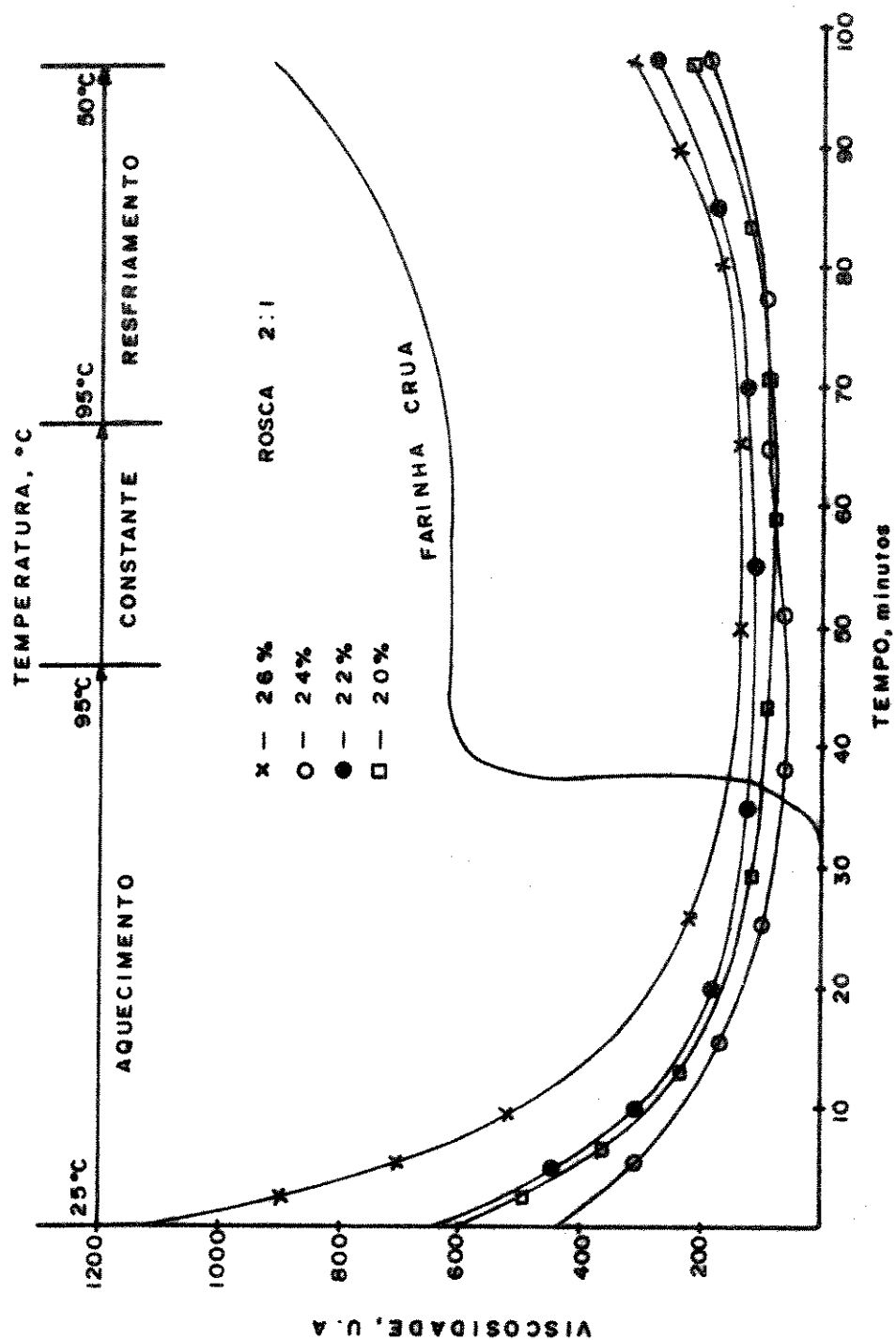


FIGURA 16 - Influência do teor de umidade inicial da farinha na viscosidade das farinhas extrudadas.

TABELA XVII

Viscosidades(UA) da farinha extrudada de guandu em
função do teor de umidade inicial da farinha

UMIDADE INICIAL DA FARINHA %, bu	VISCOSIDADES (UA)		
	INICIAL 25°C	MÁXIMA TEMPERATURA 95°C	APÓS RESFRIAMENTO 50°C
20	620	100	210
22	650	130	270
24	440	70	190
26	1160	145	310

a. Torque

Os valores de torque dos processamentos em função da temperatura e da taxa de compressão estão nos gráficos da figura 17 e na tabela XVIII. Na tabela os dados representam os valores mínimos e máximos de torque, extraídos dos gráficos. Pode-se notar através destes gráficos a maior estabilidade dos processamentos realizados com a rosca 2:1 e menor estabilidade das outras roscas verificada pelas maiores variações de torque.

Os coeficientes de regressão do modelo de resposta de segunda ordem podem ser vistos na tabela XIX, enquanto que o coeficiente de determinação e variáveis mais significativas com seus respectivos índices de significância estão registrados na tabela XX.

O torque está relacionado diretamente com a viscosidade e a pressão exercidas na massa dentro do extrusor (30). A figura 18 representa a resposta de torque à duas variáveis simultaneamente (taxa de compressão de 2:1 a 4:1 e temperatura de extrusão de 160 a 200°C) por meio da densidade relativa da cor. A tonalidade mais escura indica maiores valores de torque. A taxa de compressão foi a variável que mais influenciou o torque até um valor aproximado de 3:1 com valores baixos nesta região de processamento, independente de temperatura. Acima deste nível crítico a temperatura exerce influência nos valores de torque. A medida que a temperatura diminui os valores de torque aumentam. Os maiores valores foram encontrados na faixa de compressão de 3,28:1 a 4:1 e temperaturas entre 160 e 164°C. Es

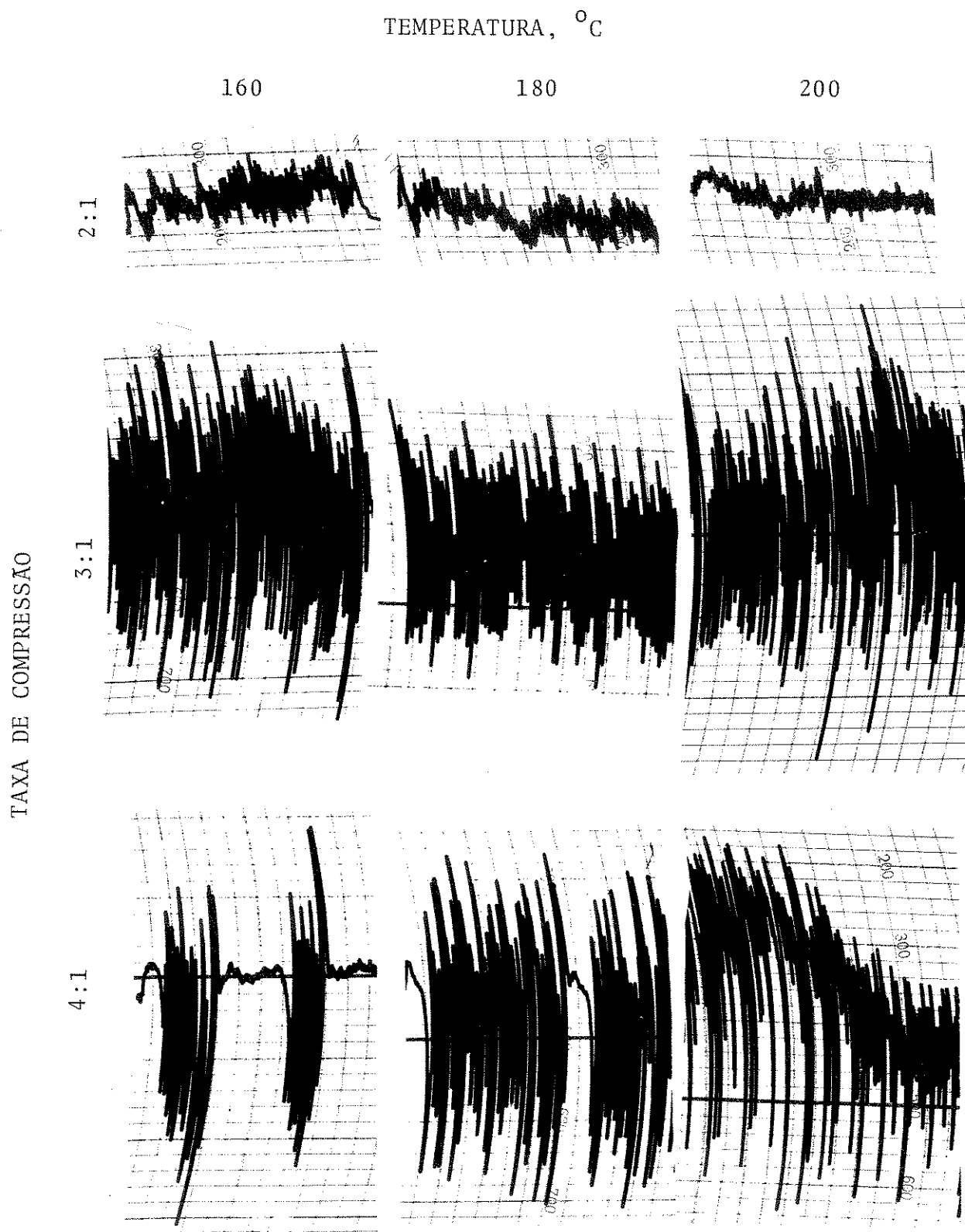


FIGURA 17 - Registros de torque indicando o efeito da temperatura e taxa de compressão na estabilidade dos processamentos.

TABELA XVIII

Valores máximos e mínimos de torque(m.g.) da extrusão de
guandu, em função da temperatura e taxa de compressão

TEMPERATURA °C	TAXA DE COMPRESSÃO		
	2:1	3:1	4:1
160	1100-1400	2700-3500	2800-3300
	1300-1700	2000-3000	2400-3300
180	1000-1200	1600-2700	2100-3100
	1000-1300	1800-2700	2000-3000
200	1000-1100	2000-2800	1500-2500
	1200-1300	1800-2800	2100-3000

TABELA XIX

Coefficientes de regressão do modelo de resposta de segunda ordem para as variáveis torque, umidade após a extrusão, densidade e expansão de extrudados do guarandú em função da temperatura e taxa de compressão

COEFICIENTES	TORQUE	UMIDADE	DENSIDADE	EXPANSÃO
b_0 (interseção)	9859,22	43,8014	8,1696	-5,0864
b_1 (temperatura)	-166,855	-0,2452	-0,0777	0,09233
b_2 (compressão)	4975,00	0,9867	-0,0473	-0,39167
b_{11} (temperatura x temperatura)	0,4792	0,000567	0,000197	-0,00026
b_{22} (compressão x compressão)	-545,833	0,2592	0,01767	0,1108
b_{12} (temperatura x compressão)	-5,625	-0,0161	-0,000325	-0,002375

Equação de regressão: $y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{12}x_1x_2$

TABELA XX

Variáveis mais significativas para as respostas de torque, umidade após a extrusão, densidade e expansão de extrudados de guandu, em função da temperatura e taxa de compressão

VARIÁVEIS	TORQUE ¹		UMIDADE ²		DENSIDADE ³		EXPANSÃO ⁴	
	SIG.	NÍVEL	SIG.	NÍVEL	SIG.	NÍVEL	SIG.	NÍVEL
Temperatura	*	0,0023	*	0,0001	*	0,0001	*	0,0001
Compressão	*	0,0001	*	0,0311			*	0,0001
Temperatura x Temperatura	*	0,0821			*	0,0001	*	0,0231
Compressão x Compressão	*	0,0002					*	0,0170
Temperatura x Compressão								

$1 - R^2 = 94\%$
 $2 - R^2 = 92,9\%$
 $3 - R^2 = 98,1\%$
 $4 - R^2 = 90,6\%$

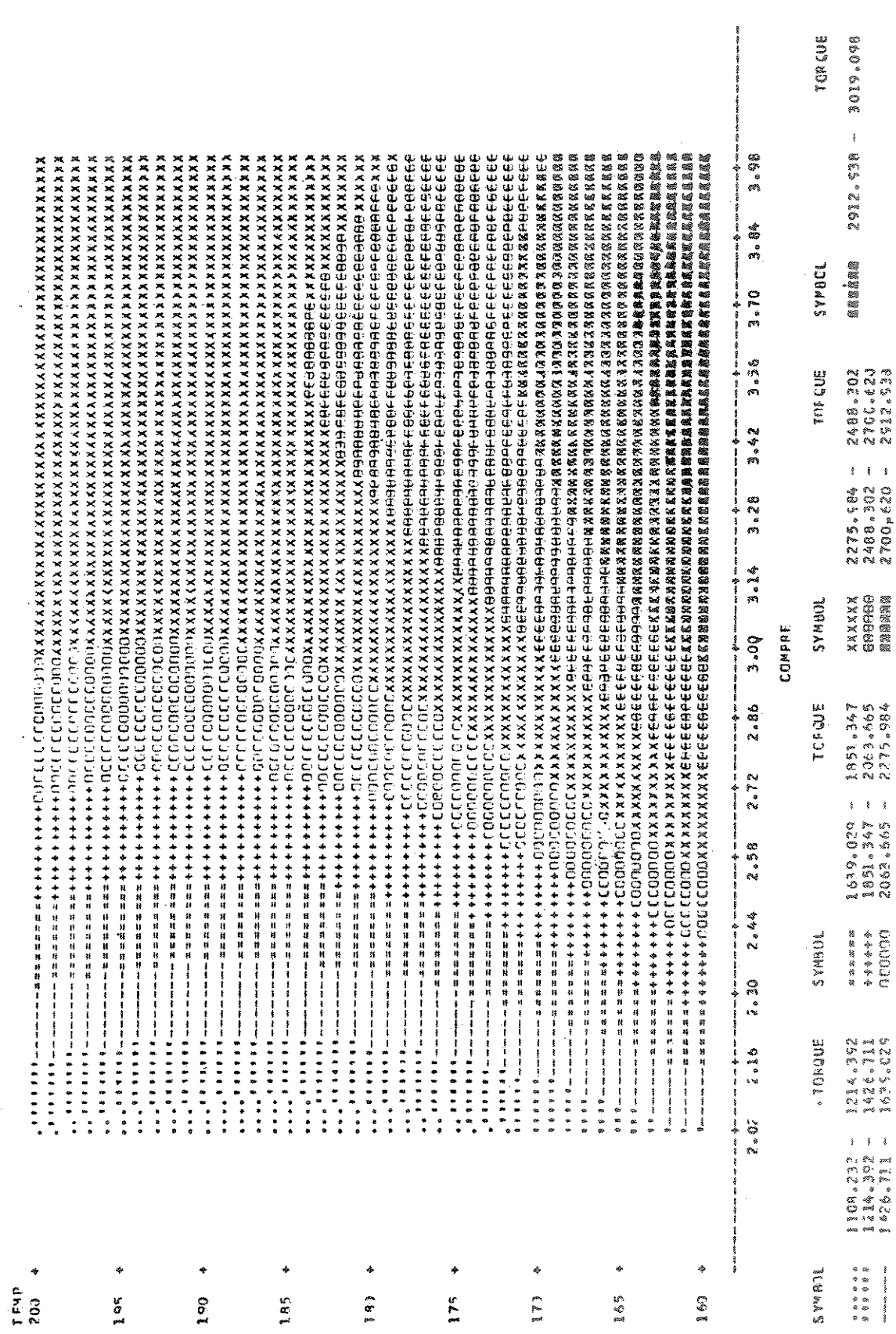


FIGURA 18 - Efeito da temperatura e taxa de compressão no torque durante a extrusão da farinha de guandu.

