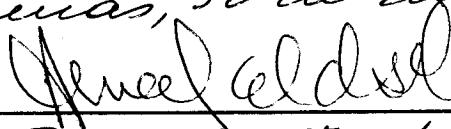


UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS E AGRÍCOLA

PARECER

Este exemplar corresponde a redação final da tese defendida por Maria Josefina Guerra e aprovada pela Comissão Julgadora em 30.11.84.

Campinas, 30 de novembro de 1984.



Presidente da Banca

DESENVOLVIMENTO DE UM PROCESSO DE MOAGEM DE
SORGO (*Sorghum bicolor*, L., MOENCH) E DE PRO
DUÇÃO DE FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS

MARISA JOSEFINA GUERRA M.

Bióloga

Prof. Dr. Ahmed A. El-Dash

Orientador

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, para a obtenção do Título de Doutor em Ciências de Alimentos.

DEDICATÓRIA

Ofereço esta tese aos meus três "parceiros"

Elbio

Renato Paulino e

Jorge Luis

e às três "mães" que me brindaram dedicação e ajuda inestimável

Carmen Sabina,

Angelina e

Maria das Dores

ÍNDICE

	Página
ÍNDICE DE TABELAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
RESUMO.....	xx
SUMMARY.....	xxii
I. INTRODUÇÃO.....	01
II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	03
A. CULTURA E PRODUÇÃO DO SORGO.....	03
B. ESTRUTURA E COMPOSIÇÃO.....	04
C. QUALIDADE NUTRICIONAL.....	06
D. UTILIZAÇÃO DO SORGO.....	08
E. PROCESSAMENTO DO SORGO.....	10
1. Descorticação.....	11
2. Moagem úmida.....	15
3. Moagem seca.....	16
4. Produção de farinhas pré-gelatinizadas de sorgo.....	19
a. Aspectos gerais do processo de extrusão	22
b. Fatores que afetam o processo de extru- são.....	23
III. MATERIAIS E MÉTODOS.....	26
A. MATERIAIS.....	26
1. Matéria prima.....	26

	Página
2. Reagentes e ingredientes.....	26
3. Equipamentos.....	26
B. MÉTODOS EXPERIMENTAIS.....	28
1. Produção de farinhas de sorgo.....	28
a. Condicionamento dos grãos e farinhas de sorgo.....	28
b. Moagem em moinho de rolos.....	29
i. Moinho Buhler Automatic 202.....	29
ii. Moinho Brabender Quadrumat Senior.	31
c. Descorticação e moagem em moinho de ro los.....	31
i. Descorticação do grão.....	31
ii. Moagem do grão descorticado.....	33
2. Produção de farinhas pré-gelatinizadas...	33
a. Processo hidrotérmico.....	34
i. Maceração do grão descorticado.....	34
ii. Tratamento térmico e secagem.....	34
b. Processo de extrusão.....	35
i. Preparação das amostras.....	35
ii. Preparação do extrusor.....	36
iii. Desenho experimental.....	37
C. MÉTODOS ANALÍTICOS.....	38
1. Dimensões e peso dos grãos.....	40
2. Densidade dos grãos de sorgo.....	40
3. Índice de dureza.....	40
4. Composição centesimal.....	40
a. Umidade.....	41

	Página
b. Proteína.....	41
c. Lipídios.....	41
d. Cinza.....	42
e. Fibra.....	42
5. Açúcares.....	42
a. Extração dos açúcares.....	42
b. Açúcares redutores.....	43
c. Açúcares totais.....	43
6. Amido.....	43
7. Grau de gelatinização.....	43
8. Taninos.....	44
9. Determinação de aminoácidos.....	44
10. Susceptibilidade enzimática.....	45
11. Digestibilidade in vitro.....	46
12. Vitaminas.....	46
a. Tiamina.....	46
b. Riboflavina.....	46
c. Niacina.....	47
13. Minerais.....	47
a. Ferro.....	47
b. Cálcio.....	47
c. Fósforo.....	47
14. Cor.....	47
15. Determinação de viscosidade das farinhas.	48
16. Índices de absorção de água e solubilida- de em água.....	49
17. Determinação da densidade.....	50

	Página
18. Determinação do grau de expansão.....	51
19. Medição do torque.....	51
D. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA PROTEÍNA.....	51
1. Método biológico.....	51
a. Preparo das dietas.....	51
b. Determinação da relação da eficiência protéica	52
c. Digestibilidade in vivo.....	52
2. Método químico.....	53
E. MÉTODOS ESTATÍSTICOS.....	54
1. Ajustes de modelos polinomiais de respos- tas.....	54
2. Análise de superfície de respostas.....	55
IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	60
A. CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA PRIMA.....	60
1. Propriedades físicas.....	60
2. Composição centesimal.....	63
B. PRODUÇÃO DE FARINHAS DE SORGO.....	65
1. Moagem em moinho de rolos.....	65
a. Moinho Buhler Automatic 202.....	65
i. Efeito do condicionamento no rendi- mento das frações do grão.....	66
ii. Efeito do condicionamento na compo- sição das frações do grão.....	71
b. Moinho Brabender Quadrumat Senior.....	74
i. Efeito do condicionamento no rendi- mento das frações do grão.....	75

	Página
ii. Efeito do condicionamento na composição das frações do grão.....	78
2. Descorticação e moagem em moinho de rolos	81
a. Descorticação de grãos.....	82
i. Escala de laboratório.....	82
ii. Escala de planta piloto.....	95
b. Moagem dos grãos descorticados.....	101
i. Características físico-químicas da farinha de sorgo.....	102
ii. Propriedades nutricionais da farinha.....	104
C. PRODUÇÃO DE FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS DE SORGO.....	115
1. Processo hidrotérmico.....	115
a. Efeito do tempo e da temperatura de maceração.....	115
b. Efeito do tempo de tratamento térmico.	116
i. Características físico-químicas das farinhas pré-gelatinizadas.....	118
ii. Propriedades nutricionais.....	128
2. Processo de extrusão.....	134
a. Efeito do conteúdo de umidade da farinha na vazão de alimentação.....	134
b. Efeito do conteúdo de umidade da farinha e da temperatura de extrusão no torque.....	137
c. Efeito do teor de umidade da farinha e	

	Página
da temperatura de extrusão no grau de expansão.....	137
d. Efeito do teor de umidade da farinha e da temperatura de extrusão na densida- de do produto.....	139
e. Efeito do teor de umidade da farinha e da temperatura de extrusão nas caracte- rísticas de viscosidade.....	145
i. Viscosidade de pasta fria.....	150
ii. Viscosidade de pasta quente.....	153
iii. Viscosidade de retrogradação da pasta.....	157
f. Efeito do teor de umidade da farinha e da temperatura de extrusão no índice de absorção de água.....	157
g. Efeito do teor de umidade da farinha e da temperatura de extrusão no índice de solubilidade em água.....	161
h. Efeito do teor de umidade da farinha e da temperatura de extrusão na suscepti- bilidade enzimática.....	165
i. Efeito do teor de umidade da fari- nha e da temperatura de extrusão na cor dos extrudados.....	168
j. Efeito do teor de umidade da farinha e da temperatura de extrusão na composi- ção e propriedades nutricionais.....	173

	Página
i. Efeito no conteúdo de proteínas e açúcares.....	176
ii. Efeito no conteúdo de vitaminas e minerais.....	176
iii. Efeito no conteúdo de aminoácidos e escore químico.....	180
V. CONCLUSÕES.....	185
VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	188

ÍNDICE DE TABELAS

	Página
I Plano experimental para os ensaios de extrusão	39
II Características físicas e físico-químicas do grão e a farinha integral de sorgo.....	61
III Composição centesimal do grão de sorgo.....	64
IV Rendimento e composição das frações de moagem do sorgo em moinho Buhler 202.....	67
V Efeito de umidade de condicionamento e tempo de descanso sobre o rendimento das frações da moagem de sorgo em moinho Buhler 202.....	69
VI Coeficiente de regressão para o rendimento obtido no moinho Buhler 202 em relação as variáveis umidade e tempo de descanso.....	72
VII Efeito da umidade de condicionamento e tempo de descanso sobre a composição das frações obtidas na moagem de sorgo em moinho Buhler 202...	73
VIII Rendimento e composição das frações de moagem do sorgo em moinho Brabender Quadrumat Senior	76
IX Efeito da umidade de condicionamento e tempo de descanso sobre o rendimento das frações da moagem de sorgo em moinho Brabender Quadrumat Senior.....	77

	Página
X Efeito da umidade de condicionamento e tempo de descanso sobre a composição das frações obtidas na moagem de sorgo em moinho Brabender Quadrumat Senior.....	80
XI Efeito do tempo de descorticação do sorgo em beneficiadora Kepler Weber sobre o rendimento do grão descorticado.....	84
XII Efeito do condicionamento do sorgo sobre os rendimentos usando beneficiadora Kepler Weber.....	87
XIII Efeito da umidade de condicionamento do sorgo, tempo de descanso e tempo de descorticação em beneficiadora Suzuki sobre o rendimento em grãos descortificados.....	89
XIV Coeficiente de regressão para o rendimento na beneficiadora Suzuki em relação as variáveis de condicionamento e tempo de descorticação...	91
XV Efeito da umidade de condicionamento e tempo de descanso sobre a composição do grão de sorgo descorticado em beneficiadora Suzuki.....	93
XVI Efeito do tempo de descorticação sobre a cor do grão de sorgo descorticado em beneficiadora Suzuki.....	94

XVII	Efeito do tempo de descorticação do sorgo em beneficiadora D'Andrea sobre o rendimento, cor, conteúdo de lipídios e cinza do grão descorticado.....	97
XVIII	Composição centesimal do grão de sorgo descorticado em beneficiadora D'Andrea.....	99
XIX	Características de viscosidade das farinhas do grão de sorgo integral e descorticado em beneficiadora D'Andrea.....	100
XX	Rendimento de moagem de sorgo descorticado moído em moinho de rolos Brabender Quadrumat Senior.....	103
XXI	Composição centesimal das frações de sorgo obtidas dos grãos descortificados moídos em moinho de rolos Brabender Quadrumat Senior.....	103
XXII	Características de viscosidade da farinha de sorgo descorticado obtida em moinho de rolos Brabender Quadrumat Senior.....	106
XXIII	Efeito da descorticação e moagem do grão de sorgo sobre o conteúdo de algumas vitaminas e minerais.....	107

	Página
XXIV	Efeito da descorticação e moagem do grão de sorgo sobre o conteúdo de aminoácidos..... 110
XXV	Escore químico das proteínas de sorgo..... 111
XXVI	Efeito da descorticação e moagem sobre a qualidade das proteínas de sorgo..... 112
XXVII	Efeito da descorticação e moagem sobre a digestibilidade das proteínas de sorgo..... 114
XXVIII	Composição centesimal das farinhas de sorgo pré-gelatinizadas por processo hidrotérmico. 119
XXIX	Efeito do processo hidrotérmico sobre as características de viscosidade das farinhas de sorgo pré-gelatinizadas..... 123
XXX	Efeito do processo hidrotérmico sobre a cor, índice de absorção (IAA) e de solubilidade em água (ISA) de farinhas de sorgo pré-gelatinizadas..... 125
XXXI	Efeito do processo hidrotérmico sobre o conteúdo de vitaminas e minerais das farinhas de sorgo pré-gelatinizadas..... 129
XXXII	Efeito do processo hidrotérmico sobre o conteúdo de aminoácidos das farinhas de sorgo pré-gelatinizadas..... 131

	Página	
XXXIII	Escore químico das proteínas de farinha de sorgo pré-gelatinizadas por processo hidrotérmico.....	132
XXXIV	Efeito do processo hidrotérmico sobre a digestibilidade "in vitro" das proteínas de sorgo.....	133
XXXV	Efeito da umidade inicial da farinha de sorgo e da temperatura de extrusão sobre o torque produzido.....	138
XXXVI	Efeito da umidade inicial da farinha de sorgo e da temperatura de extrusão sobre o grau de expansão dos extrudados.....	140
XXXVII	Efeito da umidade da farinha e da temperatura de extrusão sobre a densidade dos extrudados.....	143
XXXVIII	Coefficiente de regressão para a densidade dos extrudados de sorgo.....	144
XXXIX	Coefficientes de regressão para as variáveis de viscosidade em função do conteúdo de umidade e a temperatura de extrusão das farinhas de sorgo.....	151

	Página
XL Efeito da umidade inicial da farinha de sorgo e da temperatura de extrusão sobre a viscosidade de pasta fria (25°C) da farinha extrudada	152
XLI Efeito da umidade inicial da farinha de sorgo e a temperatura de extrusão sobre a viscosidade de pasta quente (95°C).....	155
XLII Efeito da umidade inicial da farinha de sorgo e da temperatura de extrusão sobre a retrogradação da pasta a 50°C.....	158
XLIII Efeito da umidade inicial da farinha e a temperatura de extrusão sobre o IAA (índice de absorção de água) da farinha extrudada.....	160
XLIV Coeficientes de regressão para o índice de absorção de água de extrudados de sorgo em função do conteúdo de umidade da farinha e da temperatura de extrusão.....	162
XLV Efeito da umidade inicial da farinha de sorgo e a temperatura de extrusão sobre o ISA (índice de solubilidade em água) da farinha extrudada.....	164
XLVI Coeficiente de regressão para o índice de solubilidade em água das farinhas de sorgo ex-	

	Página
trudadas a diferentes umidades iniciais e temperatura de extrusão.....	166
XLVII Efeito da umidade inicial da farinha e a temperatura de extrusão sobre os parâmetros da cor da farinha de sorgo extrudada.....	172
XLVIII Coeficiente de regressão para as determinações de cor nas farinhas de sorgo extrudadas com diferentes umidades e temperaturas de extrusão	174
XLIX Efeito da umidade da farinha e temperatura de extrusão sobre o conteúdo dos açúcares redutores e totais da farinha extrudada.....	177
L Efeito do processo de extrusão sobre o conteúdo de vitaminas e minerais dos extrudados de sorgo.....	178
LI Efeito do conteúdo de umidade das farinhas de sorgo e da temperatura de extrusão sobre o teor de aminoácidos das farinhas pré-gelatinizadas.....	181
LII Escore químico das farinhas de sorgo pré-gelatinizadas por processo de extrusão.....	182
LIII Efeito da umidade das farinhas e da temperatura de extrusão sobre a digestibilidade "in vitro" das farinhas pré-gelatinizadas.....	184

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA nº	Página
1. Diagrama de moinho Buhler Automatic 202.....	30
2. Diagrama do moinho Brabender Quadrumat Senior	32
3. Tipos de superfície de resposta geradas por uma equação de segunda ordem.....	59
4. Efeito da umidade de condicionamento e tempo de descanso sobre o rendimento em farinha obtida da moagem de sorgo em moinho Buhler 202.....	70
5. Efeito da umidade de condicionamento e tempo de descanso sobre o rendimento em farinha obtida da moagem de sorgo em moinho Brabender Quadrumat Senior.....	79
6. Efeito do tempo de descorticação do sorgo em be- neficiadora Kepler Weber sobre a remoção do fa- relo e a composição do grão descorticado.....	85
7. Efeito da umidade de condicionamento e tempo de descanso sobre o rendimento de grãos descortica- dos em beneficiadora Suzuki durante diferentes tempos.....	90

	Página
8. Susceptibilidade enzimática da farinha crua de grãos descorticados moídos em moinho de rolos Brabender Quadrumat Senior.....	105
9. Efeito do tempo e temperatura de maceração dos grãos descorticados de sorgo sobre o nível de hidratação.....	117
10. Efeito da maceração a 27°C e do tratamento térmico sobre as características de viscosidade da farinha de sorgo pré-gelatinizada por processo hidrotérmico.....	120
11. Efeito da maceração a 40°C e do tratamento térmico sobre as características de viscosidade da farinha de sorgo pré-gelatinizada por processo hidrotérmico.....	121
12. Efeito da maceração a 60°C e do tratamento térmico sobre as características de viscosidade da farinha de sorgo pré-gelatinizada por processo hidrotérmico.....	122
13. Efeito do processo hidrotérmico sobre o índice de absorção de água da farinha de sorgo pré-gelatinizada.....	126

	Página
14. Efeito do processo hidrotérmico sobre o índice de solubilidade em água da farinha de sorgo pré-gelatinizada.....	127
15. Vazão do alimentador em relação à velocidade de rotação e ao teor de umidade das farinhas de sor <u>go</u>	136
16. Efeitos do conteúdo de umidade da farinha de sor <u>go</u> e temperatura de extrusão no grau de expansão dos extrudados.....	141
17. Figura tridimensional mostrando o efeito da umi <u>da</u> de e temperatura no grau de expansão dos extrudados de sorgo.....	142
18. Figura tridimensional mostrando o efeito da umi <u>da</u> de e temperatura na densidade dos extrudados de sorgo.....	146
19. Efeito da umidade da farinha de sorgo e tempera <u>tu</u> ra de extrusão de 160°C na viscosidade das fa <u>ri</u> nhas extrudadas.....	147

	Página
20. Efeito da umidade da farinha de sorgo e temperatura de extrusão de 180°C na viscosidade das farinhas extrudadas.....	148
21. Efeito da umidade da farinha de sorgo e temperatura de extrusão de 200°C na viscosidade das farinhas extrudadas.....	149
22. Figura tridimensional mostrando o efeito da umidade e temperatura na viscosidade da pasta fria da farinha de sorgo extrudada.....	154
23. Figura tridimensional mostrando o efeito da umidade e temperatura na viscosidade da pasta quente (95°C) de farinha de sorgo extrudada.....	156
24. Figura tridimensional mostrando o efeito da umidade e temperatura na retrogradação da farinha de sorgo extrudada.....	159
25. Figura tridimensional mostrando o efeito da umidade e temperatura na capacidade de absorção de água da farinha de sorgo extrudada.....	163
26. Figura tridimensional mostrando o efeito da umidade e temperatura na solubilidade em água da farinha de sorgo extrudada.....	167

	Página
27. Susceptibilidade enzimática da farinha de sorgo extrudada a 160°C com diferentes níveis de umidade.....	169
28. Susceptibilidade enzimática da farinha de sorgo extrudada a 180°C com diferentes níveis de umidade.....	170
29. Susceptibilidade enzimática da farinha de sorgo extrudada a 200°C com diferentes níveis de umidade.....	171
30. Figura tridimensional mostrando o efeito da <u>um</u> idade e temperatura na cor da farinha de sorgo extrudada.....	175

RESUMO

O sorgo (*Sorghum bicolor* [L.] Moench), é o cereal de maior rendimento energético por hectare nas regiões tropicais áridas e semi áridas e tem seu consumo limitado pela pouca disponibilidade de tecnologias adequadas para elaboração de produtos processados (34, 64, 78).

O presente trabalho foi executado com a finalidade de se obter farinhas de sorgo usando um processo de moagem tradicional empregado nos outros cereais e elaborar farinhas pré-gelatinizadas com propriedades físicas e químicas, apropriadas para o consumo humano e uso industrial.

O processo de moagem foi feito em moinho de rolos com os grãos condicionados a 14, 15, 16 e 17% de umidade. O rendimento em farinha foi maior com o grão sem condicionamento (com 12,87% de umidade). As farinhas apresentaram um teor de cinza de 0,95-0,96% e lipídios de 1,14-1,22%, tornando necessário descorticar o grão e possibilitando, ainda, obter maior separação do germe. A descorticação foi feita em beneficiadora de arroz (por abrasão) com grãos condicionados e sem condicionar. O maior rendimento em grãos descorticados foi obtido com os grãos sem condicionamento (92%). Grãos descorticados e moídos em moinho de rolos deram um rendimento de 80% em farinha com baixo conteúdo de cinza (0,55%) e de lipídios (0,36%).

Para a produção da farinha pré-gelatinizada de sorgo por processo hidrotérmico, os grãos descorticados foram macerados em água a temperaturas de 27, 40 e 60°C, durante 90, 45 e 40 minutos respectivamente. Os grãos hidratados foram tratados com vapor a 118°C por 1, 5, 10 ou 15 minutos, secados em estufa a 45°C até atingir em torno de 10% de umidade e moídos até granulometria menor que 200 µm. Nas farinhas pré-gelatinizadas todas as características de viscosidade diminuíram ao

aumentar o tempo de tratamento térmico. O índice de absorção de água (IAA) aumentou com o aumento da temperatura de maceração e o tempo de tratamento térmico. O índice de solubilidade em água (ISA) foi pouco afetado pelo tratamento hidrotérmico. Concluiu-se que para todas as condições de maceração, 1 minuto de tratamento com vapor foi o suficiente para produzir modificações na estrutura do grânulo de amido que levassem a obtenção de farinhas.

Para produção de farinha de sorgo pré-gelatinizada por extrusão, a farinha foi extrudada com 15, 17,5, 20 e 22,5% de umidade e 160, 180 e 200°C de temperatura, usando uma taxa de compressão de 1:4 e matriz de 3 mm. Os efeitos das condições de extrusão sobre as características dos extrudados e farinhas foram avaliados utilizando a metodologia de superfícies de respostas com um modelo de segunda ordem. O torque desenvolvido foi maior para o menor nível de umidade (15%) e aumentou com a diminuição de temperatura. Todas as condições estudadas produziram expansão. A densidade foi menor nos produtos obtidos de farinhas com umidade inicial entre 17 e 20% e extrudadas a temperaturas em torno de 180°C. A viscosidade inicial, a viscosidade a 95°C, e a viscosidade no ciclo de resfriamento a 50°C aumentaram ao aumentar a temperatura de extrusão. O IAA variou entre 7 a 12 e os valores de ISA atingiram até 27,8%.

Durante o processo de extrusão e tratamento hidrotérmico houve a diminuição do conteúdo de alguns aminoácidos essenciais e vitaminas, entretanto a digestibilidade aumentou.

Demonstrou-se que com equipamentos convencionais de moagem e com qualquer dos processos estudados, seria possível obter farinhas pré-gelatinizadas com propriedades adequadas para serem usadas em alimentos instantâneos e para usos industriais.

SUMMARY

Sorghum (Sorghum bicolor L. Moench) is the cereal with the greatest production of energy per hectare for arid and semi-arid tropical areas, but its consumption has been limited by a lack of technology for the development of products.

The present investigation was undertaken with the aim of obtaining sorghum flour using the milling system traditionally used for other cereals and preparing pre-gelatinized flours with physical and chemical properties appropriate for human consumption and industrial use.

The milling process was effected with a roller mill. The grain was conditioned to 14, 15, 16 and 17% humidity, but the flour yield was greatest with non-conditioned grain (12.87% moisture). The flours showed ash contents of 0.85 - 0.96% and lipids of 1.14-1.22%, making it necessary to polish the grain. This process also made possible greater separation of germ. The polishing was effected in a rice polisher (using abrasion) for both conditioned and non-conditioned grains. The greatest yield was again obtained with the non-conditioned grain (92%). Grain that had been polished and milled in a roller mill produced a yield of 80%. The ash and lipid contents were 0.53 and 0.36% respectively.

For the production of pre-gelatinized sorghum flour using a hydrothermal process, the polished grains were soaked in water at temperatures of 27, 40 and 60°C for periods of 90, 45 and 40 minutes, respectively. The hydrated grains were then treated with steam at 118°C for 1, 5, 10 or 15 minutes, dried in an oven at 45°C to approximately 10% moisture, and then milled to a size of less than 200 µm. In the pre-gelatinized flours, all

viscosity characteristics decreased as time of thermal treatment increased. The water absorption index increased as the soaking temperature and thermal treatment time increased; the index of solubility in water was only slightly affected by the hydrothermal treatment. It was concluded that, for all soaking conditions tested, one minute of steam treatment was adequate to produce modifications in the starch granule structure and to obtain a pre-gelatinized flour.

For the production of pre-gelatinized sorghum flour by extrusion, the flour was extruded with 15.0, 17.5, 20.5, and 22.5% moisture at 160, 180 and 200°C using a compression ratio of 1:4 and a 3 mm die. The effects of the extrusion conditions on the extruded product and the characteristics of the flour produced were evaluated using response surface methodology with a second order model. The torque developed was greater for the lowest moisture level (15%) and increased as temperature decreased. All conditions studied produced expansion. The density was lower for products obtained from flours with initial moisture of 17 and 20% extruded and temperatures about 180°C. Initial viscosity, viscosity at 95% and viscosity in the cooling cycle at 50°C increased when the extrusion temperature increased. The water absorption index increased from 7 to 12, and the index of solubility in water increased up to 27.8%.

During the extrusion process and hydrothermal treatment, there was a decrease in the content of certain essential amino acids and vitamins, although the digestibility increased. It was shown that, with conventional milling equipment and all of the processes studied, it is possible to obtain pre-gelatinized flours with properties suitable for use in the production of instant food and in industry.

I. INTRODUÇÃO

O sorgo (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) é o quarto cereal em produção no mundo e rende mais calorias por hectare, em solos pouco férteis e condições climáticas menos favoráveis para outros cereais (12, 34, 64).

O sorgo, assim como os outros cereais, é um alimento de baixo teor protéico, alto conteúdo de carboidratos e razoável teor de lipídios, sendo uma excelente fonte calórica, com composição similar ao milho (62, 132).

Cerca de 50% da produção mundial de sorgo é utilizada para consumo humano, principalmente na África, Ásia e alguns países da América Central (45,62,78). Nos países desenvolvidos, aproximadamente 95% de sua produção é usada para alimentação animal, e uma baixa porcentagem para fins industriais.

Na América Latina, a Argentina lidera a produção de sorgo, seguida pelo México, Venezuela e Colômbia. Estes países destinam a maioria da produção ao consumo animal; entretanto, atualmente existe, por parte de todos eles, interesse na aplicação para consumo humano (33,39,45,63).

Nos países onde o sorgo é usado principalmente para alimentação humana, o mesmo é usualmente moído aplicando-se técnicas de preparação tradicionais e pouco desenvolvidas, devido ao baixo grau de industrialização existente nestes países, o que limita o seu uso (30,32,93).

A primeira etapa na industrialização do sorgo seria a produção de farinha de qualidade aceitável, em escala indus

trial (93). Uma segunda etapa seria a elaboração de produtos processados, seja farinha pura ou misturada com outros cereais ou oleaginosas, seja a extração e/ou modificação parcial do amido, para proporcionar propriedades funcionais necessárias ao preparo de alimentos.

A obtenção de farinha pré-gelatinizada pode ser feita aplicando processos hidrotérmicos com vapor, os quais têm sido amplamente utilizados para o processamento de milho na América Latina (33, 48, 71).

Um outro processo que está sendo empregado a níveis industriais para obtenção de farinhas pré-gelatinizadas é a extrusão, a qual é um processo contínuo que combina atrito mecânico e calor para gelatinizar o amido, desnaturar proteínas e criar novas estruturas e formas (35). Este processo apresenta uma série de vantagens com respeito a outros métodos tradicionais (59, 69, 113), e está sendo utilizado com muito êxito em outros cereais, pelo que seria interessante estudar sua aplicação para obter produtos de sorgo.

Os objetivos deste trabalho foram:

- Desenvolver um processo de moagem para produção de farinhas de sorgo.
- Elaborar farinhas pré-gelatinizadas de sorgo, por processo hidrotérmico e de extrusão.
- Comparar as alterações produzidas pelos processamentos sobre o teor de alguns nutrientes das farinhas.

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A. CULTURA E PRODUÇÃO DO SORGO

O sorgo (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) é uma cultura, cuja origem data das antigas civilizações da África e da Ásia (133). Pertence à família das gramíneas e é membro do gênero Andropogoneae.

Na coleção mundial de sorgo, tem-se catalogado de oito a dez mil variedades diferentes. Estas se agrupam em quatro classes principais, sendo o mais importante, do ponto de vista econômico, o sorgo granífero (111).

A produção mundial de sorgo foi de 58,5 e 69 milhões de toneladas nos anos de 1981 e 1982, respectivamente. Os Estados Unidos são responsáveis por mais de 50% da produção mundial. Na Ásia, o sorgo ocupa o terceiro lugar em importância, depois do arroz e do trigo, e na África, o segundo lugar, depois do milho (40).

O desenvolvimento de híbridos produtivos resistentes a insetos nocivos e pragas do milho, permitiram ao sorgo competir com este em regiões úmidas e sub-úmidas, e assim desenvolver mais a área de cultura e o rendimento médio. Igualmente, o cultivo do milho, tem sido substituído pelo sorgo em áreas menos favoráveis (áridas ou semi-áridas, de solos pouco férteis) e de baixa pluviosidade (70).

B. ESTRUTURA E COMPOSIÇÃO

O grão de sorgo tem a forma de uma estrela achatada de aproximadamente 4,00 mm de comprimento por 3,5 mm de largura e 2,5 mm de espessura (109). O tamanho dos grãos pode ser pequeno (8-10 mg), médio (12-24 mg) e grande (25-35 mg) (131).

A amêndoa ou cariopse é composta de três partes principais: o pericarpo (7-9%), endosperma (80-85%) e germe (8-12%). O pericarpo é composto de uma camada exterior, o epicarpo, que contém pigmentos e cera, uma camada média ou mesocarpo, que contém grânulos de amido embebidos em uma matriz densa de proteínas e o endocarpo composto de células cruzadas e tubulares. Em algumas variedades de sorgo, abaixo do pericarpo encontra-se uma camada de células altamente pigmentadas, denominada testa.

O endosperma é composto de uma camada mais externa chamada aleurona e de endosperma propriamente, que possui regiões periféricas, cristalinas e amiláceas.

O germe tem alto conteúdo de óleo e proteínas, encontra-se embebido firmemente no grão e é mais difícil de separar que o germe de milho (60, 109).

Os carboidratos constituem 80-85% do grão e incluem amido, celulose, açúcares simples e pentosanas. Destes, o principal componente é o amido, o qual constitui 83% do endosperma, 13,4% do germe e 34,6% do farelo (109). Miller e Burns (79) analisaram 17 variedades comerciais e híbridos de sorgo, e encontraram que o conteúdo de amido variava en

tre 64 e 70,6%. O teor de amilose desses amidos flutuava entre 4,8 e 34,9%. Segundo Rooney e Clark (109), no amido de sorgo a amilose constitui entre 20 a 30% e a amilopectina de 70-80%. Ring e Col. (105), encontraram em 567 variedades, um conteúdo médio de amilose de 22,2 a 24,9%.

Virupaksha e Sastry (130), encontraram uma ampla variação no conteúdo de proteínas de 49 variedades de sorgo, sendo o valor mais baixo 8,61% e o mais alto 18,21%. As diferentes partes do grão de sorgo diferem no seu conteúdo de proteínas. Uma proteína conhecida como kafirina, representa 83% da proteína do endosperma e contém uma alta proporção de ácido glutâmico (18%). Esta fração é muito baixa em lisina (130).

O grão de sorgo contém aproximadamente 3-4% de extrato etéreo. A composição do óleo é muito similar ao de milho (131).

O conteúdo de fibra no grão varia de 1,4 a 2,7% (64, 131, 133).

O conteúdo de vitaminas e minerais do grão de sorgo é também muito similar ao do milho, entretanto, o sorgo tem maior teor de tiamina, ácido pantotênico, ácido nicotínico e biotina. O germe contém de 2 a 5 vezes a quantidade de vitaminas presentes no endosperma e no farelo (109, 131).

O sorgo apresenta uma série de pigmentos, principalmente polifenóis. Um grupo destes compostos, denominados antocianógenos, são responsáveis pelo desenvolvimento de colorações escuras e aparentemente são os causadores do sabor

amargo, adstringência, baixa palatabilidade, baixa digestibilidade e em consequência, pouca utilização em alimentos e bebidas. Estes compostos fenólicos, se localizam no pericarpo e geralmente não existem no endosperma (75).

Os compostos fenólicos que predominam em grãos de sorgo com alto conteúdo de taninos, são os taninos condensados, os quais são resistentes à degradação enzimática (13, 126). Rodriguez (107) determinou o conteúdo de taninos em diferentes frações de tres variedades de sorgo e encontrou para todas as variedades, que a casca e o farelo apresentavam os valores mais altos e a farinha de endosperma os mais baixos.

C. QUALIDADE NUTRICIONAL

A qualidade nutricional do sorgo como alimento é similar ao milho, sendo uma boa fonte calórica, de baixo ou médio teor protéico. A composição em aminoácidos da proteína de sorgo é baixa em lisina, treonina, metionina e tirosina. O nível de triptofano é próximo ao mínimo necessário, porém maior que o do milho, sendo que o primeiro aminoácido limitante é a lisina (52, 130, 131). Virupaksha e Sastry (130) encontraram que prolamina e glutelina são as principais frações protéicas do endosperma. Esses autores estudaram diferentes variedades de sorgo e observaram que o conteúdo de lisina está em relação inversa ao conteúdo de proteína do grão. Ao aumentar o conteúdo de proteína diminui a fração de glutelina e o conteúdo de lisina. Shoup e col. (126)

encontraram que o valor nutricional da proteína nas frações germe e farelo era superior ao do grão original e ao das diversas frações do endosperma. O endosperma farinhoso de baixo conteúdo protéico tinha melhor qualidade nutricional que as farinhas do endosperma vítreo de alto teor de proteínas. Harden e col. (52) compararam as proteínas do sorgo com as do milho e trigo, como única fonte de proteínas em dietas ao nível de 8% de proteínas, e encontraram que o valor nutricional era similar. Todavia, quando se fez a suplementação com farinha de soja ao nível de 10% de proteínas, não se encontraram diferenças significativas no valor nutritivo do sorgo, trigo ou milho.

A baixa qualidade nutricional de variedades de sorgo com alto conteúdo de taninos, tem diminuído seu uso como fonte de alimento primário para animais e humanos. Os taninos diminuem a digestibilidade das proteínas presentes no grão, devido à formação de complexos insolúveis tanino-proteína que são resistentes às enzimas hidrolíticas (22). Segundo Rooney e col. (111), o valor nutricional do sorgo pode ser melhorado geneticamente, reduzindo a pigmentação do pericarpo por eliminação da testa e pelo incremento da qualidade da proteína, melhorando o balanço de certos aminoácidos essenciais, em especial o aumento de lisina. O valor nutricional também pode ser melhorado, desenvolvendo técnicas de processamento como a descorticação (110), ou combinando o sorgo com outros alimentos ricos em lisina ou por suplementação com aminoácidos sintéticos (52). Através de mutação genética e química tem-se obtido variedades com níveis altos de lisina. A qua

lidade da proteína dessas variedades calculada pelo quociente de eficiência protéica (PER) foi o dobro que a de sorgo normal (132).

Pushpamma e Anjali (98), prepararam diferentes fórmulas a base de sorgo (65%) e diferentes leguminosas (16%), óleo vegetal (10%) e enriquecidas com vitaminas e minerais. A eficiência protéica (1,9-2,5) foi pelo menos 70% do valor da fórmula padrão à base de leite desengordurado (2,7). A digestibilidade dessa mistura foi muito boa (81-95%).

Uma pesquisa feita com mulheres jovens para estudar o valor nutricional de sorgos com alto teor em lisina, demonstrou que estes eram mais eficientes como suplemento proteico que o trigo e o sorgo normal (89).

D. UTILIZAÇÃO DO SORGO

O sorgo tem sido empregado em muitos países como fonte de alimentação humana, principalmente em algumas regiões semi-áridas, onde a deficiência de calorias, especialmente em tempos de seca é o problema nutricional mais importante. Os nativos da África e Oriente Médio o têm cultivado por muitos séculos para ser usado como alimento (25).

Na Ásia e na África, 90% da produção de sorgo é diretamente utilizada para consumo humano e pode proporcionar até 50% das proteínas da dieta. Entretanto, nos Estados Unidos (atualmente o maior produtor), a maior parte da produção é utilizada na alimentação animal e uma pequena proporção (3 a 5%) se usa para fins industriais (25). Na maioria

dos países desenvolvidos são 1,1% da produção é utilizada para consumo humano e 95,8% para alimentação animal (78).

Tradicionalmente, o sorgo tem sido consumido em forma de mingaus, bebidas, pães, bolos, pipocas, etc (12). Assim, na África, um alimento básico denominado "to", "tuwo", "ugali" ou "asidah", é elaborado a partir de farinha de sorgo obtida por pilado do grão. Essa farinha é cozida em água e acidificada com suco de limão até obter uma pasta grossa com textura firme que é consumida com diferentes tipos de molhos. O "bogobe" é um mingau elaborado a partir de farinha de sorgo fermentada. O "couscous" é um alimento granulado feito de farinha de sorgo cozido com vapor. "Soru" ou "annam" são os grãos de sorgo descascados cozidos em água de forma parecida com o arroz.

Na Índia é muito popular o "roti" ou "chapati" o qual é um pão não fermentado geralmente preparado com farinha de sorgo de cor branca (12).

Rizley e Suter (106) prepararam "tortillas" similares às de milho usando sorgo de endosperma córneo. A aceitabilidade foi muito boa. Um trabalho semelhante demonstrou que o único inconveniente das "tortillas" de sorgo era a cor que limitava a aceitabilidade; todavia era melhorada quando se fizeram misturas de farinha de milho com farinha de sorgo à 10% (63). Outra forma de melhorar as "tortillas" foi polir o sorgo vermelho e branco numa polidora de cevada até remover 15% do peso inicial do grão. "Tortillas" com 80% de sorgo polido branco ou vermelho, foram melhor aceitas pelos membros de uma equipe de provadores do que tortillas de milho amarelo (14) :

Existem numerosas fórmulas para produtos assados com postos parcial ou totalmente de farinha de sorgo. Estes incluem pães, bolachas, bolos, etc (12, 76, 93).

Os amidos de sorgo têm sido preferidos para serem utilizados em alimentos suaves por terem menos sabor de cereal. Os amidos de sorgo ceroso são de alta estabilidade e são usados como espessantes na fabricação de alimentos enlatados, assim como, também, nas fábricas de tecidos de cores variadas. Nas fábricas de papel são usados como adesivo e também na fabricação de cola (133).

As dextrinas que se elaboram com amido de sorgo ceroso competem com as de amido de mandioca. Também com os amidos de sorgo se preparam xaropes de dextrose que se usam na indústria de alimentos (131, 133).

Nos Estados Unidos um dos usos da farinha de sorgo é na preparação de um alimento para crianças denominado Freedom Meal. Os grits de sorgo são usados para preparar flocos que são utilizados na produção de cerveja (108).

No Canadá 100% da produção de sorgo é utilizada na fabricação de whisky (90).

E. PROCESSAMENTO DO SORGO

O processamento do sorgo está relacionado com sua utilização. Para consumo animal, geralmente o sorgo é submetido à limpeza e moagem; a farinha integral obtida é incorporada a outros ingredientes no preparo das rações.

Para usos industriais e para consumo humano, os grãos de sorgo são submetidos a diferentes tratamentos que alteram suas características originais, separando seus componentes em frações e modificando o endosperma por cocção a diferentes níveis de gelatinização (7,91, 108). Estes tratamentos incluem descorticação, moagem seca, moagem úmida, fermentação e pré-gelatinização do grão.

1. Descorticação

A remoção das camadas externas do grão de sorgo, tem sido denominada descascamento, polimento ou descorticação. Ao eliminar as camadas externas do grão de sorgo, é eliminado o pericarpo que é rico em compostos fenólicos, polissacarídeos complexos e fitatos. Alguns destes compostos se combinam com proteínas e com nutrientes inorgânicos, minerais principalmente, limitando sua biodisponibilidade (100,116).

Nos métodos tradicionais, a eliminação da casca se faz por socagem manual. O descascamento do sorgo é necessário se for utilizado como alimento, já que permite a remoção do farelo e dos pigmentos nutricionalmente indesejáveis existentes mas resulta em muitas perdas por ruptura do grão (96). Além disso o grão socado deve ser secado, já que a socagem se faz agregando água até níveis de 30-40% de umidade (93). Raghavendra Rao e Desikachar (100) estudaram a efetividade de eliminar o farelo do grão por um processo de polimento, utilizando um moinho experimental para descascar arroz (Modelo Mc Gill), e encontraram que quando os grãos

foram acondicionados com 3 a 5% de umidade adicional à presente no grão e polidos durante 2 a 3 minutos, o processo foi muito efetivo; 10% de descascamento ou descorticação representou o valor ótimo, na qual havia perda mínima de peso do grão, máxima eliminação de farelo e fibra crua, e perda mínima de proteína e tiamina.

Reichert e col. (104) construíram um descascador experimental mecânico (por abrasão tangencial) para ser utilizado no descascamento seco de grãos de sorgo. O equipamento consiste de uma pedra de carborundum ou disco de resina colocado horizontalmente que proporciona a ação abrasiva.

A facilidade de descascamento depende do grau de adesão entre o endosperma e as camadas do pericarpo, assim como dureza do grão. Os grãos moles tendem a romper-se facilmente sob a pressão da superfície abrasiva, pelo que se faz desejável usar grãos com propriedades vítreas. A forma e tamanho do grão também influem no rendimento do descascamento. Nos anos 60 e princípio dos 70, iniciaram-se dois projetos para introduzir a tecnologia da moagem por abrasão, para sorgo e milho nos países em desenvolvimento. O projeto canadense IDRC (International Development Research Center), começou em 1972 e fez um estudo para a produção de moinhos horizontais de pequena escala para descascar pequenos lotes de grãos (aproximadamente 10 Kg/h) para os consumidores locais em cada povoação (90).

O projeto FAO/UNDP (United Nations Development Programme), começou em 1967 em vários países africanos para

produzir farinhas compostas de sorgo e milho misturadas com trigo em escala industrial. Como parte deste projeto, instalou-se em 1970-1974 um estudo em escala de laboratório, em Senegal, no Institut de Technologie Alimentaire (ITA), em Dakar, a fim de pesquisar diferentes formas de moagem de sorgo. A decorticação de aproximadamente 20% do grão e a moagem em moinho de martelo produziu uma farinha de boa qualidade. Baseado neste estudo, fez-se um outro trabalho onde foram enviadas amostras de sorgo (150 kg) a 12 laboratórios de pesquisas, universidades e fabricantes de moinho em 10 países. O sorgo foi decorticado e moído por diferentes equipamentos e técnicas, e toda a informação foi utilizada para desenhar um moinho a nível de planta piloto (93). Ao terminar este projeto, outro foi iniciado (1974-1980) para pesquisar e desenvolver produtos de sorgo e trigo para aplicação industrial no "Food Research Centre" em Kartum, Sudam. A primeira parte deste projeto foi a instalação de uma planta piloto para a moagem de sorgo com capacidade para 500 - 600 kg por hora. Esta dividia-se em três seções: limpeza, decorticação e moagem. O descortificador vertical usado foi o Decomatic com anéis de carborundum para separar o farelo por abrasão. O fluxo foi contínuo e a velocidade e grau de decorticação podiam ser ajustados. Com este equipamento foi possível obter uma farinha fina com baixo teor de gordura e cinza, que foi utilizada misturada com trigo para panificação (95).