te fenômeno se explica pelo fato de que quanto maior a compres
são mais difícil se torna o fluxo do material e o abaixamento
da temperatura eleva a viscosidade diminuindo também o fluxo e
portanto aumentando o torque.

b. Produção dos extrudados por minuto

Os dados de produção de extrudados de guandu em fun-
ção da temperatura e taxa de compressão podem ser vistos na ta-
bela XXI. A análise de variância demonstrou não haver diferen-
ças significativas entre estes dados. Maurice e Stanley (43) ve
rificaram em extrusão de farinha proteica que primeiramente a
rotação da rosca, depois a umidade da farinha, foram as variá-
veis que mais influenciaram a produção de extrudados, e que a
contribuição da temperatura não foi significativa.

c. Teor de umidade dos produtos extrudados após a extrusão

Os valores de teor de umidade dos produtos extruda
dos de guandu após a extrusão, em função da temperatura e taxa
de compressão, estão na tabela XXII. Nas tabelas XIX e XX re-
gistramos os valores dos coeficientes de regressão, coeficien-
te de determinação e as variáveis mais significativas com os
níveis de significância.

A temperatura foi a variável que mais afetou o teor
de umidade dos produtos após a extrusão, conforme se pode ver

TABELA XXI

Produção de extrudados de guandu em função da
temperatura e taxa de compressão (g/min.)

TEMPERATURA °C	TAXA DE COMPRESSÃO		
	2:1	3:1	4:1
160	70,81	79,21	78,67
	71,62	69,20	71,28
180	71,77	77,36	72,59
	68,33	75,50	67,40
200	81,55	68,39	77,72
	80,25	74,19	73,36

TABELA XXII

Umidade dos produtos extrudados de guandu após a extrusão em
função da temperatura e da taxa de compressão

TEMPERATURA °C	TAXA DE COMPRESSÃO		
	2:1	3:1	4:1
160	16,90	16,84	17,26
	16,87	16,42	16,51
180	15,13	14,31	14,49
	15,71	14,45	14,60
200	13,21	13,71	13,28
	14,46	12,83	11,81

TEMP
200 +

195 +

190 +

185 +

180 +

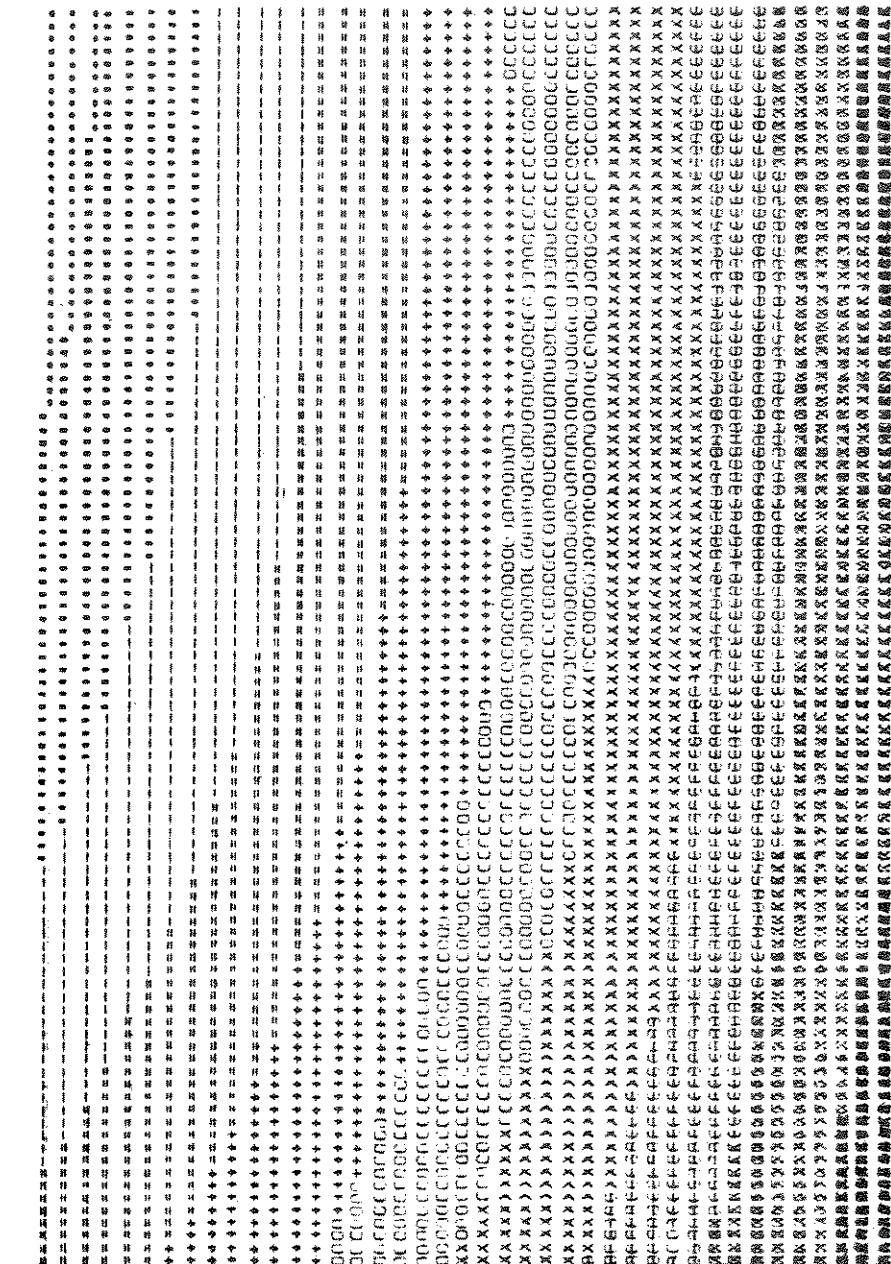
175 +

170 +

165 +

160 +

SV487L



COMPHE															
UM10		SV487L		UM10		SYM9CL		UM10		SYM9CL		UM10		SYM9CL	
2.02	2.16	2.30	2.44	2.58	2.72	2.86	3.00	3.14	3.28	3.42	3.56	3.70	3.84	3.98	
-	12.65540	=====	12.65540	-	14.20752		XXXXXX	15.24531	-	15.71620		=====	16.65799		
0	-	12.89095	++++++	12.89095	-	14.77642	685889	15.71620	-	16.16701					
6	-	13.36174	000000	13.36174	-	15.24531	848888	16.18709	-	16.65799					
-	12.65540	000000	12.65540	14.77642	-	15.24531									

FIGURA 19 - Efeito da temperatura e taxa de compressão no teor de unidade dos produtos extrudados de guandu após a extrusão.

na figura 19. Quanto maior a temperatura maior a perda de vapor do produto durante a expansão ao deixar a matriz, e portanto menor o teor de umidade do extrudado. Os valores mais altos de teor de umidade estão na estreita faixa de temperatura de 160-162°C, nos extremos de compressão. Os valores mais baixos foram para taxa de compressão acima de 3,36:1 e temperatura acima de 194°C.

d. Densidade dos produtos extrudados

Na tabela XXIII podemos observar os valores de densidade dos produtos extrudados de guandu em função da temperatura e da taxa de compressão. Os resultados da análise de regressão como coeficientes do modelo matemático, variáveis mais significativas e coeficiente de determinação podem ser vistos nas tabelas XIX e XX.

A variável que exerceu maior influência sobre a densidade foi a temperatura, de acordo com a figura 20. Quanto maior a temperatura menor a densidade para qualquer taxa de compressão. O aumento da temperatura diminui a viscosidade do gel dentro do extrusor e aumenta a velocidade de evaporação na saída. Estes dois fenômenos fazem com que o produto extrudado tenha uma porosidade maior e portanto menor densidade. Produtos mais densos foram obtidos com maior taxa de compressão e menor temperatura.

TABELA XXIII

Densidade dos produtos extrudados de guandu(g/cm^3)
em função da temperatura e da taxa de compressão

TEMPERATURA °C	TAXA DE COMPRESSÃO		
	2:1	3:1	4:1
160	0,674	0,636	0,658
	0,626	0,630	0,690
180	0,431	0,383	0,401
	0,452	0,409	0,440
200	0,331	0,367	0,343
	0,352	0,336	0,336

519013C

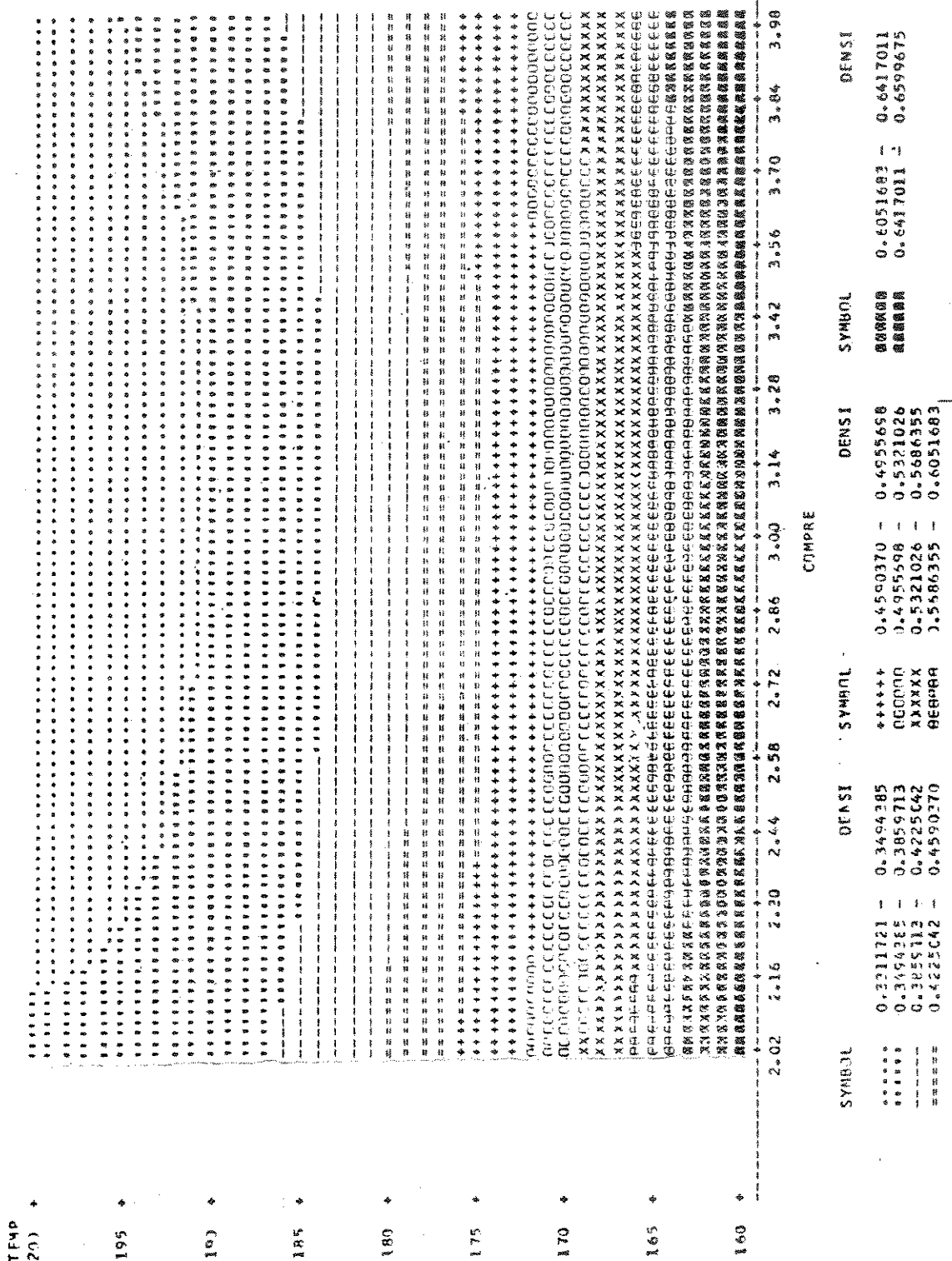


FIGURA 20 - Efeito da temperatura e taxa de compressão na densidade dos produtos extrudados de guandu.

e. Expansão dos produtos extrudados

O efeito combinado da temperatura e taxa de compressão na expansão dos produtos extrudados pode ser visto nos dados da tabela XXIV e na figura 21. Os dados da análise de regressão, bem como os coeficientes da equação estão nas tabelas XX e XIX, respectivamente.