Munck e col. (85) desenvolveram um processo industrial de descorticação, evitando as desvantagens da moagem

abrasiva e incorporando as vantagens do antigo princípio de socagem manual. Nesse novo moinho utilizou-se descortificador UMS DVA (United Milling Systems, Copenhagen-Valby, Dinamarca) integrado a um sistema de moagem com capacidade de 2 t/h. O rendimento obtido foi de 75-80%, mas persistiu o problema de pigmentação das farinhas obtidas de grãos com pericarpo escuro.

Wills e Ali (134) estudaram o efeito do tamanho do grão de sorgo sobre o descascamento por abrasão durante 60 segundos em polidor Kett Husk, Pearler. A porcentagem de grãos quebrados foi menor para os grãos mais pequenos. Os autores indicam que para grão de maior tamanho o tempo de descascamento deve ser menor.

Scheuring e col. (117) estudaram o efeito da espessura do pericarpo em sorgo com endosperma de dureza intermediária, sobre a descorticação no processo de moagem tradicional do sorgo. Os autores verificaram que existe uma relação inversa entre a espessura do pericarpo e o tempo requerido para descorticar o sorgo. Logo, quando fizeram descorticação mecânica a tempo constante confirmaram as observações anteriores; além disso, os rendimentos em grãos descortificados foram maiores (87,3%) em amostras de pericarpo delgado em relação aos de pericarpo muito grosso (82,5%). O descascamento também foi feito num moinho de ciclone de Udy; o pericarpo do sorgo foi removido em forma de grandes flocos, e o germe foi retido em sua maioria. As diferenças em quantidade de farelo desprendida (10 a 14,2%) em três variedades, foram atribuídas à variação genética, diferença na espessura das

camadas do pericarpo e no grau de dureza do endosperma.

Blessin e col. (16) adaptaram um método químico de descascamento de milho, para utilizá-lo em sorgo. Os grãos foram submetidos a maceração em água e em NaOH 20%; após o que foi feita a lavagem com água, neutralização com ácido acético (5%) e uma última lavagem com água a 60°C. Os grãos descascados foram secados. Com este método a camada de aleurona não se desprende completamente, o conteúdo de fibra foi reduzido em 50%, e o de cinza, lipídios e proteínas não foram modificados. O rendimento de grão descascado foi de 92%. Diaz (33) aplicou o mesmo método para descascar grãos de sorgo de cor marrom e chegou à conclusão de que o método era pouco efetivo; Além disso as farinhas se tornaram escuras pela absorção dos pigmentos dissolvidos, e o processo resultou inviável e muito oneroso.

2. Moagem úmida

Este processo consiste na moagem dos grãos com água e separação do germe, glúten e amido mediante lavagem e peneiragem. O processo foi amplamente usado até 1970; na atualidade não é muito utilizado devido a problemas tecnológicos, econômicos e de mercado (108).

Durante a obtenção do amido por moagem úmida os pigmentos solúveis em água são absorvidos pelo amido, sendo necessário fazer branqueamento. Este inconveniente tem sido evitado partindo dos grãos descascados a seco (44).

Um processo que foi desenvolvido por Norris e Rooney (88).

no qual os grãos são macerados à 52°C, primeiro com SO₂ e posteriormente com ácido lático, moídos e depois separados por peneiragem, permitiu que se obtivesse um rendimento de 81% em amido com um conteúdo protéico inferior a 1%. Os demais componentes também foram recuperados e separados em uma alta porcentagem.

3. Moagem seca

A moagem seca de sorgo tem o propósito de separar o endosperma, germe e farelo, com recuperação máxima do endosperma. Este tipo de moagem é utilizado a séculos na África; é feito de forma rudimentar e laboriosa, onde o sorgo é moído em pilão com socador, e o produto moído é peneirado à mão e secado várias vezes até obter-se a granulometria desejada (135). A capacidade de produção é de 1-1,5 kg de farinha por hora e com índice de extração aproximado de 60%. A farinha obtida é muito úmida e tem curta vida de prateleira (92).

A moagem industrial de sorgo para consumo humano ainda não existe nos países africanos onde o sorgo é um alimento básico. Foram feitas tentativas para produzir farinhas utilizando equipamentos e tecnologia para a moagem de trigo, mas as farinhas não foram muito aceitas pelos consumidores, e os custos de produção são relativamente altos, pois os rendimentos são baixos (92).

Tomando em consideração as exigências para os produtos acabados, tem-se desenvolvido processos de moagem a seco,

os quais incluem as seguintes etapas: limpeza, acondicionamento, descascamento, moagem do endosperma, seguida de separação por peneiragem e armazenamento dos produtos processados.

No Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, em conjunto com a Estação Experimental de Agricultura de Kansas (51), baseados nos conhecimentos sobre moagem de trigo, foi desenhado o primeiro moinho comercial de moagem seca exclusivo para produção de farinhas de sorgo. Na atualidade existem nos Estados Unidos seis plantas para fabricar produtos de sorgo por moagem seca.

Na África, Ásia, Europa e América Latina onde o sorgo é usado como uma fonte importante de alimento não existem processos modernos nem específicos a nível industrial para o seu processamento. Assim, o mercado não tem justificado a instalação de grandes plantas industriais ou uso de equipamentos sofisticados ou caros. As pesquisas são orientadas com o uso de equipamentos disponíveis para cevada, trigo ou arroz, e ao desenho de plantas pilotos e de laboratório (118).

Pesquisadores do "National Research Council" do Canadá, desenvolveram um moinho poliaxial para moagem seca de sorgo, à escala piloto, (aprox. 10 kg/h), o qual está sendo usado com bons resultados na Nigéria, Gana, Senegal, Botswana e Maiduguri (102).

Os moinhos de rolos são recomendados para sorgo com endosperma mole (brando), os quais podem ser acondicionados

previamente. No entanto, para grãos duros, é melhor descascar em equipamento abrasivo para polir arroz e a seguir fazer a moagem (34).

Anderson e col. (8) acondicionaram grãos de sorgo a 19,6% de umidade e fizeram moagem no moinho Buhler. Os rendimentos foram de 51-70% com produção de farinhas contendo menos de 1% de fibras e 0,5% de cinzas. Perten (93) recomenda não acondicionar o sorgo quando se faz a moagem em moinhos de rolos, para evitar produção de farinhas com altos teores de cinza e lipídios.

Rooney e col. (110) idealizaram um sistema de moagem para sorgo, onde o pericarpo é separado por abrasão num moinho para arroz, seguido de condicionamento dos grãos descascados e degerminação mediante moagem por impacto. A separação de grits e germe se faz por peneiragem, e as partículas finas de endosperma são moídas em moinho de martelo. Os rendimentos foram de 75% em grits, quando no descascamento se separou 18% do grão. Rooney e Sullins (112) aperfeiçoaram o sistema de moagem anterior, adicionando um sistema de limpeza do grão, um sistema de peneiras giratórias e a separação com ar (pneumático) do farelo, germe, grits com germe e grits finos. Este método de moagem deu uma alta correlação com os resultados de processos comerciais que usam moagem abrasiva e degerminação e é recomendado para amostras pequenas ou de laboratório.

De Francisco e col. (29) desenvolveram um moinho para moagem de pequenas amostras. Este tem capacidade para 10 g de amostra e permite fazer 40 determinações por hora. É

considerado útil e rápido para ensaios de qualidade de moagem a nível de laboratório (29).

Uma planta piloto que tem capacidade de 500-600 kg/h, para moagem seca de sorgo foi instalada em Sudan no "Food Research Institute". Esta tem um sistema de polimento abrasivo vertical "Decomatic" e produz farinhas muito finas por moagem em rolos (93).

No "Carlsberg Research Laboratory" foi desenvolvido um processo de moagem a seco para sorgo, utilizando um descortador industrial "UMS DVA machine" (United Milling Systems) o qual está integrado a um sistema de moagem e separação em frações de farinha grossa, fina, grits e casca fina e grossa. A capacidade é de 2 t/h e combina as vantagens de moagem abrasiva e manual, produzindo pequenas quantidades de finos, mínimas perdas de endosperma e máxima separação de farelo e germe (85).

4. Produção de farinhas pré-gelatinizadas

A produção de farinhas de sorgo pré-gelatinizadas foi iniciada pelas indústrias produtoras de rações, visando melhorar seu valor nutricional (38). Erwin (38) encontrou que grãos cozidos por 1,5 minutos a 20 psi produziam flocos com 25-30% de gelatinização, quando determinada por birrefringência ótica. Aumentando a pressão a 40 psi, a gelatinização se elevou até 35-40%.

Anstaett e Pfoest (9) processaram farinhas integrais de sorgo e milho, com níveis de umidade entre 30 e 40%, considerando serem os teores requeridos para cocção de cereais para consumo humano. A pressão foi variável de 0 a 80 psi, e o tempo de processamento de 1 a 15 minutos. Os autores encontraram que as pressões de 75 ou 85 psi com umidade alta produziam uma gelatinização quase completa ou completa em 1 a 10 minutos, e recomendaram trabalhar com umidade não muito alta para que o processo fosse mais econômico em termos de secagem do produto.

Hinders e Eng (57) estudaram a gelatinização de grãos de sorgo brancos e vermelhos, cerosos e normais; usaram um processo de cocção sob pressão. Os resultados mostraram que na cocção a 50 psi por 1,5 minutos, produziu-se 30 a 40% de gelatinização quando foi medida por birrefringência ótica. Os autores verificaram que a cor da camada externa tem pouca influência na resposta do grão de sorgo ao processamento, e que as diferenças nos tipos de grãos afetam os tempos e temperaturas requeridos para produzir degradação no amido.

Anderson e col. (7) aplicaram técnicas de cocção em rolos e extrusão para gelatinizar grits comerciais de sorgo. Em secador de rolos estudaram o efeito da umidade e temperatura sobre o IAA, ISA e viscosidade dos produtos. Os resultados indicaram que o índice de absorção de água a temperaturas acima de 218 °C aumentou ao elevar-se os níveis de umidade, mas a viscosidade final da pasta diminuía. Este processo seria indicado para obter farinhas de baixa solubilidade, para preparar purês grossos ou ser usadas como agente espessante.

No processo de extrusão, os produtos apresentaram índice de absorção de água maior a níveis de umidade altas, e o índice de solubilidade em água foi maior a baixos níveis de umidade. Os autores indicaram que produtos com essas características são desejáveis para preparação de bebidas e para usos industriais onde sejam necessárias propriedades adesivas.

Peplinski e Pfeifer (91) estudaram a pré-cozção de grits de milho e sorgo por processo hidrotérmico, testando o efeito de umidade, tempo e temperatura de cozção sobre a viscosidade e o índice de absorção de água dos produtos. Para ambos os grits, o aumento da umidade de condicionamento, o tempo de retenção na autoclave e da temperatura do vapor produziram um aumento no índice de absorção de água (IAA) o que indicou um maior grau de gelatinização. Com as condições mais drásticas de cozção, 25% de umidade, 45 minutos a 121°C em autoclave, os máximos valores do IAA foram de 4,4 para o milho e 4,1 para o sorgo. Os grits apresentaram dificuldades para a moagem. Eles concluem que é necessário maior pressão e temperatura mais elevada para produzir mudanças mais acentuadas no grânulo de amido em ambas as matérias-primas.

Diaz (33) estudou o efeito do processo hidrotérmico aplicado em grãos descascados de sorgo marron, para obtenção de farinhas pré-cozidas com capacidade de formar massa. A capacidade da farinha para formar massa foi melhor quando os grãos foram cozidos por 5 minutos, em água à ebulição. Também encontrou dificuldades de moagem e o máximo grau de gelatinização foi de 20%.

a. Aspectos gerais do processo de extrusão

Nas últimas décadas a tecnologia tem introduzido novas técnicas de cocção para substituir ou modificar as tradicionais. Dentro destas técnicas está a extrusão. O princípio básico do processo é a modificação do material sólido pela aplicação de atrito mecânico, pressão, umidade e calor ; o material fluido é forçado a sair através de uma matriz para formar um produto de características físicas e geométricas pré-determinadas (35,113). As principais funções deste sistema são: gelatinizar, estruturar e dar forma aos alimentos (54).

A extrusão de alimentos é uma operação unitária muito versátil que pode ser aplicada a muitos produtos crus, incluindo cereais e fontes protéicas. O equipamento para extrusão de alimentos tem seu desenho básico em três zonas que não estão perfeitamente definidas no mesmo, mas sim na ação. A primeira zona é a de alimentação; onde entra a matéria-prima (geralmente em forma de farinha ou grits). A segunda zona é a de transição: aqui a pressão, velocidade de compressão e temperatura aumentam rapidamente. A última zona é a de alta pressão: aqui se atingem as maiores temperaturas, a espessura do parafuso é maior. Nesta zona o material comprimido é submetido a altas pressões e forçado a passar através da matriz. A matriz pode ser considerada uma quarta zona, é a parte que dá forma ao produto; aqui ocorre uma queda rápida de pressão e temperatura, a água se evapora, o ar fica retido e o produto se expande (43, 122).

O processo de extrusão apresenta uma série de vantagens (69), já que tem versatilidade, ou seja, uma unidade pode produzir um amplo número de diferentes produtos.

A extrusão tem alta capacidade de produção e pode produzir continuamente "snacks" a uma capacidade de 320 kg/h, produtos de baixa densidade a 1.270 Kg/h e rações secas a 9.070 Kg/h.

A extrusão tem baixo custo, já que a "mão de obra", energia, custo de inversão e espaço requeridos por quilo de produto processado é menor que a de outros processos industriais de cocção(69). Outra vantagem é a de conferir características funcionais. Os ingredientes são uniformemente misturados conforme o produto está sendo obtido, mesmo aqueles em pequenas quantidades como vitaminas, corantes, aromatizantes.

Os produtos extrudados têm longa vida de prateleira, devido as altas temperaturas de processamento, eles ficam livres de patógenos, insetos e outros contaminantes. Além disso, ocorre a destruição de fatores antinutricionais em leguminosas ou oleaginosas. Como o tempo de processamento é curto se considera um processo HTST("High temperature short time"), portanto, acontece menor destruição de nutrientes e melhora a digestibilidade do produto (69, 113, 123).

b. Fatores que afetam o processo de extrusão

O processo de extrusão pode ser controlado pela manipulação de uma ou mais das seguintes variáveis: temperatura nas diferentes zonas do extrusor, conteúdo de umidade inicial do material, taxa de compressão, tempo de residência, tamanho da matriz, atrito mecânico, torque e tamanho das partículas (55, 82, 122). Muitos autores têm estudado o efeito destas variáveis sobre a gelatinização de farinhas de leguminosas(1, 71, 75, 129); de amido(24, 56, 47), de farinhas de cereais(6, 7, 42, 49, 67).

Efeito da temperatura de extrusão e da umidade inicial da matéria prima.

No processo de extrusão as mudanças mais relevantes que se sucedem nas farinhas de cereais, são produzidas principalmente por ação das altas temperaturas às quais se submetem as matérias primas.

Durante o processo de extrusão, a disponibilidade de água é necessária para que os grânulos de amido possam inchar; além disso os processos de baixa fricção somente são possíveis a elevados conteúdos de umidade e os de alta fricção a baixos conteúdos.

Anderson e col. (7) estudaram a relação entre condições do processo de extrusão e as características dos extrudados de grits de sorgo. As variáveis estudadas foram conteúdo de umidade dos grits de 10 a 35%, temperatura de extrusão 104,5 a 232,5 °C, taxa de compressão 1.5:1 e 3:1. Ao analisar os extrudados encontraram que ao elevar a temperatura até 193 °C, o IAA aumentou e para temperaturas maiores diminuiu. O índice de solubilidade em água (ISA) aumentava com a elevação da temperatura em toda a faixa testada. A viscosidade de pasta fria (29°C) aumentou com a elevação da temperatura até um valor máximo, à 193 °C e depois diminuía. A viscosidade de pasta final (50 °C) atingiu o valor máximo à menor temperatura de extrusão.

Os trabalhos de Anderson e col. (6, 7), com grits de milho e de sorgo indicaram que a uma temperatura fixa, o índice de absorção de água foi mais alto quando a umidade inicial da farinha foi de 25 °C. No entanto, o índice de solubi

lidade em água foi mais alto quando a umidade inicial da farinha foi de 14% para o milho e de 15% para o sorgo. A viscosidade de pasta fria (29°C) e a de pasta cozida (50°C) foram em ambos os casos maiores para os grits com 25% de umidade inicial e menores para os de 14%. Resultados similares foram observados por Gomez e Aguilera (47) para milho integral.

III. MATERIAIS E MÉTODOS

A. MATERIAIS

1. Matéria Prima

Para realizar este trabalho, utilizou-se sorgo cultivar CMSXS603 de endosperma branco, fornecido pelo Centro Nacional de Milho e Sorgo da EMBRAPA, Sete Lagoas - MG. Este cultivar tem sido aprovado para cultivo comercial.

2. Reagentes e ingredientes

Os reagentes usados foram de grau analítico e as soluções preparadas de acordo às exigências dos métodos.

A enzima alfa-amilase de origem fúngica Sabrase de atividade 20.000 SKB/g foi da firma Produtos Alimentícios Ltda.

Os sais minerais e vitaminas, foram da ICN - Pharmaceuticals. Os outros ingredientes das dietas foram óleo e amido de milho comercial.

3. Equipamentos

A moagem dos grãos foi feita com os seguintes equipamentos:

- . Moinho Experimental Pneumático, Buhler Automatic-202
- . Moinho Experimental Brabender Quadromatic Senior

- . Moinho de martelo Wiley-Arthur Tomas

Na descorticação os equipamentos usados foram:

- . Beneficiadora de arroz Kepler Weber
- . Beneficiadora de arroz Suzuki
- . Classificadora e Beneficiadora de arroz D'Andréa, tipo Compacta Júnior

Na obtenção de farinhas pré-gelatinizadas foram utilizados:

- . Autoclave vertical Dixie modelo RD-TI-3
- . Extrusor modelo de laboratório GNF 1014/2 Bra-bender, acoplado ao motor com registrador DO-Corder
- . Misturador Planetary Mixer PG005 da Brabender
- . Estufa com circulação forçada de ar, marca Fa-nem ou Thelco

Na caracterização das farinhas cruas e pré-gelatinizadas foram utilizados diferentes aparelhos, sendo eles os seguintes:

- . Viscoamilógrafo Brabender
- . Centrífuga Garver Electrífuge
- . Colorímetro Gardner XL-23
- . Analisador de Aminoácidos Beckman, modelo 119CL
- . Evaporador rotatório Bucki
- . Equipe Brabender PME Digital Comparator
- . Determinador de umidade semi-automático, Bra-bender

- . Fotofluorômetro Coleman
- . Centrífuga Automática refrigerada, Sorvall RC2-B
- . Digestor e destilador de proteínas Labconco
- . Mufla com controle de temperatura
- . Extrator de Gordura "Goldfish" Labconco
- . Extrator e digestor de fibras Labconco
- . Espectrofotômetro Perkin Elmer-Coleman-55 e Spectronic 20-B.L.
- . Espectrofotômetro de Absorção Atômica, Techtron AA120
- . Divisor de amostras Boewner
- . Equipamento para determinar peso específico

B. MÉTODOS EXPERIMENTAIS

1. Produção de farinhas de sorgo

As farinhas de sorgo foram produzidas a partir dos grãos condicionados e não condicionados, com grãos integrais e também com grãos descorticados usando-se moinho de rolos.

a. Condicionamento dos grãos e farinhas de sorgo

O condicionamento dos grãos consiste em aumentar a umidade original dos grãos para facilitar a moagem e a separação da casca. Para isto, os grãos foram condicionados para atingir níveis de umidade de 14, 15, 16 e 17% e foram deixados em repouso durante 6, 12 e 24 horas.

Para condicionar as farinhas, foram adicionadas dife

rentes quantidades de água para obter o teor de umidade de sejado e foram misturadas a 100 rpm no misturador "Planetary Mixer" durante 3 minutos.

A quantidade de água a ser adicionada em cada caso foi calculada pela fórmula seguinte:

$$\text{Quantidade de água} = \left(\frac{100 - \% \text{ de umidade do material}}{100 - \% \text{ de umidade desejada}} - 1 \right) \times \text{Peso do material}$$

b. Moagem em moinho de rolos

A moagem foi feita para grãos condicionados e não condicionados, os quais foram moidos em moinhos de rolos, que são utilizados para provas piloto de moagem e controle de qualidade de farinha de trigo.

i. Moinho Buhler Automatic 202

As amostras de sorgo não condicionadas (12,85% de umidade) e as condicionadas a 14, 15, 16 e 17% de umidade por 6, 12 e 24 horas antes da moagem, foram moídas no moinho Buhler com uma velocidade de alimentação de 10 kg/h. Obtiveram-se 8 frações do grão, sendo 6 de farinha, 3 no sistema de quebra embaixo das peneiras de 153 e 130 μ e 3 no sistema de redução embaixo das peneiras de 130 e 115 μ (Figura 1). As farinhas de quebra e de redução foram misturadas para obter a farinha total; as outras frações consideradas subprodutos foram denominadas farelo e farelinho (Figura 1).

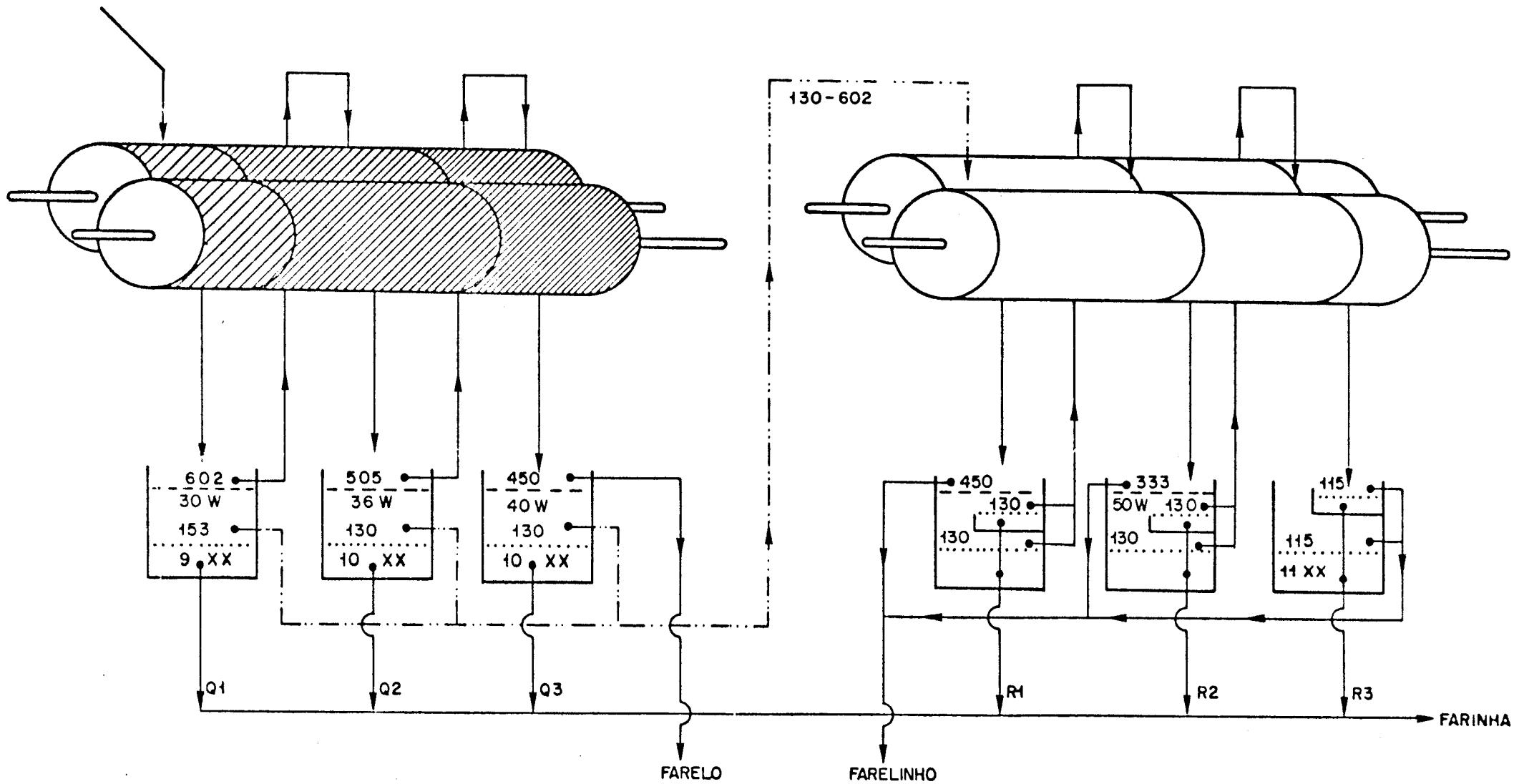


Figura 1 Diagrama de moinho Buhler Automatic 202 (tomado de ref. 37)

ii. Moinho Brabender Quadromatic Senior:

As amostras de sorgo não condicionadas e condicionadas como para a moagem anterior, foram moidas no moinho Brabender com uma velocidade de alimentação de 1 kg/h. Foram obtidas 4 frações, sendo uma embaixo da peneira de 150 μ do sistema de quebra e outra embaixo das peneiras de 195 e 153 μ do sistema de redução (Figura 2). Estas frações de quebra e redução foram misturadas para obter a farinha total. Os outros produtos desta moagem, denominados farelo e farelinho foram separados de acordo com o diagrama representado na Figura 2.

c. Descorticação e moagem em moinho de rolos

A descorticação foi utilizada como uma forma de eliminar parte das camadas externas antes da moagem em moinho de rolos.

i. Descorticação do grão:

Para a descorticação do grão, foram utilizados grãos condicionados e não condicionados, os quais foram polidos nas seguintes beneficiadoras de arroz:

- Beneficiadora Kepler Weber - Esta máquina foi usada com as borrachas ajustadas para uma abertura de 2 mm entre a borraça e tambor de carborundum. O tempo de polimento (brunido) foi de 2, 4, 5, 6, 8 e 10 minutos.

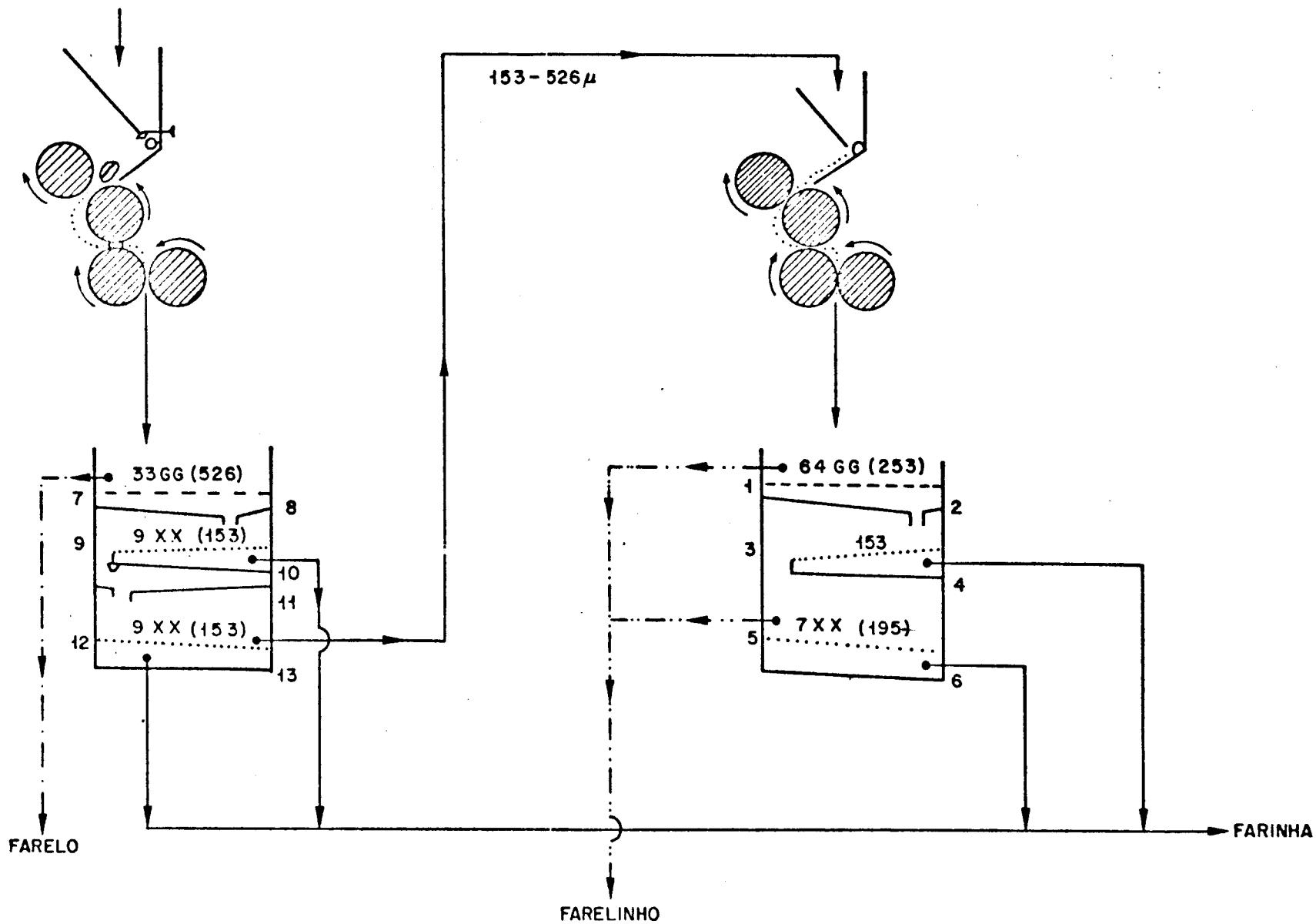


Figura 2 Diagrama do moinho Brabender Quadrumat Senior (tomado de ref. 37)

- Beneficiadora Suzuki - Nesta, foi ajustada a separação dos cilindros de borracha e carborundum para 1 mm. Os tempos de polimento foram de 2, 3, 4 e 5 minutos.

- Beneficiadora D'Andréa - Foi usada para a descorticação de grandes quantidades de amostras (2 a 100 kg). Os grãos de sorgo sem condicionar, foram passados de 3 a 6 vezes pelo sistema abrasivo de pedra carborundum, para obter o grau de descorticação desejado. Além dos grãos polidos obteve-se um subproduto formado por farelo, grão partido e casca.

ii. Moagem do grão descorticado:

A partir dos grãos descorticados foram obtidas as farinhas, por moagem no moinho Brabender (Quadrumat Senior) (Figura 2). A fração do sistema de quebra coletada embaixo da peneira de 153 μ foi misturada com a fração do sistema de redução coletada embaixo das peneiras de 195 e 153 μ . A mistura formou a farinha que se utilizou no processo de extrusão.

2. Produção de farinhas pré-gelatinizadas

As farinhas pré-gelatinizadas foram produzidas a partir dos grãos descorticados usando um processo hidrotérmico e das farinhas do grão descorticado utilizando o processo de extrusão.

a. Processo hidrotérmico

O sorgo descorticado foi macerado em água a diferentes temperaturas e depois de atingir o nível de hidratação desejada, foram definidos os tempos necessários para o tratamento térmico.

i. Maceração do grão descorticado:

Amostras de 1 kg de sorgo descorticado foram colocadas em um recipiente com 2 litros de água à temperatura ambiente (27°C), 40 e 60°C. Nesta duas últimas temperaturas, os recipientes se mantiveram em banhos com controle de temperatura. As amostras foram misturadas ocasionalmente; a cada 10 minutos durante a primeira hora e depois a cada 30 minutos, foram tomadas amostras de 40 g para determinação de umidade, até alcançar o equilíbrio, obtendo-se o tempo adequado para a maceração às diferentes temperaturas.

ii. Tratamento térmico e secagem:

Os grãos macerados, depois de retirar o excesso de água, foram depositados em bandejas com fundo de malha de nylon, em camadas delgadas (3 cm) e colocadas na autoclave. O tempo necessário para atingir a temperatura de 118°C a 14 lbs de pressão foi de 2 minutos. Após alcançar a temperatura de 118°C, fez-se o tratamento térmico durante 1, 5, 10 e 15 minutos. As amostras foram em seguida resfriadas com ar e colocadas em estufa a 45°C para secagem. O tempo de secagem foi de 18 a 20 horas para obter uma umidade aproximada de

10%. Os grãos secos foram moidos em moinho Wiley ou Brabender, para obter as farinhas com uma granulometria menor de 200μ .

b. Processo de extrusão

Para o processo de extrusão foram usadas farinhas de grãos descorticados, obtidas pela moagem dos grãos em moinho Brabender. Prévio ao processo de extrusão foram feitos diferentes testes para estabelecer as variáveis usadas no desenho experimental.

i. Preparação das amostras:

As farinhas (1-2 kg) foram condicionadas no teor de umidade desejado (15 a 25%) adicionando a água por aspensão sob agitação, no misturador planetário a 100 rpm. O material foi colocado em sacos plásticos, deixados à temperatura ambiente por 2 horas antes de ser processado.

A alimentação da farinha no extrusor foi feita com o alimentador Brabender de velocidade variável, com parafuso vertical. Devido a importância de se manter uma alimentação estável, e como o fluxo de saída do material varia com a umidade a uma velocidade fixa, se fizeram gráficos de vazão de alimentador em função da velocidade de rotação e os teores de umidade das farinhas. Para isto foram colocadas no alimentador, de 800 a 900 g da farinha condicionada; colocou-se o alimentador na velocidade determinada e quando a mistura estava homogênea, coletaram-se amostras triplicadas.

das durante 1 minuto em recipientes previamente pesados, que foram pesados novamente para se determinar a vazão em g/min.

Para se manter constante a vazão no extrusor foi necessário variar a velocidade do alimentador de acordo com o conteúdo de umidade. Nos testes preliminares das condições de extrusão, foi fixada uma faixa de velocidade de alimentação de 80 a 115 rpm, o que corresponde a uma vazão de 70 a 120 g/min. Nos testes do desenho definitivo, trabalhou-se com uma velocidade de alimentação de 85 a 91 rpm para os teores de umidade de 15 a 22,5% para obter uma vazão ou fluxo de 100 g/min.

ii. Preparação do extrusor

Utilizou-se um extrusor Brabender modelo GNF de laboratório, do tipo rosca sem fim única, de camisa interna ranhurada, com diâmetro interno de 19 mm e relação comprimento diâmetro de 3:1; a largura do canal foi de 16 mm, sendo constante ao longo de todo o comprimento do parafuso.

O extrusor foi engraxado e logo foram colocados o parafuso de 38 cm de comprimento e de taxa de compressão pré-fixada (1:3) para os testes preliminares, e a matriz do tipo cilíndrico, com um orifício de 4 mm de diâmetro, a qual foi acoplada a zona da matriz correspondente à última seção do cilindro. O alimentador foi acoplado na primeira zona do extrusor.

A ligação do sistema de controle de temperatura foi efetuado posteriormente. Na zona de alimentação a temperatura

foi controlada por circulação de água, e a camisa foi aquecida por meio de resistência elétrica até atingir as temperaturas pré-determinadas para cada zona. Para controlar estas temperaturas, fez-se passar ar comprimido ao redor da camisa.

Quando todas as zonas indicaram as respectivas temperaturas fixadas, com o parafuso a baixa velocidade, foi colocada no alimentador uma amostra de 250 a 300 g com alto teor de umidade (22,5 a 25%), iniciou-se o processo aumentando lentamente a velocidade de alimentação até obtenção da vazão desejada. Depois de passar parte desta amostra (50g), juntou-se a quantidade restante e deixou-se que o extrusor se estabilizasse, trabalhando nas condições estabelecidas, adicionando-se em seguida as amostras de menor conteúdo de umidade. Os extrudados foram coletados depois do extrusor ter trabalhado por 5 a 8 minutos até atingir o equilíbrio. Para terminar o experimento, adicionou-se farinha com alto conteúdo de umidade deixando-se funcionar até esvaziar-se.

iii. Desenho experimental:

Foram feitos 20 testes preliminares variando o conteúdo de umidade de 14 a 25%; a temperatura de extrusão foi de 80°C na primeira zona; na segunda de 150 a 180°C e na terceira de 190 a 210°C. A taxa de compressão foi de 1:3 e 1:4; a matriz de 3 e 4 mm; a velocidade do parafuso de 80 a 160 rpm e a velocidade do parafuso do alimentador de 80 a 115 rpm.

As melhores condições foram avaliadas pelo torque

desenvolvido, a velocidade de saída do produto, a densidade, a expansão, o índice de absorção de água e o índice de solubilidade. De acordo com os melhores resultados, foram fixadas as seguintes variáveis: velocidade do parafuso do extrusor (100 rpm), diâmetro da matriz (3 mm) e taxa de compressão (1:4). A velocidade do parafuso de alimentação foi pré-fixada em torno de 90 rpm, variando de acordo com o conteúdo de umidade, para dar uma taxa de alimentação constante. Os parâmetros tomados em consideração para o desenho experimental, foram a temperatura e o nível de umidade inicial das farinhas. Com estas duas variáveis, usou-se um desenho de três ou quatro níveis, com duas repetições nos valores centrais, como é mostrado na Tabela I. A temperatura da primeira zona foi a mesma para todas as condições mantendo-se constante a 80°C.

C. MÉTODOS ANALÍTICOS

Os métodos analíticos foram aqueles que se utilizaram para determinar as características gerais da matéria prima e dos produtos obtidos nos diferentes processos, assim como as propriedades nutricionais.

Preparo das amostras: os grãos de sorgo integral e descorticado foram moídos em moinho Wiley até obter uma farinha com granulometria de 250 μ , que foi usada para as análises. Os grãos pré-gelatinizados e os extrudados foram moídos no moinho Brabender com o sistema de quebra até uma granulometria de 150 μ .

TABELA I

Plano experimental para os ensaios de extrusão

Conteúdo de umidade (%)	Temperaturas (°C)		
	160	180	200
15	*	*	*
17,5	*	**	*
20	*	**	*
22,5	*	*	*

* - único ensaio

** - duplicata

Taxa de compressão - 1:4

Matriz - 3 mm

Velocidade do parafuso - 100 rpm

Fluxo na alimentação - 100 g/min

1. Dimensões e peso dos grãos

Uma amostra de 10 kg foi dividida sucessivamente até obter amostras de 1 kg cada, da qual tomaram-se 10 g para fazer um total de 100 g (cinco lotes). Desta amostra foram apanhados ao acaso 1000 grãos (cinco vezes) , que foram pesados e 100 grãos foram medidos (com paquímetro) em sua largura e comprimento em forma individual.

2. Densidade dos grãos de sorgo

A determinação foi feita tomando-se uma amostra representativa de 8 kg que foram divididos sucessivamente com separador Boewner até 2 kg. Tomou-se uma amostra a qual colocou-se num recipiente de volume conhecido e previamente pesado, o qual foi novamente pesado para obter a densidade expressa em g/cc.

3. Índice de dureza

Foi medido no equipamento Brabender PME Digital Komparator. O aparelho foi ligado até alcançar 45°C e ajustado a zero; logo foram pesadas 6 g de amostra e foi medido o tempo que levou para moer 4 g de amostra. Esse tempo em segundos dá o índice de dureza.

4. Composição centesimal

a. Umidade

O método usado foi da AACC 44-15 (5), para as farinhas. A amostra pesada foi colocada em estufa com ventilação forçada a 130°C por 1 hora. Para os grãos macerados usou-se o método de secagem em dois estágios da AACC 45-18(5). No primeiro estágio foi determinada a perda de peso após a secagem em estufa a 40°C até atingir umidade inferior a 13% e no segundo estágio as amostras foram colocadas em estufa a 130°C durante 1 hora.

b. Proteína

Usou-se o método de Kjeldahl da AACC 46-10 (5). O teor de proteínas foi calculado com o fator 6,25.

c. Lipídios

Na determinação do teor de lipídios foram usados os seguintes métodos:

Método da AACC 30-20 (5), utilizando hexano como solvente. A extração dos lipídios foi feita no extrator Golfigh durante 6 horas. O outro método usado foi o de Bligh & Dyer (17), onde a amostra pesada (2,5-5 g) foi colocada em tubo e tratada com uma mistura de três solventes, metanol-clorofórmio-água (2:1:0,8), agitada durante 30 minutos e logo após a adição de outra porção do solvente clorofórmio-água (1:1) e de agitação manual enérgica. Os tubos foram deixados em repouso para decantação das camadas e filtração. A fase cloro

fôrmica foi seca com Na_2SO_4 e posteriormente se retirou uma alíquota de 5 ml que foi evaporada em estufa a 80°C até peso constante.

d. Cinzas

O teor de cinzas foi determinado por calcinação em mufla durante 4 horas a 600°C , segundo o método 08-03 da AACC (5).

e. Fibra

Utilizou-se o método 7.05A da AOAC (11). A amostra foi tratada com ácido sulfúrico e em seguida com hidróxido de sódio, filtrada, lavada e seca em estufa. Depois foi calcinada em mufla e pesada, por diferença obteve-se o conteúdo de fibra na amostra.

5. Açúcares

a. Extração dos açúcares

Os açúcares solúveis foram extraídos de acordo com o método descrito por Ponte e col. (94). A amostra (1g) foi extraída com uma mistura de clorofórmio e metanol (1:1) e agitada durante 20 minutos. Posteriormente, adicionou-se uma parte de água sendo agitada por mais 15 minutos. Ao separar-se as fases a camada metanólica foi isolada e o resíduo foi extraído novamente e centrifugado a 8.500 g por 10

minutos. Os sobrenadantes foram filtrados e evaporados em estufa a 40°C. Os açúcares foram re-extraídos com 10 ml de água.

b. Açúcares redutores

A determinação foi feita com 1 ml da solução da extração (antes indicada) pelo método de Somogy-Nelson (58).

c. Açúcares totais

Foram determinados após a extração usando o método fenol-ácido sulfúrico (58)

6. Amido

Foi determinado segundo o método de AACC 76-10 (5). O amido hidrolisado com HCl foi determinado por reação colorimétrica com ortotoluidina.

7. Grau de gelatinização

Usou-se o método enzimático descrito por Chiang e Johnson (23). Uma amostra (A) foi tratada com NaOH 1N e neutralizada com HCl 1N; outra amostra (B) foi dispersada em água e ambas foram digeridas com glico amilase a 40°C durante 30 minutos. Foi determinado o grau de hidrólise medindo-se os açúcares redutores (expressos como glicose) por reação com ortotoluidina. As leituras de absorvância foram feitas a 630 nm, e a porcentagem

de gelatinização foi calculada pela seguinte fórmula:

$$\% \text{ de gelatinização} = \frac{B - K}{A - K} \times 100$$

onde:

A = Absorbância da amostra A ou do amido totalmente gelatinizado

B = Absorbância da amostra B ou do amido pré-gelatinizado

K = Absorbância de uma amostra de amido intacto de sorgo, hidrolisado nas mesmas condições da amostra pré-gelatinizada.

8. Taninos

Foi utilizado o método de vanilina proposto por Price e col. (97), o qual consiste em medir a coloração formada da reação dos taninos condensados com o reagente vanilina.

Os taninos foram extraídos da amostra (200 mg) por refluxo durante 3 horas com uma solução de metanol-ácido clorídrico concentrado (10 ml). Depois de centrifugar, 1 ml do extrato foi tratado com 4 ml do reativo vanilina e incubado a 30°C por 20 minutos. A absorbância foi lida a 500 nm e o conteúdo de taninos foi obtido a partir de uma curva padrão, preparada com solução de catequina em metanol. Os taninos foram expressos como equivalentes de catequina.

9. Determinação de aminoácidos

Todos os aminoácidos com exceção do triptofano fo-

ram determinados por cromatografia de troca iônica de acordo com Moore e col. (83), usando o analisador Beckman modelo 119 CL.

Uma amostra contendo aproximadamente 20 mg de proteína foi hidrolisada com ácido clorídrico 6 N (\pm 40ml) em tubos com tampa de rosca de teflon, em estufa a 110°C durante 22 horas. O hidrolisado foi resfriado e filtrado através de filtro milipore e o volume completado a 100 ml com água destilada. Deste filtrado foram tomadas alíquotas de 20 ml e evaporadas num evaporador rotatório a 55°C. O resíduo da evaporação foi lavado 3 vezes com 10 ml de água até eliminar o HCl. O resíduo foi dissolvido em 5 ml de tampão citrato de sódio pH 2,2 e filtrado de novo. Uma alíquota de 100 microlitros foi injetada no analisador de aminoácidos.

O triptofano foi determinado pelo método colorimétrico de Ramam Dao e col. (101) modificado por Mondragon e col. (80) baseado na condensação do triptofano com p - dimetil amino benzaldeído em meio ácido. A absorbância foi lida a 590 nm, e o conteúdo de triptofano calculado a partir da curva de calibração.

10. Susceptibilidade enzimática

Foi usado o método descrito por Sandstedt e Mattern (115) usando a alfa amilase fúngica numa concentração de 80 SKB/6 ml. As determinações dos açúcares redutores obtidos (expressos como maltose) foram feitas de 5 em 5 minutos para amostras pré-gelatinizadas e de 1 em 1 hora em amostras cruas. O teste foi finalizado quan

do se atingiu o "plateau" da curva, que relacionou teor de maltose em função do tempo de hidrólise enzimática.

11. Digestibilidade in vitro

O método utilizado foi o de Akesson e Stahman (3), - com ligeiras modificações. A caseína se usou como control. A temperatura de incubação foi de 37°C. A amostra foi digerida com pepsina durante 3 horas e em seguida com a pancreatina por 24 horas. O nitrogênio digerido foi determinado pelo método de Kjeldahl, e a digestibilidade foi calculada como a porcentagem de nitrogênio digerido em relação ao conteúdo da amostra testada.

12. Vitaminas

a. Tiamina (Vitamina B₁)

A tiamina foi determinada pelo método descrito na AACC 86-80 (5), o qual consiste na oxidação da vitamina com ferrocianeto de potássio para converter-lhe em tiocromo, o qual é medido por fluorometria.

b. Riboflavina (Vitamina B₂)

Para esta determinação usou-se o método fluorométrico descrito na AACC 86-70 (5). A vitamina extraída com HCl foi tratada com permanganato de potássio e depois com peróxido de hidrogênio. A fluorescência foi lida em fluorômetro Coleman usando ditonito como referência.

c. Niacina

Foi determinada pelo método microbiológico descrito na AOAC 43150-43046 (11). O microrganismo usado foi *Lactobacillus plantarum*. O teor de niacina foi calculado a partir da curva padrão.

13. Minerais

a. Ferro

Foi determinado pelo método colorimétrico da AOAC 14.011 (11), usando o-fenantrolina como complexante e hidroquinona para desenvolver a cor. As leituras foram feitas a 515 nm.

b. Cálcio

Usou-se o método gravimétrico da AOAC 14.014 (11). O cálcio foi complexado com amônio e titulado com KMnO_4 .

c. Fósforo

Para esta determinação usou-se o método da AOAC 7.103 (11). Depois da reação com molibdato de amônio, as leituras foram feitas a 400 nm.

14. Cor

Usou-se o colorímetro Gardner XL-23 (46) que mede

a diferença total de cor, com relação a um controle de cor (Ls) semelhante a amostra testada.

As leituras foram feitas em termos de luminosidade ou brancura da amostra (Lm), calibrando o aparelho com uma "placa" branca de valores $L = 92,83$; $a = - 0,099$ e $b = + 0,56$. A mudança de tonalidades da cor vermelha para verde é registrada no valor "a" e a mudança de amarelo para o azul como "b".

A cor expressa como porcentagem de brancura, é dada por:

$$\% L = \frac{Lm}{Ls} \times 100$$

15. Determinação da viscosidade das farinhas

Na determinação da viscosidade foi usado o viscoamílógrafo Brabender. Foram usadas suspensões a concentrações em torno de 10% de farinhas e 450 ml de água destilada e velocidade de 75 rpm. A temperatura inicial de 25°C foi aumentada de 1,5°C por minuto até a máxima de 95°C permanecendo nessa temperatura por 20 minutos. Desta temperatura passou-se ao ciclo de resfriamento, com diminuição da temperatura de 1,5°C por minuto até a temperatura final de 50°C.

Do viscoamílógrafo obteve-se um gráfico, que é o registro do tempo e a viscosidade e da avaliação desse gráfico pode-se obter as seguintes informações (128):

a) Temperatura inicial de gelatinização: é a tempe-

ratura da suspensão, expressa em °C, na qual se observa o início de um aumento da viscosidade, durante o ciclo de aquecimento.

b) Temperatura de viscosidade máxima: é a temperatura, expressa em °C, correspondente ao valor máximo de viscosidade, durante o ciclo de aquecimento.

c) Tempo para alcançar a viscosidade máxima: é o tempo gasto, em minutos, necessários para atingir a viscosidade máxima.

d) Viscosidade máxima: é o valor máximo de viscosidade, alcançado durante o ciclo de aquecimento, expresso em Unidades Amilográficas (U.A.).

e) Viscosidade a 95°C: é o valor da viscosidade, expresso em U.A., quando a temperatura da pasta atinge a 95°C.

f) Viscosidade ao final do ciclo de temperatura constante: é o valor da viscosidade, em U.A., após 20 minutos a 95°C.

g) Viscosidade final a 50°C: é o valor da viscosidade, em U.A., ao final do ciclo de resfriamento, correspondente à temperatura de 50°C.

16. Índices de absorção de água e solubilidade em água

Os índices de absorção de água (IAA) e solubilidade em água (ISA) das amostras foram determinados empregando-se

a metodologia descrita por Anderson e col. (6): 1 g de amostra (base seca), com tamanho da partícula menor que 60 mesh, é suspenso em 30 ml de água destilada, em tubo de centrífuga de 50 ml previamente tarado. A suspensão foi mantida sob agitação constante por 30 minutos à temperatura de 30°C, e então, centrifugada a 3000 rpm por 10 minutos. Do sobrenadante retirou-se uma alíquota de 10 ml que foi colocada em placa de Petri tarada e levada à estufa com circulação forçada de ar a 105°C para evaporação total da água. Os sólidos que ficaram na placa foram pesados. O resto do sobrenadante foi descartado e determinado o peso do resíduo sólido.

O índice de absorção foi assim expresso:

$$IAA = \frac{\text{peso do gel}}{\text{peso amostra} \times (100 - ISA)} \times 100$$

O índice de solubilidade é dado pela seguinte equação:

$$ISA = \frac{\text{peso dos sólidos}}{\text{peso amostra}} \times 100 \times f$$

onde f é o fator de correção do volume, que neste caso foi igual a 3.

17. Determinação da densidade

Foi feita nos extrudados. Para obter a densidade do produto pesou-se uma parte linear do produto de 5 cm de comprimento e o resultado foi dividido pelo seu volume. O volume foi calculado na área cilíndrica das amostras, tomando-se um comprimento fixo de 5 cm e medindo o diâmetro com um paquímetro, foram to

madras seis amostras de cada processo e fizeram-se seis medições em cada caso.

18. Determinação do grau de expansão

Esta análise foi realizada nos extrudados. A expansão é expressa como a relação entre o diâmetro do produto cilíndrico e o diâmetro da matriz.

19. Medição do torque

O torque foi determinado a partir dos gráficos registrados durante o processo. Para isto, tomaram-se os valores médios em vários pontos na fase mais estável do gráfico.

D. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA PROTEÍNA

1. Método biológico

O método utilizado foi o quociente de eficiência protéica (PER), seguindo a técnica descrita na AOAC 43.183-187 (11). Esta metodologia foi usada para avaliar a qualidade protéica da farinha integral, farinha do grão descascado e farinhas obtidas dos processos de moagem.

a. Preparo das dietas

A composição das dietas foi a seguinte: proteína 10% (fornecida pelas farinhas de sorgo); óleo de milho, 5%; sais minerais 4%; vitaminas 1% e amido de milho em quantidade suficiente para 100g. As ví-

taminas e minerais continham todos os componentes recomendados para ensaios com ratos. (2).

b. Determinação do quociente de eficiência protéica

Na realização dos ensaios foram usados ratos brancos da linhagem "Sprague Dawley", com idade de 21 a 25 dias (30 a 45 g). Foram usados 50% de fêmeas e 50% de machos (3 + 3), os quais foram mantidos em gaiolas individuais com água e dieta "ad libitum", durante 28 dias.

Em todos os ensaios além da dieta a ser testada, foi incluído um ensaio com dieta em que a proteína usada foi a caseína, como proteína padrão na base de 10% da dieta.

Os ensaios tiveram início após 24 horas de adaptação às dietas experimentais, tendo-se pesado inicialmente os ratos e a dieta a eles administrada. A partir dessa pesagem, estabelecida como início, foram feitas pesagens regulares cada 2 ou 3 dias. As pesagens das dietas foram feitas cada 4 dias. Calcularam-se os valores de PER, dividindo-se os ganhos de peso (gramas) pela proteína consumida (gramas).

Calculou-se em função do mesmo teste: ganho de peso por rato e ingestão de dieta por rato.

c. Digestibilidade "in vivo"

Para esta determinação utilizaram-se as mesmas rações e ratos dos ensaios de PER, além de um grupo de ratos com uma dieta aprotéica. O outro método usado foi o de recuperação descrito por Allison (4), iniciando-se o teste após

uma semana de adaptação às dietas experimentais.

As fezes de 10 dias foram coletadas individualmente, limpas, pesadas e moídas. O nitrogênio total excretado nas fezes e o nitrogênio ingerido foram determinados pelo método de Kjeldahl (5). A digestibilidade aparente (Da) e a digestibilidade verdadeira (Dv) foram calculadas segundo a seguinte expressão:

$$\% \text{ de Da} = \frac{\text{Nitrogênio ingerido (Ni)B} - \text{Nitrogênio fecal(NF)B}}{\text{Nitrogênio ingerido (Ni)B}} \times 100$$

$$\% \text{ de Dv} = \frac{\text{Ni.B} - (\text{NF.B} - \text{N F.A})}{\text{Ni.B}}$$

A = ratos do grupo em dieta aprotéica

B = ratos do grupo em dieta protéica

2. Método químico

O método químico utilizado foi o "Escore químico" (4). As determinações foram feitas nas diferentes farinhas cruas e nas pré-gelatinizadas.

O índice químico foi calculado a partir da determinação de aminoácidos, já que é uma relação entre conteúdo dos aminoácidos essenciais na amostra e o conteúdo desses mesmos aminoácidos na proteína padrão de referência da FAO/OMS (41). O valor mínimo obtido é o índice ou escore químico da proteína.

E. MÉTODOS ESTATÍSTICOS

a. Ajustes de modelos polinomiais de respostas

Foram utilizados os métodos estatísticos descritos por Sokal e Rohlf (125) Cochran e Cox (26) ou Snedecor (124), aplicando comparação de médias, análises de variância de uma e duas vias e análise de regressão linear múltipla. Para analisar os resultados da moagem, foi testada uma equação do tipo:

$$y = a_0 + a_1t + a_2u + a_3tu + a_4t^2 + a_5u^2 + E'$$

sendo

y = Rendimento (%)

t = Tempo de descanso (horas)

u = Nível de umidade (%)

E' = Efeito das repetições ou erro aleatório

O modelo acima apresentado combinava o efeito linear de cada variável ao efeito de segunda ordem. Este foi usado para analisar o efeito do tempo de descanso e umidade de condicionamento sobre os rendimentos de farinha na moagem. Foram utilizadas as seguintes transformações:

<u>Horas (t)</u>	<u>T</u>	<u>Umidade (u)</u>	<u>U</u>
6	1	14	1
12	2	15	2
24	4	16	3
		17	4
Média =	$\frac{7}{3}$		$\frac{10}{4}$

U e T: São as variáveis tempo e umidade transformadas

$$t = \left(T - \frac{7}{3}\right) \text{ e } u = U - \left(\frac{10}{4}\right)$$

tal que $\sum t_i = 0$

$$\sum u_i = 0$$

e $\sum (t_i u_i) = 0$

Em termos de u e t , ajustamos por mínimos quadrados, com os termos polinomiais de segunda ordem:

$$u, t, ut, u^2 \text{ e } t^2$$

O modelo ajustado foi:

$$y = 53,0 - 0,733t - 0,730u - 0,480tu + 0,0240t^2 - 0,193u^2$$

Os valores da estatística t foram, respectivamente - 3,93, - 4,18, - 3,42, 0,11 - 0,99; portanto, como apenas os coeficientes de t , u e tu foram significativos, a 95% de confiança, então adotou-se o modelo

$$y = a_0 + a_t t + a_u u + a_{tu} tu + E$$

b. Análise de superfície de resposta

Os resultados do processo de extrusão, foram analisados aplicando a metodologia de superfície de respostas descrita por Montgomery (81), a qual supõe que quando K fatores ou variáveis independentes estão sendo estudadas num experimento as respostas ou variáveis dependentes serão uma função dos níveis aos quais se combinarão esses fatores. Num sistema envolvendo as variáveis x_1, x_2, \dots, x_k , a resposta que chamaremos y , poderá ser representada como:

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

sendo $E(y) = n$

e considerando o valor de E (erro aleatório) desprezível, a superfície representada por n é chamada de superfície de respostas, pode ser descrita por,

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

Quando a função aproximada é, por exemplo, linear, n torna-se

$$n = B_0 + B_1 X_1 + \dots + B_{kk}$$

Para este estudo foi selecionada a equação de expansão de Taylor no modelo de resposta de segunda ordem (Henika, 1972) para duas variáveis. Com essas variáveis as condições experimentais podem combinar-se de várias formas conseguindo o valor central (B_0) o qual combinará devido ao efeito linear de cada variável, ao efeito de segunda ordem (sistemas com curvaturas) e as interações. Isto pode ser expresso assim:

$y_1 = B_0 + \dots$	Pto. central
$B_1 x_1 + B_2 x_2 + B_3 x_3 + (1)$	(1. ^a ordem)
$B_{11} x_1^2 + B_{22} x_2^2 + B_{33} x_3^2 + (2)$	(2. ^a ordem)
$B_{12} x_1 x_2 + B_{13} x_1 x_3 + B_{23} x_2 x_3 + (3)$	(Interações)

onde,

y é a função resposta

E é o ponto central do sistema ou ponto estacionário

B_1 , B_2 e B_3 correspondem aos efeitos lineares

B_{11} , B_{22} , B_{33} , B_{12} , B_{13} e B_{23} são os coeficientes correspondentes aos efeitos de segunda ordem

x_1 , x_2 e x_3 representam o valor das variáveis independentes

A equação anterior (3) pode ser reescrita em notação matricial:

$$\underline{Y} = b_0 + x'b + x'Bx$$

No presente trabalho, a análise dos mínimos quadrados e análise de variância foram aplicadas para testar a validade do modelo. Os valores de B , b_0 , b foram encontrados permitindo a análise de cada tipo de resposta como função das variáveis independentes. Fixando-se uma variável e mudando-se as duas restantes foi possível graficar o contorno da superfície dentro do campo do estudo realizado.

O contorno das superfícies foi obtido a partir das variáveis independentes (temperatura do processo e conteúdo de umidade da matéria prima) consideradas como críticas segundo trabalho prévio em sorgo e milho por Conway e col.(28). As respostas foram: índice de absorção e índice de solubilidade em água, cor, densidade e viscosidade.

O ponto estacionário da superfície (X_0) é encontrado pela diferenciação parcial da equação com relação a cada variável independente e resolvendo simultaneamente um sistema de equações lineares. Este ponto estacionário pode ser enquadrado, segundo o contorno das respostas observadas, em qualquer uma das situações abaixo:

a) Ponto no qual a superfície atinge um máximo tal que, ao nos afastarmos de x_0 , obtemos um respectivo decrêscimo na resposta (Figura 3.a).

b) Ponto no qual a superfície atinge um mínimo tal que, ao nos afastarmos de x_0 , obtemos um respectivo acrêscimo na resposta (Figura 3.b).

c) Um ponto sobrecarregado, ou seja, onde a resposta pode aumentar ou diminuir dependendo da direção com que nos movamos em relação a x_0 . Este ponto também é conhecido pelo nome de sela (saddle) (Figura 3.c).

d) Um pico (ou depressão) que ocupa uma faixa, mantendo-se estacionário, indicando que há uma linha, ou seja, mais do que um simples ponto, onde há uma resposta de máximo (ou mínimo). (Figura 3.d).

e) Uma cadeia de curvas que se sucedem de modo crescente, mostrando que o ponto estacionário real de máximo se localiza em um ponto remoto da região experimental e a resposta aumenta se nos movermos nessa direção (Figura 3.e).

f) Uma série de curvas que mostram uma região em depressão crescente, onde o ponto estacionário real de mínimo situa-se numa região remota da área experimental e a resposta diminui quando nos aproximamos dela (Figura 3.f).

O processamento de dados para as análises estatísticas foi efetuado no Computador DEC - 10 da Digital (da Unicamp) e no Computador IBM - 370 (da USP) com os programas do sistema de análise estatística (SAS).

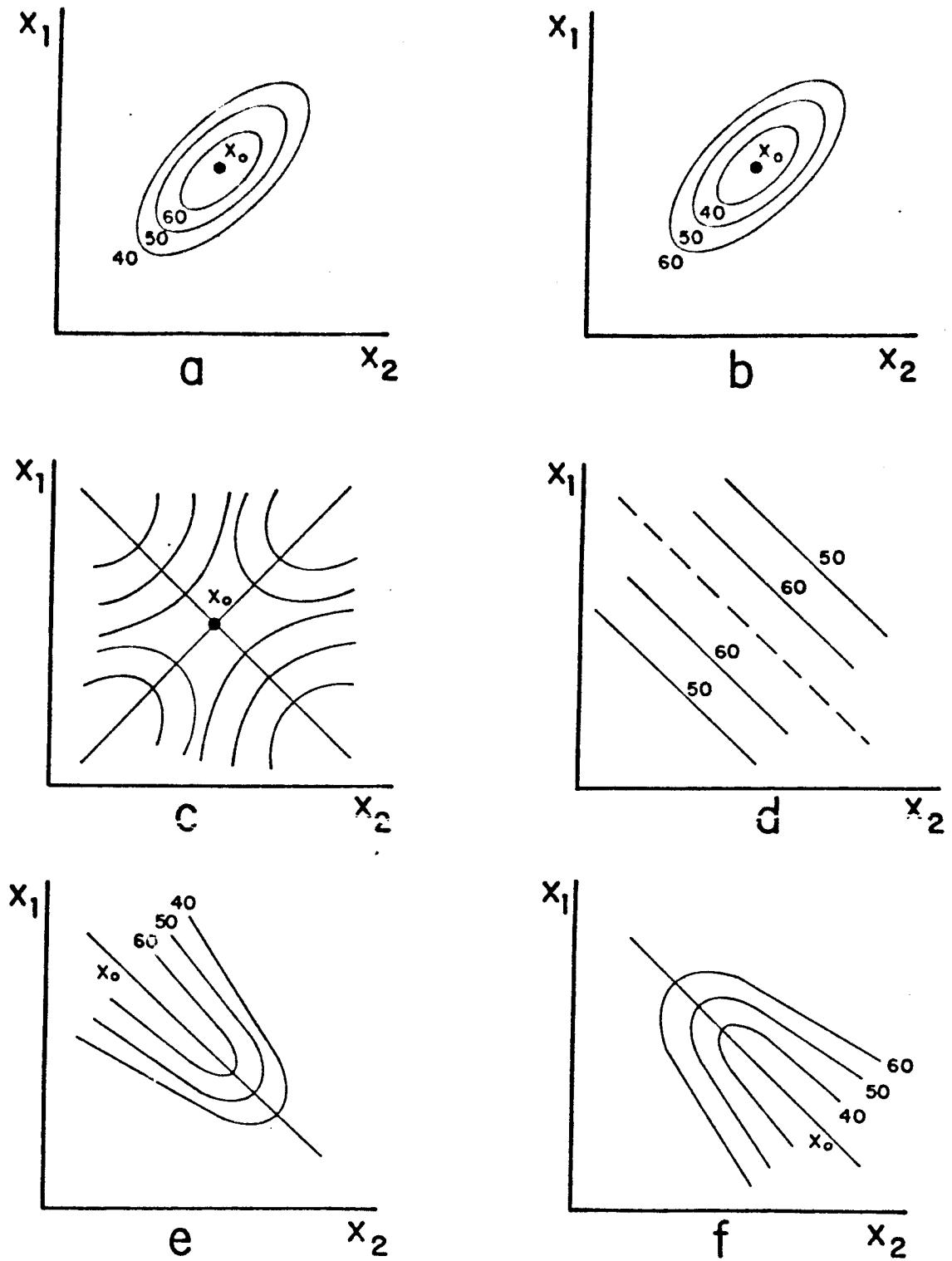


Figura 3 Tipos de superfície de resposta geradas por uma equação de segunda ordem (tomada de ref. 36)

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram estudados os efeitos de diferentes níveis de condicionamento na moagem do grão de sorgo e sobre os rendimentos em farinhas e grãos descorticados. Foi aplicado um processo hidrotérmico para obtenção de farinhas pré-gelatinizadas a partir dos grãos descorticados e um processo de extrusão para farinhas de grãos descorticados moídos em rolos. A caracterização dos produtos obtidos, permitiu avaliar a efetividade dos dois tratamentos. Em continuação serão discutidos os resultados e os aspectos mais importantes do presente trabalho.

A. CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA PRIMA

Foi usado o cultivar CMSXS603, por ter um tamanho relativamente grande, uma cor branca, aparência vítrea, baixo conteúdo de taninos, conteúdo relativamente alto de proteínas e bom rendimento a nível experimental, sendo utilizado para cultura comercial.

O grão de sorgo e as farinhas obtidas da moagem do grão, foram caracterizadas através de diferentes análises físicas e químicas.

1. Propriedades físicas

Os grãos de sorgo tinham forma oval e, visualmente, possuíam cor branca; suas características físicas e físico-químicas mais importantes estão apresentadas na Tabela II. Os grãos apresentando for-

TABELA II

Características físicas e fisico-químicas do grão e farinha integral de sorgo.

Características	Valores		
	min.	máx.	média
Dimensão ¹ :			
Largura (mm)	3,52	4,96	3,88
Comprimento (mm)	4,50	5,49	4,90
Peso de 1.000 grãos (g)	25,13	29,73	28,53
Densidade de grãos (g/cm ³)	0,76	0,80	0,78
Índice de dureza de grãos (segundos)	-	-	39,66
Índice de solubilidade de farinha(%)	-	-	2,23
Índice de absorção de farinha(g gel/g amostra)	-	-	1,27
Cor de farinha (% brancura)	-	-	78,26
Grau de gelatinização de farinha (%)	-	-	2,96

1. Média de 100 grãos

ma oval-arredondado, mediam de 4,5 a 5,4 mm de comprimento e 3,5 a 4,9 mm de largura. O peso médio de 28,53 mg, permite encaixar-lhe na classificação de grão grande (25 a 50 mg) segundo Wills e Ali (134). Estes autores encontraram uma alta correlação entre tamanho do grão e rendimento na descorticação, sendo que o tamanho ideal resultou ser o intermediário (13 a 24 mg), já que os grãos pequenos tendem a ser subdescortificados e os grandes a serem sobre-descortificados.

A densidade média de $0,7825 \text{ g/cm}^3$ corresponde de grãos de sorgo de baixa densidade, já que os valores obtidos, os quais estão na faixa de $0,76$ a $0,80 \text{ g/cm}^3$ encontra-se próximo aos valores inferiores reportados, que são de aproximadamente $0,70$ a $1,40$ (74). O índice de dureza média do grão de 39,66 segundos, pode considerar-se alta se comparado com a dureza de um trigo brasileiro mole (25 a 30 segundos) ou com a de um trigo canadense variedade Marquise (33 segundos). Este valor de índice de dureza permite sugerir que se trata de um grão de endosperma com parte córnea e parte farinácea. Maxson e col. (74) encontraram uma baixa correlação entre densidade e dureza do grão com os rendimentos da moagem.

As propriedades físicas são importantes para controle de qualidade. No entanto, não existe uma boa relação entre as características de moagem e propriedades físicas, sobretudo em híbridos com endosperma intermediário. As variedades com endosperma todo córneo ou todo farináceo, dão alta correlação entre algumas propriedades físicas e a obtenção de grits, sempre que os grãos sejam de forma e tamanho similar (74).

Os resultados para índice de solubilidade, índice de absorção e grau de gelatinização, podem considerar-se normais para uma farinha que não tenha sofrido tratamento térmico, mecânico ou químico que modifiquem o amido, o qual seria o principal responsável pelo aumento destas variáveis.

2. Composição centesimal

Quando se quer usar o sorgo para consumo humano, alguns dos atributos que se tomam como critério de qualidade, são as proteínas, os taninos e o amido, cujos conteúdos no cultivar estudado são apresentados na Tabela III. Pode-se verificar que o conteúdo de proteína (13,9%) é relativamente alto, comparado a muitas variedades cultivadas na América Latina (19, 39, 107), entretanto pode-se situar como de nível médio na classificação estabelecida por Janbunathan (64).

Segundo vários autores (21, 39, 96), quando o conteúdo de taninos é inferior a 1% se considera que o grão é de baixo teor de taninos conforme acontece com o cultivar estudado (0,49%).

O conteúdo de amido (74,87%) está dentro da faixa de grãos com níveis intermediários (70 a 75%) (79). A cinza, fibra e lipídios têm valores que se aproximam aos teores considerados normais para diferentes tipos de sorgo (19, 61, 87 108).

TABELA III

Composição¹ centesimal do grão de sorgo

Componente	Conteúdo (g/100g)
Proteína (N x 6,25)	13,91
Lipídios	4,18
Cinza	2,02
Fibra	1,45
Amido	74,87
Carboidrato ²	77,95
Taninos	0,47

1. Em base seca

2. Por diferença, excluindo o valor do amido

B - PRODUÇÃO DE FARINHAS DE SORGO

O processo de moagem que adotamos foi com a finalidade de produzir uma farinha com baixo teor de gordura (e, portanto, mais estável que a farinha integral) e que tivesse menos cinza, fibra e pigmentos, de forma que apresentasse uma boa aparência e cor aceitável. Para obter as farinhas com essas características, foi estudado o processo de moagem em moinho de rolos, do grão integral e de grãos previamente descorticados por abrasão.

1. Moagem em moinhos de rolos

Foram usados moinhos de rolos para moagem experimental de trigo (Buhler Automatic 202 e o Brabender Quadrumat Senior) que produzem rendimentos extrapoláveis aos moinhos industriais.

Os moinhos de rolos têm dado bons resultados em algumas experiências para moagem de sorgo (8, 50, 51, 86).

a. Moinho Buhler Automatic 202

Para moagem usaram-se grãos integrais condicionados a diferentes teores de umidade e tempo de descanso e

grãos sem condicionar com um conteúdo de umidade de 12,85%. Os resultados do rendimento da moagem dos grãos sem condicionar, assim como a composição das frações obtidas, são apresentadas na Tabela IV. O rendimento em farinha total foi de 54,73%, que pode considerar-se baixo em comparação com os rendimentos que se obtêm na moagem de trigo (aproximadamente 72-74%); entretanto é similar aos resultados obtidos por outros pesquisadores (8, 50) que trabalharam com diferentes cultivares de sorgo usando o mesmo tipo de moinho.

Como consequência do baixo rendimento em farinhas, se obtiveram altos valores para farelo e farelinho, devido à grande proporção de endosperma que se incorporou nestas frações.

Ao analisar os resultados de composição das frações, se observa que a maioria tem um conteúdo de cinza relativamente elevado (0,96 a 3,08%) exceto a farinha de redução (0,5%). Os lipídios foram superior a 1% em todas as frações. Isto indica a necessidade de se obter melhor separação do germe.

Possivelmente o grão com pouca umidade se fragmenta completamente e por isso parte do pericarpo e germe, passam para as frações de quebra e redução e uma porção maior ao farelo e farelinho, causando, para todas as frações, um alto conteúdo de lipídios e de cinzas.

i. Efeito do condicionamento do grão sobre o rendimento

De acordo com Anderson e col., (8) e Hahn (50), o condicionamento tem sido indicado como positivo para aumen

TABELA IV

Rendimento e composição¹ das frações de moagem do sorgo no moinho Buhler 202

Frações	Rendimento (%)	Composição (g/100g)		
		Proteína	Lipídios	Cinza
Farinha de quebra	14,98	9,64	1,02	1,21
Farinha de redução	39,64	11,39	1,27	0,50
Farinha total	54,73	10,90	1,14	0,96
Farelinho	28,41	15,43	3,40	2,05
Farelo	14,98	11,02	5,23	3,08

1. Em base seca

tar o rendimento na moagem de sorgo, já que permite que o germe se entumeça ligeiramente e se desprenda da membrana colante ("cementing layer") que o une ao endosperma, o que faz com que o endosperma se torne mais mole e que o pericarpo fique mais duro e elástico, produzindo uma boa separação dos componentes do grão.

Os grãos foram condicionados a 14, 15, 16 e 17% de umidade por 6, 12 e 24 horas, em temperatura ambiente (27°C).

Os resultados do rendimento da moagem são apresentados na Tabela V. Os valores para farinha total variaram de 48,73 até 54,45%, sendo este último (valor máximo) obtido ao mais baixo nível de umidade (14%) e tempo mais curto de descanso (6 horas). Observa-se que para um determinado nível de umidade (com exceção de 15%) à medida que aumentou o tempo de descanso, diminuiu o rendimento (Figura 4). Com todas as umidades de condicionamento e 6 horas de descanso se obtiveram as menores variações no rendimento.

O farelo e o farelinho foram as frações mais afetadas pela umidade e tempo de condicionamento. Ao aumentar a umidade de condicionamento e tempo de descanso diminuiu o farelinho (com exceção de 16% de umidade e 24 horas de repouso). O farelo aumentou ao aumentar o conteúdo de umidade para todos os tempos de descanso.

Para analisar o efeito do condicionamento sobre o rendimento em farinha total, se aplicou a análise de regressão linear múltipla, com os termos polinomiais de segunda ordem, ajustados por mínimos quadrados; o modelo foi testado

TABELA V

Efeito de umidade de condicionamento e tempo de descanso sobre o rendimento das frações de moagem de sorgo em moinho Buhler 202

Frações	Tempos de descanso (horas)											
	6				12				24			
					umidade (%)							
	14	15	16	17	14	15	16	17	14	15	16	17
Rendimento em porcentagens												
Farinha de Quebra	14,40	14,42	15,76	15,15	14,21	14,77	14,01	14,70	14,13	14,81	13,31	16,11
Farinha de Redução	40,53	38,72	37,53	38,95	39,51	38,96	38,43	37,45	38,42	39,51	37,40	32,62
Farinha Total	54,45	53,14	53,39	54,10	53,72	53,73	52,44	52,15	52,55	54,32	50,71	48,73
Farelinho	28,58	26,34	23,04	23,23	28,74	25,82	24,53	22,43	30,16	26,15	27,76	22,15
Farelo	17,20	20,49	22,65	23,55	17,53	20,44	23,02	26,53	17,28	19,52	21,51	24,12

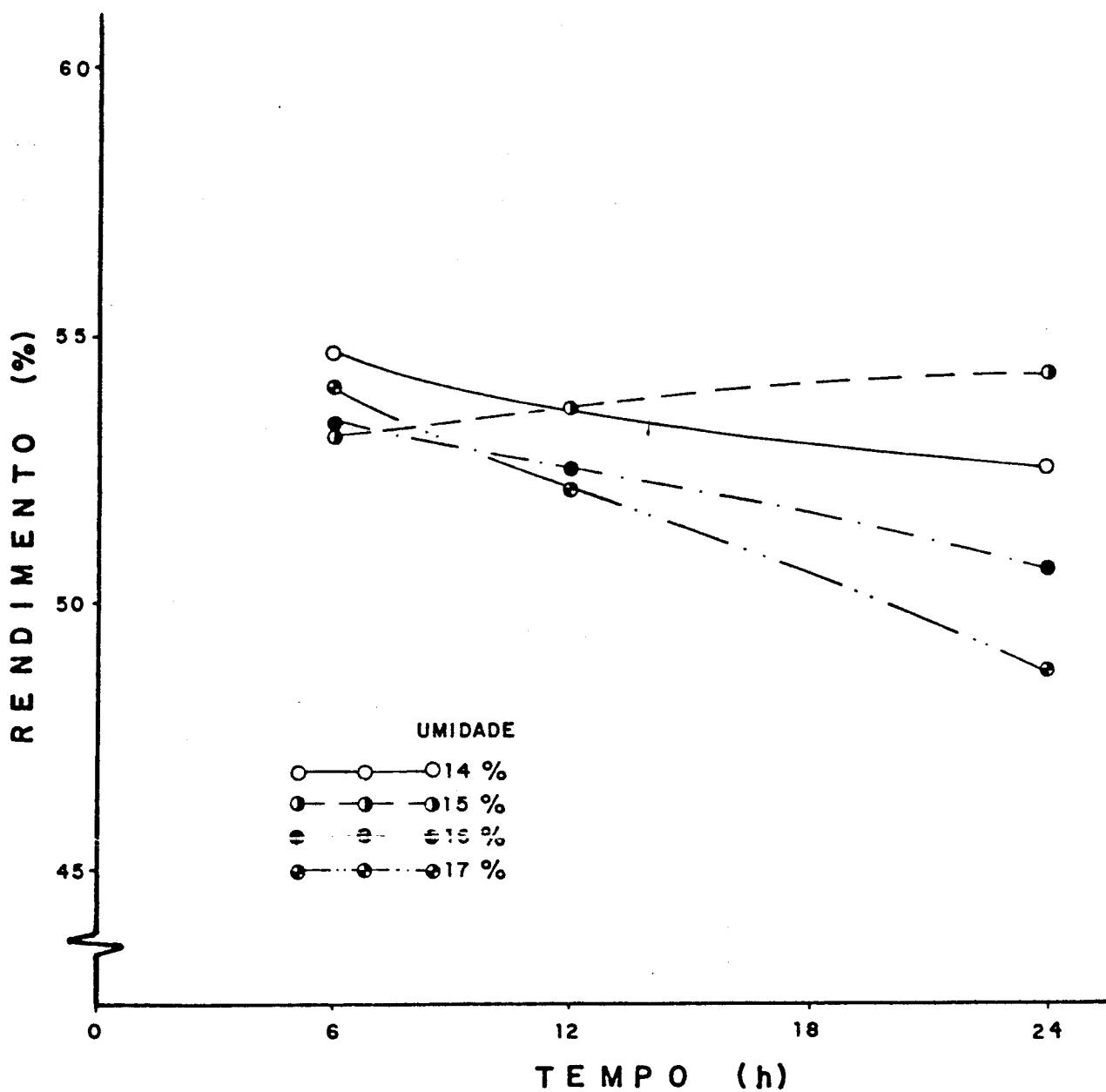


Figura 4 Efeito da umidade de condicionamento e tempo de descanso sobre o rendimento em farinha obtida da moagem de sorgo em mo_inho Buhler 202

envolvendo todas as variáveis de umidade e tempo de descanso e as interações.

Verificou-se que as variáveis significativas foram tempo de descanso, umidade e a interação tempo x umidade (Tabela VI). Os termos de segunda ordem t^2 (tempo quadrado) e u^2 (umidade quadrado) não foram significativos e a variabilidade foi de 68,5%. Comprovou-se que ao aumentar o tempo de descanso e a umidade, diminuiu o rendimento, e não houve diferença significativa, a 95% de confiança, entre os rendimentos a 14 e 15% de umidade nem entre 16 e 17%. No entanto, houve diferença entre (14, 15%) e (16, 17%).

Contrário ao esperado, os resultados demonstraram que o condicionamento não foi positivo para aumentar o rendimento na moagem. Contudo, os dados obtidos estão de acordo com aqueles publicados por perten (93).

ii. Efeito do condicionamento na composição das frações

Quando se analisou o rendimento encontrou-se que com três formas diferentes de condicionamento podia-se obter praticamente a maior quantidade de farinha total. Portanto, para saber se o condicionamento permitiria obter uma farinha de melhor qualidade foram feitas análises de proteína, cinza e gordura em todas as frações.

Na Tabela VII são apresentados os resultados do efeito do condicionamento sobre a composição das frações. Na farinha total, a proteína diminuiu ao aumentar o conteúdo de umidade para todos os tempos de descanso. Os lipídios variaram

TABELA VI

Coeficiente de regressão para o rendimento obtido no moinho Buhler em relação às variáveis umidade e tempo de descanso

Variáveis	Coeficiente de regressão	Desvio padrão	Estatística t
Termo constante	52,777	0,191	276,94
Tempo de descanso	-0,721	0,153	-4,72
Umidade	-0,730	0,170	4,28
Tempo X umidade	-0,480	0,137	3,51

Modelo para regressão: $y = a_0 + a_1t + a_2u + a_3tu + E$

Modelo ajustado: $y = 52,777 - 0,721t - 0,730u - 0,480tu$

TABELA VII

Efeito da umidade de condicionamento e tempo de descanso sobre a composição¹ das frações obtidas na moagem de sorgo em moinho Buhler 202

	Tempos de descanso (horas)											
	6				12				24			
	14	15	16	17	Umidade (%)				14	15	16	17
Composição em g/100g												
<u>Farinha de quebra</u>												
Proteína	10,33	9,92	9,42	9,32	10,05	9,97	9,68	9,49	10,20	9,10	9,52	8,79
Lipídios	1,37	1,16	0,92	0,87	1,56	1,46	1,43	1,42	1,10	1,07	0,99	0,93
Cinza	1,10	0,86	0,82	0,73	0,85	0,78	0,74	0,70	0,78	0,49	0,47	0,41
<u>Farinha de redução</u>												
Proteína	11,68	11,77	11,64	11,25	12,41	11,85	11,58	11,35	11,38	10,73	10,88	10,14
Lipídios	1,78	1,75	1,70	1,66	1,89	1,74	1,67	1,56	1,76	1,64	1,56	1,20
Cinza	1,16	1,01	0,74	0,72	1,30	1,18	0,93	0,76	1,35	1,27	0,82	0,69
<u>Farinha total</u>												
Proteína	11,11	10,84	10,68	10,65	11,03	10,86	10,57	10,42	10,46	9,70	9,57	9,38
Lipídios	1,48	1,41	1,33	1,11	1,68	1,59	1,54	1,47	1,39	1,03	1,05	1,02
Cinza	1,02	0,91	0,78	0,66	0,99	0,95	0,86	0,73	0,98	0,72	0,71	0,63
<u>Farelinho</u>												
Proteína	14,86	15,25	15,62	15,75	14,60	15,21	15,37	15,85	15,23	16,07	16,20	16,34
Lipídios	4,22	4,42	4,91	5,12	4,86	4,64	5,18	5,39	4,54	4,68	5,29	5,58
Cinza	1,71	1,83	1,91	2,26	1,83	1,94	2,08	2,28	1,85	2,01	2,09	2,32
<u>Farelo</u>												
Proteína	10,78	9,86	9,33	9,22	11,78	10,56	9,77	9,72	12,98	12,82	12,49	11,83
Lipídios	5,33	5,30	5,16	5,18	5,41	5,31	5,15	5,09	5,56	5,52	5,86	5,90
Cinza	3,01	3,18	3,21	3,30	2,98	3,06	3,12	3,25	3,02	3,08	3,15	3,83

1. Em base seca

de 1,02 até 1,68% o que indica que parte do germe se incorporou nesta fração, sendo a proporção maior na farinha do grão condicionado a 14 e 15% de umidade para 12 horas de descanso. Os teores de cinza diminuíram ao aumentar o nível de umidade, para todos os tempos de descanso, e na maioria das condições foram obtidos valores abaixo de 1%.

O farelinho apresentou os teores mais altos de proteína de todas as frações; isto era de esperar e inclusive poderiam ter sido maiores, porque caso houvesse obtido uma boa separação, esta fração estaria formada principalmente pela camada de aleurona e parte do endosperma periférico e germe, todos com alto teor de proteínas. Em geral, à medida que aumentou o conteúdo de umidade e o tempo de descanso, aumentou o teor de proteína, lipídios e cinza, no farelinho.