Conforme podemos observar na figura 21, ambas variáveis temperatura e taxa de compressão exercem efeito sobre a expansão dos produtos extrudados, com maior grau de expansão à temperaturas e taxas de compressão menores ($160-179^{\circ}\text{C}$; 2,00-2,12). À temperaturas maiores que 180°C a taxa de evaporação foi muito alta e a estrutura do produto não teve uma resistência capaz de suportar uma expansão maior. A medida que aumentamos a temperatura e taxa de compressão a expansão diminui até os valores mínimos situados nas faixas de compressão de 3,42 a 4 e temperaturas de 198 e 200°C . Em taxas de compressão mais altas (acima de 3) a temperatura exerce maior efeito.

A expansão do produto ao sair do extrusor é um reflexo das características do gel e da taxa de evaporação da água ao sair da matriz. Em produtos com teor predominante de amido como em farinhas amiláceas há uma forte tendência à expansão e porosidade. Em farinhas proteicas, entretanto, a proteína se orienta em fibras alongadas e adquire uma estrutura lamelar, mais densa e com pouca expansão. Na farinha de guandu, porém, com um teor de amido menor que nas farinhas de cereais (41,1%) e um teor de proteína maior (21,3%), a tendência do material de

TABELA XXIV

Expansão dos produtos extrudados ($\emptyset$ produto/ $\emptyset$ matriz)
em função da temperatura e taxa de compressão

TEMPERATURA °C	TAXA DE COMPRESSÃO		
	2:1	3:1	4:1
160	1,85	1,70	1,72
	1,85	1,79	1,75
180	2,01	1,61	1,47
	2,00	1,64	1,53
200	1,60	1,32	1,34
	1,68	1,34	1,33

formar as duas estruturas simultaneamente, dificulta a expansão do produto, o qual apresenta um valor máximo de 2.

f. Porosidade dos extrudados

A aparência e a porosidade dos produtos extrudados em função da temperatura e taxa de compressão podem ser vistas nas figuras 22 e 23.

Os extrudados processados a 160°C apresentaram uma estrutura interna mais aberta, com poros grandes e redondos. A 180°C a estrutura interna se tornou mais fechada, com poros um pouco menores e arredondados. A 200°C , entretanto, a estrutura interna apresentou-se mais compacta, mais uniforme com pequenos poros alongados no sentido longitudinal da peça (Fig. 23). Este comportamento da mesma forma que na expansão, talvez possa ser explicado pela menor viscosidade de gel e maior taxa de evaporação com o aumento de temperatura. A taxa de compressão afetou pouco a aparência e porosidade dos extrudados.

g. Dureza dos extrudados

Nas figuras 24, 25 e 26 estão alguns exemplos de registros dos testes de compressão no Instron, realizados com amostras de várias temperaturas e taxas de compressão. Os dados da tabela XXV representam a média de 20 testes. Os registros a apresentam de 2 ou mais picos, dependendo da estrutura interna da amostra. O primeiro pico, tomado da direita para a esquerda,

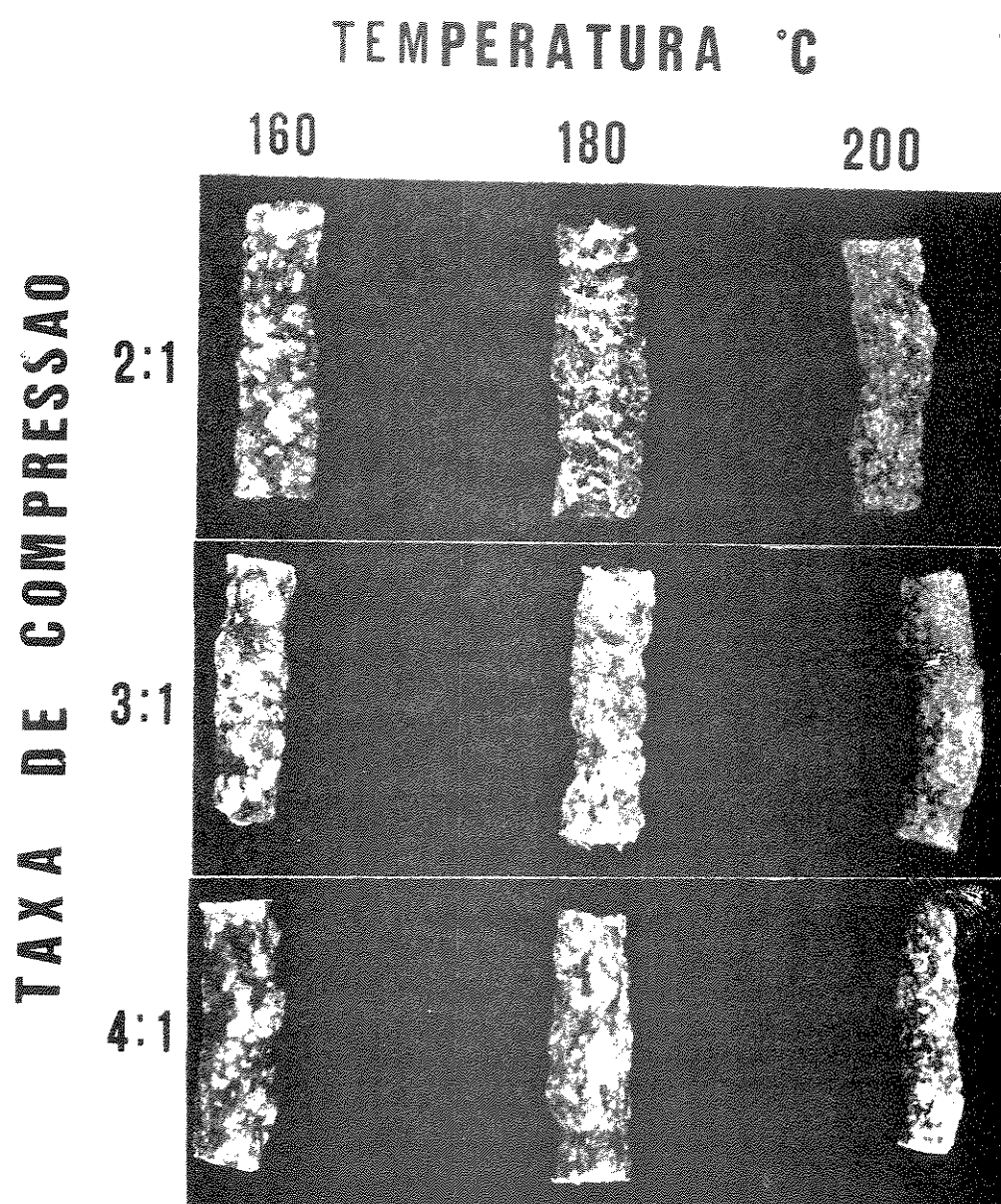


FIGURA 22 - Fotografias dos produtos da extrusão de farinha de guandu com diferentes temperaturas e taxa de compressão.

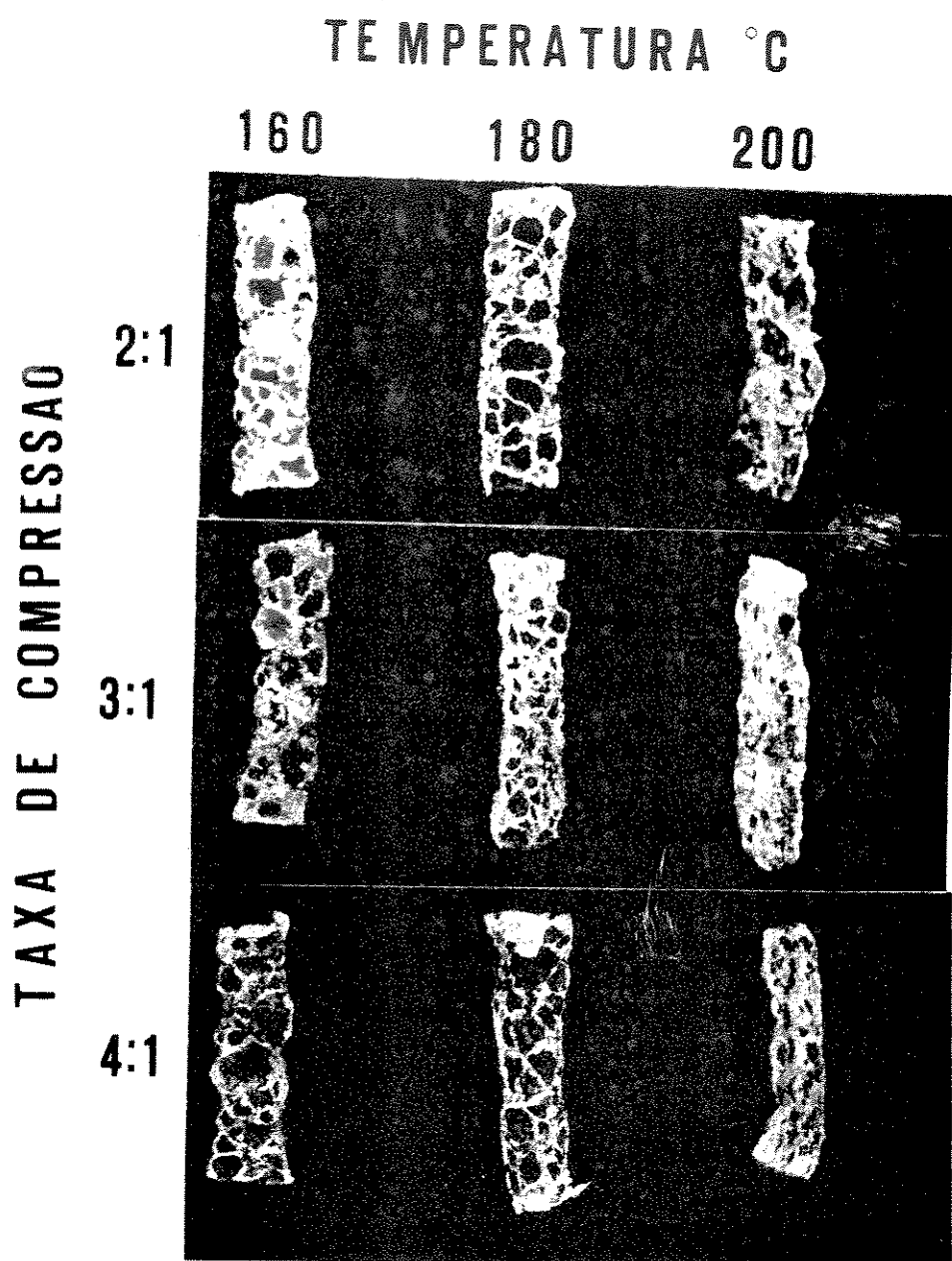


FIGURA 23 - Fotografias de produtos seccionados de guandu mostrando a estrutura interna e porosidade.

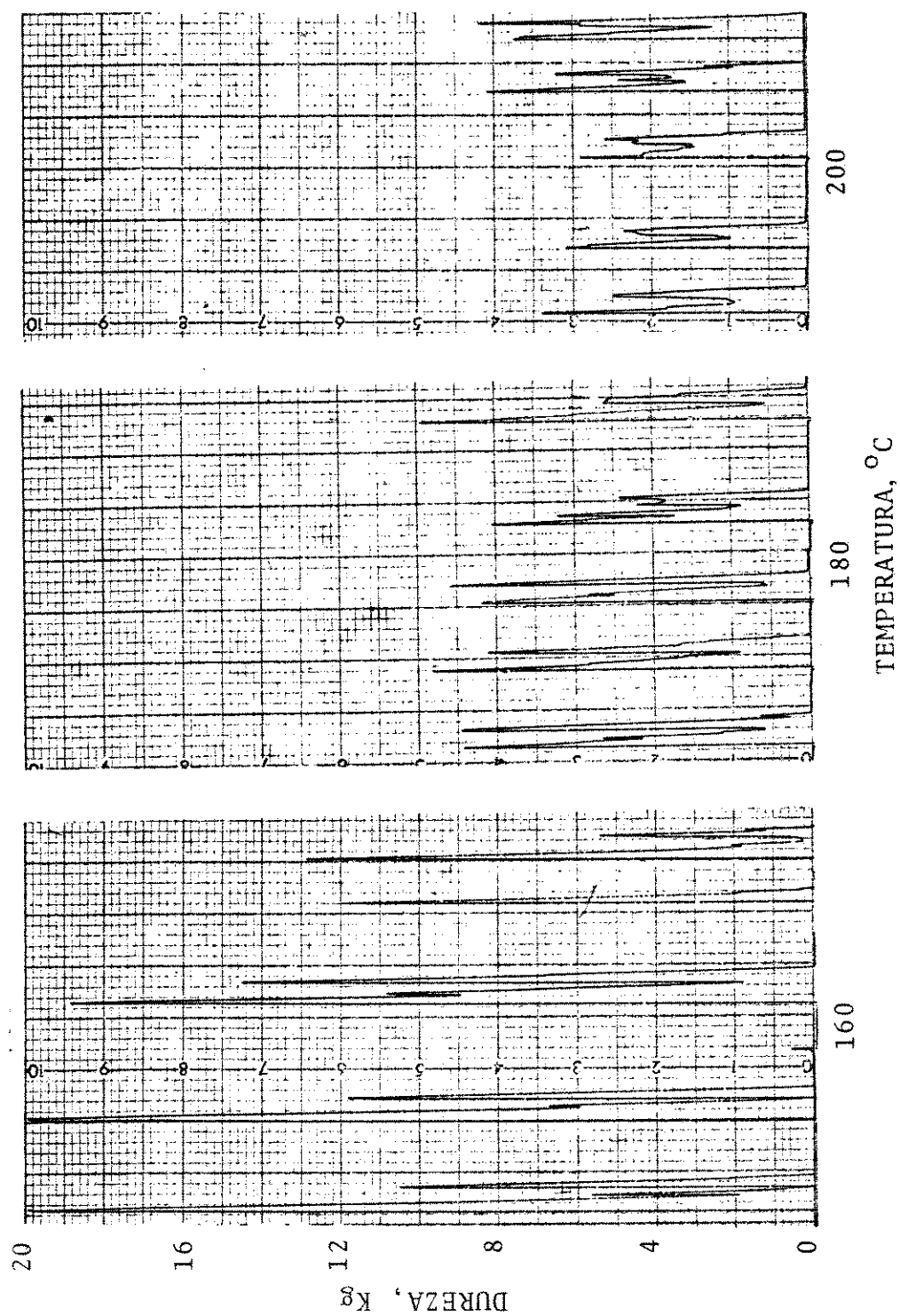


FIGURA 24 - Registros dos testes de compressão no Instron, dos produtos extrudados de guan-
du com diferentes temperaturas e taxa de compressão 2:1.

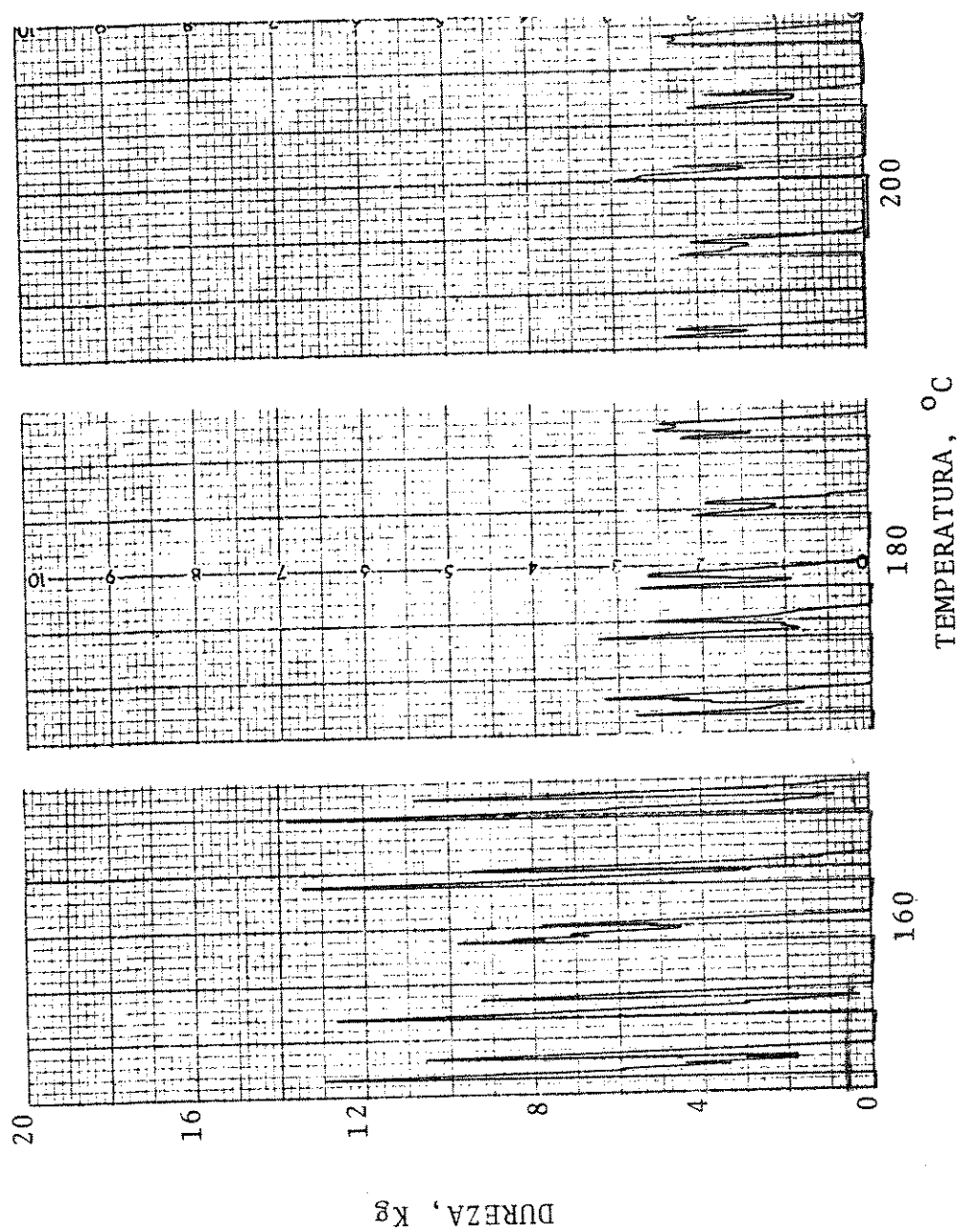


FIGURA 25 - Registros dos testes de compressão no Instron, dos produtos extrudados de guandu com diferentes temperaturas e taxa de compressão 3:1.

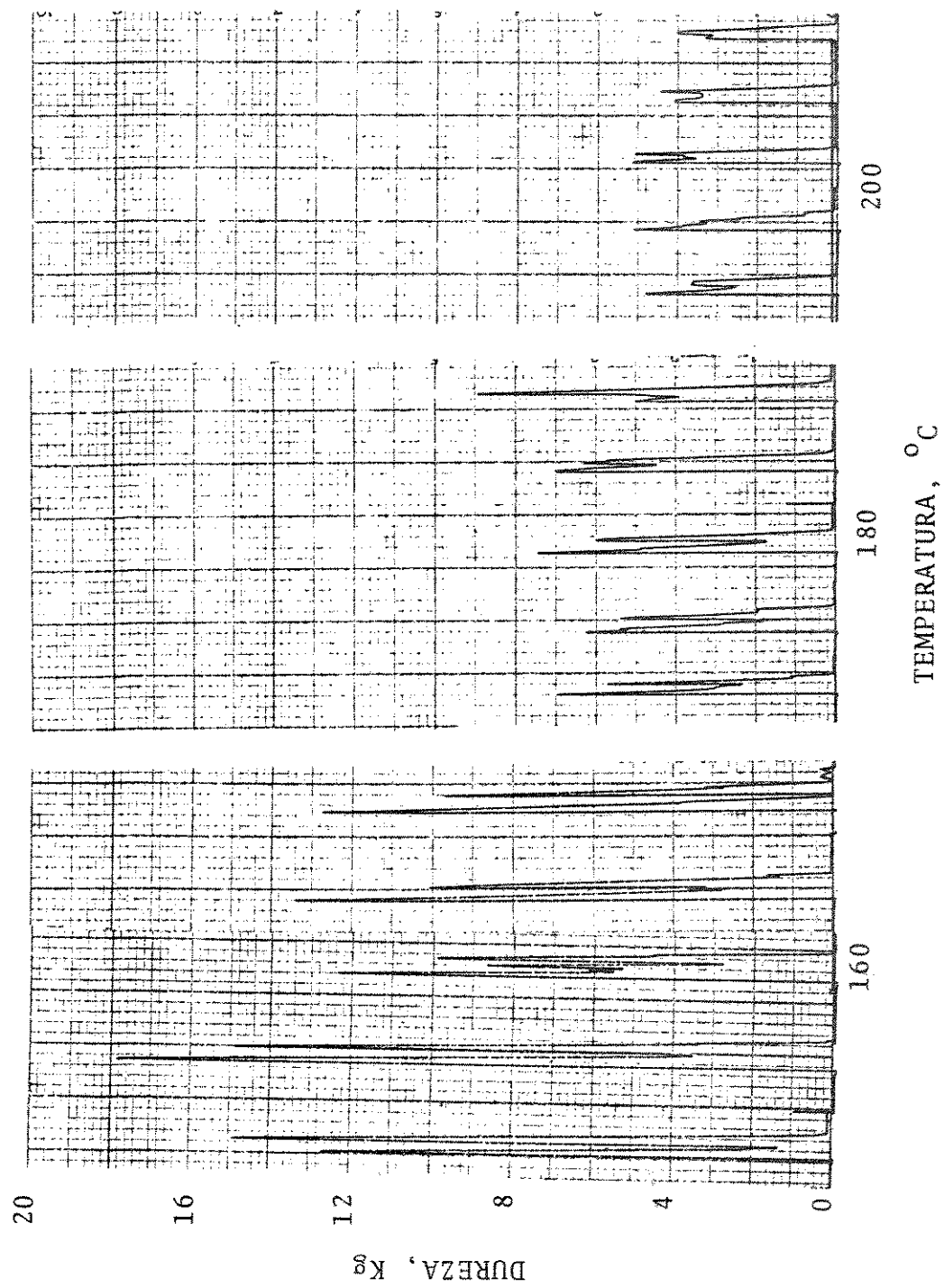


FIGURA 26 - Registros dos testes de compressão no Instron, dos produtos extrudados de guan-
gu com diferentes temperaturas e taxa de compressão 4:1.

TABELA XXV

Dureza dos produtos extrudados de guandu(kg) em
função da temperatura e taxa de compressão

TEMPERATURA °C	TAXA DE COMPRESSÃO					
	2:1		3:1		4:1	
	Ds	Di	Ds	Di	Ds	Di
160	11,6	17,3	10,0	13,0	12,3	14,7
180	7,2	8,6	4,2	4,2	6,5	6,4
200	6,1	7,2	4,1	4,6	4,3	4,4

Ds - dureza da superfície dos extrudados

Di - dureza da estrutura interna dos extrudados

representa a ruptura da superfície externa (Ds). Como os registros e números de picos variam de amostra para amostra, e como não existe uma metodologia padrão para este tipo de teste e de amostra, adotamos o último pico mais alto como a força de dureza da estrutura interna (Di). Quanto maiores os poros das amostras maior a descida do gráfico após o 1º pico, formando uma fenda mais profunda, visto que mais espaços vazios menos resistência as amostras oferecem à compressão. O retorno a um último pico mais alto caracteriza a dureza das paredes internas dos poros. Quanto mais picos mais heterogenea é a estrutura interna. Comparando-se os gráficos das figuras 24, 25 e 26 com as fotos da figura 23 podemos visualizar estes comportamentos. As amostras processadas a 160°C são mais duras e com poros maiores (maiores fendas nos gráficos). A medida que aumentamos a temperatura as amostras diminuem em dureza e porosidade (fendas menores).

Na tabela XXVI estão listados os coeficientes da equação de regressão tanto para a dureza da superfície (dureza 1) como para a dureza da estrutura interna (dureza 2). Na tabela XXVII podemos ver as variáveis mais significativas com os níveis de significância e o coeficiente de determinação.

As figuras 27 e 28 representam as respostas da dureza das duas regiões dos extrudados ao efeito combinado da temperatura e taxa de compressão. A temperatura foi a variável que mais influenciou a dureza das amostras extrudadas de guandu, e as peças foram mais duras quanto menor a temperatura de extrusão. Os menores valores para ambas regiões dos extrudados po-

TABELA XXVI

Coefficientes de regressão do modelo de resposta de segunda ordem para as variáveis absorção de água, solubilidade da proteína, dureza da superfície(1) e dureza da estrutura interna de extrudados de guandu(2), em função da temperatura e da taxa de compressão

COEFICIENTES	ABSORÇÃO DE ÁGUA	SOLUBILIDADE DA PROTEÍNA	DUREZA 1	DUREZA 2
b_0 (interseção)	572,00375	-12,9515	205,025	380,683
b_1 (temperatura)	-6,594	0,0621	-1,9579	-3,6525
b_2 (compressão)	-134,352	6,1379	-6,075	-15,8167
b_{11} (temperatura x temperatura)	0,01706	-0,0000083	0,00525	0,0095
b_{22} (compressão x compressão)	-12,1975	-0,6283	1,90	2,5
b_{12} (temperatura x compressão)	1,302	-0,0128	-0,03125	-0,0025

Equação de regressão: $y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{12}x_1x_2$

TABELA XXVII

Variáveis mais significativas para as respostas de absorção de água, solubilidade da proteína, dureza da superfície(1) e dureza da estrutura interna(2) dos extrudados de guandu, em função da temperatura e taxa de compressão

VARIÁVEIS	ABSORÇÃO ¹ DE ÁGUA		SOLUBILIDADE ² DA PROTEÍNA		DUREZA 1 ³		DUREZA 2 ⁴	
	VAR.	NÍVEL	VAR.	NÍVEL	VAR.	NÍVEL	VAR.	NÍVEL
Temperatura	*	0,0001	*	0,0001	*	0,006	*	0,0006
Compressão	*	0,0001					*	0,028
Temperatura x Temperatura					*	0,0106	*	0,0062
Compressão x Compressão	*	0,0181	*	0,0002	*	0,0141	*	0,0198
Temperatura x Compressão	*	0,0001	=	0,0095	*	0,0955		