No farelo se observa que, na maioria dos casos, ao aumentar o conteúdo de umidade, diminuiu o teor de lipídios e aumentou o de cinza.

O melhor tratamento para diminuir o conteúdo de lipídios e portanto, aumentar a estabilidade, seria acondicionamento de 15 a 17% de umidade durante 24 horas. Infelizmente, nestas condições a proteína diminuiu e o rendimento foi muito baixo, pelo que o condicionamento para moagem neste tipo de moinho não apresenta vantagens.

b. Moinho Brabender Quadrumat Senior

Devido a que os rendimentos no moinho Buhler 202 foram muito baixos, fizeram-se moagens no moinho Brabender

Quadrumat Senior, para verificar se poderiam ser obtidos valores maiores. Os resultados são apresentados na Tabela VIII onde se pode observar que para os grãos sem condicionar (12,85% de umidade), se obtém um rendimento em farinha de quebra que é praticamente o dobro do obtido em moinho Buhler e a fração de redução também foi ligeiramente maior, sendo portanto mais alto o rendimento em farinha total (73,64%). Isto indica que o moinho Brabender foi mais efetivo para separar o endosperma, aumentando o rendimento das farinhas aproximadamente em 20%. Este aumento foi produzido pela melhor separação do farelinho, o qual praticamente diminuiu à metade; no entanto o farelo teve o mesmo rendimento que no moinho Buhler.

A composição das farinhas em proteína variou de 10,80 a 13,28%, sendo que a farinha total apresentou um conteúdo (12,06%) ligeiramente maior que o obtido na farinha total em Buhler. O valor de cinza foi igual (0,95%), mas o teor de lipídios foi alto para a farinha total, porém um pouco mais baixo que no Buhler. O farelo e o farelinho tiveram alto conteúdo de lipídios e cinza o que indica que o germe está distribuído entre estas duas frações principalmente.

i. Efeito do condicionamento sobre o rendimento

Os grãos de sorgo, condicionados a 14, 15, 16 e 17% de umidade por 6, 12 e 24 horas de descanso, foram moídos no moinho Quadrumat Senior obtendo-se os resultados que se apresentam na Tabela IX. Pode-se observar que ao

TABELA VIII

Rendimento e composição¹ das frações de moagem de sorgo em moinho Brabender Quadrumat Senior

Frações	Rendimento	Composição (g/100g)		
		Proteína	Lipídios	Cinza
Farinha de quebra	29,50	10,80	1,18	1,02
Farinha de redução	44,14	13,28	1,25	0,48
Farinha total	73,64	12,06	1,22	0,95
Farelinho	12,21	14,28	3,32	1,83
Farelo	14,14	7,06	6,02	3,81

1. Em base seca

TABELA IX

Efeito da umidade de condicionamento e tempo de descanso sobre o rendimento das frações da moagem de sorgo em moinho Brabender Quadrumat Senior

Frações	Tempos de descanso (horas)											
	6				12				24			
					Umidade (%)							
	14	15	16	17	14	15	16	17	14	15	16	17
Rendimento em porcentagem												
Farinha de quebra	28,64	17,52	19,35	16,86	25,38	34,01	21,64	17,92	16,28	31,71	16,59	18,03
Farinha de redução	39,88	41,30	35,88	33,03	34,94	28,94	37,89	30,86	41,64	35,40	35,73	29,69
Farinha total	68,52	58,82	55,23	49,89	60,39	63,99	59,53	48,78	57,92	67,11	52,32	47,72
Farelinho	13,66	16,31	13,06	10,29	23,23	19,00	13,36	11,14	18,20	14,54	22,79	12,19
Farelo	17,82	24,87	31,71	39,82	16,44	17,00	27,10	40,07	23,86	18,35	24,88	40,09

aumentar o conteúdo de umidade do grão, diminuiu o rendimento em farinha total, sendo que o valor maior de 68,5% foi obtido a 14% de umidade e 6 h de descanso. De modo geral (com exceção de 15%), para todos os níveis de umidade, a medida que o tempo de descanso foi mais prolongado, diminuíram os rendimentos. Isto pode ser melhor apreciado na Figura 5. A diminuição no rendimento das farinhas, sobretudo para 17% de umidade em todos os tempos de repouso, ocorreu por passagem de endosperma ao farelo, já que os rendimentos deste foram bastante altos (aprox. 40%). No entanto os do farelinho foram os mais baixos.

Ao aplicar a análise de regressão linear múltipla com o modelo adotado como foi indicado para a moagem em moinho Buhler 202, obteve-se a equação $y = 60,0 - 4,80u - 1,99u^2$ indicando, portanto, que só a umidade foi significativa e a variabilidade foi de 71,3%. Portanto, maior que para Buhler, o que indicou que os rendimentos foram maiores. Não houve diferenças significativas a 95% de confiança entre 14 e 15% de umidade e houve diferença entre todas as outras comparações, sendo o maior rendimento obtido com o menor nível de umidade.

ii. Efeito do condicionamento sobre a composição das frações

Na Tabela X se apresentam os resultados do conteúdo de proteína, lipídios e cinza das frações obtidas na moagem dos grãos condicionados. Observa-se que a farinha total tem um conteúdo de lipídios alto, que varia de 1,12 a 1,83%, o que significa que frações do germe continuam formando

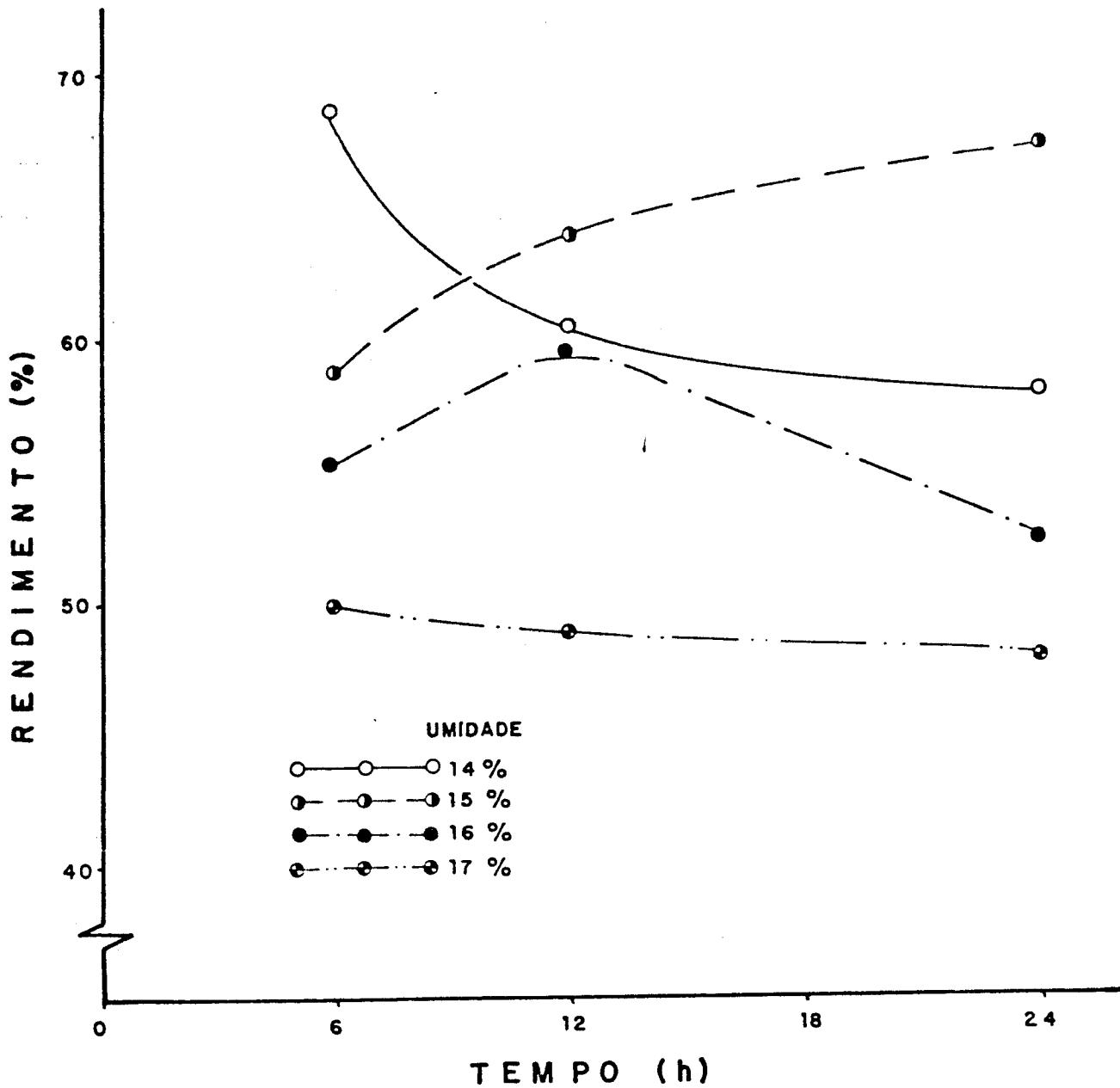


Figura 5 Efeito da umidade de condicionamento e tempo de descanso sobre o rendimento em farinha obtida da moagem de sorgo em moio Brabender Quadrumat Senior

TABELA X

Efeito da umidade de condicionamento e tempo de descanso sobre a composição¹ das frações obtidas na moagem de sorgo em moinho Brabender Quadrumat Senior

	Tempos de descanso (horas)											
	6				12				24			
	14	15	16	17	Umidade em porcentagem				14	15	16	17
	Composição em g/100g											
<u>Farinha de quebra</u>												
Proteína	11,50	10,41	10,38	10,22	10,39	9,89	10,37	10,36	10,48	9,98	9,42	9,31
Lipídios	1,28	1,20	1,28	1,15	1,33	1,60	1,78	1,15	1,48	1,75	1,27	0,98
Cinza	0,74	0,64	0,56	0,56	0,77	0,88	0,87	0,52	0,38	0,59	0,54	0,45
<u>Farinha de redução</u>												
Proteína	12,40	12,32	12,20	12,05	12,24	12,57	12,44	11,94	12,30	12,21	12,11	11,97
Lipídios	2,35	2,52	2,46	2,09	2,58	2,45	2,47	2,47	2,19	2,57	2,20	1,92
Cinza	1,21	1,01	0,65	0,66	0,89	1,20	0,92	0,56	1,27	1,08	1,98	1,09
<u>Farinha total</u>												
Proteína	11,31	11,20	11,12	11,08	11,28	11,22	11,15	11,11	11,23	11,19	10,80	10,56
Lipídios	1,76	1,78	1,67	1,32	1,60	1,70	1,83	1,31	1,59	1,66	1,34	1,12
Cinza	0,97	0,87	0,62	0,62	0,91	0,86	0,80	0,62	0,86	0,84	0,78	0,60
<u>Farelinho</u>												
Proteína	14,33	14,65	14,82	14,86	14,65	14,78	14,93	14,97	14,72	14,91	14,97	15,02
Lipídios	4,27	4,36	4,40	4,63	4,37	4,44	4,62	4,63	4,41	4,59	4,67	4,72
Cinza	1,86	1,88	1,95	2,05	1,90	1,94	2,09	2,11	1,55	1,70	1,73	1,79
<u>Farelo</u>												
Proteína	10,68	10,01	9,45	8,72	10,59	10,21	9,38	8,63	10,63	10,31	9,75	8,62
Lipídios	5,27	5,13	4,53	4,31	5,18	5,08	4,41	4,26	5,30	5,15	5,53	4,23
Cinza	3,15	3,22	3,29	3,37	3,13	3,19	3,25	3,39	3,16	3,21	3,30	3,35

1. Em base seca

parte desta fração.

O conteúdo de cinza na farinha total foi inferior a 1% para todas as umidades de condicionamento e tempos de descanso, obtendo-se o menor valor de 0,60% para 17% de umidade e 24 horas de descanso.

Pode-se deduzir que a moagem em moinho Brabender foi eficiente para diminuir o conteúdo de cinza na farinha total, sendo todavia necessário diminuir o teor de lipídios. Anderson e col. (8) concluíram que para obter frações baixas em lipídios (menos de 0,8%), é necessário desgerminar ou polir o grão de sorgo. Como não foi possível diminuir os lipídios, pelo condicionamento e moagem em moinho de rolo, prosseguiu-se o trabalho usando grão descorticado (para definir este processo também se aplicam os termos descascado, brunido e polido).

2. Descorticação e moagem em moinho de rolos

O propósito de conseguir farinhas com baixo teor de gordura (1%) e cinzas (aprox. 0,5%) por moagem direta dos grãos condicionados ou não, em moinhos de rolos, não foi atingido, e então se estudou a descorticação dos grãos, seguida da moagem em moinho de rolos a consecução desse fim.

A descorticação permite eliminar as camadas externas do grão e o germe, melhorando a separação do endosperma.

a. Descorticação de grãos

A descorticação ou descascamento dos grãos de sorgo é um método adequado para remover o farelo com o mínimo de perda de nutrientes, quando a porcentagem de farelo oscila entre 7,8 e 12% (32).

O grau de remoção da casca e os rendimentos em grãos descortificados ou descascados inteiros vão depender do condicionamento, da velocidade de descorticação e do tipo de equipamento utilizado(86).

Neste estudo foram utilizados três tipos de máquinas beneficiadoras de arroz, as quais produzem descascamento, descorticação ou polimento do grão por abrasão, sendo duas delas de escala de laboratório e uma de escala piloto.

i. Descorticação em escala de laboratório

Para a descorticação do sorgo, em escala de laboratório, foram usados os moinhos beneficiadores Kepler Weber e Suzuki, que produzem resultados muito eficientes no descascamento de arroz e deram resultados aceitáveis para sorgo.

Beneficiadora Kepler Weber: os grãos foram descortificados com a umidade original do grão (12,85%) ou previamente condicionados a 14, 15, 16, 17% de umidade por 6, 12 ou 24 horas de descanso. Como o grau de descorticação depende do tempo que os grãos são submetidos ao processo de fricção abrasiva contra eles mesmos e contra o tambor de carborundum, procurou-se inici

almente buscar o tempo mais adequado para a descorticação. Os resultados deste experimento se apresentam na Tabela XI, onde se pode observar que ao aumentar o tempo de descorticação aumenta o farelo removido e, por conseguinte, diminui o rendimento em grãos descortificados. Quando se aumentou o tempo de descorticação por mais de 8 minutos, observou-se grandes quantidades de grãos partidos, e além disso, o aspecto visual indicava que praticamente toda a casca tinha sido removida do grão aos 8 minutos, quando se obteve um rendimento de aproximadamente 75%.

Para verificar o efeito do tempo de descorticação sobre a composição, os grãos foram moidos e analisados para lipídios, fibra e cinza (Figura 6.). Os resultados indicam que o brunido progressivo reduz no grão o conteúdo de cinza, lipídios e fibra, sendo que os dois últimos são removidos em maior porcentagem. Com a separação da maior quantidade de farelo, também se separam maiores quantidades dos componentes indicados, motivo pelo qual o tempo de descorticação ideal foi selecionado balanceando o rendimento e a composição. Tomando em consideração que aos 2 minutos ainda ficavam muitos lipídios no grão e que depois de 6 minutos os rendimentos eram muito baixos, foram escolhidos 4 minutos como tempo ótimo, já que nele se tinha eliminado praticamente 50% dos lipídios e fibra, 65% da cinza e 14,66% do farelo.

Como o rendimento obtido aos 4 minutos de descorticação do grão sem condicionar foi de 85,34%, se fez o condicionamento (14, 15, 16 ou 17% de umidade por 6, 12 ou 24 ho-

TABELA XI

Efeito do tempo de descorticação do sorgo¹ em beneficiadora Kepler Weber sobre o rendimento do grão descorticado.

Tempo de descorticação (min)	grão descorticado (%)	farelo (%)
0	-	-
2	88,7	11,3
4	85,34	14,66
6	83,93	16,07
8	74,94	25,06

1. Com 12,85% de umidade

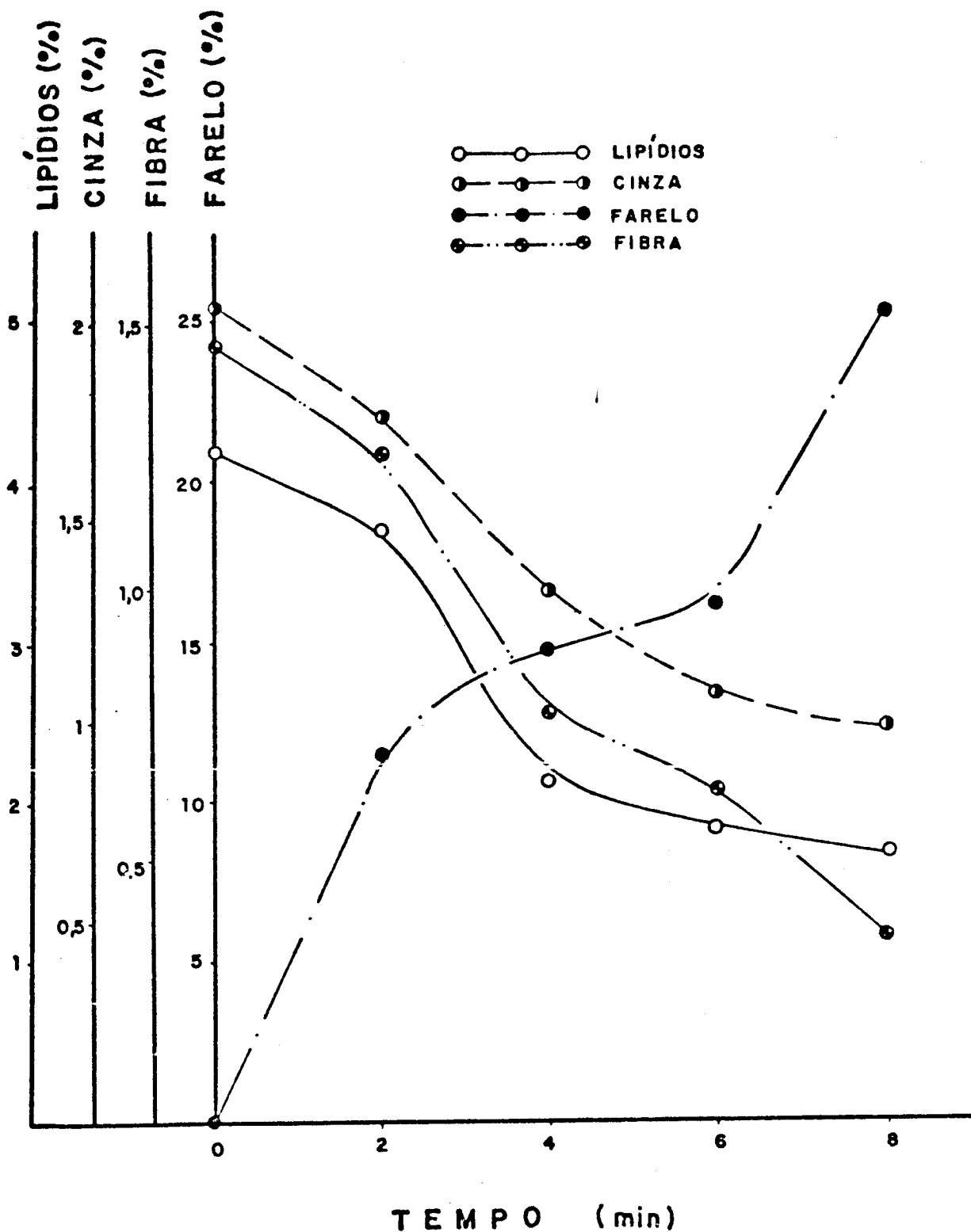


Figura 6 Efeito do tempo de descorticação do sorgo em beneficiadora Kepler Weber sobre a remoção do farelo e a composição do grão descorticado

ras de descanso) para verificar a possibilidade de descorticação mais eficiente. Os resultados do efeito do condicionamento sob a obtenção de grãos descorticados se apresentam na Tabela XII. Observa-se que para um mesmo nível de umidade, ao se aumentar o tempo de descanso diminuiu o rendimento em grãos descorticados. Os rendimentos obtidos foram de 57,4 a 83,5% de grãos descorticados, sendo o valor máximo menor que para o grão sem condicionar.

Os resultados antes discutidos indicam que o condicionamento do sorgo, sob as condições testadas só tem efeito benéfico descorticando com 6 horas de descanso. Possivelmente, diminuindo o tempo de descanso e/ou de brunido, se torne mais fácil a descorticação como tem sido indicada por Raghavendra Rao e Desikachar (100).

Beneficiadora Suzuki: esta tem a mesma capacidade (100 g) da Kepler Weber, todavia o espaço entre a borracha e o tambor de carborundum pode ser diminuído, pelo que o tempo de brunimento poderia ser menor. Para considerações práticas, o tempo de descorticação deveria reduzir-se ao mínimo possível. Por isto, tratou-se de obter um tempo de descorticação inferior aos 4 minutos, que tinha sido o tempo ótimo de descorticação em beneficiadora Kepler Weber.

Os tempos testados foram 2, 3 e 4 minutos para as amostras sem condicionamento e com condicionamento a 14, 15 e 16% de umidade por 6, 12 e 24 horas de descanso.

Como o tempo de brunimento de 1 minuto praticamente não dava separação do germe e de casca, o que se percebia pela aparência visual e pelo conteúdo de gordura (3,5%), optou-se pelo tempo mínimo de 2 minutos.

TABELA XII

Efeito do condicionamento do sorgo sobre os rendimentos usando beneficiadora Kepler Weber

Umidade (%)	Porcentagem de grãos descorticados		
	6	Horas de descanso 12	24
14	83,54	78,02	67,36
15	81,72	68,04	65,83
16	82,10	69,54	65,20
17	73,18	59,81	57,41

Os resultados do rendimento em grãos descorticados são apresentados na Tabela XIII, os valores obtidos foram de 60,35 até 85,15%, sendo que o maior valor se obteve com a amostra sem condicionamento, com 2 minutos de brunido e o menor rendimento para grãos condicionados a 14% de umidade e 12 horas de descanso, com 4 minutos de brunido. Em geral, para os grãos condicionados, ao aumentar o tempo de descascamento diminui o rendimento para qualquer umidade e tempo de descanso, mas este efeito foi mais acentuado para as 12 horas de descanso (Figura 7).

Analisando por regressão linear múltipla os rendimentos obtidos na beneficiadora Suzuki, encontrou-se que todas as variáveis foram significativas, portanto, o rendimento foi influenciado pela umidade dos grãos, tempo de descanso, tempo de descorticação interação umidade x tempo de descorticação e pelos termos de segunda ordem em tempo de descanso (tc^2) e umidade (u^2) (Tabela XIV).

Verificou-se que ao aumentar o tempo de descanso e de brunido diminuiu o rendimento. Houve diferença significativa, a 95% de confiança, entre os valores obtidos com o grão sem condicionar e os condicionados aos 2 min de brunido. Houve diferença entre os rendimentos obtidos com 16% e os demais níveis de umidade às 6 e 12 horas de descanso.

O descascamento em moinho Suzuki permitiu reduzir o tempo à metade dando um rendimento similar ao obtido no Kepler Weber, pelo que para provas de laboratório o moinho

TABELA XIII

Efeito da umidade de condicionamento do sorgo, tempo de descanso e tempo de descortica-
mento em beneficiadora Suzuki sobre o rendimento em grãos descorticados

Tempo de descortica- mento (min)	Controle (sem condicionamen- to) ¹	Tempo de descanso (horas)								
		6			12			24		
		14	15	16	14	15	16	14	15	16
Rendimento em porcentagem										
2	85,15	79,35	79,61	83,07	72,77	70,04	78,90	78,0	77,94	77,70
3	74,90	74,84	74,35	81,38	65,35	68,75	74,87	72,39	73,81	75,88
4	72,46	71,27	66,78	74,16	60,35	61,19	73,09	62,15	67,77	69,46

1. 12,85% de umidade

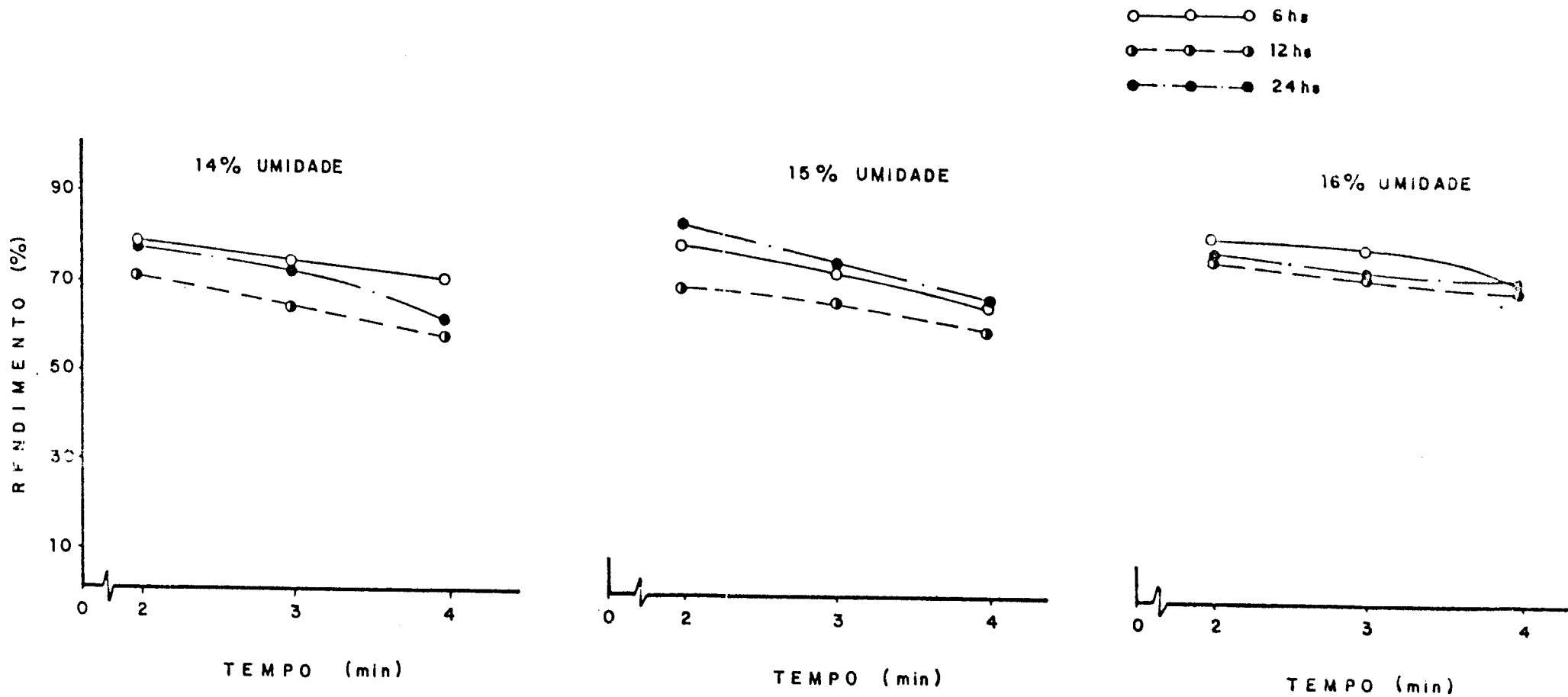


Figura 7 Efeito da umidade de condicionamento e tempo de descanso sobre o rendimento de grãos descorticados em beneficiadora Suzuki durante diferentes tempos

TABELA XIV

Coeficiente de regressão para o rendimento na beneficiadora Suzuki em relação as variáveis de condicionamento e tempo de descorticação.

Variáveis	Coeficiente de regressão	Desvio padrão	Estatística t
Termo constante	59,93	1,73	34,72
Tempo de descanso (tc)	-2,534	0,682	-3,72
Umidade (u)	4,767	0,876	5,44
Tempo de descorticação (td)	-7,478	0,876	-8,53
Tempo de 2 ^d ordem (tc ²)	5,947	0,773	7,70
Umidade 2 ^d ordem (u ²)	3,40	1,52	2,24
Umidade X tempo desc.(u x tc)	3,37	1,07	3,14

Modelo ajustado $y = 59,9 - 2,53tc + 4,77u - 7,48td + 5,95tc^2 + 3,40u^2 + 3,37utd.$

Suzuki resultou ser mais eficiente.

Para saber se o tempo de descorticação havia tido influência na composição dos grãos condicionados e sem condicionar, fizeram-se determinações de proteína, cinzas e lipídios. Os resultados se apresentam na Tabela XV. Pode-se perceber que ao aumentar o tempo de descorticação diminuiu ligeiramente o conteúdo de lipídios e cinzas, sendo que as proteínas são pouco alteradas.

A descorticação em beneficiadora Suzuki permitiu reduzir consideravelmente o conteúdo de cinzas e lipídios, conservando a maior parte das proteínas. Permitiu ainda, que sem que tenha eliminado por completo o germe tenha-se conseguido remover grande parte das camadas externas do pericarpo o que se refletiu numa cor mais clara das farinhas.

Na Tabela XVI se mostra a influência do descorticação na cor das farinhas obtidas do grão descascado e verifica-se que existe uma alta correlação entre a cor e o conteúdo de umidade no condicionamento sendo que a menor porcentagem de umidade a farinha obtida apresentou cor mais branca

Alguns autores (31, 100) que tem processado o sorgo por descorticação indicam que não é conveniente separar mais do que 10% da casca a fim de conservar ao máximo suas propriedades nutricionais. Outro autor (93) afirma que até 20% de remoção não causa perdas significativas dos nutrientes, desde que parte do germe seja retida, porém isto poderia ocasionar problemas de armazenamento (quando o conteúdo de lipídios são da ordem de 2%).

TABELA XV

Efeito da umidade de condicionamento e tempo de descanso sobre a composição¹ do grão de sorgo descorticado em beneficiadora Suzuki

Tempo de descorticoamento (min.)	Determinações	Controle (sem condicionamento)	Tempo de descanso (horas)								
			6			12			24		
			14	15	16	Porcentagem de umidade			14	15	16
Composição em g/100g											
2	Proteína	13,15	12,93	12,95	13,12	12,35	12,11	12,87	12,85	13,13	13,02
	Lipídios	1,96	1,80	1,82	1,84	1,58	1,45	1,79	1,77	1,97	1,83
	Cinza	1,28	1,02	1,10	1,22	0,98	0,96	1,01	1,01	1,26	1,12
3	Proteína	12,43	12,36	12,27	12,98	11,82	11,25	12,35	12,17	12,60	12,63
	Lipídios	1,68	1,65	1,64	1,80	1,45	1,37	1,66	1,51	1,67	1,68
	Cinza	1,02	1,01	1,02	1,06	0,83	0,81	1,03	1,96	1,04	1,04
4	Proteína	12,24	12,19	11,98	12,27	11,20	11,53	12,20	11,75	12,03	12,58
	Lipídios	1,56	1,54	1,47	1,63	1,02	1,25	1,55	1,43	1,52	1,63
	Cinza	0,97	0,97	0,88	0,99	0,76	0,80	0,98	0,82	0,93	0,98

1. Em base seca

TABELA XVI

Efeito do tempo de descorticação sobre a cor do grão de sorgo descorticado em beneficiadora Suzuki

Umidade de condicion. (%)	Tempo de descanso (horas)	Tempo de descorticação (min.)	Cor branca	Equação	Correlação (R)	
14	6	2	89,95	$y=89,39+0,64X$	0,986	
		3	90,84			
		4	91,23			
	12	2	2	92,08	$y=89,56+1,17X$	0,984
			3	92,78		
			4	94,43		
	24	2	2	89,05	$y=86,78+1,24X$	0,965
			3	90,93		
			4	91,53		
15	6	2	83,53	$y=80,45+1,68X$	0,957	
		3	85,11			
		4	86,99			
	12	2	2	92,01	$y=91,10+0,44X$	0,998
			3	92,43		
			4	92,90		
	24	2	2	88,47	$y=85,84+1,42X$	0,963
			3	90,59		
			4	91,32		
16	6	2	84,49	$y=80,62+2,03X$	0,987	
		3	87,09			
		4	88,55			
	12	2	2	85,20	$y=81,25+2,07X$	0,990
			3	87,79		
			4	89,35		
	24	2	2	84,19	$y=82,64+0,76X$	0,999
			3	84,88		
			4	85,69		

1. Para 95% de confiança

Assim, o grau de descorticação vai depender mais de considerações econômicas e do interesse particular para uso dos produtos obtidos. Como existe um duplo interesse em ter o grão com grande parte de seus valores alimentícios e com farinhas com propriedades adequadas para processar por extrusão, se tratará de fazer um balanceamento considerando ambos aspectos.

Devido a que até agora o grão sem condicionar deu o melhor rendimento e a composição foi adequada aos fins dos interesses desta pesquisa, não foi feito o condicionamento na experiência da descorticação a nível de escala piloto que será o próximo teste a discutir.

ii. Escala de planta piloto

O equipamento utilizado para estas experiências foram a beneficiadora por abrasão e classificadora de arroz marca D'Andrea. Este equipamento é contínuo e o grau de descorticação desejado só pode ser medido pelo número de passagens através do sistema completo desde a alimentação até a saída. Para calcular o tempo de permanência do grão dentro do tambor abrasivo e aproximar os números de passagens aos tempos previstos como adequados nas beneficiadoras Kepler Weber e Suzuki, foram feitas quatro passagens de 3 kg cada uma e se calculou o tempo médio de permanência (tempo de descorticação) o que foi de 40 segundos. Os tempos de permanência testados foram de 2 a 4 minutos e o efeito do tempo de descorticação sobre as características do grão descorticado serão apresentados a seguir.

Os resultados dos rendimentos em porcentagens de grãos descorticados e o conteúdo de lipídios, cinza e a cor são apresentados na Tabela XVII, onde se observa que os rendimentos em grãos descorticados variaram de 93,21 até 63,55% decrescendo com o aumento do tempo de descorticação. Este efeito foi semelhante ao observado com as outras beneficiadoras. Para 2 e 4 minutos de brunimento o peso do grão removido foi bem menor que o atingido para o mesmo tempo com as outras beneficiadoras.

A cor do grão foi melhorada pelo descorticação tendo um efeito notável ao eliminar aproximadamente 7% do peso do grão, quando se dever ter eliminado grande parte da camada externa do pericarpo que contém os pigmentos e transmite uma cor mais escura às farinhas. No entanto com o aumento o tempo de descorticação para além de 3,3 minutos não se obteve melhoria da cor.

O conteúdo de lipídios foi diminuído em forma bastante acentuada e linear com o tempo de descorticação podendo-se indicar que grande parte do germe foi despreendido do grão aos 2,5 minutos, tempos maiores de descorticação, praticamente, não tiveram efeito na diminuição do teor de lipídios. O conteúdo de cinzas aos 2 minutos foi diminuído gradualmente a principio e depois bruscamente até atingir um valor de 0,78% quando 36,45% do peso do grão havia sido removido como subproduto. Em geral pode-se observar que ao aumentar o tempo de descorticação o grão fica mais branco e o conteúdo de cinza e de lipídios diminui.

TABELA XVII

Efeito do tempo de descorticação de sorgo¹ em beneficiadora D'Andrea sobre o rendimento, cor, conteúdo de lipídios e cinza do grão descorticado

Tempo de descorticação (minutos)	Rendimento (g/100g)		Cor (% brancura)	Componente ³ no grão descorticado (g/100g)	
	grão descorticado	sub-produtos ²		Cinza	Lipídios
0	-	-	78,26	2,02	4,18
2	93,21	6,79	86,68	1,92	2,63
2,5	82,35	17,65	88,21	1,46	1,75
3,3	72,63	27,37	89,03	0,93	1,61
4,0	63,55	36,45	89,87	0,78	1,39

1. Com 12,9% umidade
2. Farelo + quebrados
3. Em base seca

O tempo de descorticação vai depender da finalidade de uso para os grãos descortificados. Como neste trabalho se usaram para processar por tratamento térmico e moer em moinho de rolos, optou-se por selecionar o tempo de 2 minutos, devido a que, com esse tempo os rendimentos em grãos descortificados foram altos (93,21%) e os lipídios diminuíram quase em 40% em relação ao grão integral. Este nível de descorticação possivelmente permitirá manter maior teor de nutrientes, já que tem sido reportado que um grau de polimento de aproximadamente 10% do grão é o ideal para máxima remoção do farelo com um mínimo de perdas em proteína e tiamina (100).

Nos grãos descascados durante 2 minutos foi determinada a composição centesimal e os resultados se apresentam na Tabela XVIII. Observa-se que a proteína (13,87%) se mantém praticamente igual que no grão sem descorticar. A fibra é removida em uma proporção maior do que a cinza, e esta ainda mais do que os lipídios do qual ficou 2,63% o que indica que neste nível de descorticação ainda é retido parte do germe.

As características de viscosidade das farinhas preparada a partir do grão integral e descorticado são apresentadas na Tabela XIX. A temperatura inicial de gelatinização da suspensão preparada com farinha do grão inteiro foi de 65°C. A partir desta temperatura se desenvolveu uma curva típica de farinha de cereais que atingiu uma viscosidade máxima de 295 U.A. A temperatura inicial de gelatinização, viscosidade máxima, viscosidade mínima a temperatura constante de

TABELA XVIII

Composição centesimal¹ do grão de sorgo² descorticado³
em beneficiadora D'Andréa

Componente	Conteúdo g/100 g
Proteína	13,87
Cinza	1,92
Lipídios	2,63
Fibra	1,03
Taninos	0,31
Amido	75,90
Outros carboidratos ⁴	4,34

1. Para o grau integral ver Tabela III
2. Em base seca
3. Tempo de descorticação, 2 minutos
4. Por diferença

TABELA XIX

Características de viscosidade das farinhas do grão de sorgo integral e descorticado em beneficiadora D'Andrea

Características	Farinha de grão integral	Farinha de grão descorticado
Temperatura inicial de gelatinização (°C)	65,0	65,5
Viscosidade máxima (U.A.) ¹	295,0	300,0
Temperatura de viscosidade máxima (°C)	84,0	85,0
Viscosidade a 95°C (U.A.)	250,0	260,0
Viscosidade mínima a temperatura constante de 95°C (U.A.)	225,0	235,0
Viscosidade final no ciclo de resfriamento a 50°C (U.A.)	700,0	720,0

1. Unidades Amilográficas (U.A.)

95°C e a viscosidade final no ciclo de resfriamento foram maiores nas farinhas de grãos descorticados. Estes resultados são devidos ao maior teor de amido e menor quantidade de fibra.

b. Moagem dos grãos descorticados

A moagem dos grãos descorticados se fez no moinho de rolos Brabender Quadrumat Senior, já que este moinho foi o que deu os melhores resultados em rendimento nos testes preliminares.

O rendimento das frações obtidas da moagem são apresentadas na Tabela XX. Pode observar-se que ao fracionar o grão descorticado se obteve uma melhor separação do endosperma aumentando as porcentagens em farinha de redução, ao juntar esta com a fração de quebra se obtém aproximadamente 80% de rendimento em farinha total o qual pode ser considerado bastante satisfatório se comparado com os rendimentos e a qualidade das farinhas obtidas na moagem do grão inteiro, onde o valor máximo foi de 73,6%.

A fração de farelinho numa porcentagem de 13,05% pode representar um volume considerável de subproduto ao qual se poderia dar diferentes usos comerciais.

O rendimento em farelo (8,21%) pode ser considerado baixo comparado com os resultados obtidos na moagem do grão sem descorticar. Está porém de acordo com dados encontrados na bibliografia (51). Esta fração também poderia ter uma boa utilização na alimentação animal.

i. Características físico-químicas da farinha de sorgo

Para saber se a moagem tinha produzido farinha de boa qualidade foram analisadas algumas características físicas e químicas. A composição centesimal das frações se apresentam na Tabela XXI. Os parâmetros mais indicativos da eficiência de separação de farelo e germe foram os valores de lipídios (0,36%) e cinza (0,53%). O baixo teor destes dois componentes dá a idéia de um elevado conteúdo de endosperma na farinha.

O amido e as proteínas são os maiores componentes da farinha, o que pode considerar-se normal, já que se tem indicações de que 90% do amido total e 80% da proteína total são encontrados no endosperma (131) que seria o maior constituinte da farinha.

Os teores de fibra (0,28%) e taninos (0,09%) são muito baixos, o que indica que a farinha obtida tem pouca contaminação com camadas do pericarpo e de testa. Isto também se faz evidente ao se observar os resultados de porcentagem de brancura das farinhas (93,39%), já que a cor é comparável à farinha de endosperma de milho branco (94%).

O índice de solubilidade (3,68%) e absorção de água (3,02 g gel/g amostra) foram similares aos valores de farinha integral, e também o grau de gelatinização (6,34%). Estes valores era de se esperar já que não ocorreu nenhum tipo de tratamento para modificar proteínas e/ou amidos.

Ao determinar a susceptibilidade da farinha ao ataque pela enzima alfa-amilase, verificou-se (Figura

TABELA XX

Rendimento de moagem de sorgo descorticado moído em moinho Brabender Quadrumat Senior

Fração	Rendimento
Farinha de quebra	15,72
Farinha de redução	64,02
Farinha total	79,74
Farelo	8,21
Farelinho	12,05

TABELA XXI

Composição centesimal das frações de sorgo obtidas do grão descorticado moído em moinho de rolos Brabender Quadrumat Senior

Componente ¹	Farinha	Farelinho	Farelo
	g/100 g		
Proteína	12,52	17,83	10,75
Lipídios	0,36	2,15	3,83
Cinza	0,53	1,82	2,68
Fibra	0,28	1,63	3,21
Amido	82,05	-	-
Outros Carboidratos ²	4,26	76,41	79,25
Taninos	0,09	0,16	0,28

1. Em base seca

2. Por diferença

8) que o pouco amido que tem sido danificado pelo processo de moagem no sistema de quebra e de redução, levou as enzimas a uma produção rápida de maltose num período de 20 horas, a seguir a ação enzimática foi muito lenta, tornando-se constante até as 70 horas de ação quando se produziu uma concentração de 5,65% de maltose.

As características de viscosidade das farinhas de sorgo determinadas no viscoamilógrafo Brabender são apresentadas na Tabela XXII. Observa-se que a farinha tem o mesmo comportamento mostrado pelos amilogramas das farinhas do grão integral e descorticado.

ii. Propriedades nutricionais da farinha de sorgo

É importante conhecer quais serão os aportes de outros nutrientes além de calorias das farinhas de sorgo, já que não se tem referências sobre o valor nutricional de farinhas obtidas pelo processamento adotado neste estudo. Sabe-se porém, que a medida que se obtém produtos mais refinados de cereais o valor nutricional é menor (100).