$$1 - R^2 = 98,7\%$$

$$2 - R^2 = 86,4\%$$

$$3 - R^2 = 99,0\%$$

$$4 - R^2 = 99\%$$

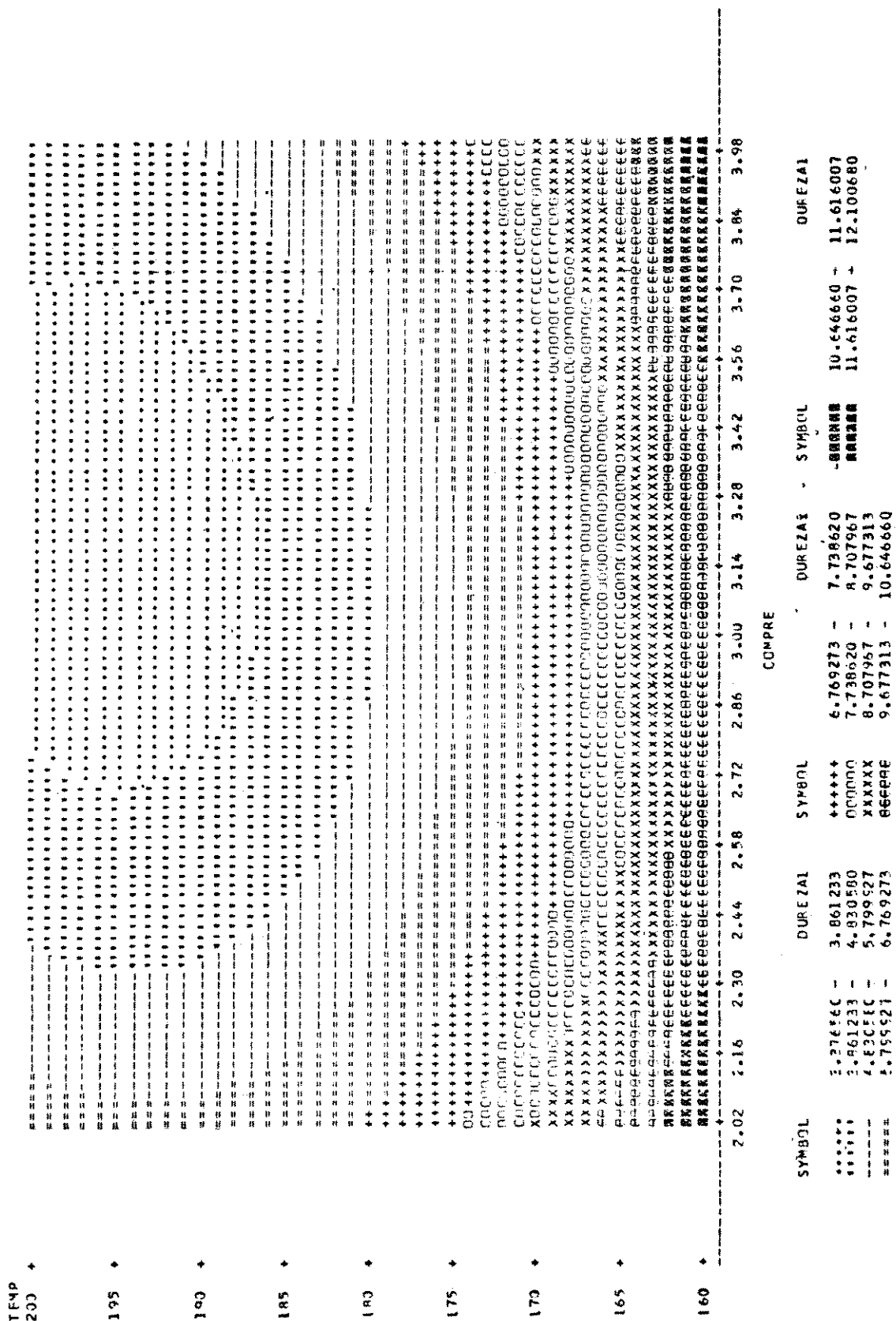


FIGURA 27 - Efeito da temperatura e taxa de compressão na dureza da superfície externa dos produtos extrudados de guandu.

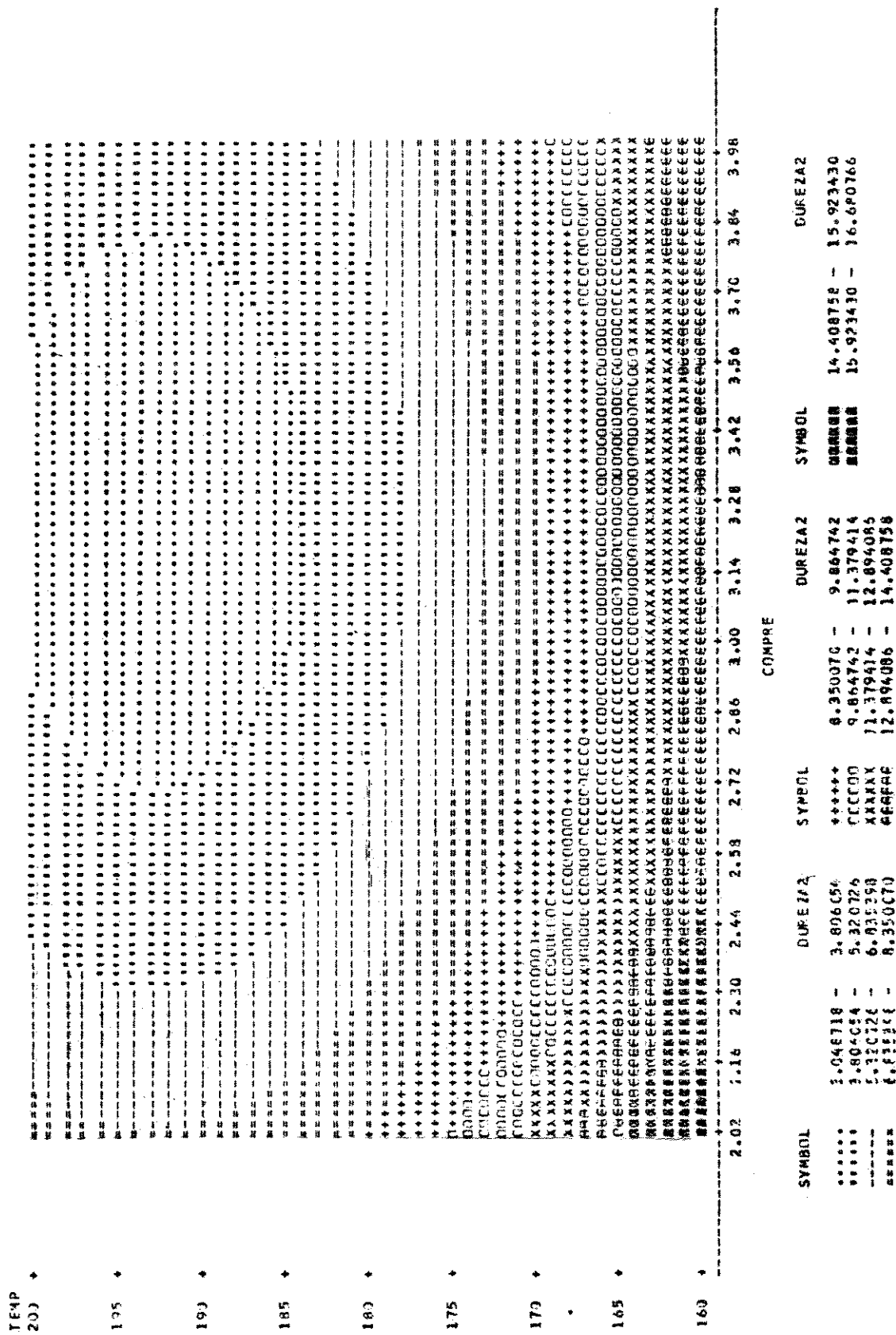


FIGURA 28 - Efeito da temperatura e taxa de compressão na dureza da extrutura interna dos produtos extrudados de guandu.

dem ser obtidos com processamentos na faixa intermediária de 2,72 a 3,70 de taxa de compressão e 187-200°C de temperatura.

h. Absorção de água dos extrudados

O resultado da análise de regressão e os coeficientes da equação de resposta da absorção de água dos produtos extrudados, em função da temperatura e taxa de compressão, podem ser vistos nas tabelas XXVI e XXVII. Os dados experimentais estão na tabela XXVIII.

A figura 29 mostra a superfície resposta da absorção em função da ação combinada da temperatura e taxa de compressão. A medida que aumentamos a temperatura e taxa de compressão as amostras extrudadas têm maior capacidade de absorção de água. A temperatura tem maior influência que a taxa de compressão, principalmente com valores mais altos desta última variável. Os valores mais altos de absorção foram com temperaturas de 199 - 200°C e taxas de compressão de 3,74 a 4. Os menores valores foram para processamento na faixa de 2 a 2,6 de taxa de compressão e 160 - 167°C de temperatura, e acima de 3,52 e temperaturas de 160 a 163°C. Apesar de poros maiores, conforme vimos anteriormente, os extrudados processados a temperaturas baixas apresentaram menor absorção de água. As paredes dos poros são duras (dureza interna) e absorvem pouca água. Os extrudados a temperaturas altas são mais leves, menos duros, com uma estrutura mais porosa, isto é, poros menores e em maior número, permitindo uma maior retenção de água em suas estruturas.

TABELA XXVIII

Absorção de água dos produtos extrudados de guandu(% , bu)
em função da temperatura e taxa de compressão

TEMPERATURA °C	TAXA DE COMPRESSÃO		
	2:1	3:1	4:1
160	55,79	52,76	62,61
	56,03	56,99	62,93
180	88,51	140,86	135,74
	90,94	134,27	130,45
200	132,56	203,55	240,50
	138,57	208,43	252,72

i. Solubilidade da proteína

A farinha de guandu não processada possui 14,2% de proteína solúvel em água para um total de 21,8% de proteína. Durante a extrusão a proteína se desnatura com o calor. A tabela XXIX mostra os valores de proteína solúvel após a extrusão. Estes valores variam de 2,5 a 4,5 nas farinhas extrudadas, com 68 a 82% de desnaturação.

Os coeficientes da equação de regressão estão na tabela XXVI e na tabela XXVII podemos observar as variáveis mais significativas, seus respectivos níveis de significância e coeficiente de determinação. A temperatura, compressão ao quadrado e a interação foram as variáveis mais importantes. A figura 30 mostra o efeito combinado destas variáveis na resposta de proteína solúvel. Para uma determinada taxa de compressão a medida que a temperatura aumenta o teor de proteína solúvel aumenta. Para uma determinada temperatura os valores de proteína solúvel aumentam até uma faixa intermediária de taxa de compressão, tornando-se a diminuir após essa faixa. Os valores maiores estão na faixa de maior temperatura de 197 a 200°C e valores intermediários de 2,48 e 3,22 de taxa de compressão. Os menores valores estão nos mínimos de temperatura e taxa de compressão (160-163°C e 2,00-2,08).

TABELA XXIX

Solubilidade da proteína nos extrudados de guandu(% , bu)
em função da temperatura e taxa de compressão

TEMPERATURA °C	TAXA DE COMPRESSÃO		
	2:1	3:1	4:1
160	2,51	3,25	3,03
	2,60	3,25	3,13
180	2,94	3,72	3,38
	3,13	3,72	3,38
200	3,63	4,51	3,63
	3,82	4,32	3,82

TF4P	SYMBOL	SOLUB	SYMBOL	SOLUB	SYMBOL	SOLUB	SYMBOL	SOLUB	SYMBOL	SOLUB	SYMBOL	SOLUB
203	2.483337 -	2.580390 -	2.774467 -	2.968554 -	3.162741 -	3.356728 -	3.550815 -	3.744902 -	3.938589 -	4.133076 -	4.33076 -	4.530120
199	2.580390 -	2.774467 -	2.968554 -	3.162741 -	3.356728 -	3.550815 -	3.744902 -	3.938589 -	4.133076 -	4.33076 -	4.530120	
190	2.774467 -	2.968554 -	3.162741 -	3.356728 -	3.550815 -	3.744902 -	3.938589 -	4.133076 -	4.33076 -	4.530120		
185	2.968554 -	3.162741 -	3.356728 -	3.550815 -	3.744902 -	3.938589 -	4.133076 -	4.33076 -	4.530120			
180	3.162741 -	3.356728 -	3.550815 -	3.744902 -	3.938589 -	4.133076 -	4.33076 -	4.530120				
175	3.356728 -	3.550815 -	3.744902 -	3.938589 -	4.133076 -	4.33076 -	4.530120					
170	3.550815 -	3.744902 -	3.938589 -	4.133076 -	4.33076 -	4.530120						
165	3.744902 -	3.938589 -	4.133076 -	4.33076 -	4.530120							
160	3.938589 -	4.133076 -	4.33076 -	4.530120								

FIGURA 30 - Efeito da temperatura e taxa de compressão na solubilidade de proteína de produtos extrudados de guandu.

j. Índice de absorção de água das farinhas extrudadas

Os índices de absorção das farinhas extrudadas, dados pelo peso do gel formado por grama de matéria seca, podem ser vistos na tabela XXX, com valores entre 5,57 e 6,99, e o valor máximo de 3 vezes a absorção da farinha crua de guandu (2,31).

As variações em função da taxa de compressão e temperatura foram pequenas com um coeficiente de determinação baixo na análise de regressão, em torno de 62. O não aumento de absorção além de 160°C pode ser explicado pelo fato de que, a esta temperatura, nas condições dos processamentos efetuados, todo amido já tenha sido gelatinizado e sua estrutura completamente destruída.

k. Índice de solubilidade das farinhas extrudadas

Os valores do índice de solubilidade também apresentaram poucas variações em função da temperatura e taxa de compressão, como se pode ver na tabela XXX. A análise de regressão deu um coeficiente de determinação muito baixo, também em torno de 62.

O índice de solubilidade da farinha crua de guandu está em torno de 25%, aproximadamente igual aos índices das farinhas extrudadas. Era de se esperar um aumento nos índices devido a solubilização do amido com a gelatinização e rompimento

TABELA XXX

Índices de absorção de água e de solubilidade da farinha extrudada de guandu em função da temperatura e da taxa de compressão da rosca

TEMPERATURA °C	TAXA DE COMPRESSÃO	ÍNDICE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA g gel/g ms	ÍNDICE DE SOLUBILIDADE % sólidos,bs
160	2:1	5,92	25,00
		6,24	26,96
	3:1	5,57	26,82
		5,82	27,23
	4:1	6,70	24,00
		6,74	23,83
180	2:1	6,48	26,24
		6,51	27,12
	3:1	6,76	27,15
		6,65	30,01
	4:1	6,99	27,03
		6,85	26,88
200	2:1	6,71	24,43
		6,77	26,30
	3:1	6,85	25,80
		6,86	28,00
	4:1	6,30	28,38
		6,74	27,54

dos grânulos. Há porém, uma insolubilização grande das proteínas que se desnaturam, conforme vimos anteriormente.

1. Viscosidade das farinhas extrudadas

Os amilogramas das farinhas extrudadas em função da temperatura e taxa de compressão podem ser vistos nas figuras 31, 32 e 33. O abaixamento rápido da viscosidade com o aquecimento e agitação caracteriza o completo rompimento da estrutura dos grânulos de amido.

Os resultados da análise de regressão como variáveis mais significativas, níveis de significância e coeficiente de determinação, das viscosidades inicial a 25°C (sem aquecimento), a 95°C e após o resfriamento a 50°C , podem ser vistos na tabela XXXI. Na tabela XXXII estão os coeficientes da equação de regressão.

i. Viscosidade inicial a 25°C . Tanto a temperatura como a taxa de compressão têm efeito nas variações da viscosidade inicial (tabela XXXI). A figura 34 mostra a superfície resposta desta variável para a equação de regressão proposta. A viscosidade aumenta com aumentos proporcionais na temperatura e taxa de compressão. Os maiores valores são para temperaturas de $197\text{-}200^{\circ}\text{C}$ e compressão de 3,5 a 4,0, e os valores menores são para temperaturas de $160\text{-}165^{\circ}\text{C}$ e taxas de compressão 2,0 - 2,16.