Os resultados de conteúdo de vitaminas do complexo B: niacina, tiamina e riboflavina, assim como dos minerais, cálcio, ferro e fósforo contidos no grão inteiro e descorticado e na farinha do grão descorticado são apresentados na Tabela XXIII.

Os teores de vitaminas diminuem ligeiramente no grão descascado e acentuadamente na farinha. Ou seja, que ao descorticar e remover as camadas externas do grão se elimina aproximadamente 5% de tiamina, 14% de riboflavina e

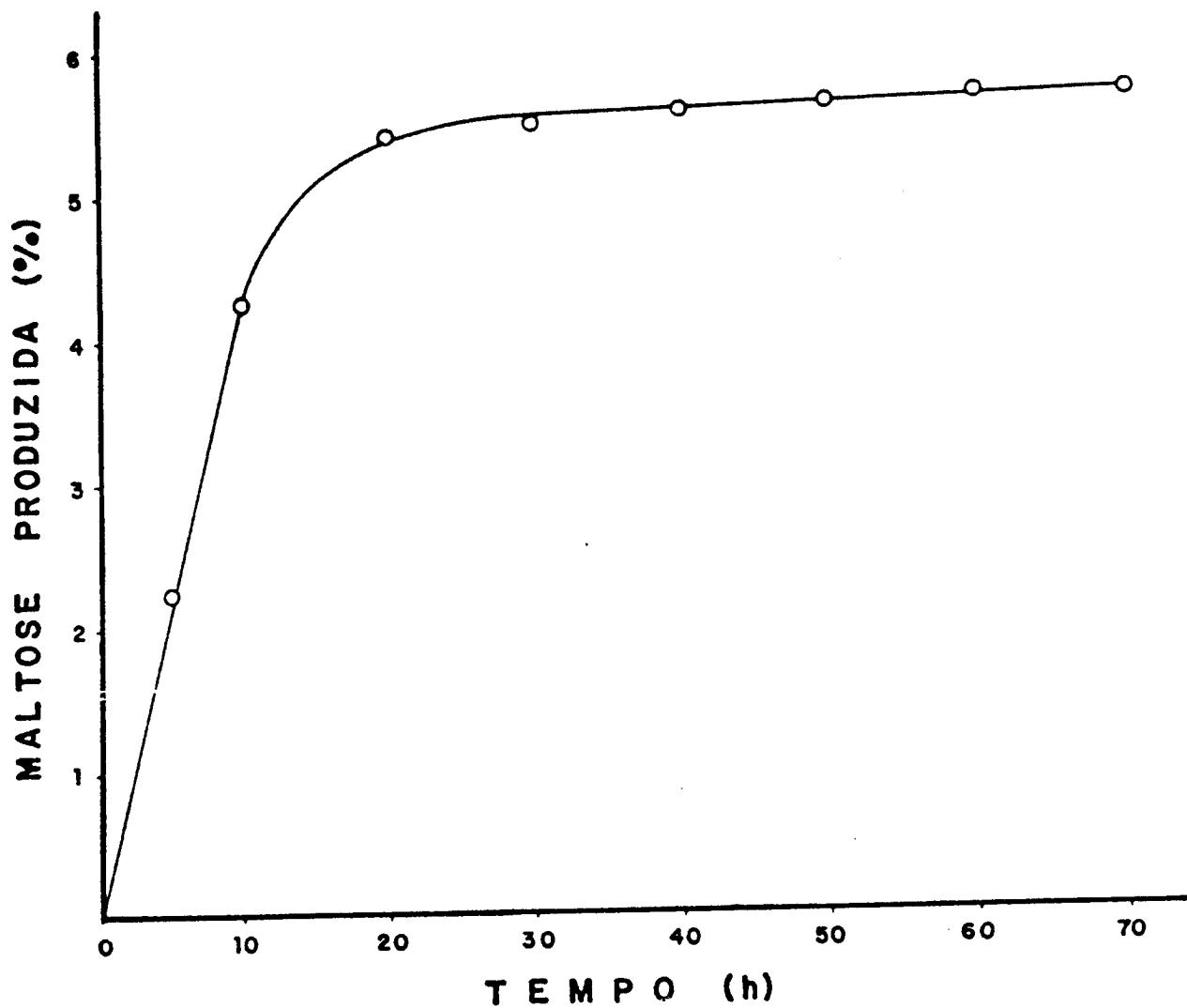


Figura 8 Susceptibilidade enzimática da farinha crua de grãos descorticados moídos em moinho de rolos Brabender Quadrumat Senior

TABELA XXII

Características de viscosidade da farinha de sorgo descortado obtida em moinho de rolos Brabender Quadrumat Senior

Características	Valor
Temperatura inicial de gelatinização (°C)	68,5
Viscosidade máxima (U.A.) ¹	315,0
Temperatura de viscosidade máxima (°C)	86,5
Viscosidade a 95°C (U.A.)	280,0
Viscosidade mínima a 95°C (U.A.)	250,0
Viscosidade final a 50°C (U.A.)	750,0

1. Unidades Amilográficas (U.A.)

TABELA XXIII

Efeito da descorticação e moagem do grão de sorgo sobre o conteúdo de algumas vitaminas e minerais

Componente	Conteúdo (mg/100 g)		
	grão	grão descorticado	Farinha
<u>Vitaminas</u>			
Tiamina (B ₁)	0,46	0,44	0,26
Riboflavina (B ₂)	0,14	0,12	0,07
Niacina	3,87	3,61	2,06
<u>Minerais</u>			
Cálcio	5,92	3,78	1,99
Ferro	9,65	8,14	7,39
Fósforo	579,84	507,25	470,22

7% de niacina. Na farinha a retenção no conteúdo das vitaminas foi de 56,50 e 53% para tiamina, riboflavina e niacina, respectivamente, o que é normal já que a farinha é formada principalmente pelo endosperma onde o teor de vitaminas é baixo (103).

Comparando o conteúdo destas vitaminas no grão integral e descorticado pode-se dizer que elas são conservadas em uma alta proporção, quando o grão é descorticado removendo só 8% de seu peso.

O conteúdo dos minerais cálcio, ferro e fósforo ficou reduzido a medida que foram separadas as camadas externas do endosperma. A magnitude de porcentagens de perdas pelo efeito do descascamento e moagem variou de um nutriente a outro.

A variação dos níveis de cálcio foram as maiores, sendo que as perdas entre o grão integral e descorticado foram de aproximadamente 36% e entre, o grão descorticado e as farinhas foram de 47%. O ferro foi o mineral menos afetado pelo descorticação, com perdas de apenas 15%, porém, diminuiu em 9% nas farinhas obtidas do grão descorticado.

Parece que o grão descorticado tem vantagem no aproveitamento do ferro contido no grão de sorgo, já que tem sido reportado que o polimento melhora a disponibilidade que até em 22%, considerando-se esta uma grande vantagem do descascamento (116).

O conteúdo de aminoácidos (aa) do grão integral, grão descorticado e farinha de grão descorticado é apresen-

tado na Tabela XXIV. Nesta pode-se observar que a descorticação praticamente não afeta o conteúdo da maioria dos aminoácidos no sorgo exceto para o ácido glutâmico que aumentou de 25,28 g aa/16 g de N no grão integral para 27,15 g aa/16 g de N no grão descorticado.

Analisando os valores dos aminoácidos na farinha se apresentam pequenas variações em relação ao grão descorticado e grão inteiro. A variação mais acentuada, foi obtida para o valor da cisteína que diminuiu, para a farinha, em 67% em relação ao grão descorticado.

As proteínas do sorgo em comparação com o padrão de FAO, são baixas em lisina, treonina, isoleucina e metionina. Apresentam um conteúdo de triptofano (1,01 a 1,13 g aa/16 g N) maior que o valor reportado para outros tipos de sorgo (56). O primeiro aminoácido limitante do sorgo é a lisina como se pode observar na Tabela XXV, onde se apresentam os valores para o escore químico. A treonina é o segundo aminoácido limitante, considerando que a metionina junto com a cisteína representam os sulfurados, os quais só seriam limitantes no aproveitamento da proteína da farinha.

A qualidade das proteínas do sorgo também foi medida através o Quociente de Eficiência Protéica (PER) e os resultados destes testes são apresentados na Tabela XXVI. Nestes ensaios foi calculado o aumento de peso corporal e a ingestão de dieta após 28 dias de experimento, consumindo sorgo como a única fonte de proteína utilizada e comparando-se com um ensaio de caseína.

TABELA XXIV

Efeito da descorticação e moagem do grão de sorgo sobre o conteúdo de aminoácidos

Aminoácidos	Valores em g/16 g N		
	grão integral	grão desc.	farinha
<u>Essenciais</u>			
Lisina	2,58	2,56	2,14
Metionina	2,69	2,67	2,01
Treonina	3,11	3,09	3,42
Valina	5,37	5,42	5,93
Leucina	13,75	14,72	14,97
Isoleucina	3,90	3,96	4,08
Fenilalanina	5,50	6,25	5,56
Triptofano	1,13	1,07	1,01
<u>Não Essenciais</u>			
Ácido Aspártico	6,92	6,74	7,89
Alanina	9,73	10,26	11,07
Ácido Glutâmico	25,28	27,15	27,82
Glicina	2,96	2,34	3,78
Histidina	2,01	2,12	2,55
Argina	3,61	4,87	4,92
Prolina	8,81	9,42	9,96
Cisteína	2,18	2,19	0,71
Serina	5,78	6,16	5,53
Tirosina	3,06	3,08	4,38

TABELA XXV

Escore químico das proteínas de sorgo

Aminoácidos	Escore Químico ¹		
	grão integral	grão desc.	farinha
Lisina	47,43	47,42	39,33
Sulfurados ²	138,35	138,06	77,27
Treonina	77,75	77,25	85,50
Valina	108,26	109,27	119,55
Leucina	195,31	209,09	212,64
Isoleucina	97,50	99,00	102,00
Aromáticos ³	140,70	153,45	163,48
Triptofano	117,70	111,40	105,20

1. Com respeito ao padrão FAO (1973)

2. Metionina + cisteína

3. Fenilalanina + tirosina

TABELA XXVI

Efeito da descorticação e moagem sobre a qualidade das proteínas de sorgo

Amostra	Ganho de peso ¹ (g)	Dieta consumida ¹ (g)	PER ²	PER corrigido ³
Grão	26,6	198,03	1,37 ^a	1,21
Grão descorticado	24,8	191,12	1,29 ^a	1,13
Farinha	20,0	220,01	0,91 ^b	0,80
Caseína	67,9	235,00	2,83 ^c	2,50

1. Aos 28 dias

2. Quociente de eficiência protéica

3. PER corrigido em relação à caseína (PER corrigido =

$$= \frac{2,5}{\text{valor caseína}} \times \text{valor obtido}$$
)

As médias com letras comuns não apresentam diferenças significativas ao nível de 95% de confiança

Os resultados mostram que as dietas foram bem aceitas pelos ratos o que se manifestou num consumo de 6,8 a 7,8 g/dia de dietas com sorgo em comparação com 8,4 g/dia da dieta de caseína. Isto permitiu que os ratos tivessem um aumento em peso razoável, mais não foi possível melhorar sua massa corporal dada a baixa qualidade da proteína ingerida, o que se manifestou num quociente de eficiência proteica (PER) baixo, sendo este valor menor (0,91) para a farinha, o que é explicável já que esta tem mais aminoácidos limitantes.

Na Tabela XXVII estão os valores de digestibilidade "in vivo" (aparente e verdadeira) e "in vitro", para o grão completo, o grão descorticado e a farinha obtida do grão descorticado. A digestibilidade "in vitro" das proteínas do sorgo variaram de 90,31 a 94,11 e a digestibilidade "in vivo" de 78,75 a 91,96. Estes valores são considerados normais para cereais (132). A digestibilidade do grão descorticado foi um pouco maior que a do grão integral, provavelmente devido ao fato de ter diminuído o conteúdo de fibra, como também a diminuição do teor de taninos, já que se tem indicado que ambos interferem com a digestão das proteínas (21).

A digestibilidade "in vivo" e "in vitro" da farinha do grão descorticado foi ligeiramente maior que a do grão integral e do grão descorticado, mas não atingiu o valor da caseína, possivelmente por influência da qualidade da proteína.

TABELA XXVII

Efeito da descorticação e moagem em moinho de rolos sobre a digestibilidade das proteínas de sorgo

Amostra	Digestibilidade (%)		
	in vitro	in vivo	
		aparente	verdadeira
Grão integral	90,31	78,75	82,01
Grão descorticado	93,08	84,15	88,24
Farinha	94,11	87,59	91,96
Caseína	96,21	91,70	94,93

C. PRODUÇÃO DE FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS DE SORGO

O principal componente do sorgo é o amido, o que lhe propicia a propriedade de ser apto para a produção de farinha pré-gelatinizadas. Estas podem ser obtidas por ação do calor, sempre que o material tenha um grau adequado de umidade, constituindo-se num processo hidrotérmico. Existem outras formas de conferir pré-gelatinização e dentro destas se considerou conveniente estudar o processo de extrusão, onde a pré-gelatinização é produzida por ação combinada de calor e atrito mecânico num extrusor.

1. Processo hidrotérmico

Para obtenção de farinhas pré-gelatinizadas de sorgo, foram usados grãos descorticados na beneficiadora D'Andrea. O grau de gelatinização depende do conteúdo de umidade do grão, da temperatura e do tempo de exposição a essa temperatura (9). Portanto, o que se tratou primeiro de fazer neste trabalho, foi selecionar o teor de umidade a ser conferido aos grãos antes do tratamento térmico. Para isto se fez a maceração para diferentes tempos e temperaturas como se indicará a seguir.

a. Efeito do tempo e da temperatura de maceração na hidratação dos grãos

Os grãos de sorgo descorticados, sem condicionar, tinham uma umidade de 12,85% a qual não era suficiente para realizar a gelatinização hidrotérmica. Foi portanto, necessário elevar o con

teúdo de água do material, através de maceração dos grãos.

A maceração foi feita à temperatura ambiente ($\pm 27^{\circ}\text{C}$), 40 e 60°C por tempos diferentes, até atingir um nível de umidade constante. Os resultados são apresentados na Figura 9, onde se observa que inicialmente para todas as temperaturas de maceração, o grão absorve água rapidamente e nos primeiros 10 minutos atinge um nível de 31,9 a 36,97%. Logo vem uma redução na velocidade de absorção de água, atingindo posteriormente o equilíbrio onde o grão praticamente não tem capacidade de absorver mais água e a umidade permanece constante. Para os grãos macerados à temperatura ambiente, a umidade de equilíbrio foi de 40,72%, alcançada aos 90 minutos e foi a que apresentou o maior teor de hidratação. A maceração a 40°C permitiu obter a umidade de equilíbrio de 39,45% aos 45 minutos. A maceração a 60°C permitiu obter a umidade de equilíbrio (39,74%) aos 40 minutos, já que, após os primeiros 10 minutos, ao aumentar a temperatura de maceração aumentou a velocidade de hidratação. Em geral, pode-se deduzir que o grão de sorgo descorticado é facilmente hidratável com o aumento da temperatura.

b. Efeito do tempo de tratamento térmico

Os grãos de sorgo macerados até a umidade de equilíbrio foram submetidos a tratamento térmico com vapor a 118°C durante 1, 5, 10 e 15 minutos, pois o grau de gelatinização é altamente dependente do tempo em que o material é

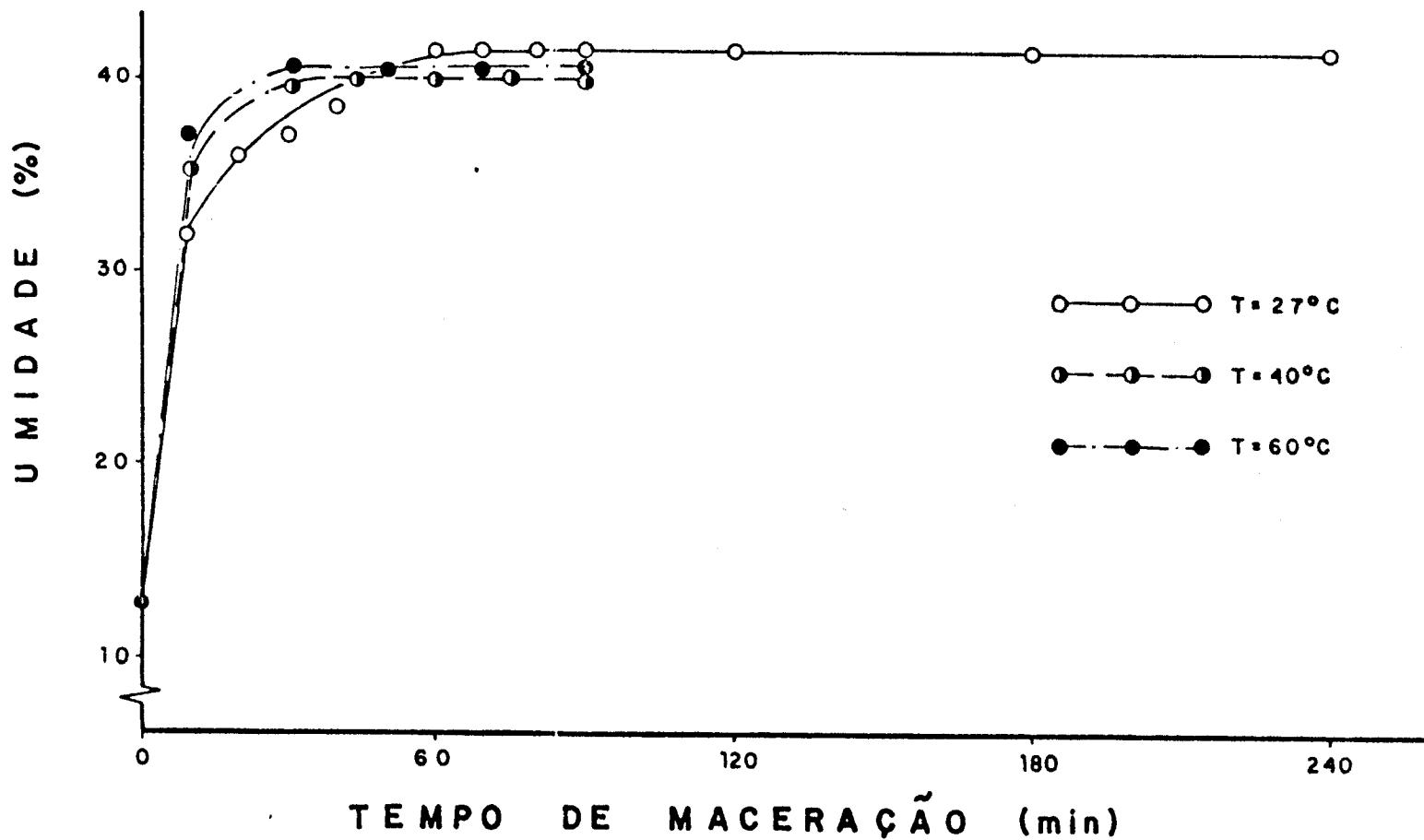


Figura 9 Efeito do tempo e temperatura de maceração dos grãos de sorgo descortia-
 cados sobre o nível de hidratação

exposto à ação do vapor. Para avaliar este efeito foram estudadas algumas características físico-químicas e propriedades nutricionais das farinhas.

i. Características físico-químicas das farinhas pré-gelatinizadas

Para conhecer as características das farinhas pré-gelatinizadas foram determinadas a composição centesimal, propriedades de viscosidade, cor e os índices de solubilidade e absorção de água.

Os resultados da composição centesimal são apresentados na Tabela XXVIII. Pelos dados obtidos verifica-se que praticamente não houve variação na composição centesimal por efeito da maceração e do tratamento térmico.

A viscosidade foi possivelmente o parâmetro mais afetado quando o grão umedecido foi submetido ao processamento térmico, o que se percebe ao analisar as características de viscosidade das farinhas pré-gelatinizadas, (Fig. 10, 11 e 12). Pode-se notar que para todos os tempos de tratamento térmico se produz uma redução acentuada no pico de viscosidade máxima. Os valores obtidos são apresentados na Tabela XXIX. Em geral, a viscosidade a 95° C, a viscosidade após 20 minutos a 95° C e a viscosidade final a 50° C, diminuíram ao aumentar o tempo de tratamento térmico.

TABELA XXVIII

Composição centesimal das farinhas de sorgo pré-gelatinizadas por processo hidrotérmico

Condições de maceração	Tempo de tratamento térmico (min)	Composição ¹ (g/100 g)				
		Proteína (N x 6,25)	Lipídios	Cinzas	Fibra	Carboidratos ²
Controle 27°C (90 min)	-	13,87	2,63	1,92	1,03	80,55
	1	13,84	2,62	1,91	1,01	80,98
	5	13,86	2,60	1,89	1,00	80,65
	10	13,85	2,61	1,92	1,02	80,60
	15	13,83	2,61	1,90	1,00	80,67
40°C (45 min)	1	13,77	2,59	1,90	1,02	80,72
	5	13,79	2,58	1,91	1,00	80,72
	10	13,77	2,60	1,89	1,03	80,73
	15	13,76	2,60	1,92	1,01	80,71
60°C (40 min)	1	13,75	2,62	1,92	1,00	80,67
	5	13,75	2,64	1,90	1,03	80,68
	10	13,74	2,63	1,93	1,02	80,58
	15	13,72	2,62	1,92	1,03	80,71

1. Base seca

2. Por diferença

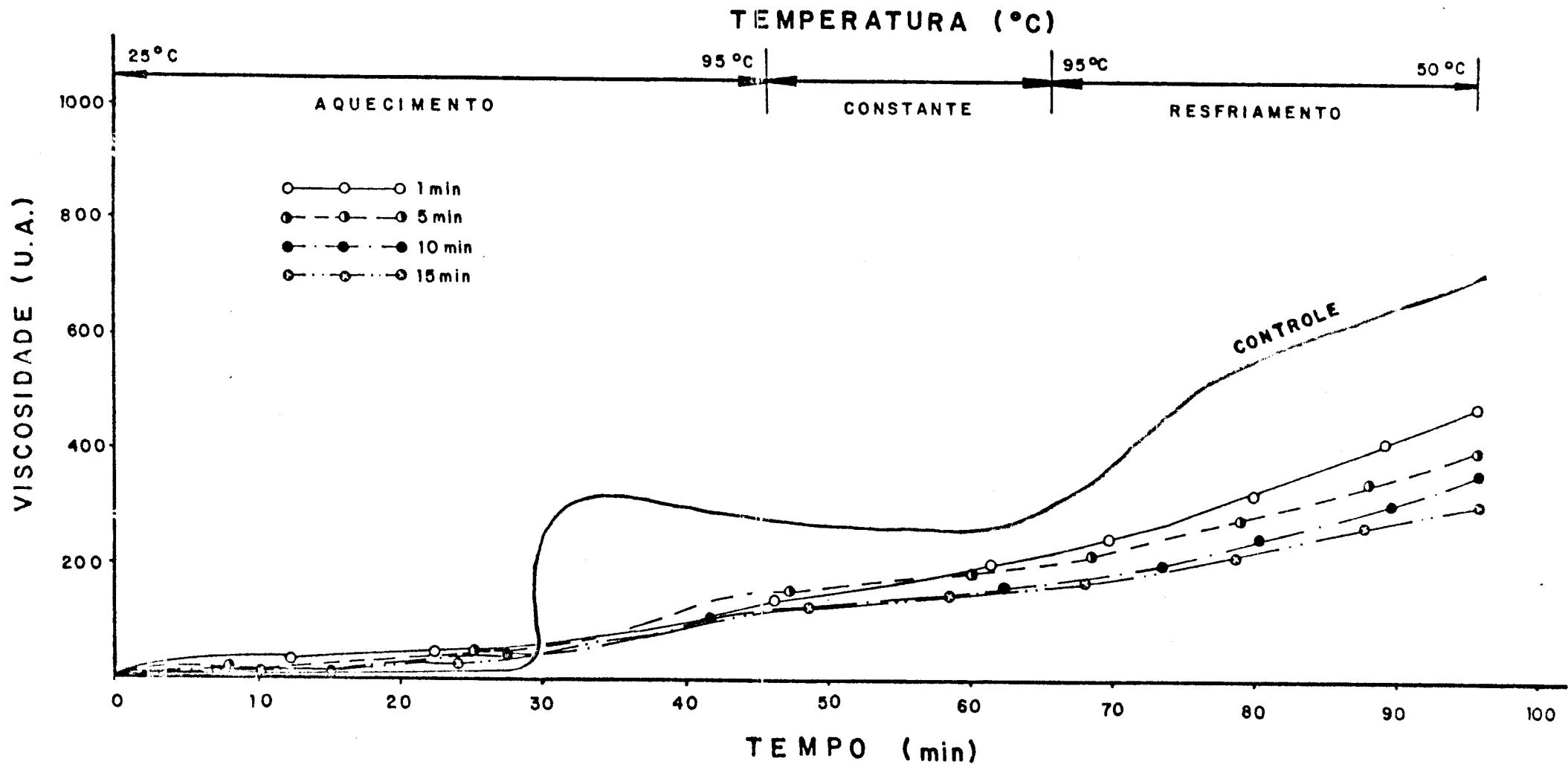


Figura 10 Efeito da maceração a 27°C e do tratamento térmico sobre as características de viscosidade da farinha de sorgo pré-gelatinizada por processo hidrotérmico

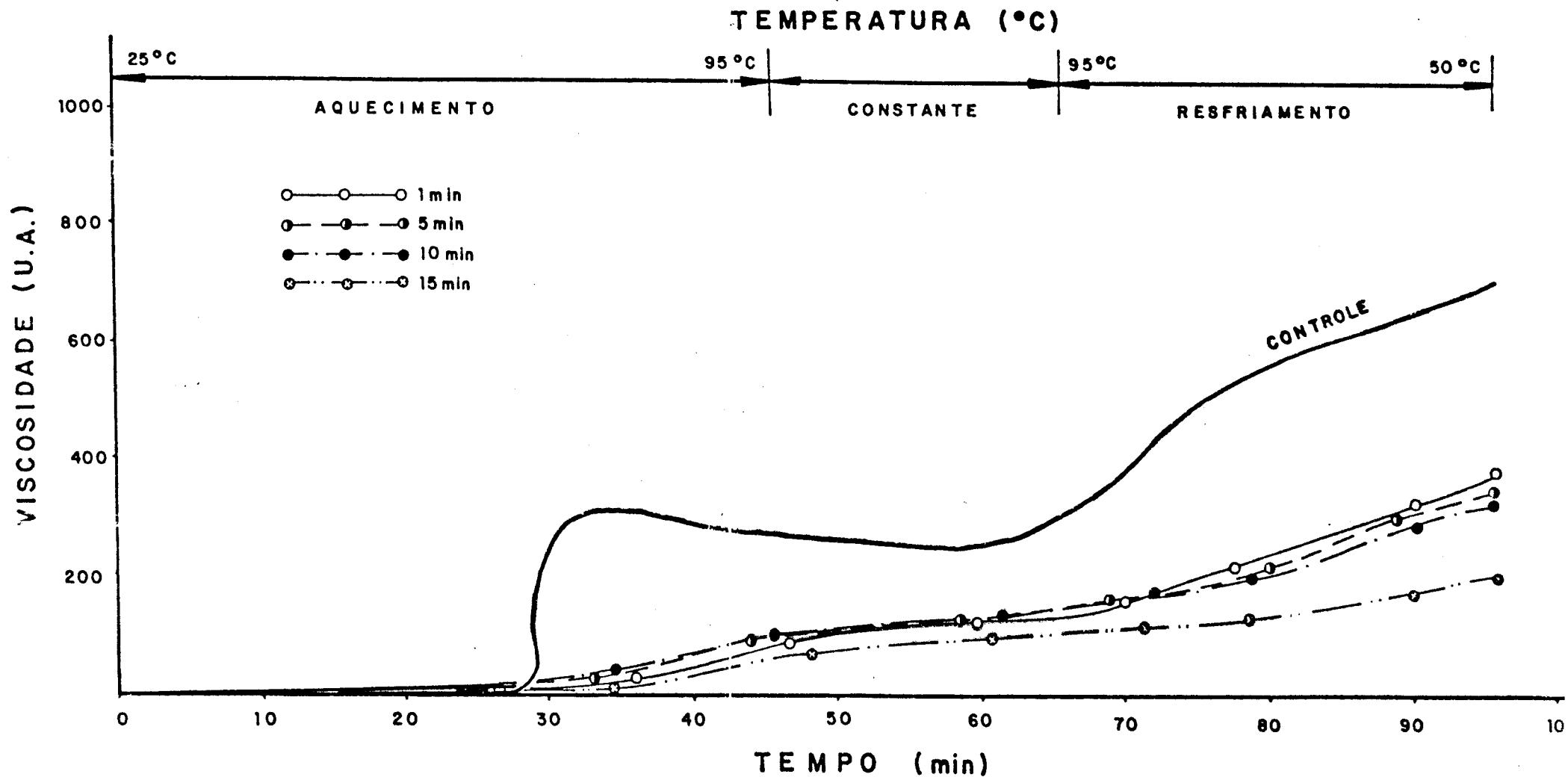


Figura 11 Efeito da maceração a 40°C e do tratamento térmico sobre as características de viscosidade da farinha de sorgo pré-gelatinizada por processo hidrotérmico

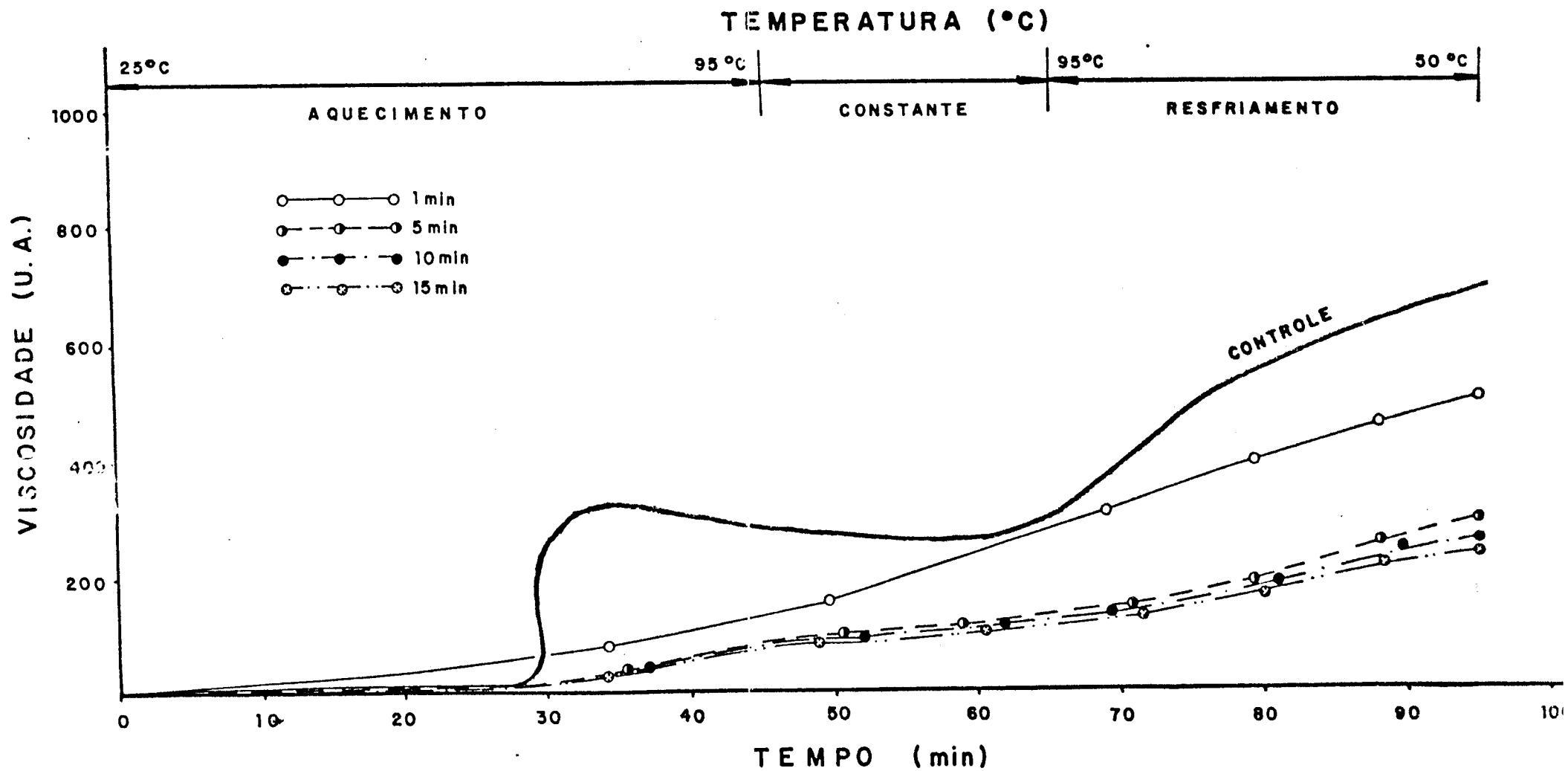


Figura 12 Efeito da maceração a 60°C e do tratamento térmico sobre as características de viscosidade da farinha de sorgo pré-gelatinizada por processo hidrotérmico

TABELA XXIX

Efeito do processo hidrotérmico sobre as características de viscosidade das farinhas de sorgo pré-gelatinizadas

Condições de maceração	Tempo de tratamento térmico (min)	Viscosidade (U.A.)				Variação de viscosidade a 85°C com respeito ao controle
		Viscosidade a 95°C	Viscosidade após 20 min. a 95°C	Viscosidade final a 50°C	Viscosidade a 85°C	
Controle	-	260	250	720	300	-
27°C (90 min.)	1	195	210	520	105	195
	5	155	205	440	110	190
	10	140	190	390	90	210
	15	140	180	350	125	175
40°C (45 min.)	1	100	160	370	70	250
	5	115	155	340	70	250
	10	120	150	315	75	225
	15	75	125	240	50	250
60°C (40 min.)	1	190	320	500	140	160
	5	110	165	320	75	225
	10	105	155	300	70	250
	15	105	140	290	60	240

1. Temperatura de viscosidade máxima do controle

A diferença de viscosidade entre a viscosidade máxima do controle (farinha de grão descorticado sem processar) e a viscosidade das amostras pré-gelatinizadas, lidas a 85°C que foi a temperatura à qual o controle atingiu a viscosidade máxima, dão uma idéia das modificações propiciadas aos grânulos de amido durante o tratamento térmico. Assim, quanto maior esta diferença, maior é a capacidade de formar suspensões viscosas instantâneas. Pode-se indicar, que apenas 1 minuto de exposição a 118°C para os grãos hidratados em torno de 40% de umidade seria suficiente para induzir modificações apreciáveis na estrutura do grânulo de amido e portanto, na viscosidade das farinhas pré-gelatinizadas.

Na Tabela XXX se apresentam os resultados da determinação de cor, índice de absorção de água e índice de solubilidade em água das farinhas pré-gelatinizadas. Ao analisar os valores da cor, se observa que houve certo escurecimento do grão depois do processamento térmico. Todas as farinhas tiveram uma cor com leve tonalidade cinza e não houve diferença significativa entre elas nem a 95% e nem a 99% de confiabilidade. Nas Figuras 13 e 14 apresentam-se gráficos dos índices de absorção de água e de solubilidade em água, em relação ao tempo de tratamento térmico. Os valores para o índice de absorção aumentaram ao aumentar a temperatura de maceração e o tempo de tratamento térmico. Os valores para o índice de absorção foram de 4,47 a 5,29 g gel / g amostra, sendo o valor máximo obtido, para os grãos macerados a 60°C e tratados com vapor por 15 minutos.

TABELA XXX

Efeito do processo hidrotérmico sobre a cor, índice de absorção (IAA) e de solubilidade em água (ISA) de farinhas de sorgo pré-gelatinizadas

Condições de Maceração	Tempo de tratamento térmico (min)	Cor (% brancura)	IAA (g gel/g amostra)	ISA (%)
Controle	0	86,68	2,95	4,03
27°C (90 min)	1	78,63	4,47	4,28
	5	77,28	5,10	4,55
	10	77,09	5,16	4,85
	15	76,96	5,20	4,85
40°C (45 min)	1	75,19	4,73	4,26
	5	75,64	5,17	4,58
	10	76,87	5,21	4,80
	15	76,29	5,24	4,81
60°C (40 min)	1	78,23	4,83	4,25
	5	78,82	5,16	4,55
	10	77,99	5,18	4,73
	15	79,87	5,29	4,75

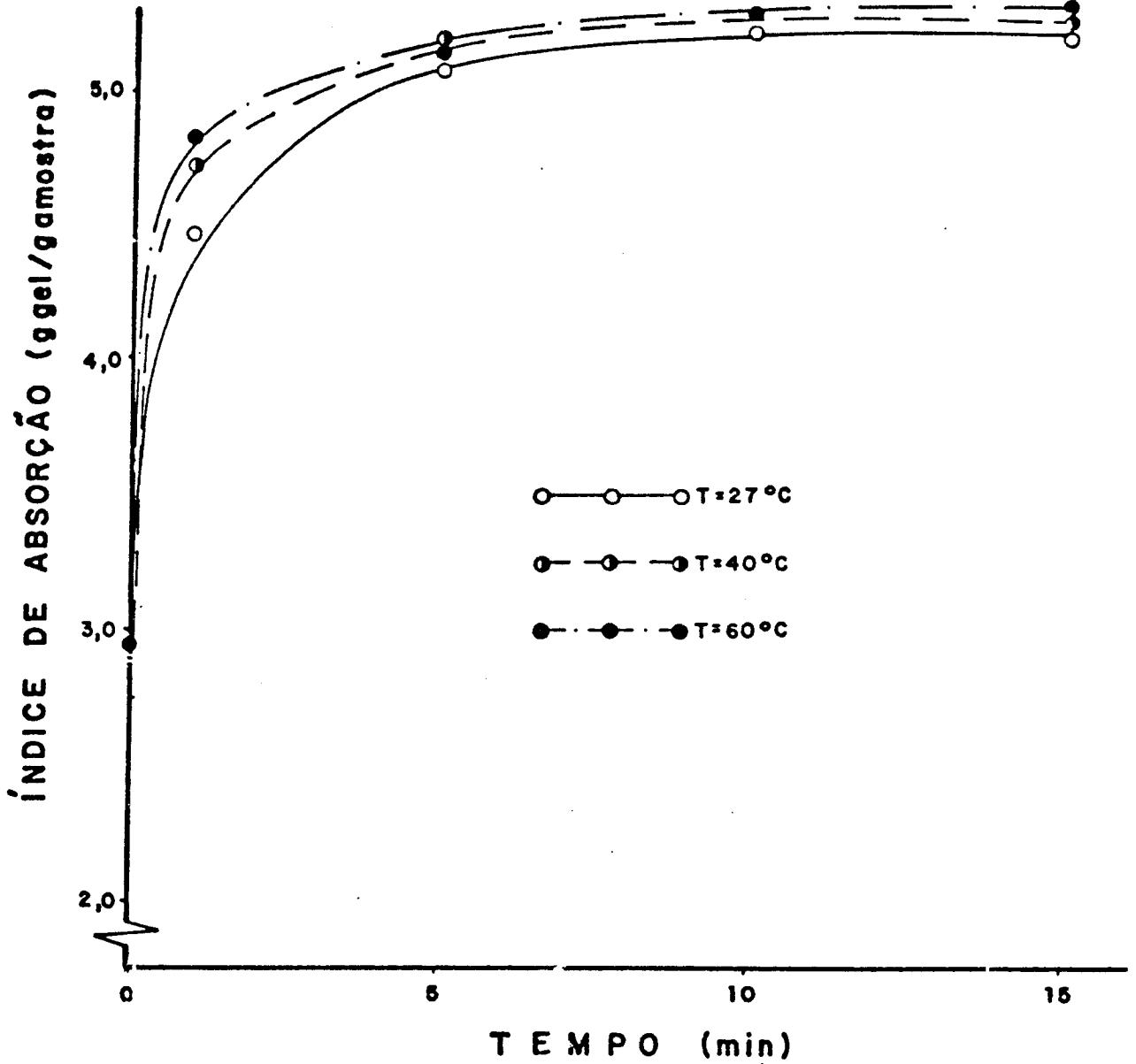


Figura 13 Efeito do processo hidrotérmico sobre o índice de absorção de água da farinha de sorgo pré-gelatinizada

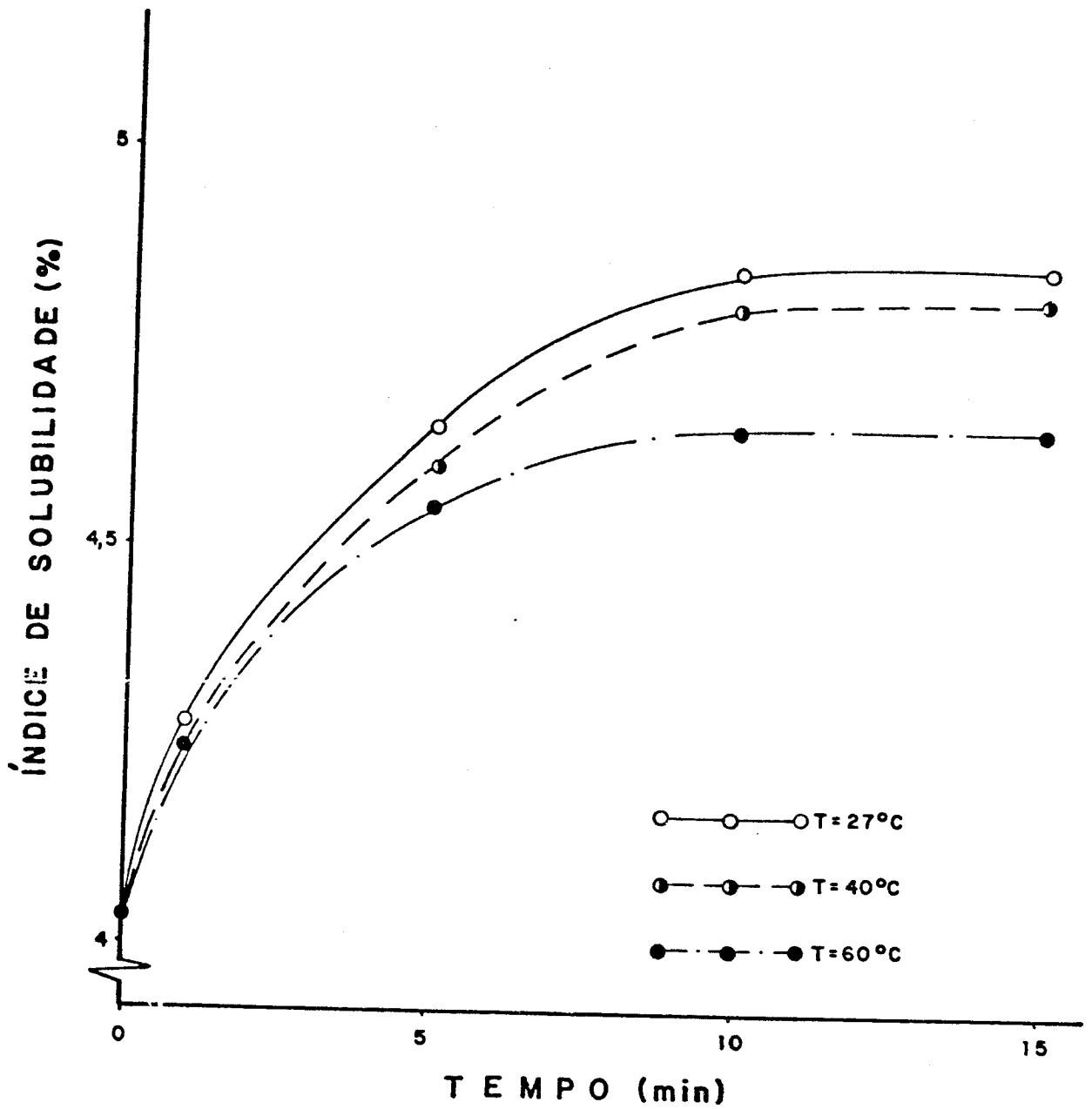


Figura 14 Efeito do processo hidrotérmico sobre o índice de solubilidade em água da farinha de sorgo pré-gelatinizada

O índice de solubilidade aumentou ligeiramente ao aumentar o tempo de tratamento térmico e o valor mais alto foi obtido para os grãos macerados à temperatura ambiente e tratados com vapor durante 15 minutos.