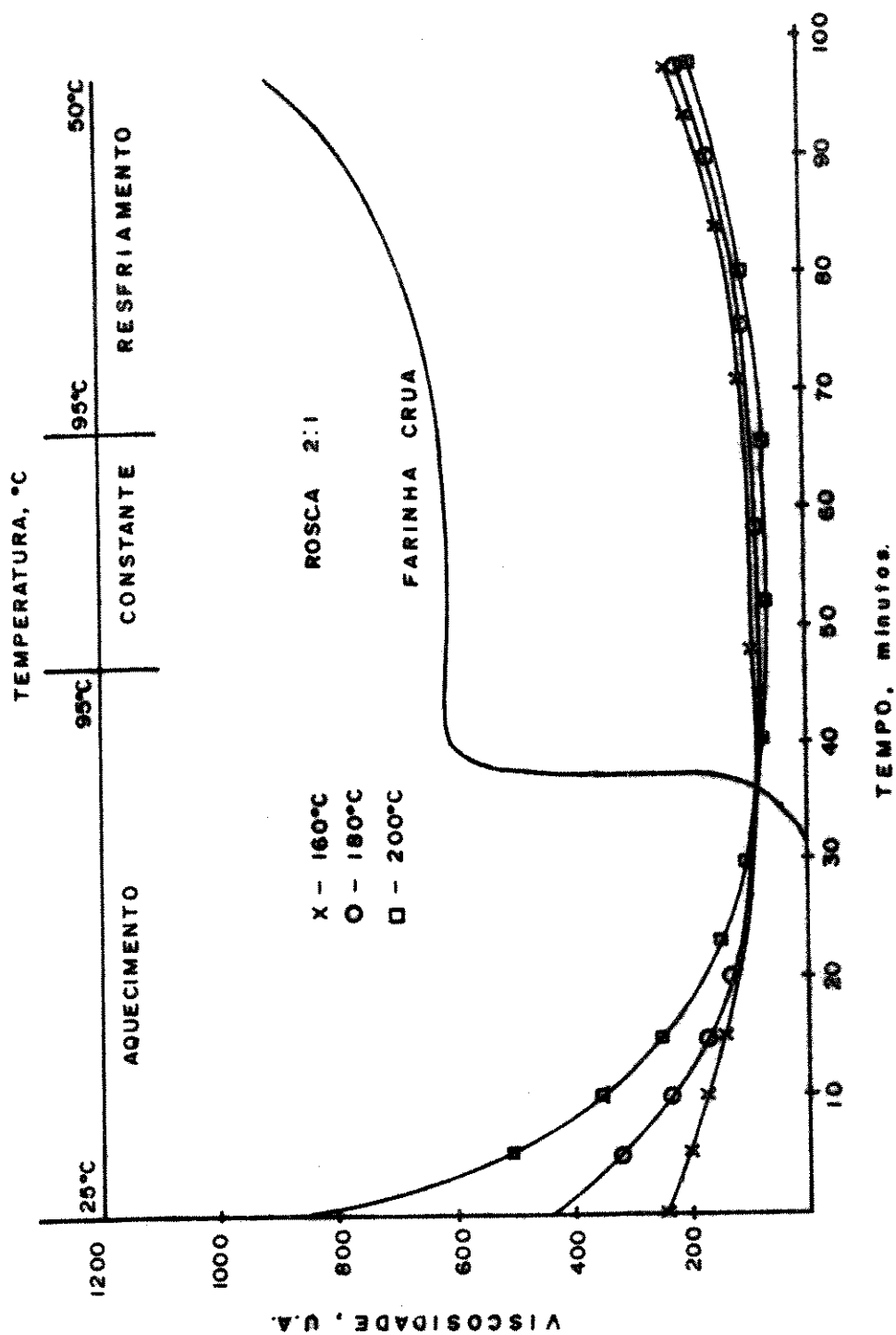


FIGURA 31 - Influência da temperatura de extrusão na viscosidade (U.A.) das farinhas extrudadas de guandu.

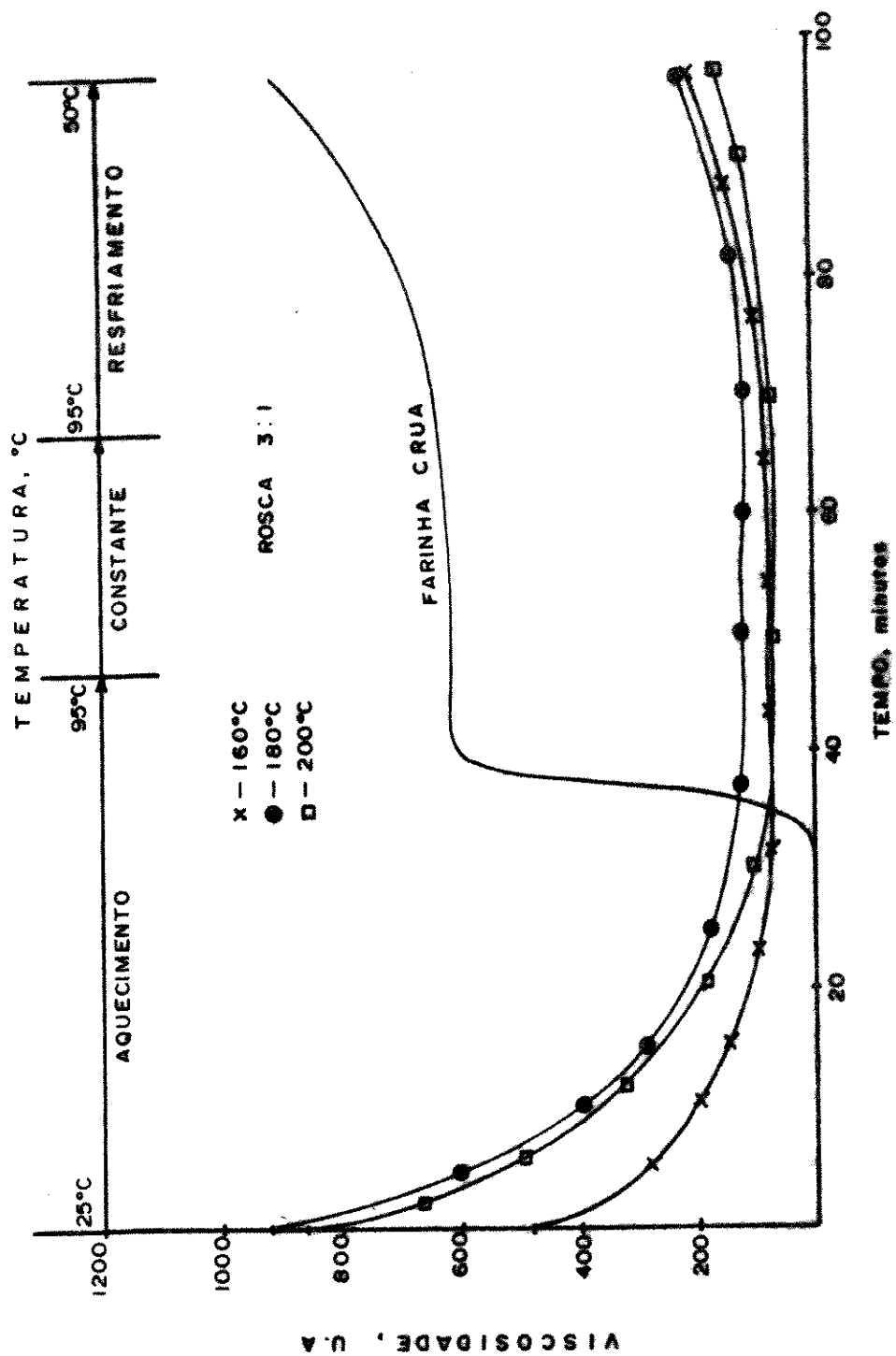


FIGURA 32 - Influência da temperatura de extrusão na viscosidade das farinhas extrudadas de grão de feijão.

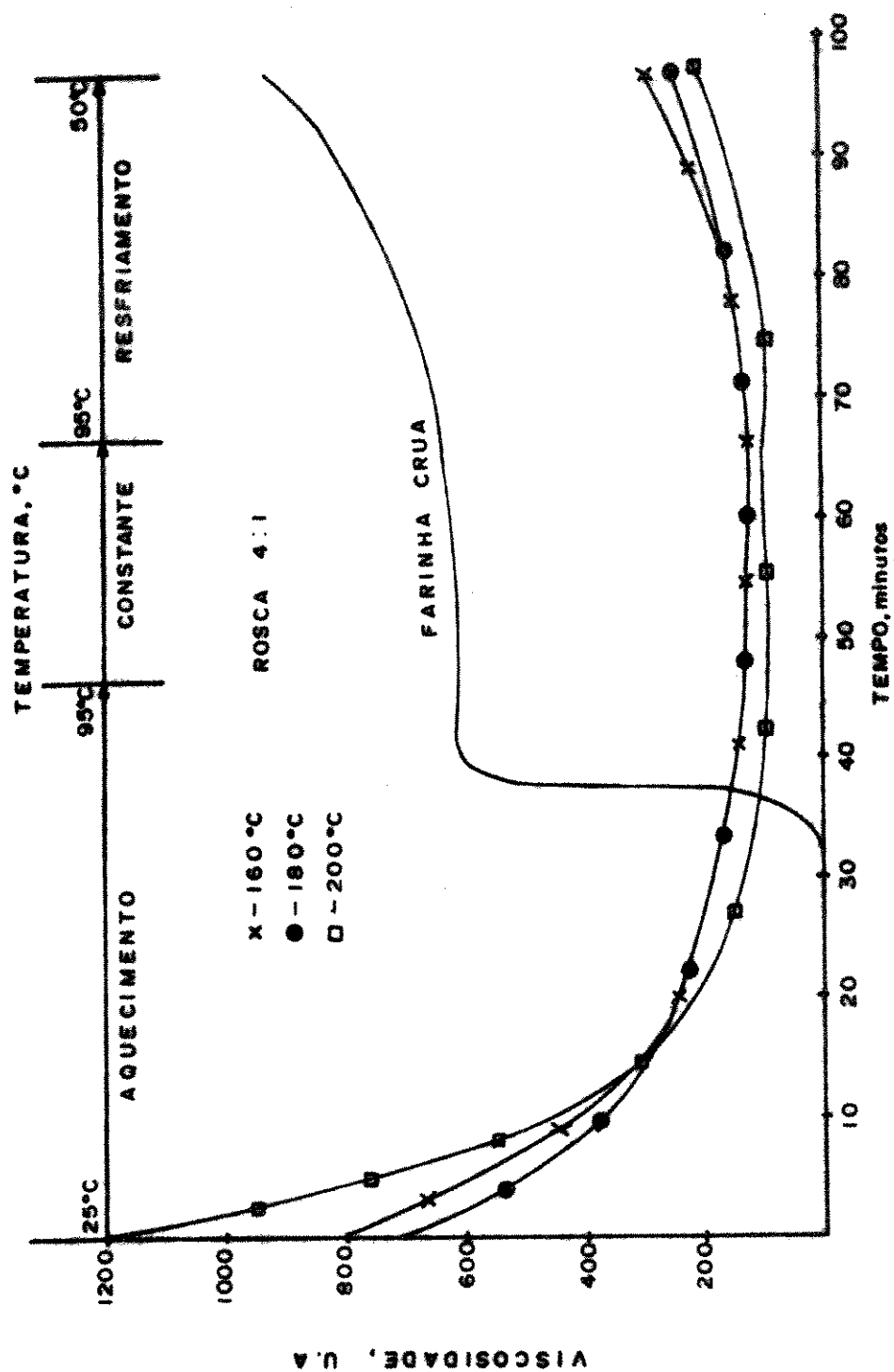


FIGURA 33 - Influência da temperatura de extrusão na viscosidade (U.A) das farinhas extrudadas de guandu.

Variáveis mais significativas para as respostas de viscosidade a 25°C, a 90°C e a 50°C

(após cozimento) das farinhas extrudadas de guandu, em função da

temperatura e taxa de compressão

VARIÁVEIS	VISCOSIDADE A 25°C		VISCOSIDADE A 95°C		VISCOSIDADE A 25°C	
	VAR.	NÍVEL	VAR.	NÍVEL	VAR.	NÍVEL
Temperatura	*	0,0538		-	*	0,0125
Compressão	*	0,0760	*	0,0928	*	0,0135
Temperatura x Temperatura		-		-		-
Compressão x Compressão		-		-		-
Temperatura x Compressão		-		-		-

$$1 - R^2 = 85,2$$

$$2 - R^2 = 74,1$$

$$3 - R^2 = 95,5$$

TABELA XXXII

Coeficientes de regressão do modelo de resposta para as variáveis viscosidade a 25°C, a 95°C, e a 50°C (após o cozimento) das farinhas extrudadas de guandu, em função da temperatura e taxa de compressão

COEFICIENTES	VISCOSIDADE		
	A 25°C	A 95°C	A 50°C
b_0 (interseção)	-229,167	-1696,528	-811,5278
b_1 (temperatura)	-20,29167	19,229	12,104
b_2 (compressão)	957,5	55,4167	17,0833
b_{11} (temperatura x temperatura)	0,112	-0,0520	-0,0333
b_{22} (compressão x compressão)	-40,	4,1667	19,1667
b_{12} (temperatura x compressão)	-2,875	-0,3125	-0,5625

$$\text{Equação de regressão: } y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + b_{12} x_1 x_2$$

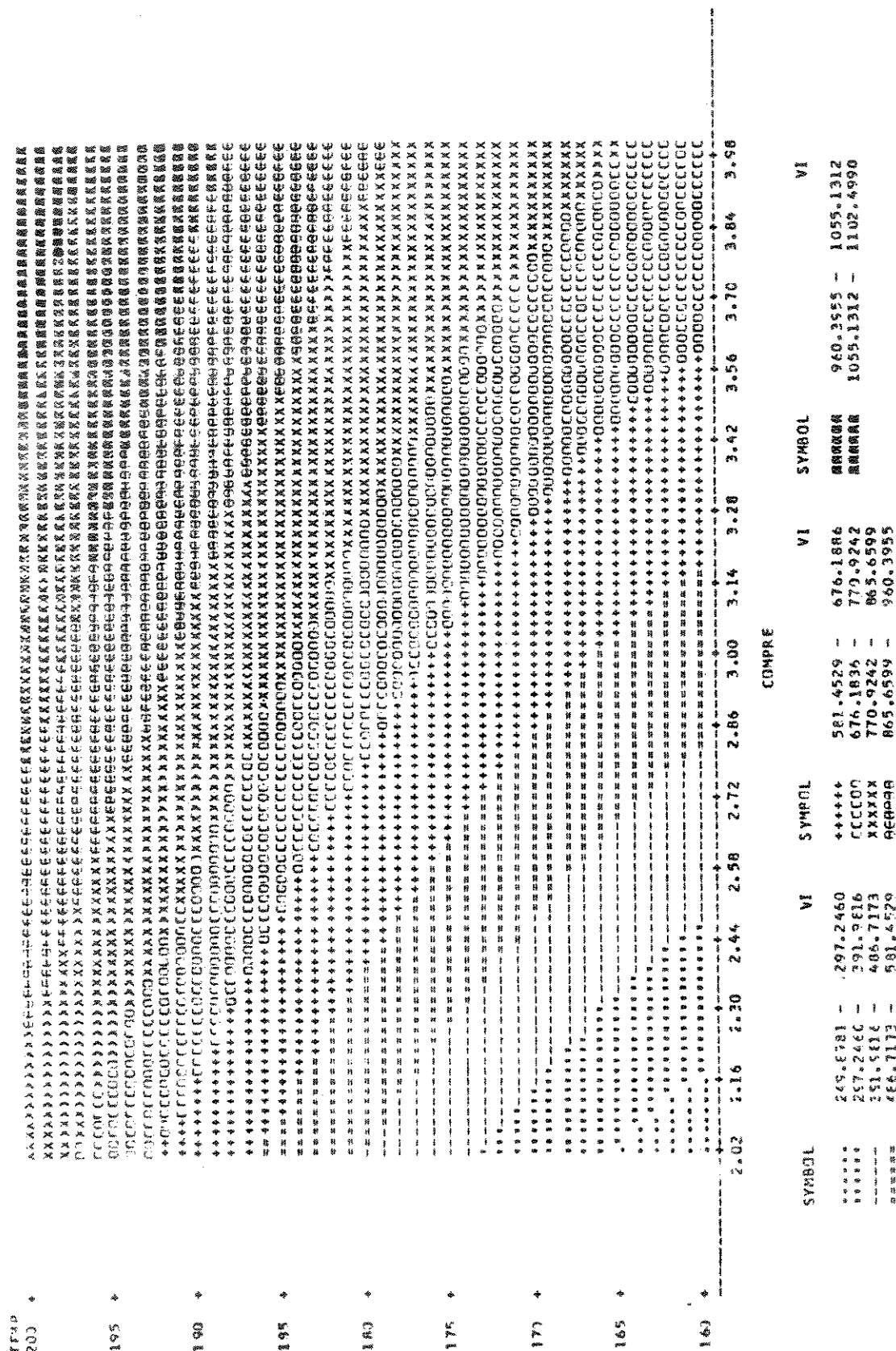


FIGURA 34 - Efeito da temperatura e taxa de compressão na viscosidade a 25°C da farinha extrudada de guandu.

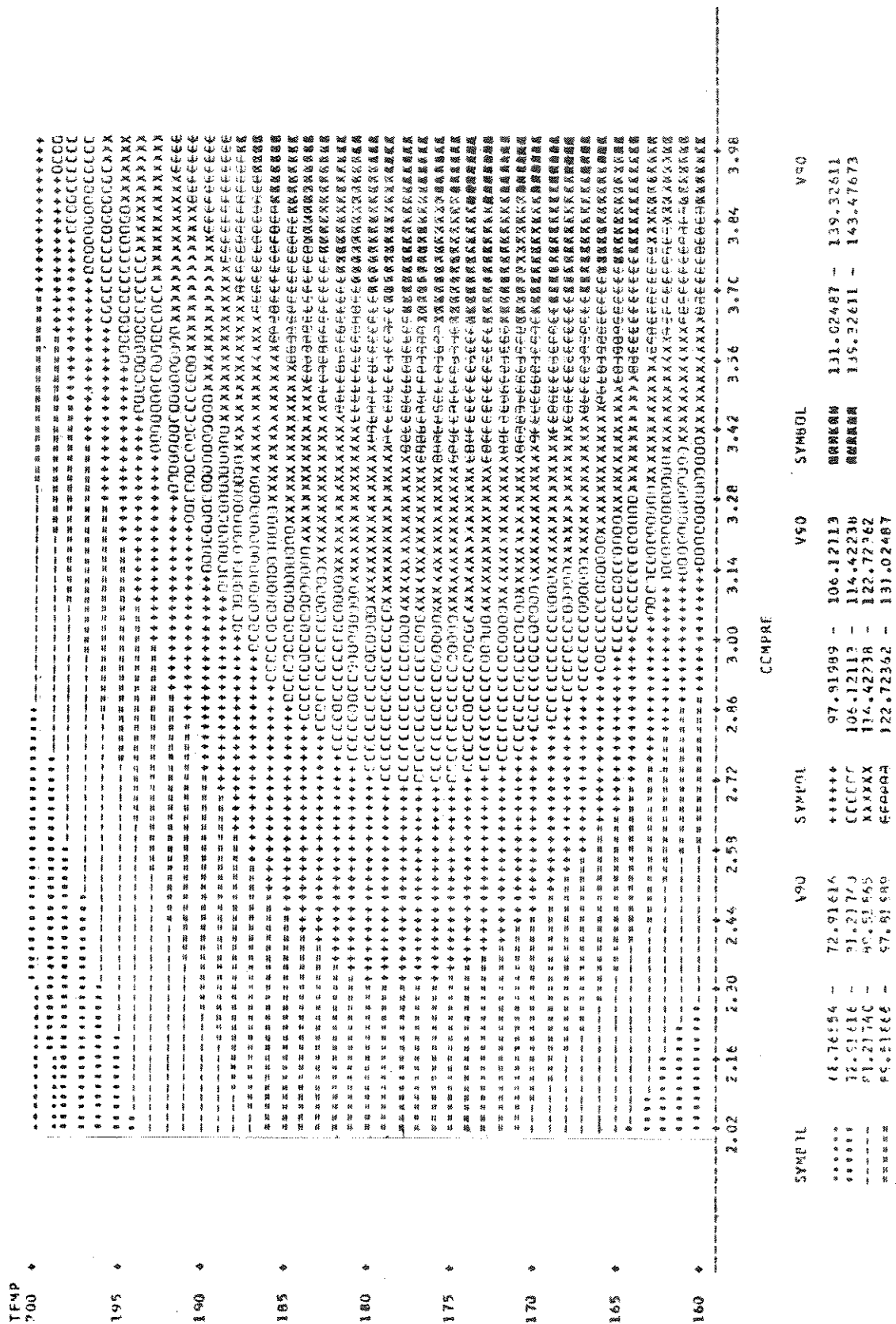


FIGURA 35 - Efeito da temperatura e taxa de compressão na viscosidade a 95°C da farinha extrudada de guandu.



FIGURA 36 - Efeito da temperatura e taxa de compressão na viscosidade a 50°C da farinha ex-
trudada de guandú.

ii. Viscosidade a 95°C. De acordo com a tabela XXXI e conforme podemos observar na figura 35 a taxa de compressão foi a variável mais significativa para os valores de viscosidade a 95°C. A viscosidade aumenta com o aumento da taxa de compressão. Valores idênticos de viscosidade a 95°C podem ser vistos tanto em temperaturas altas como em temperaturas baixas. Os maiores valores estão na faixa de compressão de 3,88 a 4,00 e a temperatura entre 165 e 181°C. Os valores menores de viscosidade estão na faixa de menor taxa de compressão, tanto em temperaturas altas como em temperaturas baixas.

iii. Viscosidade a 50°C. A viscosidade da farinha extrudada de guandu após aquecimento e resfriamento a 50°C no amilógrafo, é afetada tanto pela temperatura como pela taxa de compressão no extrusor, conforme figura 36. A viscosidade aumenta com a diminuição da temperatura e aumento da taxa de compressão. Os maiores valores estão na faixa de compressão de 3,92 a 4 e temperaturas entre 160 e 166°C. Os valores mais baixos estão na faixa de compressão inferior a 3 e temperaturas de 199 e 200°C.

V. CONCLUSÕES

Pelas suas características físicas de formato arredondado os grãos de guandu da variedade estudada apresentam uma maior semelhança à soja do que ao feijão comum. A grande variabilidade de tamanho e aderência da casca nos cotilédones, entretanto, são indesejáveis no processamento de moagem a seco para produção de farinha. Estudos de melhoramento genético são necessários, a exemplo do que foi feito com a soja, afim de obter linhagens mais homogêneas e eliminar a aderência da casca.

O teor de óleo do guandu é baixo (1,63%) e a proporção de embrião é pequena (0,6%) tornando, em nossa opinião, tecnologicamente enviável a sua utilização para extração de óleo. O processamento úmido do grão, entretanto, pode ser objeto de pesquisas visando a extração de amido e proteína, por serem estes os dois componentes de maiores teores nos cotilédones, 44,9 e 20,9%, respectivamente. O grão de guandu possui a exceção do fósforo, maiores teores de minerais na casca do que nos cotilédones.

O condicionamento dos grãos não melhorou a pureza da farinha, medida pelos teores de fibra dos tratamentos em relação ao guandu não condicionado. O condicionamento afetou significativamente o rendimento, não justificando, dessa forma, a sua utilização no processo de moagem desenvolvido.

A produção de dois tipos diferentes de farinhas provocou uma segregação de nutrientes, demonstrando a existência de maiores teores de proteína, lipídeos e minerais nas partes

mais externas dos cotilédones e maior teor de amido na parte mais interna. A farinha de quebra apresentou 15,76% de proteína, 46,78% de amido, 1,53% de gordura, 1,28% de fibra e 2,77% de cinza, enquanto que na farinha de redução tivemos 24,11% de proteína, 32,22% de amido, 1,97% de gordura, 2,05% de fibra e 4,10% de cinzas. O teor de amido danificado foi maior na farinha de redução (1,49%) do que na farinha de quebra (0,26%), devido à obtenção da primeira farinha após passagem por dois sistemas de moagem.

O amido de guandu possui resistência à ruptura sob agitação e aquecimento, conforme foi demonstrado pela estabilidade da pasta a 95°C nos amilogramas. Não houve formação de picos e a viscosidade foi sempre crescente até o resfriamento a 50°C. Estas características foram observadas também nas farinhas. O inchamento e a solubilidade dos grânulos também confirmam esta resistência pelos baixos valores apresentados a 95°C (em torno de 20).

A variação de umidade da farinha de 20 a 26%, antes da extrusão, não afetou as características físicas dos extrudados como a cor, porosidade, densidade, dureza, nas condições em que foram efetuados os processamentos. As propriedades físico-químicas como proteína solúvel, índices de solubilidade e de absorção de água também não apresentaram variações significativas dentro da faixa de umidade estudada e nas condições dos processamentos. A expansão apresentou uma tendência de diminuir com o aumento do teor de umidade, porém com um ligeiro acréscimo à 24%. A viscosidade das farinhas extrudadas apresentou um

comportamento de completa ruptura da estrutura dos grânulos de amido.

A produção de extrudados, o índice de absorção de água e de solubilidade das farinhas extrudadas não tiveram variações significativas em função da temperatura e taxa de compressão da rosca, nas condições em que foram efetuados os processamentos.

O torque foi mais influenciado pela taxa de compressão do que pela temperatura. Aumentando-se a taxa de compressão e diminuindo-se a temperatura aumenta-se o torque. O teor de umidade após a extrusão, a densidade e a dureza dos extrudados diminuem com o aumento de temperatura, sendo mais afetado por esta variável do que pela taxa de compressão. A expansão dos extrudados também diminui com o aumento da temperatura e da taxa de compressão. A farinha extrudada de guandu teve aumentos sempre crescentes de viscosidade a frio quando se aumentou a temperatura e a taxa de compressão. A viscosidade a 95°C foi mais influenciada pela taxa de compressão do que pela temperatura. A viscosidade a 50°C diminui progressivamente com aumentos de temperatura e da taxa de compressão.

A análise por superfícies respostas nos permitiu visualizar o comportamento de diversas características dos produtos extrudados em função da temperatura e taxa de compressão da rosca. Na superfície é possível detectar, para qualquer variação da temperatura e taxa de compressão, que característica de produto pode ser obtida.

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGUILERA, J.M. & KOSIKOWSKI, F.V. Soybean extruded product: a response surface analysis. Journal of Food Science, Chicago, 41(3):647-50, 1976.
2. _____; _____. Extrusion and roll-cooking of corn-soy-whey mixtures. Journal of Food Science, Chicago, 43(1): 225-35, 1978.
3. _____, _____ & HOOD, L.F. Ultrastructural changes occurring during thermoplastic extrusion of soybean grits. Journal of Food Science, Chicago, 41(5):1209-13, 1976.
4. AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. Approved Methods. St. Paul, Minn., 1976.
5. ANDERSON, R.A.; CONWAY, H.F. and PEPLINSK, A.S. Gelatinization of corn grits by roll cooking, extrusion cooking and steaming, Staerke, Stuttgart, 22(4), 130, 1970.
6. ANDERSON, R.A.; CONWAY, H.F.; PFEIFER, U.F. & GRIFFIN, Jr. E.L. Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. Cereal Science Today, St. Paul, Minnesota, 14(1):4-7, 11-12, 1969.
7. _____; _____; _____; _____. Roll and extrusion-cooking of grain sorghum grits. Cereal Science Today, St. Paul, Minnesota, 14(11):372-81, 1969.