O aumento dos índices de solubilidade e absorção de água, ainda quando não foram muito acentuados, são indicativos das modificações produzidas pelo tratamento térmico nas propriedades funcionais do grão. Os valores de índice de absorção obtidos nesta pesquisa foram superiores aos obtidos por Peplinski e Pfeiffer (91) os quais indicam que produtos com estas características podem ser aptos para preparação de mingaus ou flocos pré-cozidos para desjejum. Assim, para os usos mencionados, poderiam ser utilizadas farinhas ou grãos pré-gelatinizados por 1 minuto de tratamento térmico.

ii. Propriedades nutricionais

Para avaliar o efeito do tratamento com vapor dos grãos descascados sobre as propriedades nutricionais do grão, foram determinados o conteúdo de algumas vitaminas e minerais, conteúdo de aminoácidos, índice químico e digestibilidade in vitro. A composição em vitaminas (B_1 , B_2 e Niacina) e os minerais ferro, cálcio e fósforo, das farinhas pré-gelatinizadas pelo processo hidrotérmico, é apresentada na Tabela XXXI. Os dados obtidos mostram que à medida que aumentou o tempo de tratamento térmico diminuiu ligeiramente o conteúdo de tiamina e riboflavina. As perdas para tiamina aos 15 minutos de tratamento com vapor foram de 10, 14 e 16% para as amostras maceradas a 27, 40 e 60°C respectivamente.

TABELA XXXI

Efeito do processo hidrotérmico sobre o conteúdo¹ de vitaminas e minerais das farinhas de sorgo pré-gelatinizadas

Componente	Condições de maceração											
	27°C (90 min)				40°C (45 min)				60°C (40 min)			
	Tempo de tratamento térmico (min)											
	1	5	10	15	1	5	10	15	1	5	10	15
<u>Vitaminas</u>												
Tiamina (B ₁)	0,44	0,43	0,41	0,40	0,43	0,42	0,40	0,38	0,43	0,43	0,41	0,37
Riboflavina (B ₂)	0,112	0,110	0,108	0,107	0,112	0,110	0,107	0,099	0,111	0,105	0,103	0,098
Niacina	3,60	3,59	3,61	3,60	3,58	3,59	3,58	3,58	3,58	3,58	3,59	3,59
<u>Minerais</u>												
Cálcio	3,78	3,73	3,71	3,70	3,75	3,72	3,65	3,61	3,76	3,54	3,46	3,97
Ferro	7,37	7,30	7,28	7,22	7,36	7,33	7,25	7,20	7,35	7,76	7,22	7,20
Fósforo	507,82	505,78	501,15	500,08	503,50	501,66	500,05	496,15	504,34	500,26	498,37	495,72

¹ Expressos em mg/100g.

A riboflavina teve um comportamento similar à tiamina mas as perdas atingiram até 18%. O conteúdo de minerais teve poucas alterações pelo tratamento térmico e as perdas ocorridas podem ter sido motivadas pela solubilidade em água, já que foram levemente maiores nas amostras submetidas à maceração a 40 e 60°C.

A composição em aminoácidos das farinhas pré-gelatinizadas por diferentes tempos de tratamento térmico é apresentada na Tabela XXXII. Verificou-se que os aminoácidos mais afetados pelo tratamento térmico foram a cisteína e o triptofano, e quase todos os aminoácidos essenciais diminuíram. Ao aumentar o tempo de tratamento térmico as alterações produzidas foram mais notáveis. Assim, as perdas em lisina, metionina, treonina, leucina, isoleucina, fenilalanina, glicina, ácido glutâmico e ácido aspártico atingiram aproximadamente 20%, enquanto que a perda de triptofano foi de até um teor de perda de 30% e a de cisteína de 40%. Os outros aminoácidos tiveram perdas inferiores a 15%.

As perdas de aminoácidos se refletem nos valores do escore químico que são apresentados na Tabela XXXIII. Os resultados mostram que a medida que se aumentou o tempo de tratamento térmico, os valores do escore químico diminuíram, isto é, houve um aumento no número dos aminoácidos limitantes. Assim, além da lisina e a treonina que eram os limitantes no grão descascado, nas farinhas pré-gelatinizadas, a isoleucina, triptofano e valina também passaram a ser limitantes.

Na Tabela XXXIV se apresentam os resultados da determinação da digestibilidade "in vitro" nas farinhas pré-

TABELA XXXII

Efeito do processo hidrotérmico sobre o conteúdo¹ de aminoácidos das farinhas de sorgo pré-gelatinizadas

Aminoácidos ¹	Condições de maceração											
	27°C (90 min)				40°C (45 min)				60°C (40 min)			
	Tempo de tratamento (min)											
	1	5	10	15	1	5	10	15	1	5	10	15
Essenciais												
Lisina	2,22	2,20	2,17	2,15	2,17	2,13	2,11	2,09	2,18	2,14	2,10	2,06
Metionina	2,24	2,22	2,19	2,16	2,25	2,22	2,19	2,17	2,24	2,21	2,19	2,15
Treonina	2,48	2,46	2,42	2,40	2,49	2,45	2,42	2,39	2,48	2,43	2,40	2,38
Valina	4,85	4,70	4,67	4,66	4,72	4,71	4,68	4,65	4,70	4,66	4,62	4,60
Leucina	11,77	11,74	11,70	11,63	11,75	11,65	11,68	11,55	11,73	11,66	11,60	11,53
Isoleucina	3,36	3,34	3,32	3,30	3,32	3,29	3,27	3,21	3,31	3,28	3,22	3,19
Fenilalanina	5,31	5,32	5,30	5,26	5,30	5,26	5,21	5,16	5,27	5,22	5,17	5,12
Triptofano	0,85	0,82	0,80	0,79	0,84	0,80	0,77	0,75	0,84	0,79	0,76	0,74
Não Essenciais												
Ácido Aspártico	5,59	5,58	5,56	5,55	5,57	5,53	5,49	5,40	5,55	5,50	5,46	5,38
Ácido Glutâmico	21,79	21,72	21,70	21,69	21,76	21,70	21,64	21,62	21,75	21,72	21,67	21,60
Serina	5,87	5,82	5,78	5,72	5,85	5,76	5,70	5,66	5,82	5,77	5,72	5,65
Prolina	8,62	8,58	8,46	8,35	8,57	8,42	8,35	8,29	8,55	8,43	8,31	8,26
Glicina	2,08	1,98	1,93	1,90	1,99	1,93	1,89	1,85	1,98	1,94	1,90	1,86
Alanina	9,21	9,13	9,07	9,02	9,18	9,07	8,97	8,88	9,15	9,12	9,03	8,91
Cisteína	1,86	1,75	1,68	1,42	2,06	1,93	1,80	1,57	1,96	1,85	1,62	1,40
Tirosina	3,01	2,89	2,80	2,76	2,98	2,81	2,76	2,63	2,96	2,80	2,69	2,60
Histidina	1,90	1,88	1,87	1,83	2,03	1,96	1,82	1,80	1,97	1,91	1,86	1,81
Arginina	4,39	4,28	4,25	4,23	4,37	4,32	4,26	4,23	4,35	4,30	4,29	4,24

1. Expresso em g aa/16N

TABELA XXXIII

Escore químico das proteínas de farinhas de sorgo pré-gelatinizadas por processo hidrotérmico

Aminoácidos	Escore químico											
	Condições de maceração											
	27°C (90 min)				40°C (45 min)				60°C (40 min)			
	1	5	10	15	1	5	10	15	1	5	10	15
Lisina	40,80	41,71	39,88	39,52	39,88	39,15	38,78	38,41	40,07	39,33	38,60	37,86
Sulfurados ¹	116,47	112,78	109,94	101,70	122,44	117,89	113,35	106,25	119,31	116,19	109,09	100,85
Treonina	62,00	61,50	60,50	60,00	62,25	61,25	60,50	59,75	61,25	60,75	60,00	59,50
Valina	97,78	94,75	94,15	93,95	95,16	94,95	93,75	94,75	93,75	93,95	93,14	92,74
Leucina	167,18	166,76	166,19	165,19	166,90	165,90	165,05	164,05	166,61	165,62	164,77	164,77
Isoleucina	84,00	83,50	83,00	82,50	83,00	82,25	81,75	80,25	82,75	82,00	80,50	79,75
Aromáticos ²	138,84	135,03	133,22	131,90	136,18	132,73	131,08	128,12	135,36	131,90	129,27	126,97
Triptofano	88,54	85,41	83,33	82,29	87,50	83,30	80,20	78,20	87,89	82,29	79,16	77,08

1. Metionina + cisteína

2. Fenilalanina + tirosina

TABELA XXXIV

Efeito do processo hidrotérmico sobre a digestibilidade
"in vitro" das proteínas de sorgo

Tempo trata- mento térmico (min)	Digestibilidade (%)		
	Temperatura de maceração (°C)		
	24	40	60
1	94,32	94,45	94,34
5	95,05	94,86	96,11
10	96,23	95,28	95,32
15	96,67	95,23	96,03

-gelatinizadas, onde se observa que o tratamento térmico melhora a digestibilidade das proteínas, chegando-se a obter uma digestibilidade similar à caseína (aproximadamente 96%).

2. Processo de extrusão

O processo de extrusão é uma das formas mais econômicas e produtivas que se tem empregado nos últimos anos para obtenção de farinhas de cereais pré-gelatinizadas (59). Este processo foi estudado visando obter farinhas pré-gelatinizadas de sorgo com características funcionais e nutricionais que as fizessem aptas para o consumo humano. Essas características vão depender do controle de uma série de parâmetros. Nesta pesquisa, as variáveis testadas foram o conteúdo de umidade das farinhas e a temperatura de extrusão. O efeito dessas variáveis sobre as características dos extrudados foram avaliados pela densidade, grau de expansão, viscosidade, cor, índice de absorção de água, índice de solubilidade em água, susceptibilidade enzimática, conteúdo de aminoácidos, teor de algumas vitaminas e minerais, escurecimento químico e digestibilidade.

a. Efeito do conteúdo de umidade da farinha na vazão da alimentação

A umidade das farinhas que vão ser alimentadas no extrusor tem um efeito importante sobre a taxa de fluxo do material que entra no parafuso sem fim. Como a veloci-

dade de alimentação é um dos parâmetros a serem fixados e, varia de acordo com o conteúdo de umidade inicial das farinhas, se fizeram testes de vazão para conhecer o fluxo das farinhas em relação à velocidade de rotação do parafuso do alimentador e ao conteúdo de umidade das farinhas.

Os resultados obtidos para as farinhas condicionadas a diferentes teores de umidades se apresentam na Figura 15, na qual se pode observar que ao aumentar a velocidade de rotação aumenta o fluxo da farinha. É por isto, que a medida que aumenta o conteúdo de umidade das farinhas deve-se aumentar a velocidade de rotação do alimentador para obter um fluxo contante. A vazão de farinha em 100 g/min foi considerada como a mais adequada para a capacidade do extrusor, e esta foi obtida com uma velocidade de rotação do alimentador de 85, 87, 89 e 91 rpm para as farinhas com 15, 17,5, 20 e 22,5% de umidade respectivamente.

As variáveis do processo que foram fixadas de acordo com os resultados dos testes preliminares foram: diâmetro da matriz, 3 mm; taxa de compressão, 1:4; e velocidade de rotação do parafuso de rosca sem fim, 100 rpm. Os parâmetros variáveis foram a umidade da farinha (15, 17,5, 20 e 22,5%) e temperatura de extrusão (160, 180 e 200°C nas últimas duas zonas e 80°C na primeira zona do extrusor). O efeito destas variáveis e do conteúdo de umidade das farinhas sobre algumas características dos extrudados serão discutidas à continuação.

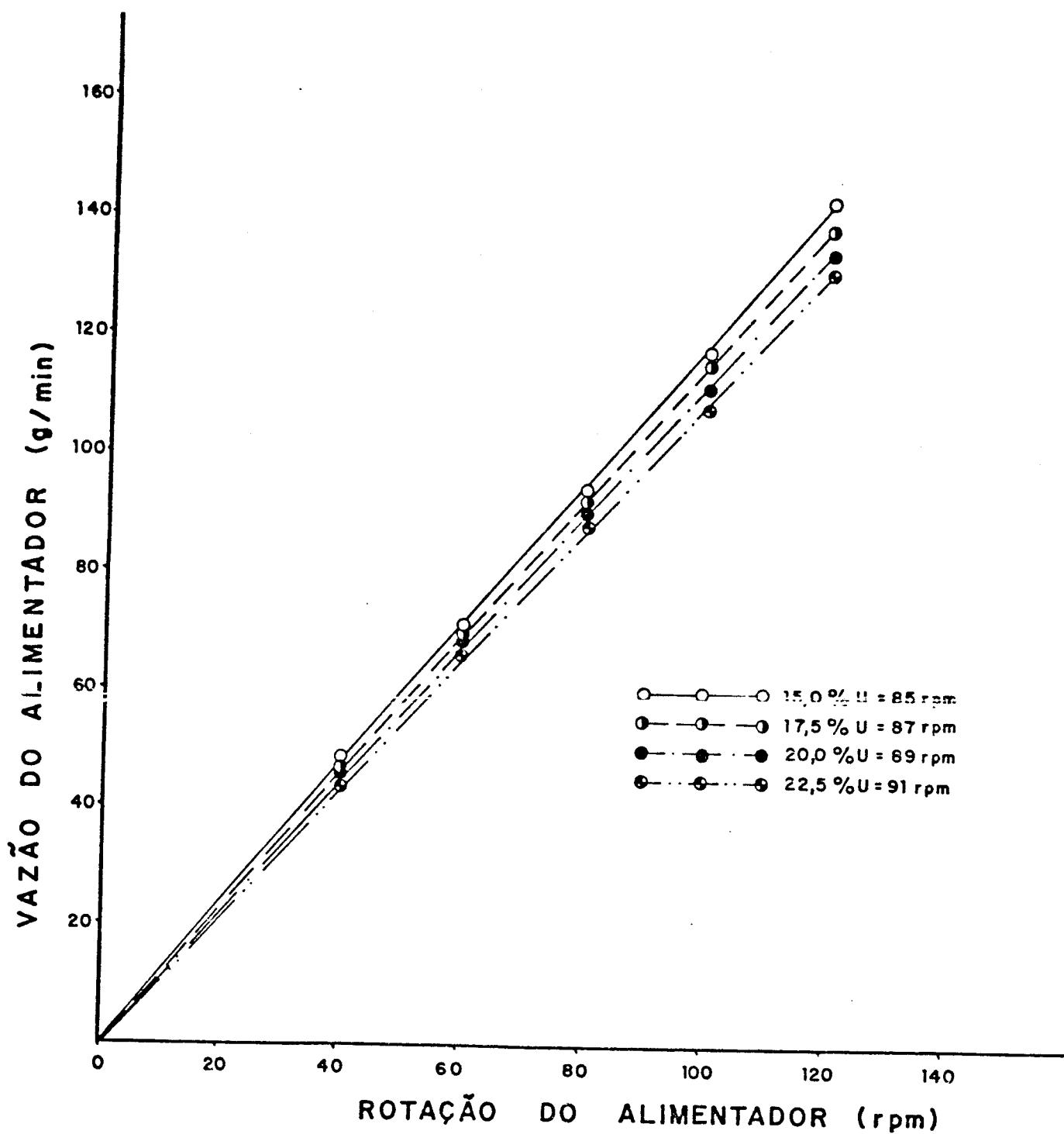


Figura 15 Vazão do alimentador em relação à velocidade de rotação e ao teor de umidade das farinhas de sorgo

b. Efeito do conteúdo de umidade das farinhas e da temperatura de extrusão no torque

O torque é uma medida do trabalho mecânico necessário para forçar o material a deslocar-se através do parafuso e sair pela matriz.

A variação do torque de acordo com o conteúdo de umidade das farinhas e a temperatura de extrusão é apresentada na Tabela XXXV . Pode-se observar que ao aumentar o nível de umidade diminui o torque, sendo os valores máximos obtidos quando as farinhas tinham uma umidade inicial de 15%. Este comportamento foi observado para todas as temperaturas estudadas. O menor torque foi obtido para 22,5% de umidade. É desejável trabalhar com baixo torque, já que a força requerida para fazer fluir a farinha através do parafuso é menor, e portanto, a energia requerida para o processamento será menor. O aumento do torque com a diminuição de temperatura, para um mesmo nível de umidade, ser motivado aumento de viscosidade da massa, o que produz aumento do atrito mecânico. Ao aumentar a temperatura e a umidade, a viscosidade diminui, o material fica menos viscoso e o fluxo através do sistema é mais rápido, em consequência o torque é menor.

c. Efeito do teor de umidade da farinha e da temperatura de extrusão no grau de expansão

O grau de expansão é uma importante característica física para produtos extrudados; este influi na densidade, friabilidade e brandura do alimento (127). Na Tabela

TABELA XXXV

Efeito da umidade inicial da farinha de sorgo e da temperatura de extrusão sobre o torque produzido

Umidade (%)	Torque (m.g.) ¹		
	Temperatura (°C)		
	160	180	200
15	5,266	5,125	4,750
17,5	4,683	5,063	3,813
20	4,166	3,988	3,158
22,5	3,433	2,938	2,895

1. Metro-grama

XXXVI são apresentados os resultados da expansão dos extrudados de sorgo. Para todas as condições estudadas obteve-se expansão, já que se considera que esta se produz quando o valor do grau de expansão é de pelo menos 1,5 (127).

Na Figura 16 pode-se observar as diferenças em expansão dos extrudados, sendo notável a redução para o produto processado a 200°C quando a farinha foi condicionada com 22,5% de umidade. Também nestas condições, o produto era muito irregular e compacto, enquanto que os outros produtos tinham uma aparência visual de uniformidade e homogeneidade.

A umidade inicial das farinhas e a temperatura de extrusão afetam o grau de expansão dos produtos ($R^2=93,2\%$). Observando a Figura 17 do desenho tridimensional dado pelo computador, se observa que quando o conteúdo de umidade da farinha e a temperatura de extrusão são altas, se obtém um baixo grau de expansão. Pela intensidade mais escura da figura se pode extrair as condições para se obter valores maiores.

d. Efeito do teor de umidade da farinha e da temperatura de extrusão na densidade do produto

Na Tabela XXXVII se apresentam os resultados da densidade para os produtos extrudados. Aqui, pode-se notar que a densidade dos produtos foi maior quando as farinhas tinham inicialmente um conteúdo de umidade de 15 e 22,5% para todas as temperaturas de extrusão.

Ao aplicar a análise de regressão (Tabela XXXVIII)

TABELA XXXVI

Efeito da umidade inicial da farinha de sorgo e da temperatura de extrusão sobre o grau de expansão dos extrudados

Temperatura (°C)	Grau de expansão			
	Umidade (%)			
	15	17,5	20	22,5
160	2,12	2,50	2,62	2,46
180	2,25	2,29	2,28	2,10
200	2,11	2,20	1,92	1,88

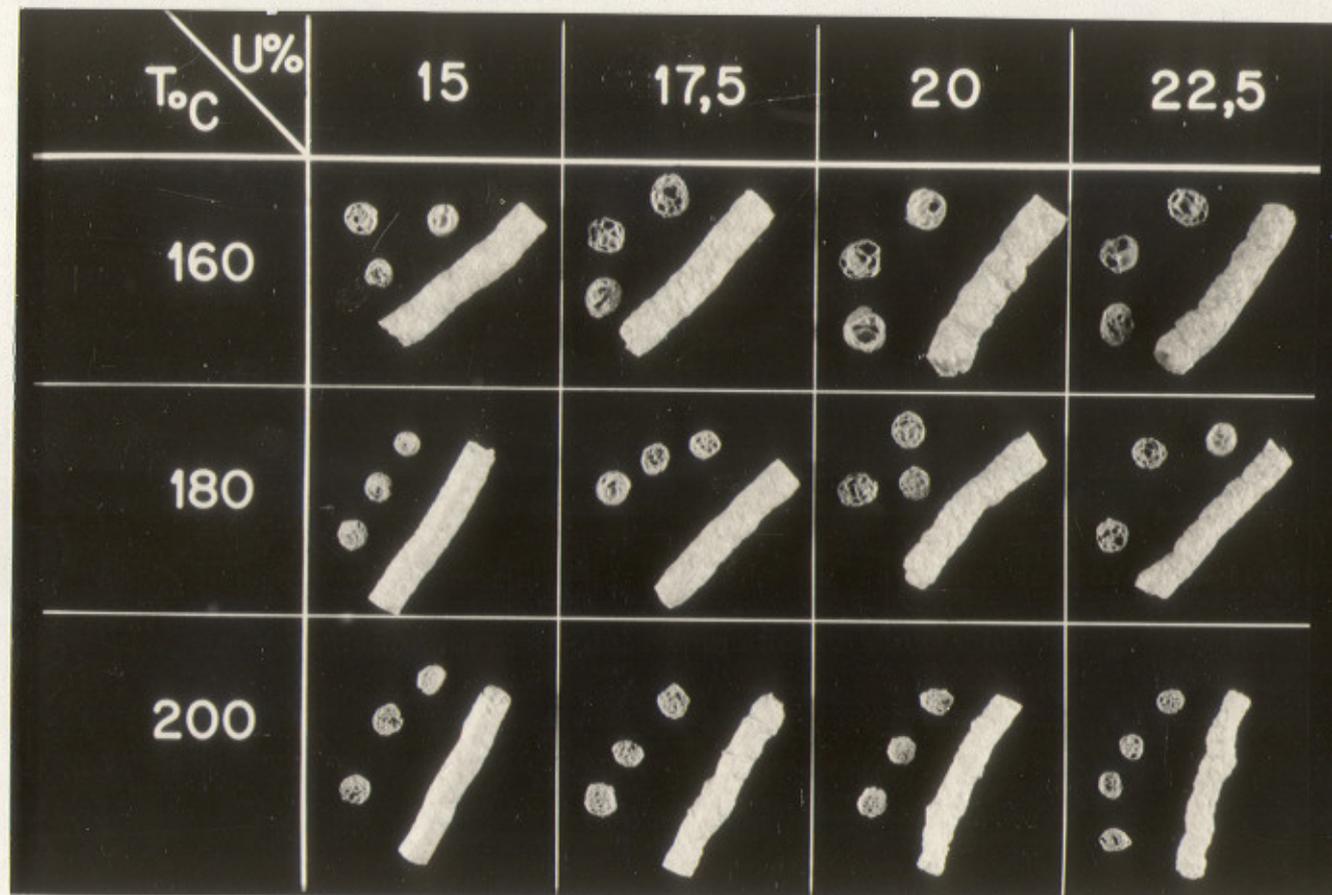
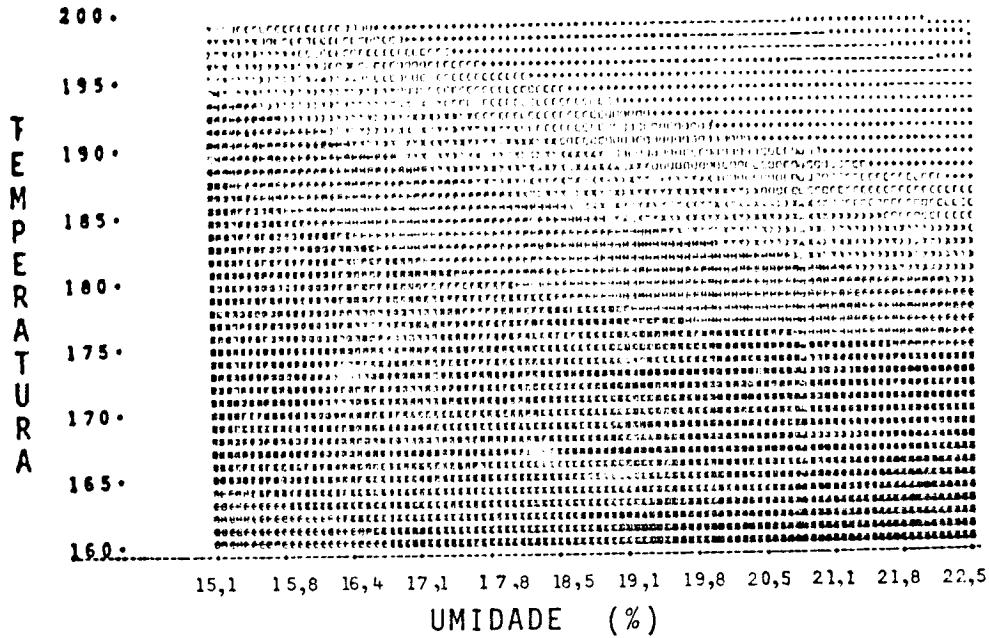


Figura 16 Efeitos do conteúdo de umidade da farinha de sorgo e temperatura de extrusão no grau de expansão dos extrudados



....	1,19 - 1,26	++++	1,69 - 1,83	XXXXX	2,26 - 2,40
''''	1,26 - 1,41	OOOO	1,83 - 1,98	OOOO	2,40 - 2,55
----	1,41 - 1,55	XXXX	1,98 - 2,12		
====	1,55 - 1,69	EEEE	2,12 - 2,26		

Figura 17 Figura tridimensional mostrando o efeito da umidade e temperatura no grau de expansão dos extrudados de sorgo

TABELA XXXVII

Efeito da umidade da farinha e da temperatura de extrusão sobre a densidade dos extrudados

Umidade (%)	Densidade (g/cm ³)		
	Temperatura (°C)		
	160	180	200
15	0,32	0,23	0,26
17,5	0,25	0,20	0,21
20	0,23	0,21	0,25
22,5	0,28	0,25	0,35

TABELA XXXVIII

Coeficiente de regressão para a densidade dos extrudados de sorgo

Coeficientes	Valor
b_0 (interseção)	4,8093
b_1 (temperatura)	-0,0204
b_2 (umidade)	-0,2338
b_{11} (temp. x temp.)	0,0000
b_{22} (umidade x umidade)	0,0058
b_{12} (temp. x umidade)	0,0000
R^2	99,5

se encontrou que a densidade do produto foi afetada significativamente ($R^2=99,5\%$) pelos diferentes níveis de umidade inicial das farinhas e pela temperatura de extrusão. Na Figura 18 pode-se ver como podem ser obtidos produtos com diferentes densidades em uma faixa de temperatura alta (200°C) ou relativamente baixa (160°C) e com farinhas de umidade inicial entre 17 e 20%.

e. Efeito do teor de umidade da farinha e da temperatura de extrusão nas características de viscosidade

A viscosidade é um parâmetro muito importante nas propriedades funcionais de um alimento ou de uma matéria prima. Nas suspensões de farinha de cereais a viscosidade depende da capacidade dos grânulos de amido para absorver água, inchar-se, romper-se e difundir-se no meio líquido. A modificação dos grânulos de amido por processo de gelatinização causa profundas modificações nas características de viscosidade das farinhas. Portanto, estudou-se o efeito do teor de umidade inicial das farinhas e da temperatura de extrusão sobre a gelatinização das mesmas, medindo as mudanças de viscosidade no viscosímetro.

Nas Figuras 19, 20 e 21 se mostra como variou a viscosidade inicial com respeito à farinha crua (controle) sendo que ao aumentar a umidade das farinhas, aumentou a viscosidade inicial para todas as temperaturas. A viscosidade a 95°C praticamente não foi influenciada pelo conteúdo de umidade, já que teve muito pouca variação para uma temperatura

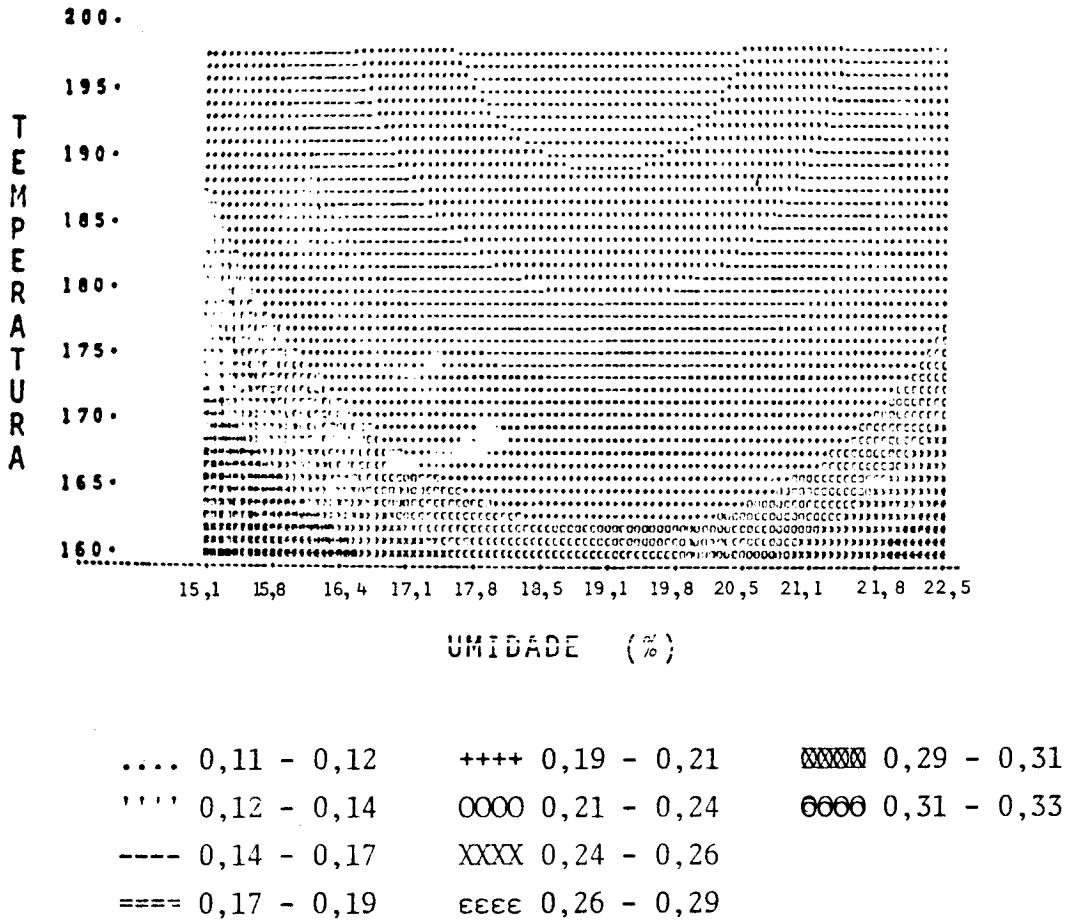


Figura 18 Figura tridimensional mostrando o efeito da umidade e temperatura na densidade dos extrudados de sorgo

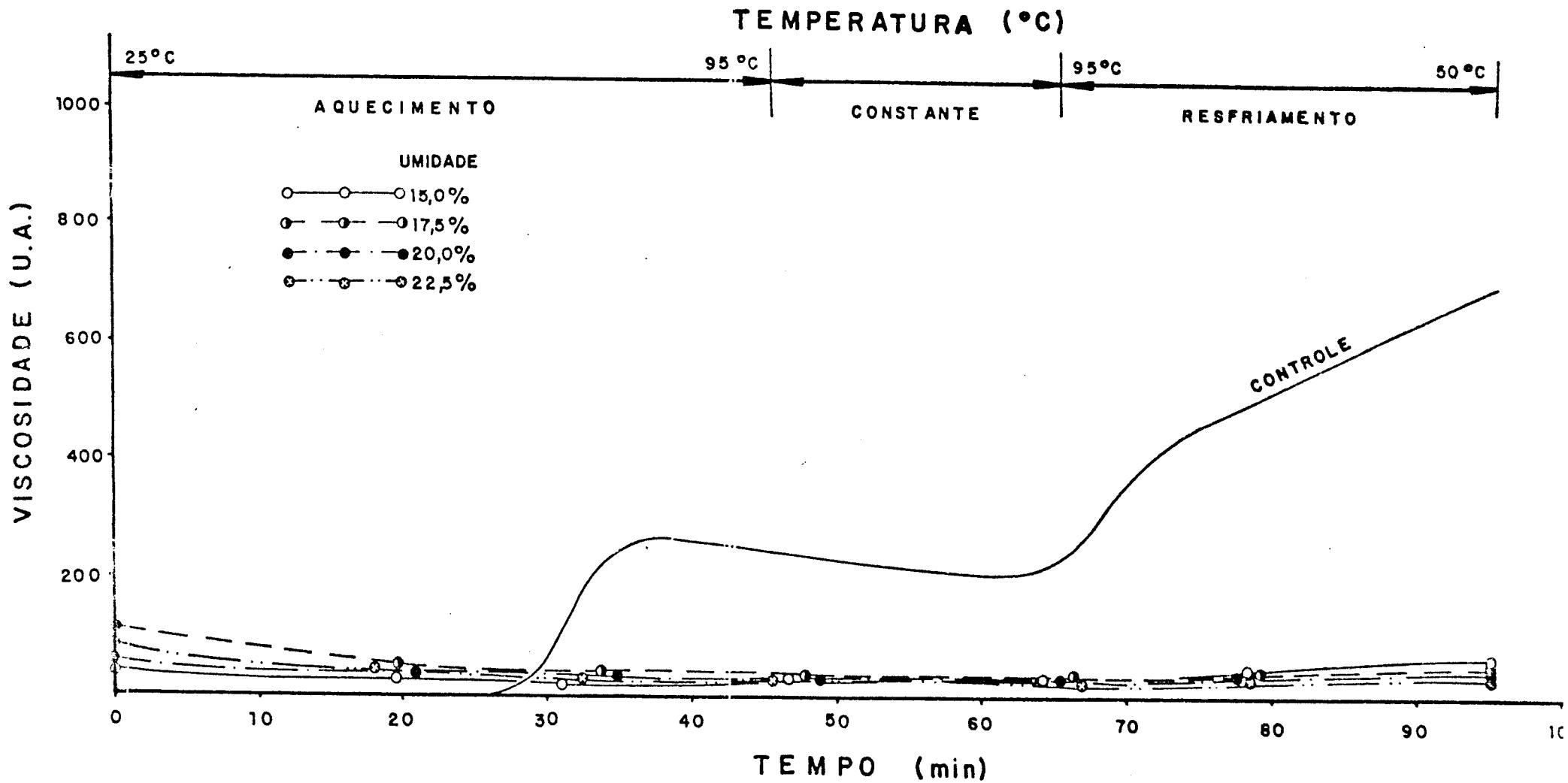


Figura 19 Efeito da umidade da farinha de sorgo e temperatura de extrusão de 160°C na viscosidade das farinhas extrudadas

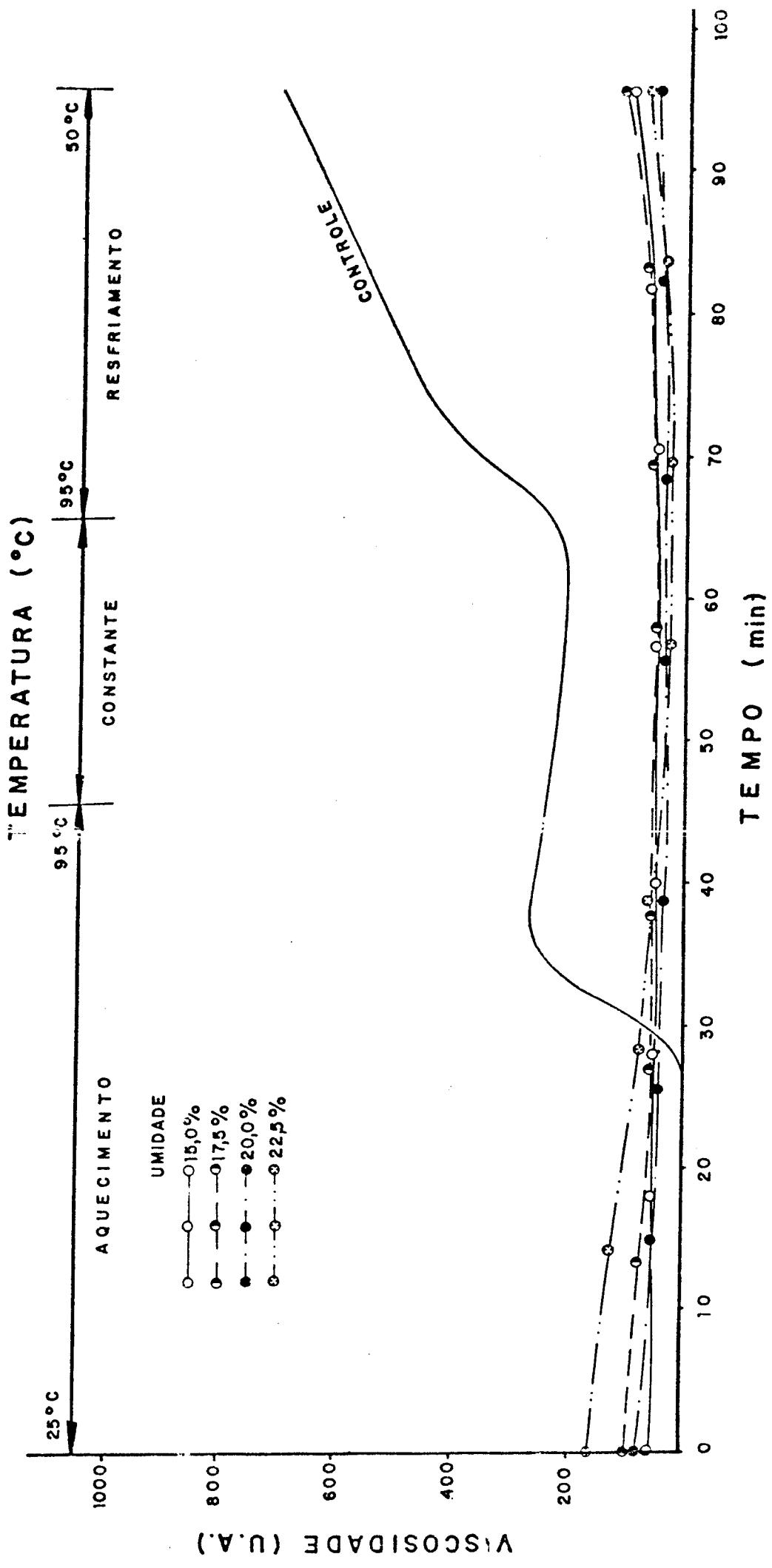


Figura 20 Efeito da umidade da farinha de sorgo e temperatura de extrusão de 180°C na viscosidade das farinhas extrudadas

determinada. No entanto, aumentou ligeiramente ao aumentar a temperatura. Os valores mais baixos foram de 35 a 40 U.A. para as amostras extrudadas a 160°C e os mais altos de 60 a 70 U.A. para os extrudados a 200°C.

A viscosidade no ciclo de resfriamento (a 50°C) apresentou pequenas diferenças entre todas as amostras extrudadas, mas a diferença entre estas últimas e a amostra crua foi acentuada, o que é indicativo de que os grânulos de amido foram quebrados, produzindo-se a gelatinização da farinha. As características de viscosidade são bastante representativas do efeito das variáveis do processo de extrusão, já que ao aplicar uma análise de coeficiente de regressão se determinou que foram afetadas tanto pelas temperaturas, como pelos níveis de umidade (Tabela XXXIX).

i. Efeito na viscosidade da pasta fria a 25°C

A viscosidade da pasta a 25°C é aquela considerada como de pasta fria. Os resultados desta medição a partir dos viscoamilogramas dos extrudados são apresentados na Tabela XL. Pode-se observar que a viscosidade foi muito baixa (60 a 80 U.A.) quando a umidade foi de 15%, para todas as temperaturas de extrusão. A maior viscosidade foi obtida para os extrudados da farinha com 22,5% de umidade a uma temperatura de 200°C. A viscosidade a 25°C indica a capacidade destas farinhas para absorver água à temperatura ambiente (25°C) e formar uma pasta, gel ou líquido viscoso. Esta propriedade é muito importante na preparação de alimentos instantâneos.