8. _____; PFEIFER, V.F.; BOOKWALTER, G.N. & GRIFFIN, E.L., Jr. Instant CSM food blends for worldwide feeding. Cereal Science Today, St. Paul, Minnesota, 16(1):5, 1971.
9. ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 11. ed. Washington, 1970. 1015 p.
10. BAIN, B.K. Extrusion today. Cereal Foods World, St. Paul, Minnesota, 24(4):136-7, 1979.
11. BEETNER, G.; TSAO, T.; FREY, A. & HARPER, J. Degradation of thiamine and riboflavin during extrusion processing. Journal of Food Science, Chicago, 39(1):207-8, 1974.
12. BOETTGER, R.M. Snack food pilot plant. Food Technology, Chicago, 25(7):674-76, 1971.
13. BRESSANI, R.; ELIAS, L.G. & MOLINA, M.R. Estudios sobre la digestibilidad de la proteina de varias especies de leguminosas. Archivos Latinoamericanos de Nutricion, Guatemala, 27(2):215-31, 1977.
14. BURGESS, L.D. & STANLEY, D.W. A possible mechanism for thermal texturization of soybean protein. Journal of the Institute of Canadian Science and Technology Alimentaire, Ottawa, 9(4):228-31, 1976.
15. CABRERA, J.; ZAPATA, L.E.; BUCKLE, I.; BEN-GERA, I.; SANDOVAL, A.M. & SHOMER, I. Production of textured vegetable protein from cottonseed flours. Journal of Food Science, Chicago, 44(3):826-30, 1979.

16. CHIANG, B.Y. & JOHNSON, J.A. Gelatinization of starch in extruded products. Cereal Chemistry, St. Paul, Minnesota, 54(3):436-43, 1977.
17. CLARK, J.P. Texturization by extrusion. Journal of Texture Studies, Westport, 9(5):109-23, 1978.
18. CONWAY, H.F. Extrusion cooking of cereals & soybeans-part I. Food Product Development, 5(3):27, 1971.
19. _____. Extrusion cooking of cereals & soybeans-part II. Food Product Development, 5(4):14, 1971.
20. _____ & ANDERSON, R.A. Protein-fortified extruded food products. Cereal Science Today, St. Paul, Minnesota, 18(4):94-7, 1973.
21. _____; LANCASTER, E.B. & BOOKWALTER, G.N. How extrusion cooking varies product properties. Food Engineering, New York, 40(11):102-14, 1968.
22. CUMMING, D.B.; STANLEY, D.W. & de MAN, J.M. Fate of water soluble soy protein thermoplastic extrusion. Journal of Food Science, Chicago, 38(2):320-3, 1973.
23. _____; _____; _____. Texture-structure relationships intexturized soy protein II. Textural properties and ultrastructure of an extruded soybean product. Journal of the Institute of Canadian Science and Technology Alimentaire, Ottawa, 5(3):124-8, 1972.

24. DAHIYA, B.S. Inheritance of protein content and its correlation with grain yield in pigeon pea (*Cajanus cajan* (L.) Millps). Qualitas Plantarum, Deen Haag, 27(3):327-34, 1977.

25. EL-DASH, A.A. Application and control of thermoplastic extrusion of cereals for food and industrial uses. In: Cereals: a Renewable Resource, Theory and Practice. Y Pomeranz and L. Munch, eds. American Association of Cereal Chemists, Minnesota, St. Paul. USA, 728 p. 1982.

26. ELIAS, L.G.; CRISTALES, F.R.; BRESSANI, R. Y.; MIRANDA, H. Composição química y valor nutritivo de algunas leguminosas de grano. Turrialba, Turrialba, 26(4):375-80, 1976.

27. EVANS, I.M. & BOULTER, D. S-methyl-L-cystein content of various legume meals. Qualitas Plantarum, Plant Foods for Human Nutrition, Netherlands, 24(3/4):257-61, 1975.

28. GOMEZ, M.H. & AGUILERA, J.M. Changes in the starch fraction during extrusion-cooking of corn. Journal of Food Science, 48(2):378-81, 1983.

29. GOPALA KRISHNA, T.; MITRA, R.K. and BHATIA, C.R. Seed globulins of *Cajanus cajan*. Qualitas Plantarum, Plant Foods for Human Nutrition, Netherlands, 27(3):313-25, 1977.

30. HARMANN, D.V. & HARPER, J.M. Effect of extruder geometry on torque and flow. Transactions of the ASAE, Madison, Wis, 16(6):1175-8, 1973.

31. _____ & _____. Modeling a forming foods extruder. Journal of Food Science, Chicago, 39(6):1099-104, 1974.
32. HARPER, J.M. Food extrusion. In: _____. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. Boca Raton, 1979. p. 155-210.
33. _____. Extrusion processing of food. Food Technology, Chicago, 32(7):67-72, 1978.
34. HORN, R.E. & BRONIKOWSKI, J.C. Economics of extrusion processing. Cereal Foods World, 24(4):140-1, 4-5, 1979.
35. HULSE, J.H. Problems of nutritional quality of pigeon pea and chick-pea and prospects of research. In: Nutritional Standards and Methods of Evaluation for Food Legumes Breeders. Ottwa, IDRC, 1977. 100 p.
36. KAMER, J.H.V. & GINKEL, L. Van. Rapid determination of crude fiber in cereals. Cereal Chemistry, St. Paul. Minnesota, 29(4):239-51, 1952.
37. KIM, J.C. & ROTTIER, W. Modification of aestivum wheat semolina by extrusion. Cereal Foods World, St. Paul. Minnesota, 24(2):62-6, 1980.
38. KURIEN, P.P. & PARPIA, H.A.B. Pulse Milling in India. I - Processing and milling of Tur Arhar(*Cajanus cajan* Linn.). Journal of Food Science and Technology, India, 5:203-7, 1968.

39. LAXMAN SINGH; SHARMA, D; DAODHAR, A.D. & SHARMA, Y.K. Variation in protein, methionine, tryptophan and cooking period in pigeon pea (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.). Indian Journal of Agricultural Sciences, New Delhi, 43 (8):795-8, 1973.
40. LINEBACK, D.R. and KE, C.K. Starches and low - molecular-weight carbohydrates from chick pea and horse bean flours. Cereal Chemistry, 52(3):335-47, 1975.
41. LORENZ, K.; WELSH, J.; NORMANN, R.; BEETNER, G. & FREY, A. Extrusion processing of triticale. Journal of Food Science, Chicago, 39(3):572-6, 1974.
42. LOVADINI, L.A.C. & MASCARENHAS, H.A.A. Estudos para definição da melhor época de plantio do guandu. Bragantia, Campinas, 33:5-7, jan. 1974. (nota nº 2).
43. MAURICE, T.J. & STANLEY, D.W. Texture-structure relationships in texturized soy protein. IV. Influence of process variables on extrusion texturization. Canadian Institute of Food Science and Technology Journal, Ottawa, 11 (1):1-6, 1978.
44. _____; BURGESS, L.D. & STANLEY, D.W. Texture-structure relationships in texturized soy protein. III. Textural evaluation of extruded products. Canadian Institute of Food Science and Technology Journal, Ottawa, 9(4): 173-6, 1976.

45. MERCIER, C. Effect of extrusion-cooking on potato starch using a twin screw french extruder. Die Starke, Stuttgart, 29(2):48-52, 1977.
46. _____ & FEILLET, P. Modification of carbohydrate components by extrusion-cooking of cereal products. Cereal Chemistry, 52(3):283-97, 1975.
47. _____; CHARBONNIERE, R.; CREBAUT, J. & GUERIVIERE, J.F. Formation of amylose-lipid complexes by twin-screw extrusion cooking of manioc starch. Cereal Chemistry, St. Paul, Minnesota, 57(1):4-9, 1980.
48. MYERS, R.H. Response Surface Methodology. Boston, Allyn and Bacon, Boston, U.S.A.
49. MOLINA, M.R.; BRESSANI, R. & ELIAS, L.G. Non-convencional legume grains as protein sources. Food Technology, 31(5):188-90, 1977.
50. MORTON, J.H. The pigeon pea (*Cajanus cajan*, Millsp), a high-protein tropical bush legume. Hort Science, Virginia, 11(1):11-19, 1976.
51. MOTTERN, H.H.; SPADARO, J.S. & GALLO, A.S. Cooking extrusion-expansion of rice. Food Technology, Chicago, 23(4):169-71, 1969.
52. MTENGA, L.A. & SUGIYAMA, T. A note on the amino-acid composition of some legume seeds grown in Tanzania. East African Agricultural and Forestry Journal, Nairobi, 39(3):307-10, 1974.

53. de MUELENAERE, H.J.H. & BUZZARD, J.L. Cooker extruders in service of world feeding. Food Technology, 23(3):345 - 51, 1969.
54. MUSTAKAS, G.C. Full-fat and defatted soy flours for human nutrition. Journal of the American Oil Chemists Society, Illinois, 48(12):815-19, 1971.
55. _____; GRIFFIN, JR., E.L.; ALLEN, L.E. & SMITH, O.B. Production and nutritional evaluation of extrusion-cooked full-fat soybean flour. The Journal of the American Oil Chemists Society, Illinois, 41(9):607-14, 1964.
56. _____; ALBRECHT, W.J.; BOOKWALTER, G.N.; MCGHEE, J. E.; KWOLER, W.F. & GRIFFIN, Jr., E.L. Extruder-processing to improve nutritional quality, flavor, and keeping quality of full-fat soy flour. Food Technology, Chicago, 24(11):102-8, 1970.
57. NAIVIKUL, O. and D'APPOLONIA, B.L. Carbohydrates of legume flours compared with wheat flour. II. Starch. Cereal Chemistry, 56(1):24-8, 1979.
58. NELSON, N.A. A photometric adaptation of somogyi method for the determination of glucose. Journal of Biological Chemistry, Baltimore, 135:135-75, 1948.
59. PATON, D. & SPRATT, W.A. Component interactions in the extrusion cooking process. I. Processing of Chlorinated and untreated soft wheat flour. Cereal Chemistry, 55(6):973-80, 1978.

60. RACHIE, K.O. Relative agronomic merits of various food legumes for the Lowland Tropics. In: Potentials of field beans and other food legumes in Latin America, Serie Seminars n° 2E. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia, February 26-March 1. 1973.
61. ROSSEN, J.L. & MILLER, R.C. Food extrusion. Food Technology, Chicago, 27(8):46-53, 1973.
62. SANDERUDE, K.G. Continuous cooking extrusion: benefits to the snack food industry. Cereal Science Today, St. Paul, Minnesota, 209-14, 1969.
63. SANDERUDE, K.G. & ZIEMBA, J.V. New products come easy with extrusion cooking. Food Engineering, New York, 9(8): 84-7, 1968.
64. SANDSTEDT, R.M. & MATTERN, P.J. Damaged starch. Quantitative determination in flour. Cereal Chemistry, St. Paul. Minnesota, 57(1):4-9, 1980.
65. SANCHEZ NIEVA, F. & HERNANDEZ, I. Recomendaciones para enlatar gandures secos. Rio Piedras, Puerto Rico, University of Puerto Rico, 1964 (Boletim, 186).
66. SANCHEZ NIEVA, F.; RODRIGUEZ, A.S. & BENERO, J.R. Improved methods of canning pigeon peas. Puerto Rico, Univ. Puerto Rico, Agr. Expt Station, Rio Pedras, 1961. (Bulletin, 157).

67. SARRUGE, J.R. & HAAG, H.P. Análises Químicas em Plantas. Piracicaba, USP, 1974. 56 p.
68. SCHOCH, T.J. and MAYWALD, E.C. Preparation and properties of various legume starches. Cereal Chemistry, 45(6): 564-73, 1968.
69. SIEGEL, A. & FAWCETT, B. Food legume processing and utilization. Ottawa, IDRC, 1976. 88 p.
70. SINGH, S.; SINGH, H.D. & SIKKA, K.C. Distribution of nutrients in the anatomical parts of common indian pulses. Cereal Chemistry, 45(1):12-19, 1968.
71. SMITH, O.B. Extrusion and forming: creating new foods. Food Engineering. New York, 16(7):48-50, 1975.
72. _____. Why extrusion cooking. Cereal Foods World, St. Paul, Minnesota, 21(1):4-8, 1976.
73. _____. Technical aspects of extrusion. Cereal Foods World, St. Paul, Minnesota, 24(4):132-5, 1979.
74. SMITH, R.E. Probe... snack-improving ingredients. Food Engineering, New York, 12(5):109-13, 1971.
75. SPACKMAN, D.H.; STEIN, W.H. and MOORE, S. Automatic recording apparatus for use in the chromatography of aminoacids. Analitical Chemistry, Easton, 30:1190.

76. SPADARO, J.J.; MOTTERN, H.H. & CALLO, A.S. Extrusion of rice with cottonseed and peanut flours. Cereal Science Today, St. Paul, Minnesota, 16(8):238, 1971.
77. STANLEY, D.W. & de MAN, J.M. Structural and mechanical properties of textured proteins. Journal of Texture Studies, Westport, 9(2):59-76, 1978.
78. SWAMINATHON, M.S. & JAIN, H.K. Food legume in indian agriculture. In: Nutritional Improvement of Food Legumes by Breeding. PAG of the United Nations, New York, 1973. p. 69-82.
79. TARANTO, M.V.; CEGLA, G.F. & RHEE, K.C. Morphological, ultrastructural and rheological evaluation of soy and cottonseed flours texturized by extrusion and non extrusion processing. Journal of Food Science, Chicago, 43: 973-9, 1978.
80. TOFT, G. Snack foods: continuous processing techniques. Cereal Foods World, St. Paul, Minnesota, 24(4):143-3, 1979.
81. VIEIRA, C. Plant introduction and germoplasm of *Phaseolus vulgaris* and other food legumes. In: Potentials of field beans and other legumes in Latin America. Serie Seminars N° 2E, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali-Colombia, Feb. 26, Mar. 1. 1973.

82. WILLIAMS, M.A.; HORN, R.E. & RUGALA, R.P. EXTRUSION - An in-depth look a versatile process. Part I. Food Engineering, New York, 18(11):57-62, 1977.
83. WILLIAMS, M.A.; HORN, R.E. & RUGALA, R.P. EXTRUSION - An in-depth look a versatile process. Part. II. Food Engineering, New York, 18(12):23-5, 1977.