TABELA XXXIX

Coeficientes de regressão para as variáveis de viscosidade em função do conteúdo de umidade e a temperatura de extrusão das farinhas de sorgo

Coeficientes	Viscosidade inicial a 25°C	Viscosidade a 95°C	Viscosidade a 50°C
b_0 (interseção)	4481,45	-457,083	-1744,791
b_1 (temperatura)	41,312	4,937	20,120
b_2 (umidade)	119,033	2,266	-7,160
b_{11} (temp. x temp.)	0,0861	-0,0125	-0,051
b_{22} (umidade x umidade)	0,133	-0,1333	0,1333
b_{12} (temp. x umidade)	0,735	0,0100	-0,005
R^2	93,1	92,9	93,0

TABELA XI.

Efeito da umidade inicial da farinha de sorgo e da temperatura de extrusão sobre a viscosidade de pasta fria (25°C) da farinha extrudada

Temperatura (°C)	Viscosidade a 25°C (U.A.) ¹			
	Umidade de condicionamento (%)			
	15	17,5	20	22,5
160	60	110	80	120
180	80	125	100	200
200	80	215	260	360

1. Unidades amilográficas

A Figura 22 mostra o aspecto tridimensional obtido no computador, onde se nota que a viscosidade da pasta a frio é afetada principalmente pela temperatura de extrusão. Aumentando a temperatura de extrusão, aumentou a viscosidade da pasta. A umidade inicial da farinha teve mais influência na viscosidade inicial, em níveis superiores a 17,5% para temperaturas maiores de 190°C.

ii. Efeito na viscosidade da pasta quente (gelatinização)

A viscosidade da pasta quente é aquela obtida no viscoamilograma a 95°C, e é produzida quando os grânulos de amido se incham e logo se quebram por efeito da ruptura das ligações, perdendo a estrutura característica e gelatinizando por efeito térmico.

O efeito do conteúdo de umidade (15 a 22,5%) da farinha e da temperatura de extrusão (16, 180 e 200°C) sobre a viscosidade a 95°C, é apresentada na Tabela XLI e na Figura 23. Pode-se observar que ao aumentar o conteúdo de umidade da farinha, a viscosidade tem tendência a diminuir. Aumentando a temperatura de extrusão, aumenta a viscosidade da pasta quente.

Quando o nível de umidade é menor, o atrito mecânico na última zona do parafuso é maior e o gel é mais fluído. Em consequência, o fluxo de saída é mais rápido, e a quebra dos grânulos de amido é maior, o que se reflete numa menor viscosidade.

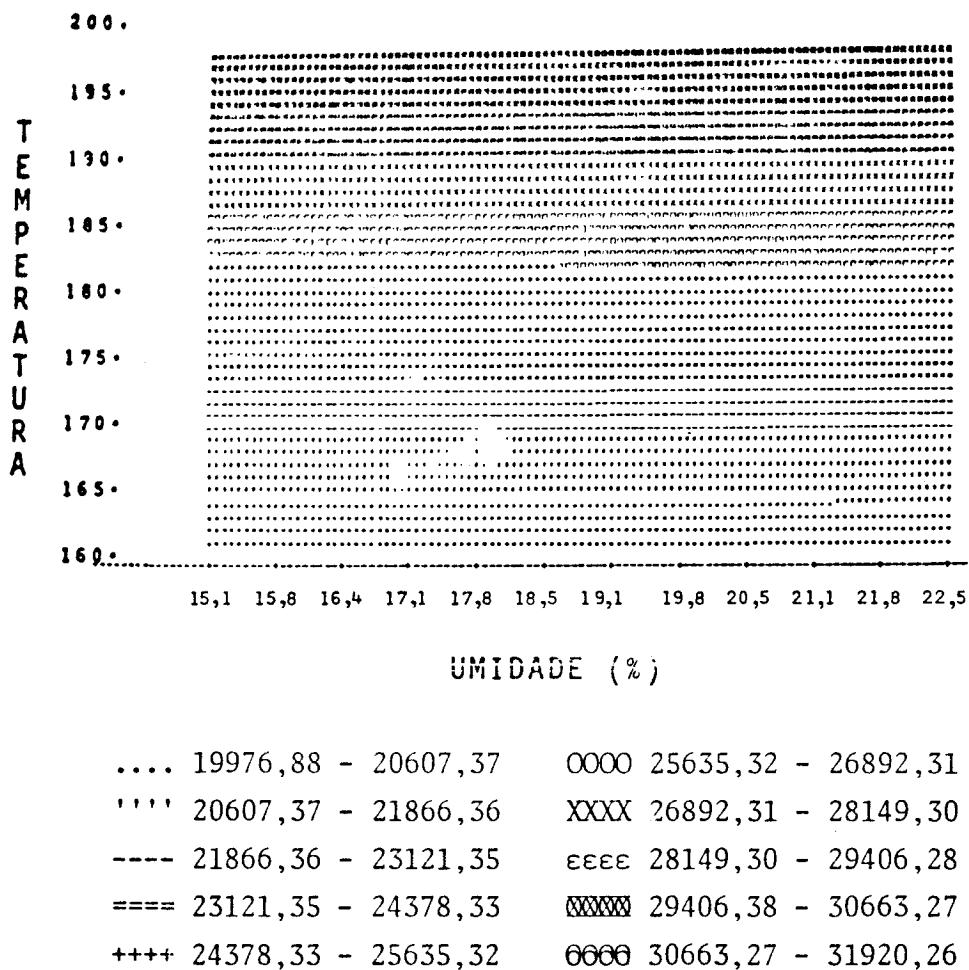


Figura 22 Figura tridimensional mostrando o efeito da umidade e temperatura na viscosidade da pasta fria da farinha de sorgo extrudada

TABELA XLI

Efeito da umidade inicial da farinha de sorgo e a temperatura de extrusão sobre a viscosidade da pasta quente (95°C)

Temperatura (°C)	Viscosidade a 95°C (U.A.) ¹			
	Umidade (%)			
	15	17,5	20	22,5
160	40	40	35	35
180	60	60	50	50
200	60	70	60	60

1. Unidades Amilográficas (U.A.)

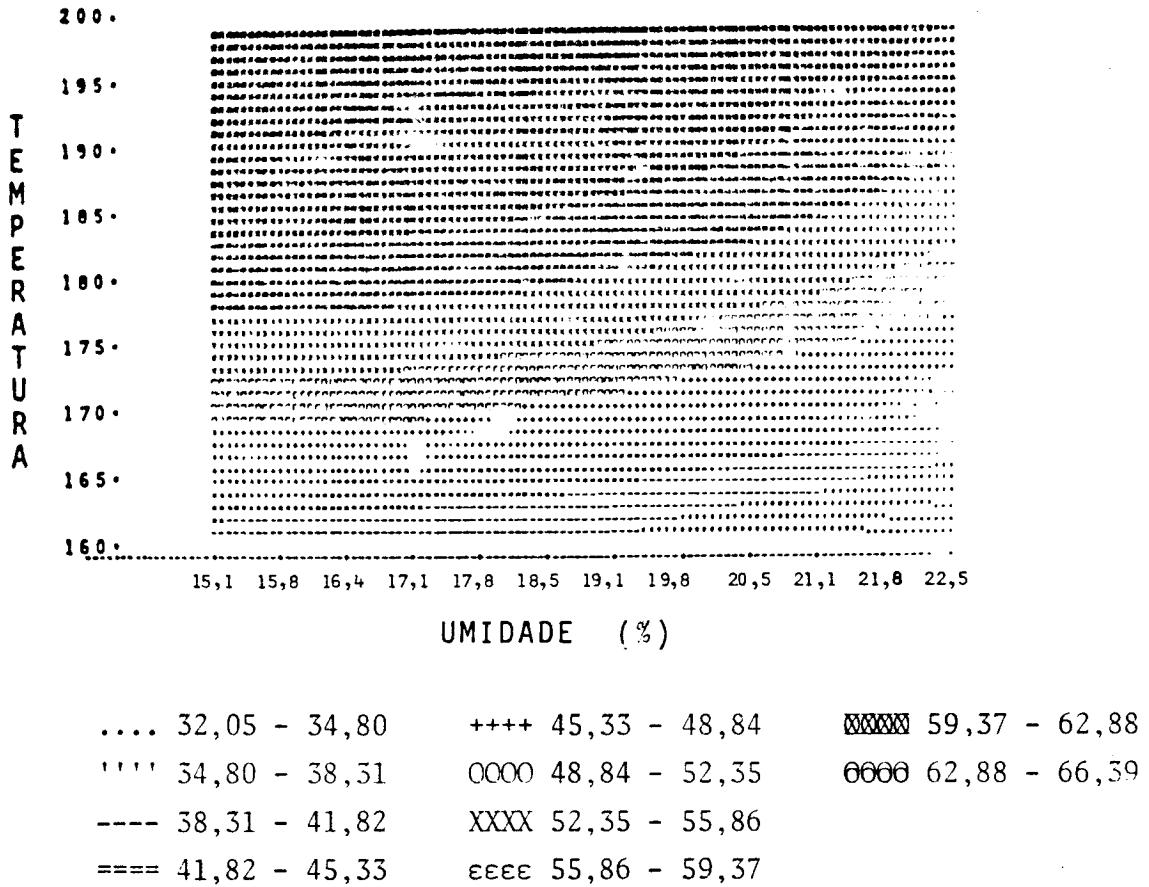


Figura 23 Figura tridimensional mostrando o efeito da umidade e temperatura na viscosidade da pasta quente (95°C) de farinha de sorgo extrudada

iii. Efeito na retrogradação da pasta

Na Tabela XLII e na Figura 24 se apresentam os resultados da retrogradação do amido na farinha de sorgo a 50°C. Ao aumentar o conteúdo de umidade inicial da farinha para uma temperatura dada, diminui a retrogradação. Ao aumentar a temperatura aumenta a capacidade de retrogradação da farinha pré-gelatinizada.

O conteúdo de umidade da farinha e a temperatura de extrusão têm influência significativa ($R^2=93\%$) na retrogradação do produto extrudado. A retrogradação máxima foi obtida quando o teor de umidade das farinhas estava na faixa de 15-16% e a temperatura de extrusão entre 185-200°C.

f. Efeito do teor de umidade da farinha e da temperatura de extrusão no índice de absorção de água (IAA)

Na Tabela XLIII pode-se ver os resultados do índice de absorção de água das farinhas pré-gelatinizadas por extrusão. Pode-se observar que quando as amostras foram extrudadas a 160°C, ao aumentar o conteúdo de umidade de 15 para 20%, aumentou o índice de absorção de 7,10 a 11,26 e logo diminuiu a 5,87. Nesta temperatura se obteve um elevado IAA. Os valores obtidos podem ser considerados altos, já que Anderson e col. (7), estudando grits de sorgo em diferentes condições de extrusão, obtiveram o valor máximo de 7,5.

TABELA XLII

Efeito da umidade inicial da farinha de sorgo e da temperatura de extrusão sobre a retrogradação da pasta a 50°C

Temperatura (°C)	Retrogradação a 50°C (U.A.) ¹			
	Umidade (%)			
	15	17,5	20	22,5
160	60	60	50	45
180	120	120	80	95
200	120	120	105	105

1. Unidades Amilográficas (U.A.)

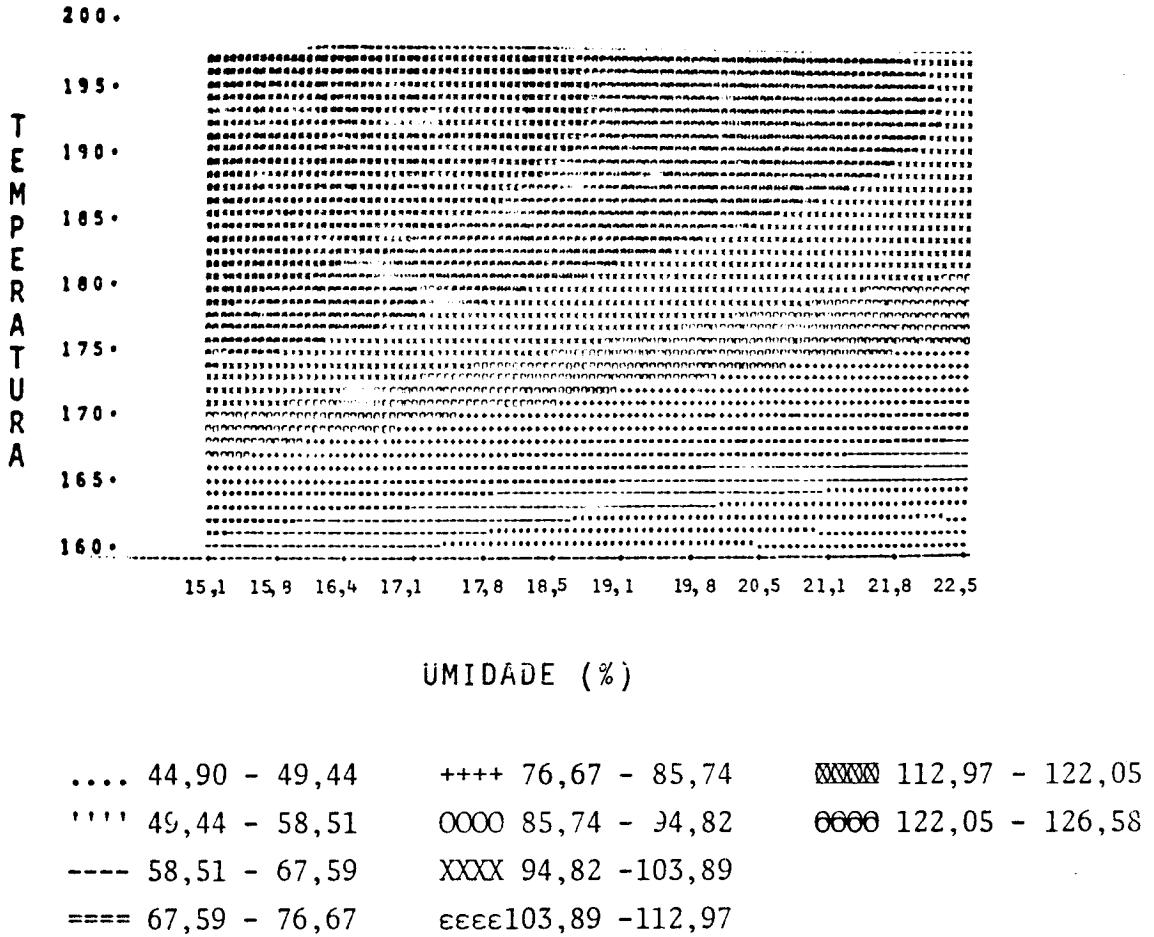


Figura 24 Figura tridimensional mostrando o efeito da umidade e temperatura na retrogradação da farinha de sorgo extrudada

TABELA XLIII

Efeito da umidade inicial da farinha e a temperatura de extrusão sobre o IAA (índice de absorção de água) da farinha de sorgo extrudada

Umidade (%)	IAA (g gel/g amostra)		
	Temperatura (°C)		
	160	180	200
15	7,10	10,35	8,56
17,5	10,78	8,67	11,30
20	11,26	10,36	9,75
22,5	5,87	10,47	11,58

Ao aplicar a análise de respostas em superfície nos valores experimentais de Índice de absorção de água, se obtiveram os coeficientes de regressão e os resultados que se mostram na Tabela XLIV, indicando que as variáveis umidade da farinha e temperatura de extrusão, tem pouca influência no IAA ($R^2=35,71\%$). A Figura 25 mostra em desenho tridimensional, o efeito das variáveis e indica que quando a umidade inicial das farinhas foi maior de 17% e a temperatura de extrusão estava acima de 165°C, foram obtidos produtos com alta capacidade de absorção de água.

O índice de absorção de água é um indicativo das possibilidades de uso das farinhas pré-gelatinizadas, as quais podem ser obtidas com diferentes propriedades, produzindo algumas modificações que podem ser controladas na matéria prima (% de umidade) ou no processo (temperatura de extrusão). Assim, por exemplo, uma farinha com alto índice de absorção de água (maior que 7,5) que pode ser usada para papinhas, mingaus ou tortas instantâneas, poderia ser obtida com as condições dadas na região de cor mais escura da Figura 2 .

g. Efeito do teor de umidade da farinha e da temperatura de extrusão no índice de solubilidade em água (ISA)

O índice de solubilidade é outro parâmetro importante para conhecer as propriedades funcionais de uma farinha pré-gelatinizada. Os resultados do índice de solubilidade se apresentam na Tabela XLV, onde se observa que, em geral, o

TABELA XLIV

Coeficientes de regressão para o índice de absorção de água de extrudados de sorgo em função do conteúdo de umidade da farinha e da temperatura de extrusão

Coeficientes	Valor
b_0 (interseção)	5,327
b_1 (temperatura)	-0,1153
b_2 (umidade)	1,4206
b_{11} (temp. X temp.)	-0,0003
b_{22} (umidade X umidade)	-0,1037
b_{12} (temp. X umidade)	0,01395

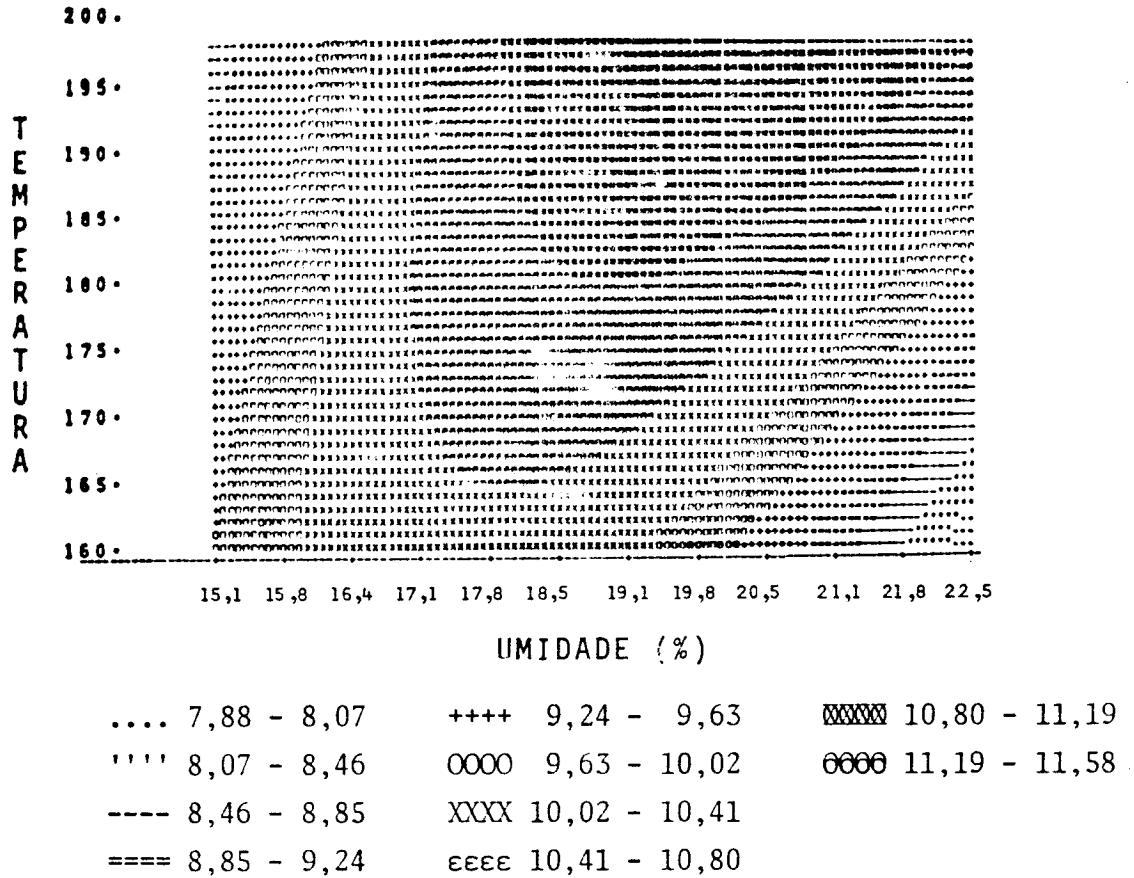


Figura 25 Figura tridimensional mostrando o efeito da umidade e temperatura na capacidade de absorção de água da farinha de sorgo extrudada

TABELA XLV

Efeito da umidade inicial da farinha de sorgo e a temperatura de extrusão sobre o ISA (índice de solubilidade em água) da farinha extrudada

Umidade (%)	ISA (%)		
	Temperatura (°C)		
	160	180	200
15	17,39	14,80	14,10
17,5	23,46	21,19	21,06
20	27,80	19,70	26,59
22,5	18,97	17,73	20,40

ISA aumenta com o aumento do conteúdo de umidade até 20%. Para níveis de umidade maiores de 20%, o ISA diminui para todas as temperaturas de extrusão. Este fato é devido a que com maior conteúdo de umidade, a água atua como um lubrificante diminuindo a fricção e a força mecânica, motivo pelo qual o grânulo de amido sofre menos atrito e a alteração é menor.

O coeficiente de regressão calculado para o índice de solubilidade que se apresenta na Tabela XLVI, mostra que a umidade da farinha e a temperatura de extrusão afetam esta propriedade ($R^2=88,4\%$). A Figura 26 permite observar o efeito da interação entre teor de umidade, temperatura e solubilidade, sendo que uma farinha com umidade muito alta ou muito baixa, dá como resultante um produto com baixa solubilidade em água. Na faixa de 17 a 20% de umidade, com a temperatura entre 160 a 165°C, pode-se obter uma solubilidade alta.

h. Efeito do teor de umidade da farinha e da temperatura de extrusão na susceptibilidade enzimática

Os grânulos de amido danificados ou que têm sofrido alterações na sua estrutura física ou química, podem ser hidrolisados por alfa e beta amilases, o que usualmente é denominado como susceptibilidade enzimática (115). A modificação da estrutura do grânulo de amido por gelatinização fa

TABELA XLVI

Coeficiente de regressão para o índice de solubilidade em água das farinhas de sorgo extrudadas a diferentes umidades iniciais e temperaturas de extrusão

Coeficientes	Valor
b_0 (interseção)	131,812
b_1 (temperatura)	2,929
b_2 (umidade)	16,199
b_{11} (temp. X temp.)	0,0072
b_{22} (umidade X umidade)	-0,4897
b_{12} (temp. X umidade)	0,0150

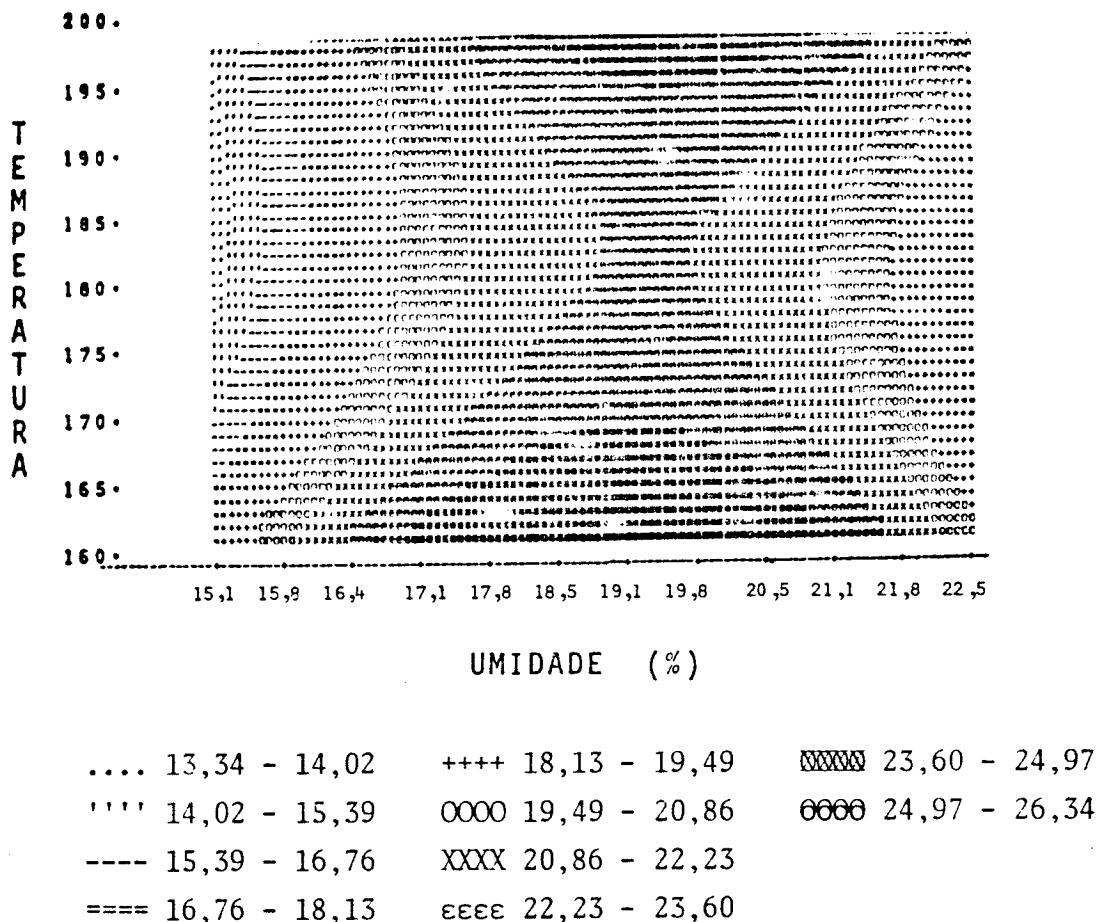


Figura 26 Figura tridimensional mostrando o efeito da umidade e temperatura na solubilidade em água da farinha de sorgo extrudada

cilita a sua hidrólise pelas enzimas, e usa-se como uma forma de medir o efeito do processo.

Nas Figuras 27, 28 e 29 mostra-se a ação da alfa amilase fúngica sobre as farinhas extrudadas para a produção de maltose.

Para uma temperatura dada, a maltose produzida foi ligeiramente maior quando o nível de umidade da farinha foi mais alto. A região constante da curva foi alcançada mais rapidamente para as farinhas com maior nível de umidade, o que significa que a farinha teve uma maior susceptibilidade como substrato enzimático quando a umidade inicial foi mais alta.

i. Efeito do teor de umidade da farinha e da temperatura de extrusão na a cor das farinhas pré-gelatinizadas

Os dados obtidos a respeito das mudanças de cor ocorridas durante a extrusão das farinhas, estão apresentados na Tabela XLVII.

As amostras extrudadas a 160°C com umidades inferiores a 20% foram iguais ou ligeiramente mais claras que a farinha crua e para 22,5% de umidade foram ligeiramente escuras. Em geral, ao aumentar a umidade das farinhas e a temperatura de extrusão, os extrudados foram mais escuros. As porcentagens de brancura mostram diferença significativa a nível de 95 e 99% de confiança, sendo os extrudados mais brancos os obtidos a 160°C, e os mais escuros os obtidos com farinhas

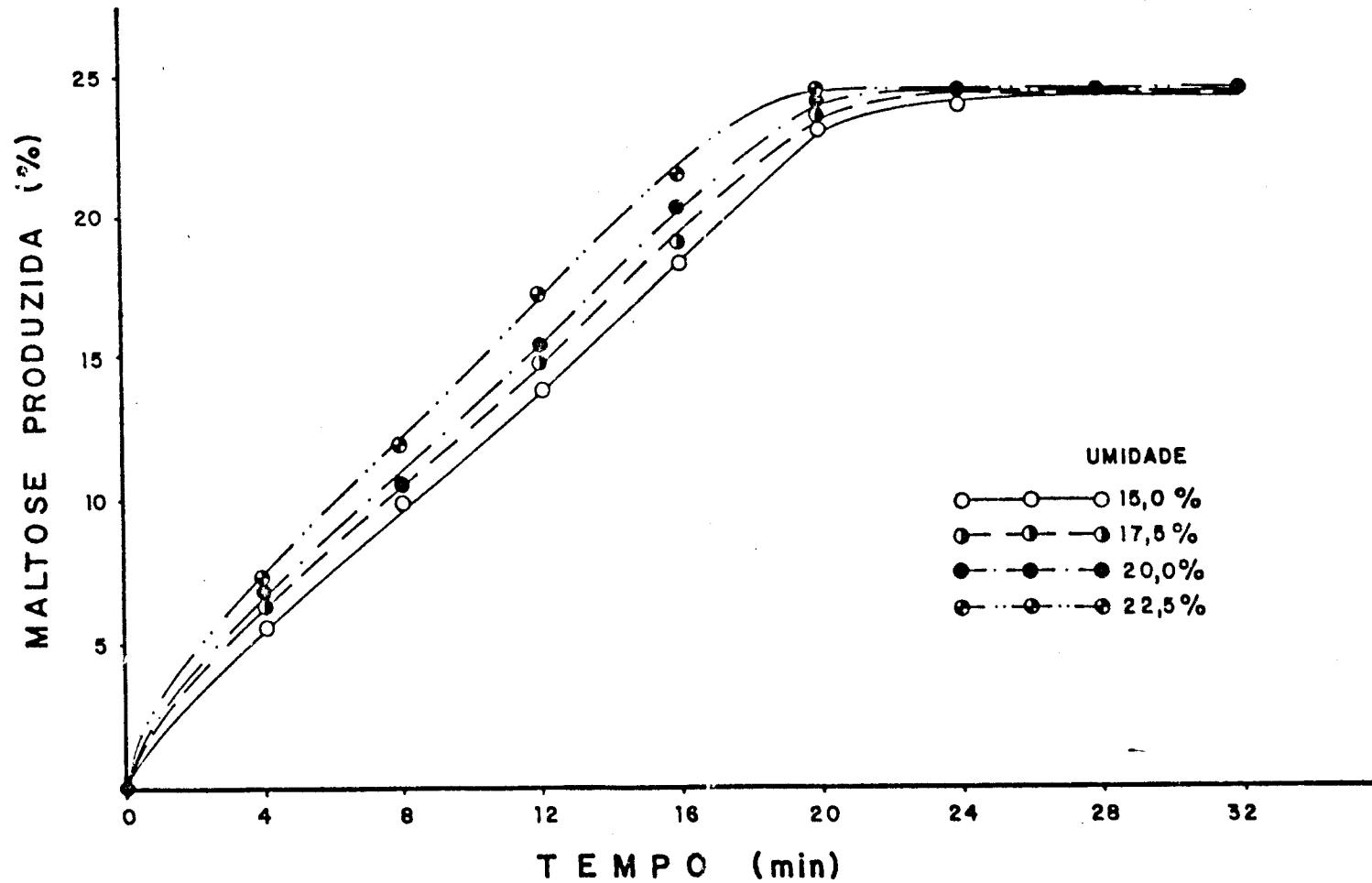


Figura 27 Susceptibilidade enzimática da farinha de sorgo extrudada a 160°C com diferentes níveis de umidade

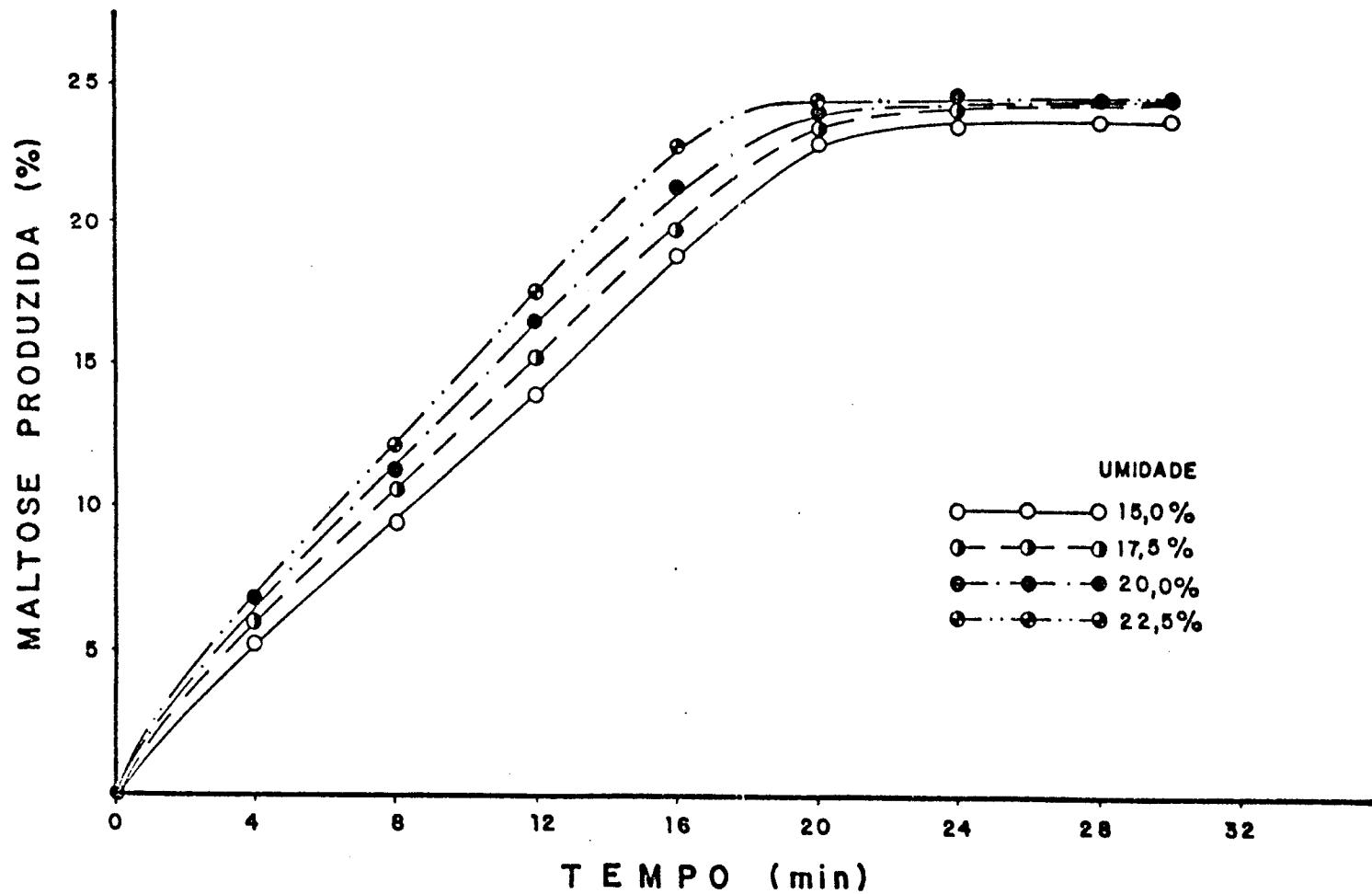


Figura 28 Susceptibilidade enzimática da farinha de sorgo extrudada a 180°C com diferentes níveis de umidade

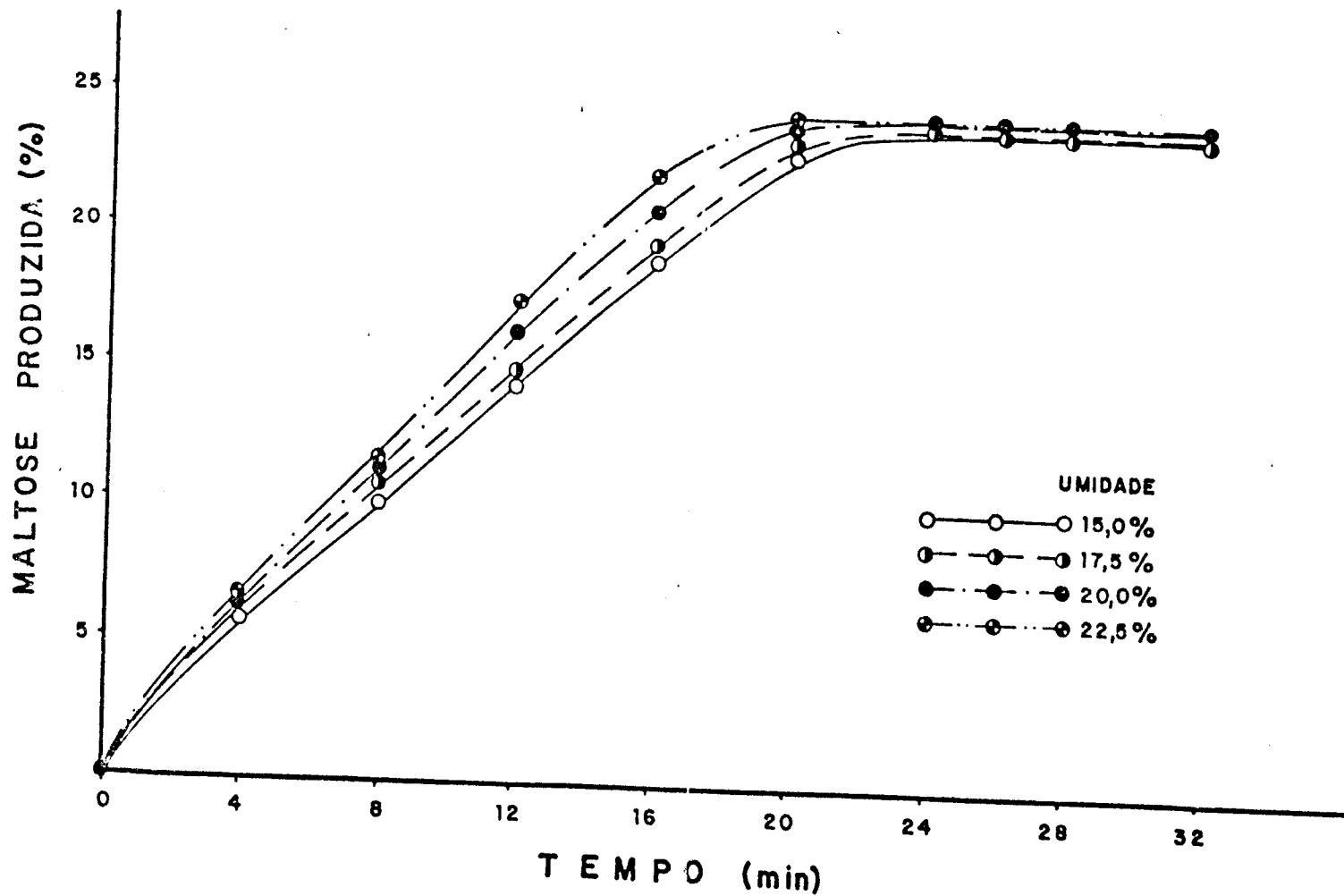


Figura 29 Susceptibilidade enzimática da farinha de sorgo extrudada a 200°C com diferentes níveis de umidade

TABELA XLVII

Efeito da umidade inicial da farinha e a temperatura de extrusão sobre os parâmetros da cor da farinha de sorgo extrudado

Umidade inicial da farinha %	Temperatura extrusão °C	$\frac{L}{100}$ = branco 0 = negro	a (+) = vermelho (-) = verde	b (+) = amarelo (-) = azul	Brancura ⁽¹⁾ %
Padrão	-	92,83	-0,099	0,56	-
15	160	88,40	1,62	13,22	95,23
	180	81,09	0,61	12,62	87,35
	200	83,08	0,56	13,69	89,51
17,5	160	85,99	1,55	13,72	92,62
	180	82,23	0,33	12,57	88,58
	200	82,28	0,58	12,95	88,64
20	160	84,65	1,82	14,68	91,20
	180	81,20	0,35	12,62	87,47
	200	82,28	0,77	14,34	88,64
22,5	160	82,74	1,96	14,94	89,13
	180	79,38	0,22	12,48	85,51
	200	83,28	0,38	12,16	89,71
Farinha sem extrudar	-	84,75	1,81	14,64	91,3

(1) % brancura = $\frac{L \text{ (amostra)}}{L \text{ (padrão)}} \times 100$

de 22,5% de umidade a 180°C.

As variáveis do processo de extrusão foram altamente significativas na cor dos extrudados ($R^2=94,4\%$). O coeficiente de regressão das variáveis se apresenta na Tabela XLVIII. O gráfico obtido da análise de superfície de respostas (Figura 30) indica que variando as condições de extrusão e dependendo da direção do movimento das variáveis, podemos controlar a cor dos extrudados, isto é, evitar que se sucedam reações de escurecimento.

A cor adquirida pelos extrudados pode ter sido ocasionada por reações de caramelização ou reações de Maillard já que a farinha tinha certo teor de açúcares redutores e de lisina, que possivelmente reagiram favorecidas pelas condições de extrusão. Tanto é que, em geral, o conteúdo de lisina e o conteúdo de açúcares totais diminuiu.

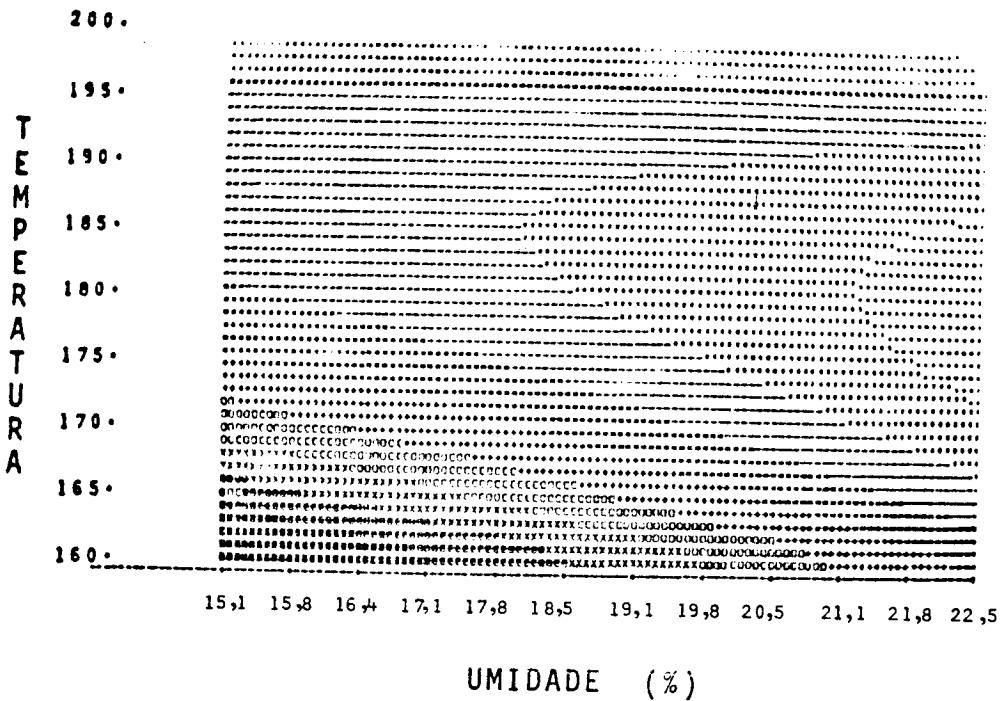
j. Efeito do teor de umidade da farinha e a temperatura de extrusão sobre a composição e propriedades nutricionais dos extrudados

As farinhas durante o processo de extrusão foram submetidas a altas temperaturas (160-200°C), pressões e atritos mecânicos, os quais podem produzir modificações nas propriedades nutricionais dos produtos obtidos. Portanto, sabendo que em proteínas, aminoácidos, açúcares, vitaminas e minerais e onde o processo de extrusão pode ter um efeito não desejável, se fez uma avaliação destes componentes nas farinhas pré-gelatinizadas.

TABELA XLVIII

Coeficiente de regressão para as determinações de cor nas farinhas de sorgo extrudadas com diferentes umidades e temperaturas de extrusão

Coeficientes	Valor
b_0 (interseção)	444,191
b_1 (temperatura)	-3,47
b_2 (umidade)	-3,642
b_{11} (temp. x temp.)	0,0084
b_{22} (umidade x umidade)	-0,0096
b_{12} (temp. x umidade)	0,0203



....	85,87 - 86,36	++++	89,25 - 90,21	XXXX	93,11 - 94,07
''''	86,36 - 87,32	OOOO	90,21 - 91,18	OOOO	94,07 - 95,03
----	87,32 - 88,29	XXXX	91,18 - 92,14		
====	88,29 - 89,25	EEEE	92,14 - 93,11		

Figura 30 Figura tridimensional mostrando o efeito da umidade e temperatura na cor da farinha de sorgo extrudada

i. Efeito no conteúdo de proteínas e açúcares

O teor de proteína dos extrudados não apresentou diferenças em relação à farinha sem extrudar e se manteve em torno de 12,78 a 12,82% (em base seca).

Os conteúdos de açúcares redutores e totais nos extrudados são apresentados na Tabela XLIX. Pode-se observar que ao aumentar a umidade da farinha, a porcentagem de açúcares redutores aumentou. Este comportamento foi obtido para todas as temperaturas de extrusão. O aumento dos açúcares redutores pode ter sido ocasionado por quebra da molécula de amido ou dos açúcares totais, já que estes últimos diminuíram em relação à farinha crua e para todos os extrudados. Os resultados obtidos concordam com os encontrados para extrudados de amido de milho obtidos com temperaturas de 149 a 171°C (114).

ii. Efeito no conteúdo de vitaminas e minerais

Na Tabela L se apresentam os resultados das determinações das vitaminas, tiamina (B_1), riboflavina (B_2) e niacina e dos minerais cálcio, ferro e fósforo. Ao observar os valores de tiamina se percebe que houve uma diminuição ao incrementar a temperatura. Assim, o máximo teor foi 0,186 mg/100g a 160°C e mínimo 0,076 a 200°C para 22,5% e 15% de umidade respectivamente. Ao aumentar o conteúdo de umidade diminuem as perdas. Assim, as perdas a 15% de umidade e 160°C foram 42% e para 22,5% de umidade diminuíram a 28%; um comportamento similar foi observado nos extrudados a 130

TABELA XLIX

Efeito da umidade da farinha e temperatura de extrusão sobre o conteúdo de açúcares redutores e totais da farinha extrudada

Temp. de extrusão (°C)	Umidade da farinha (%)	Açúcares redutores (%)	Açúcares totais (%)	
Farinha crua	-	0,03	3,18	
	15,0	0,08	2,35	
	160	17,5	0,05	2,44
	20,0	0,12	2,78	
	22,5	0,16	2,68	
180	15,0	0,06	2,69	
	17,5	0,06	2,56	
	20,0	0,14	2,65	
	22,5	0,11	2,66	
	200	15,0	0,05	2,99
17,5		0,07	2,70	
20,0		0,10	2,55	
22,5		0,08	2,62	

TABELA L

Efeito do processo de extrusão sobre o conteúdo¹ de vitaminas e minerais da farinha extrudada

	Temperatura de extrusão (°C)											
	160				180				200			
	Umidade inicial das farinhas(%)											
	15	17,5	20	22,5	15	17,5	20	22,5	15	17,5	20	22,5
<u>Vitaminas</u>												
Tiamina	0,152	0,167	0,174	0,186	0,103	0,128	0,146	0,161	0,076	0,078	0,080	0,083
Riboflavina	0,054	0,050	0,046	0,039	0,055	0,049	0,038	0,033	0,060	0,058	0,049	0,040
Niacina	1,96	1,99	2,03	2,04	1,92	1,95	1,98	2,04	1,90	1,94	1,99	2,05
<u>Minerais</u>												
Cálcio	1,82	1,77	1,69	1,60	1,52	1,71	1,84	1,97	1,84	1,88	1,93	1,98
Ferro	7,19	7,22	7,28	7,33	6,66	6,85	7,10	7,37	6,75	6,51	6,38	6,23
Fósforo	436,3	446,3	454,7	468,9	467,2	462,6	460,8	457,7	427,4	421,3	416,8	413,0

1. Expressos em mg/100 g

200°C, onde as perdas foram maiores. Isto leva a indicar que tanto a temperatura de extrusão como a umidade das farinhas afetam a retenção de tiamina durante a extrusão. Esses resultados estão em discordância com aqueles encontrados por Beetner e col. (15) que afirmaram que a temperatura tem efeito nas perdas de tiamina e a umidade não, o que pode ter sido devido ao fato desses autores terem trabalhado com teores de umidades de 13-16%. Possivelmente, a maior nível de umidade, a água exerce um efeito lubrificante diminuindo a fricção e portanto, reduzindo a perda da tiamina. O conteúdo de riboflavina teve uma redução entre 14 e 57%, sendo que para uma temperatura dada as perdas foram maiores a maior conteúdo de umidade. Assim para 15% de umidade, as perdas foram de 22, 20 e 14% para 160, 180 e 200°C respectivamente. Estes resultados concordam com aqueles encontrados por Beetner e col. (15). O conteúdo de minerais das farinhas pré-gelatinizadas sofreu certas reduções em comparação à farinha crua. Assim, o cálcio teve perdas desde 1 a 23%, sendo que a medida que aumentou o nível de umidade diminuíram as perdas quando as temperaturas de extrusão foram de 180 e 200°C. O contrário ocorreu para a temperatura de 160°C. O ferro e o fósforo tiveram pouca diminuição e as perdas máximas foram de 15% e 12% respectivamente. Ambos os minerais tiveram os teores máximos de perdas para 20 e 22% de umidade quando a temperatura de extrusão foi de 200°C.

iii. Efeito no conteúdo de aminoácidos e escore químico

Na Tabela LI se apresenta o conteúdo de aminoácidos das farinhas pré-gelatinizadas. Os resultados mostram que quando a umidade foi de 15% se produziram as maiores perdas na faixa de temperatura de 160 a 200°C. Para um teor de umidade de 20%, houve em quase todos os aminoácidos a maior retenção quando a temperatura foi de 160 a 180°C. As maiores perdas para extrudados obtidos a 200°C ocorreram com as farinhas de 22,5% de umidade. As perdas mais acentuadas em aminoácidos essenciais atingiram 38% em isoleucina; 30% em lisina e treonina; 26% em valina, leucina e fenilalanina, e o triptofano teve 22% de perda máxima.

Os aminoácidos indispensáveis foram afetados da mesma forma que os dispensáveis, produzindo-se em geral as maiores perdas a 15% de umidade para todas as temperaturas. A cisteína foi o aminoácido mais afetado sendo a perda máxima de 66%, quando a umidade foi de 15% aos 200°C de temperatura de extrusão.

As perdas em aminoácidos essenciais afetam diretamente o aproveitamento das proteínas porque aumentam o número de aminoácidos limitantes, como pode-se deduzir dos valores de escore químico que se apresentam na Tabela LII. Além da lisina diminuir e continuar sendo o primeiro aminoácido limitante, também nas farinhas dos extrudados se fizeram limitantes os sulfurados e para algumas farinhas o triptofano e a valina, os quais não foram limitantes na farinha crua.

Nota-se, portanto, que o processo de extrusão acen

TABELA LI

Efeito do conteúdo de umidade das farinhas de sorgo e a temperatura de extrusão sobre o teor de aminoácidos das farinhas pré-gelatinizadas

Aminoácidos	Conteúdo de aminoácidos (g/16 g de N)											
	Temperatura de extrusão (°C)											
	160				180				200			
	Umidade inicial das farinhas (%)											
	15	17,5	20	22,5	15	17,5	20	22,5	15	17,5	20	22,5
<u>Indispensáveis</u>												
Lisina	1,55	1,80	1,86	1,54	1,71	2,04	2,13	2,08	1,57	1,54	1,50	1,66
Metionina	1,51	1,53	1,61	1,50	1,55	2,00	1,92	1,92	1,75	1,80	1,69	1,99
Treonina	2,69	3,08	3,27	2,41	2,65	3,40	2,95	3,21	2,70	2,95	2,77	3,28
Valina	4,38	5,59	4,77	3,56	4,15	5,67	3,37	4,83	4,51	5,22	4,34	5,35
Isoleucina	12,93	13,17	13,42	11,15	14,71	12,75	14,82	13,68	12,75	12,96	13,80	14,31
Isovalina	3,19	3,48	3,62	2,78	2,51	3,95	4,07	3,98	3,02	3,03	3,05	3,07
Fenilalanina	4,66	4,75	4,87	4,04	4,64	5,45	5,50	5,48	4,68	4,80	4,91	5,42
Triptofano	0,86	0,97	0,96	0,97	0,81	0,80	0,93	0,89	0,78	0,86	0,87	0,81
<u>Dispensáveis</u>												
Ácido Aspártico	6,87	6,95	7,07	5,08	7,00	7,85	7,76	7,23	6,57	7,35	7,02	5,23
Ácido Glutâmico	24,03	25,46	26,35	26,59	23,62	26,43	27,30	27,47	21,20	21,48	22,50	23,20
Serina	4,54	5,00	5,02	4,44	5,09	5,30	5,92	5,98	5,46	5,63	5,94	6,27
Prolina	8,72	9,25	8,06	5,51	8,89	9,21	9,26	9,18	7,27	7,59	8,57	9,80
Glicina	3,01	3,28	3,14	2,21	2,90	3,66	3,17	3,06	2,99	2,81	2,98	3,08
Alanina	9,15	9,31	9,54	7,23	9,74	10,85	10,40	9,87	8,14	8,62	9,80	9,51
Cisteína	0,43	0,68	0,56	0,24	0,37	0,66	0,33	0,42	0,24	0,27	0,32	0,49
Tirosina	2,00	2,20	2,24	2,25	3,22	3,11	3,99	3,86	3,35	3,46	3,65	4,11
Histidina	2,11	2,23	2,05	1,58	2,14	2,38	2,42	2,35	1,92	1,90	1,94	2,05
Arginina	2,86	3,04	2,82	2,93	4,69	4,72	4,61	4,73	3,61	3,62	3,66	3,94

TABELA LII

Escore químico das farinhas de sorgo pré-gelatinizadas por processo de extrusão

Escore Químico	Temperatura de Extrusão (°C)											
	160				180				200			
	Umidade inicial das farinhas (%)											
	15	17,5	20	22,5	15	17,5	20	22,5	15	17,5	20	22,5
Lisina	28,49	33,08	34,19	28,31	31,43	37,49	39,15	38,23	28,86	28,31	27,57	30,51
Treonina	76,25	77,00	81,75	60,25	66,25	85,00	73,75	80,25	67,50	73,75	69,25	82,00
Valina	88,31	112,70	96,17	71,77	83,67	114,31	67,94	97,38	90,93	105,24	87,50	107,86
Leucina	183,66	187,01	190,56	158,33	209,17	181,05	210,44	194,26	181,05	183,60	195,96	203,20
Isoleucina	79,75	87,00	90,50	57,00	62,75	98,75	101,75	99,50	75,50	75,75	76,25	76,75
Triptofano	89,58	101,14	99,99	101,04	84,37	83,33	96,87	92,71	81,25	89,58	90,62	84,37
Sulfurados	55,11	62,76	61,63	49,42	54,53	70,72	66,17	66,46	56,52	58,79	57,08	70,43
Aromáticos	109,53	114,26	116,88	103,41	129,22	140,72	156,01	153,55	132,01	135,79	140,72	122,81

tua as deficiências em aminoácidos não essenciais das farinhas de sorgo diminuindo sua qualidade protéica.

iv. Efeito na digestibilidade

A digestibilidade é um parâmetro que indica o aproveitamento da proteína. Os processos térmicos geralmente melhoram a digestibilidade e, portanto, estudou-se o efeito do processo de extrusão na digestibilidade "in vitro". Os resultados são apresentados na Tabela LIII e na mesma se observa que com menor umidade da farinha (15 e 17,5%) para 160°C, a digestibilidade teve uma ligeira diminuição. Possivelmente, com menor umidade se desenvolve maior atrito e se formam ligações difíceis de serem quebradas pelas enzimas proteolíticas. Para as outras temperaturas de extrusão e para 15% de umidade, a digestibilidade se manteve praticamente igual que na farinha crua e para 22,5% de umidade foi ligeiramente maior. Estes resultados indicam que nas condições testadas a digestibilidade das proteínas não foi afetada.

TABELA LIII

Efeito da umidade das farinhas e da temperatura de extrusão sobre a digestibilidade "in vitro" das farinhas pré-gelatinizadas

Temperatura de extrusão (°C)	Digestibilidade (%)			
	Umidade (%)			
	15	17,5	20	22,5
160	92,12	93,28	94,06	95,18
180	92,90	94,93	94,80	95,50
200	92,40	94,32	94,17	94,82

V. CONCLUSÕES

A forma arredondada e o tamanho pequeno do grão de sorgo não impede que, para moagem, possam ser utilizados equipamentos destinados ao beneficiamento de arroz e moagem de trigo, o que é uma vantagem para ocupar a capacidade ociosa desses equipamentos ou para que as empresas processadoras destes cereais possam diversificar linhas de produção sem maiores investimentos.

O condicionamento dos grãos não melhorou os rendimentos em farinhas e mostrou que a moagem do sorgo, ao contrário do trigo, é mais efetivo a baixos níveis de umidade. Não se justifica o condicionamento do sorgo, quando se vai fazer moagem em moinho de rolos. Quando se precisa obter farinhas de sorgo, para uso imediato onde os teores sejam próximos a 1% de cinza e lipídios, a moagem em moinho de rolos permite obter um adequado fracionamento do grão, podendo-se obter rendimento de até 73,5% em farinha. Para a produção de farinha com teores de lipídios e de cinza em torno de 0,5%, utilizando moinhos de rolos, seria necessário decorticar os grãos.

O descorticamento dos grãos de sorgo, utilizando beneficiadora de arroz, foi eficiente para separar grande parte das camadas externas e germe do grão, diminuindo em uma alta proporção o conteúdo de taninos, fibra, cinza e lipídios. O grau de remoção de casca foi considerado adequado, quando foi removido aproximadamente 7% do peso do grão. Este nível de descascamento permitiu conservar uma alta por-

centagem de aminoácidos essenciais, vitaminas (niacina, (B₁, B₂) e minerais (cálcio, ferro e fósforo).

A moagem dos grãos descorticados em moinho de rolos permitiu obter farinhas com um rendimento próximo a 80% e com baixo teor de cinza, lipídios e fibra.

O tratamento hidrotérmico dos grãos descorticados resultou ser um processo simples para obter farinhas pré-gelatinizadas, com grau de gelatinização do amido dependendo do tempo de tratamento térmico com vapor e do nível de hidratação dos grãos. A temperatura de maceração tem grande influência no tempo de hidratação dos grãos descascados. Foi possível reduzir o tempo de 90 min a 45 min ao aumentar a temperatura ambiente de 27°C para 40°C. Uma vez atingida a umidade de equilíbrio (em torno de 40°C), 1 minuto de tratamento com vapor a 118°C foi o tempo suficiente para produzir farinhas pré-gelatinizadas, sem afetar consideravelmente o valor nutricional. Nessas condições houve aumento da digestibilidade do produto obtido. As farinhas pré-gelatinizadas pelo processo hidrotérmico a menor tempo (1 e 5 min) apresentaram melhor valor nutricional do que as processadas durante 10 ou 15 minutos.

As farinhas de sorgo descorticados obtidas pela moagem em moinho de rolos, ao serem processadas por extrusão, produziram expandidos de baixa densidade. As características das farinhas pré-gelatinizadas pelo processo de extrusão indicaram que qualquer das umidades iniciais testadas e para todas as temperaturas de extrusão foi possível produzir farinhas com índices de absorção de água maiores de 7 e

e índices de solubilidade na faixa de 14,1 a 27,8%. As características de viscosidade de pasta quente, viscosidade de pasta fria e a retrogradação das pastas demonstraram que as farinhas poderiam ser utilizadas para a produção de geis viscosos a baixas ou altas temperaturas. Os resultados das propriedades funcionais estudadas nas farinhas pré-gelatinizadas, permitem indicar que as mesmas poderiam ser usadas para a preparação de alimentos instantâneos e em vários usos industriais (Como por exemplo para obtenção de álcool, produção de papel, fabricação de tecidos, etc).

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGUILERA, J.M. & KOSIKOWSKI, F.V. Soybean extruded product: a response surface analysis. *J. Food Sci.* 41(3): 647-50, 1976.
2. AIN STANDARDS FOR NUTRITIONAL STUDIES REPORT *J. Nutr.*, 107: 1340-1345, 1977.
3. AKESON, W.B. & STAHMANN, M.A. A pepsin pancreatin digest index of protein quality evaluation. *J. Nutr.* 83:257-260, 1964.
4. ALLISON, A.B. Biological evaluation of proteins. *Physiol. Rev.* 35: 644-649, 1955.
5. AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMIST (AACC) Approved Methods of the AACC. 8^a Ed. St. Paul, Minn., 1976.
6. ANDERSON, R.A.; CONWAY, H.F.; PFEIFFER, U.F. & GRIFFIN, E.L. Gelatinization of corn grits by roll and extrusion-cooking. *Cereal Sci. Today*, 14(1): 4-7, 11-12, 1969.
7. ANDERSON, R.A.; CONWAY, H.F.; PFEIFFER, U.F. & GRIFFIN, E.L. Roll and extrusion-cooking of grain sorghum grits. *Cereal Sci. Today*, 14(11): 372-381, 1969.

8. ANDERSON, R.A.; MONTGOMERY, R.R. & BURBRIDGEL, L.H.
Low-fat endosperma fractions from grain sorghum, *Cereal Sci. Today*, 4(11):366-367, 1969.
9. ANSTAETT, F.R. & PFOST, H.B. Effects of temperature , pressure, moisture content and time on starch gelatinization in cooking grain. *Transactions of the ASAE*. 12:493-495, 1969.
10. ANTONGIOVANNI, M.; GEORGETTI, A. & FRANCI, O. Amino acid composition of two varieties of sorghum grain. *Animal feed Sci. Tech.* 5:169-173, 1980.
11. ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC) Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 11 ed. Washington, D.C., 1975.
12. AXTELL, J.D. Recommendations of the Symposium. In: Proceedings of the International Symposium on Sorghum Grain Quality. ICRISAT Center. October, 28-31, Patancheru, India, 1981.
13. BATE-SMITH, E.C. & RASPER, V. Tannins of grain sorghum leteoforol (leucoluteolimelin) 3', 4,4', 5,7 - pentahidroxykkavan. *J. Food Sci.*, 34:203-209, 1969.

14. BEDOLLA, M.G.; ROONEY, L.W.; DIHL, K.C. & KHAN, M.N.
Cooking characteristics of sorghum and corn for tortilla preparation by several cooking methods. *J. Food Sci.* 60(4):263-268, 1983.
15. BEETNER, G.; TSAO, T.; FREY, A. & HARPER, J. Degradation
of thiamine and riboflavin during extrusion processing. *J. Food Sci.* 39(1):207-208, 1974.
16. BLESSIN, C.W.; ANDERSON, R.A.; DEATHERAGE, W.L. & INGLETT, G.E.
Effect of alkali dehulling on composition and wet-milling characteristics of sorghum grain. *Cereal Chem.* 48(5):528-532, 1971.
17. BLICH, E.C. & DYER, W.J. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canad. J. Biochem.* 37: 911-913, 1959.
18. BRESSANI, R.; BRAHAM, J.E.; ELIAS, L.G.; CUEVAS, R. & MOLINA, M.R.
Protein quality of whole corn/whole Soy bean mixture processed by a simple extrusion cooker. *J. Food Sci.*, 43:1562-1566, 1978.
19. BRESSANI, R. & RIOS, B.J. The chemical and essential amino acid composition of twenty-five selections of grain sorghum. *Cereal Chem.* 39(1):50-58, 1962.
20. BOOKWALTER, G.N.; WARNER, K. & ANDERSON, R.A. Fortification of dry-milled sorghum with oilseed proteins.

- J. Sci. 42(4):969-972, 1977.
21. BUTLER, L.G. Polyphenols and their effects on sorghum quality. In: Proceedings of the International Symposium on Sorghum Grain Quality. ICRISAT Center. October, 28-31. Patancheru, India, 1981.
 22. CHAVAN, J.K.; KADAM, S.S.; GHONSIKAR, C.P. & SALUNKE, D. K. Removal of tannins and improvement of in vitro protein digestibility of sorghum seeds by soaking in alkali. J. Food Sci. 44(5):1319-1321, 1979.
 23. CHIANG, B.Y. & JOHNSON, J.A. Measurement of total and gelatinized starch by glucoamylase and o-toluidine reagent. Cereal Chem. 54(3):429-435, 1976.
 24. CHIANG, B.Y. & JOHNSON, J.A. Gelatinization of starch in extruded products. Cereal Chemistry. 54(3):436-443, 1977.
 25. CLUSKEY, J.E.; VICTOR, W.U.Y.; WALL, J.S. & INGLETT, G. E. Food applications of oat, sorghum, and triticale protein products. J. American Oil Chemists Soc. 56(3):481-483, 1979.
 26. COCHRAN, W.G. & COX, G.M. Experimental designs. 2nd. Edition, John Wiley & Sons, Inc. New York, N.Y., 1957.

27. CONWAY. Extrusion cooking of cereals & soybeans-part II. Food Product Development, 5(4):14-16, 1971.
28. CONWAY; LANCASTER, E.B. & BOOKMALTER, G.N. How extrusion cooking varies product properties. Food Engineering. 40(11): 102-104, 1968.
29. DE FRANCISCO, A.; SHEPHERD, A.D.; HOSENEY, R.C. & VARRIANO-MARSTON, E. Descorticating pearl millet and grain sorghum in a laboratory abrasive mill. Cereal Chem. 59(1):1-5, 1982.
30. DESIKACHAR, H.S.R. Pearling and milling studies on sorghum. In: Proceedings of the International Symposium on Sorghum Grain Quality. ICRISAT Center. October, 28-31. Patancheru, India, 1981.
31. DESIKACHAR, H.S.R. Processing of maize, sorghum and millets for food uses. Ind. Res. 34:231-236, 1975.
32. DESIKACHAR, H.S.R. Processing of sorghum and millets for versatile food uses in India. In: Proceedings of a Symposium on Sorghum and Millets for Human Food. Tropical Products Institute, London, 1977.
33. DIAZ, C.M. Obtención de harinas precocidas de sorgo y su utilización en la elaboración de arepas. Tesis de maestría, Universidad Simón Bolívar. Caracas, Venezuela, 1983.

34. DOGGET, H. The importance of food quality in sorghum improvement programs. In: Proceedings of the International Symposium on Sorghum Grain Quality. ICRISAT Center. October, 28-31. Patancheru, India, 1981.
35. 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.
36. EL-DASH, A.A.; GONZALEZ, R. & CIOL, M. Response surface methodology in the control of thermoplastic extrusion of starch. In: Extrusion Cooking Technology Ed. by Ronald Jowitt. Elsevier Applied Science Publishers, London, 1984.
37. EL-DASH, A.A.; MANCILLA, N.C.; CRUZ, R. Trigo: Química e controle de qualidade. Fundação Tropical de Pesquisas. Campinas, Brasil, 1979.
38. ERWIN, E.S. Pressure cooking grain for cattle rations. Feedstuffs, 38(7):60-62, 1966.
39. FABRE, H.; ARINGOLI, E. & DE LATORRE Evaluación química de híbridos de sorgo granífero. Revista Inst. Tecnología de Alimentos 3(1):39-45, 1981.

40. FAO. TRADE YEARBOOK 1982 Vol. 36 Food and organization of the United Nations, Rome, 1983.
41. FAO/OMS Necesidades de calorías y proteínas. Informe del Comité Mixto FAO/OMS. FAO n° 52 - OMS n° 522, Roma, 1973.
42. FAUBION, J.M. & HOSENEY, R.C. High-temperature short time extrusion cooking of wheat starch and flour. I. Effect of moisture and flour type on extrudate properties. Cereal Chem. 59(6):529-536, 1982.
43. FAUBION, J.M.; HOSENEY, R.C. & SEIB, P. Functionality of grain components in extrusion. Cereal Foods World 27(5):212-216, 1982.
44. FREEMAN, J.E.; WATSON, S.A. Peeling sorghum grain for wet milling. Cereal Sci. Today 14(2):10-15, 1969.
45. FUTRELL, M.; McCULLOCH, E. & JONES, R. Use of sorghum as food in southern Honduras. In: Proceedings of the International Symposium on Sorghum Grain Quality. ICRISAT Center. October, 28-31, Patancheru, India, 1981.
46. GARDNER LABORATORY INC. Color and color related properties, pub. A1-12C. Bethesda. USA. 1976.
47. GOMEZ, M.H. & AGUILERA, J.M. Changes in the starch fraction during extrusion-cooking of corn. J. Food Sci.,

48(2):378-81, 1983.

48. GONZALEZ, J.A. Processo hidrotérmico para a produção de farinha pré-gelatinizada de milho. Tese de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, Brasil, 1977.
49. GONZALEZ, R.J. Modificación de las propiedades de la semola de maiz por el proceso de extrusion. Revista Inst. Tecnologia Alimentos (Argentina), 3(1):55-71, 1981.
50. HAHN, R. Dry milling of grain sorghum. Cereal Science. Today 14(7):234-237, 1969.
51. HAHN, R.R. Dry milling and products of grain sorghum. In: Sorghum Production and Utilization. Ch, 16. The AVI Publ. Co. Inc. Westport, Conn USA., 1970.
52. HARDEN, M.L.; STANALAND, R.; BRILEY, M. & YANG, S.P. The nutritional quality of proteins in sorghum. J. Food Sci. 41(5):1082-1085, 1976.
53. HARMANN, D.V. & HARPER, J.M. Effect of extruder geometry on torque and flow. Transactions of the ASAE, 16(6): 1175-1178, 1973..
54. HARMANN, D.V. & HARPER, J.M. Modeling a forming foods extruder. J. Food Sci., 39(6):1099-1104, 1974.

55. HENIKA, E.G. Simple and effective system for use with response surface methodology. *Cereal Sci. Today*, 17: 309-314, 1972.
56. HIBBERD, C.A.; WAGNER, D.G.; SCHEMM, R.; MITCHEL, E.; HINTZ, R. & WEIBEL, D. Nutritive characteristics of different varieties of sorghum and corn grains. *J. Animal Sci.*, 55(3):665-672, 1982.
57. HINDERS, R. & ENG, K. Effect of grain sorghum type on starch degradation due to pressure cooking and micro-nizing. *Feedstuffs* 42(10):23, 1970.
58. HODGE, J.E. & HOFREITER, B.T. Determination of reducing sugars and carbohydrates. In: *Methods in Carbohydrate Chem.* Vol. I, P. 380, Academic Press, 1962.
59. HORN, R.E. & BRONIKOWKI, J.C. Economics of extrusion processing. *Cereal Foods World*, 24(4):140-141, 4-5, 1979.
60. HOSENEY, R.C.; DAVIS, A.B. & HARBERS, L.H. Pericarp and endosperm structure of sorghum grain shown by scanning electron microscopy. *Cereal Chem.*, 51(5):552-558, 1974.
61. HUBBARD, J.E.; HALL, H.H. & EARLE, F.R. Composition of the component parts of the sorghum kernel. *Cereal Chem.*, 27:415-420, 1950.

62. HULSE, J.H.; LAING, E.M. & PEARSON, O.E. Sorghum and Millets: their composition and Nutritive Value. Academic Press, London, 1.000p. 1980.
63. IRUEGAS, A.; CEJUDO, H. & GUIRAGOSSIAN, V. Screening and evaluation of tortilla from sorghum and sorghum-maize mixtures. In: Proceedings of the International Symposium Grain Quality. ICRISAT Center. October, 28-31. Patancheru, India. 1981.
64. JAMBUNATHAN, R. Improvement of the nutritional quality of sorghum and pearl millet. Food and Nutr. Bulletin, 2(1):11-16, 1980.
65. KIM, J.C. & ROTTIER, W. Modification of aestivum wheat semolina by extrusion. Cereal Food World, 24(2):62-6, 1980.
66. LEACH, H.W. Gelatinization of starch. Chap. XII. In: Starch: Chemistry and Technology. Vol. I Ed. By Whistler, R. and Paschal, E.F. Academic Press Inc. New York. London, 1965.
67. LINKO, Y.; VUORINEN, H.; OLKKU, J. & LINKO, P. The effect of HIST-extrusion on retention of cereal α -amylase activity and on enzymatic hydrolysis of barley starch. Food Process Eng. Ed. by Linko. P. J. Appl. Sci., London. Pg 210-223, 1981.

68. LORENZ, K.; WELSH, J.; NORMANN, R.; BEETNER, G. & FREY, A. Extrusion processing of triticale. *J. Food Sci.*, 39(3):572-6, 1974.
69. MANS, J. The latest breed can greatly increase line speed and consistency, while paring production costs for a variety of prepared foods. *Prepared Foods*, 11: 60-63, 1982.
70. MARTIN, J.H. History and classification of sorghum. *Sorghum bicolor* (Linn.) Moench. Chap. I. In: *Sorghum Production and Utilization*. Edit. by Wall, J. and Ross, W. The AVI Publishing Company. Inc. Wetport Conn. USA. 1970.
71. MARTINEZ, F. Farinha pré-gelatinizada de milho elaborada por processo hidrotérmico: características químicas e tecnológicas. Tese de mestrado. Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, Brasil, 1979.
72. 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*, 11 (1): 1-6, 1978.
73. MAURICE, J.J; 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, 9 (4):173-176, 1976.
74. MAXSON, E.D.; FRYAR, L.W.; ROODNEY, L.W. & KRISHNAPRASAD, M.N. Milling properties of sorghum grain with different proportions of cornious to floury endosperm. Cereal Chemistry, 48(5):478-490, 1971.
75. MAXSON, E.D. & ROONEY, L.W. Evaluation of methods for tannin analysis in sorghum grain. Cereal Chem, 49(6): 719-729, 1972.
76. MAYZ, L.Y.; VELANDIA, M. Utilización de harinas de sorgo en harinas compuestas y su panificación. Tesis de Grado. Universidad Simón Bolívar. Caracas, Venezuela, 1979.
77. MERCIER, C. & FEILLET, P. Modification of carbohydrate components by extrusion-cooking of cereal products. Cereal Chem., 52(3):283-297, 1975.
78. MICHE, J.C. Valorisation industrielle du sorgho en alimentation humaine. Actualites des Industries Alimentaires et Agricoles, 99(9): 723-729, 1982.
79. MILLER, O.H. & BURNS, E.E. Starch characteristics of selected grain sorghums as related to human foods. J. Food Sci, 35(5):666-668, 1970.

80. MONDRAGON, M.C.; BARME, F. & CALDERON, M. Determination colorimetrica de triptofano en alimentos Arch. Latinoam. Nutr., 32(1):79-86, 1982.
81. MONTGOMERY, A.M. Response Surface Methodology. Chap. XIV, In: Experimental Designs. Ed. by Alty and Bacon. Pub. Boston, Mass, USA, 1971.
82. MOLINA, M; BRAHAM, J. & BRESSANI, R. Some characteristics of whole corn; whole soybean (70:30) and rice; whole soybean (70:30) mixtures processed by simple extru_usión cooking. J. Food Sci., 48(2):434-437, 1983.
83. MOORE, S.; SPACKMAN, D.H. & STEIN, W.H. Separation of amino acids on sulfonad polystirene resins. Anal. Chem., 30:1185-1190, 1958.
84. MULENARE, H.J.H. & BUZZARD, J.L. Cooker extruders in service of world feeding. Food Technology, 23(3):345-351, 1969.
85. MUNCK, L.; BACH KNUDSEN, K. & AXTELL, J.D. Milling proc_uesses and products as related to kernel morphology. In: Proceedings of the International Symposium on Sorghum Grain Quality. ICRISAT Center. October, 28-31. Patancheru, India. 1981.
86. MUSTAFA, A.I. Sorghum Milling. A comparative study. Sudan J. Food Sci. Technol., 10:77-82, 1978.

87. NEUGERE, N. & SUMRELL, G. Chemical Composition of different varieties of grain sorghum. *J. Agric. Food Chem.*, 28(1):19-21, 1980.
88. NORRIS, J.R. & ROONEY, L.W. Wet-milling properties of four sorghum parents and their hybrids. *Cereal Chem.* 47(1):64-69, 1970.
89. OBIZOBA, I.; EZEKWEL, M. & AKAIGWE, B. Utilization of sorghum, wheat and navy beans by human adults: Protein Methabolism. *Nutr. Reports International*, 20(3):291-301, 1979.
90. OOMAH, B.; REICHERT, R.D. & YOUNGS, C.G. Recent developments and future research on sorghum at the National Research Council Canada. Progress Report I.D.R.C., 1-16. 1980.
91. PEPLINSKI, A.J. & PFEIFER, V.F. Gelatinization of corn and sorghum grits by steam-cooking. *Cereal Sci. Today* 15(5):144-151, 1970.
92. PERTEN, H. Specific characteristics of millet and sorghum milling. In: Proceedings of a Symposium of Sorghum and Millets for Human Food. International Association for Cereal Chemistry. Symposium 1976. Edit. by DAV Dendy. London, 1977.

93. PERTEN, H. Pratical experience in processing and use of millet and sorghum in Senegal and Sudam. *Cereal Foods World*, 28(11):680-683, 1983.
94. PONTE, J.G.; DE STEFANIS, V.A. & TITCOMB, S.T. Application of thin layer chromathograpy to sugar analysis in cereal based products. *Cereal Sci. Today*, 14: 100-105, 1969.
95. PRASADA RAO, K. & MURTY, D. Sorghum for special uses. In: Proceedings of the International Symposium on Sorghum Grain Quality. ICRISAT Center. October, 28-31. Patancheru, India. 1981.
96. PRICE, M.; HAGERMAN, A. & BUTLER, L. Tannin in sorghum grain. Effect of cooking and chemical assays and on antinutritional properties in rats, *Nutr. Report Intern*, 21(5):761-767, 1980.
97. PRICE, M.; VAN SCOYOC, S. & BUTLER, L.A. A critical evaluation of the vanillin reation as an assay for tannin in sorghum grain. *J. Agric. Food Chem.*, 26(5):1214-1218, 1978.
98. PUSHPAMMA, P. & ANJALI, C. Nutricional quality of sorghum and legume based food mixtures for infants and pre-school children-I. *Nutricion Reports Internationoal*, 19(5):635-641, 1979.

99. RACHIE, K.O. Sorghum grain: Its worldwide significance and potential. *Cereal Sci. Today*, 14(8): 271-276 , 1969.
100. RAGHAVENDRA RAO, S.N. & DESIKACHAR, S.R. Pearling as a method of refining jowar and its effect on their chemical composition. *J. Food Sci. and Tech.*, 1: 40-42, 1964.
101. RAMAN DAO, M.V.; TARA, M.R. & KUTTY KRISHNAN, C.H. Col_urimetric estimation of tryptophane of pulses. *J. Food Sci. and Tech.*, 11(5): 213-216, 1974.
102. REICHERT, R.D. & YOUNGS, C.G. Dehulling cereal grains and grain legumes for developing countries. I. Quan_utitative comparison between attrition and abrasive type mills. *Cereal Chemistry*, 53(6): 829-839, 1976.
103. REICHERT, R.D.; YOUNGS, C.G. Dehulling cereal grains and grain legumes for developing countries. II Che_umical composition of mechanically and traditionally dehulled sorghum and millet. *Cereal Chemistry* 54: 174-178, 1977.
104. REICHERT, R.D.; YOUNGS, C.G. & OOMAH, B.D. Measurement of grain hardness and dehulling with a multisample, Tangential Abrasive Dehulling Device (TADD). In: Pro_uceedings of the International Symposium on Sorghum Grain Quality. ICRISAT Center. October, 28-31. Patan_ucheru, India, 1981.

105. RING, S.H.; AKINGBALA, J.O. & ROONEY, L.W. Variation in amylose content among sorghums. In: Proceedings of the International Symposium on Sorghum Grain Quality. ICRISAT Center. October, 28-31, Patancheru, India, 1981.
106. RIZLEY, M.F. & SUTER, D.A. Sorghum tortillas: Process and products attributes. J. Food Sci., 42(6):1435-1438, 1977.
107. RODRIGUEZ, C. Efecto de los taninos sobre el valor nutritional del sorgo. Tesis de Grado. Universidad Simón Bolívar. Caracas, Venezuela. 1982.
108. ROONEY, L.W. A review of the physical properties composition and structure of sorghum grain as related to utilization. In: Industrial Uses of Cereal. Pomeranz y Chairman. Ed. Pag. 216-342, 1973.
109. ROONEY, L.W. & CLARK, L.E. The chemistry and processing of sorghum grain. Cereal Sci. Today, 13(7):258-285, 1968.
110. ROONEY, L.W.; GRUAR, W.B. & CATER, C.M. Protein and amino acid contents of successive layers removed by abrasive milling of sorghum grain. Cereal Chem., 49(4):399-406, 1972.

111. ROONEY, L.W. JOHNSON, J.W. & ROSENOW, D.T. Sorghum Quality improvement: Types for food. Cereal Sci. Today, 15(8):240-243, 1970.
112. ROONEY, L.W. & SULLING, R.D. A laboratory method for milling small samples of sorghum grain. Cereal Chemistry, 46:486-490, 1979.
113. ROSSEM, J.L. & MILLER, R.C. Food extrusion. Food Technology, 27(8):46-53, 1973.
114. SAHAGUN, J.F. & HARPER, J.M. Effects of screw restrictions on the performance of an autogenous extender. J. of Texture Studies, 11:199-215, 1980.
115. SANDSTEDT, R.M. & MATTERN, P.J. Damaged starch. Quantitative determination in flour. Cereal Chemistry, 57(1):4-9, 1980.
116. SANKARA RAO, D.S. & DEOSTHALE, Y.C. Effect of pearling on mineral and trace element composition and ionisable iron content of sorghum. Nutrition Reports International, 22(5):723-728, 1980.
117. SCHEURING, J.F.; SIDIBE, S.; ROONEY, L.W. & EARP, F.C. Sorghum pericarps thickness and its relation to descortication in a wooden mostar and pastle. Cereal Chem., 60(1):86-89, 1983.

118. SHELLEMBERGER, J.A. Advances in Milling technology.
In: Advances in Cereal Science and Technology. Vol. 3. Ed. by y Pomeranz Pub. Am. Assoc. of Cereal Chem. Inc. St. Paul, Minn. 1980.
119. SHEPHERD, A.D. How a typical sorghum peels. Cereal Chem., 54(4):303-306, 1981.
120. SHOUP, F.K.; DEYDE, C.W.; CAMPBELL, J. & PARRISH, D.B. Amino acid composition and nutritional value of milled sorghum grain products. Cereal Chem., 46(2):164-171, 1969.
121. SHOUP, F.K.; DEYDE, C.W.; FARRELL, E.P.; HAMMOND, D.L. & MILLER, G.D. Sorghum grain dry milling. Food Technology, 1:40-42, 1964.
122. SMITH, O.B. Technical aspects of extrusion. Cereal Food World, 24(4):132-140, 1979.
123. SMITH, O.B. Why extrusion cooking. Cereal Food World, 21(1):4-8. 1976.
124. SNEDECOR, G.W. Statistical methods. 5th Edition. Iowa State College Press, Iowa State College, Ames. Iowa USA. p. 534. 1956.
125. SOKAL, R.R. & ROHLF, F.J. Biometria. Principios y métodos estadísticos en la investigación biológica. 1ª

edición. H. Blume Ediciones. Madrid, España, 1969.

126. STRUMEYER, D.H. & MALIN, M.J. Condensed tannins in grain sorghum: Isolation, fractionation and characterization. *J. Agric. Food Chem.*, 23(55): 909-914, 1975.
127. TARANTO, M.V.; MEINKE, W.; CATER, C. & MATTIL, K. Parameters affecting producing and character of extrusion texturized defatted glandless cottonseed meal. *J. Food Sci.*, 40: 1264-1269, 1975.
128. TRIPPLES, K.H. Uses and application. In: *The Amylograf Handbook*. Eds. W. Sheney and K. Tripples. American Association of Cereal Chemists, 1980.
129. VILELA, E. Produção, caracterização e extrusão de farinha de guandu. Tese de Doutorado em tecnologia de alimentos. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, S.P., Brasil, 1983.
130. VIRUPAKSHA, T.K. & SASTRY, L.V.S. Studies in the protein content and amino acid composition of some varieties of grain sorghum. *J. Agric. Food. Chem.*, 16: 199-203, 1968.
131. WALL, J.S. & BLESSIN, C.W. Composition and structure of sorghum grains. *Cereal Sci. Today*, 14(8): 264 - 270, 1970.

132. WALL, J.S. & PAULIS, J.W. Corn and sorghum grain proteins. In: Advances in Cereal Science and Technology, Vol. II, Chap. 3. Ed. by y Pomeranz. Pub. Am. Assoc. of Cereal Chem. Inc. St. Paul, Minn, 1980.
133. WATSON, S.A. The present importance and bright future of grain sorghums. Cereal Sci. Today, 4(8):230-233, 1959.
134. WILLS, R.B. & ALI, M.R. Effect of grain size on degree of milling, color and cooking time of sorghum. J. Food Sci., 48(2):650-651, 1983.
135. WYSS, E. Millet and Sorghum Milling. In: Proceedings of a Symposium on Sorghum and Millets for Human Food. International Association for Cereal Chem. Symposium 1976. Edit by DAV Dendy. London, 1977.