

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DE ALIMENTOS

**EFEITOS DA EXTRUSÃO TERMOPLÁSTICA SOBRE AS PROPRIEDADES
TECNOLÓGICAS E NUTRITIVAS DAS PROTEÍNAS DA FARINHA
INTEGRAL DO FEIJÃO CAUPI (*Vigna unguilata* (L.) Walp)**

PARECER

Este exemplar corresponde à redação final da tese defendida por **Joaquim Francisco de Lira Filho**, aprovada pela Comissão Julgadora em 04 de março de 2002.

JOAQUIM FRANCISCO DE LIRA FILHO.

Campinas, 04 de março de 2002


Prof. Dr. Yoon Kil Chang
Presidente da Banca

ORIENTADOR: PROF. DR. YOON KIL CHANG

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas para obtenção do título de Doutor em Ciência de Alimentos

2001

I

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL

UNIDADE	Be
Nº CHAMADA	T/UNICAMP
	L67e
V	
TOMBO	48721
PROC.	16-837102
C	☐ ☒
PREÇO	R\$ 11,00
DATA	01/05/02
Nº CPD	

CM00167032-6

BIB ID 239226

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA F.E.A. - UNICAMP

L67e Lira Filho, Joaquim Francisco de
Efeitos da extrusão termoplástica sobre as propriedades tecnológicas e nutritivas das proteínas da farinha integral do feijão caupi (*Vigna unguilata* (L.) Walp) / Joaquim Francisco de Lira Filho. – Campinas, SP: [s.n.], 2002.

Orientador: Yoon Kil Chang
Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas.
Faculdade de Engenharia de Alimentos.

1.Farinhas. 2.Processo de extrusão. 3.Proteínas. 4.Feijão-de-corda. I.Chang, Yoon Kil. II.Universidade Estadual de Campinas.Faculdade de Engenharia de Alimentos. III.Título.

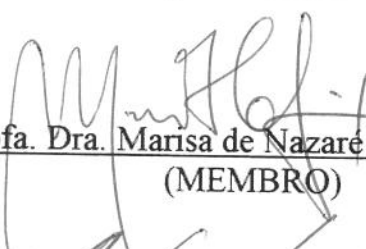
BANCA EXAMINADORA



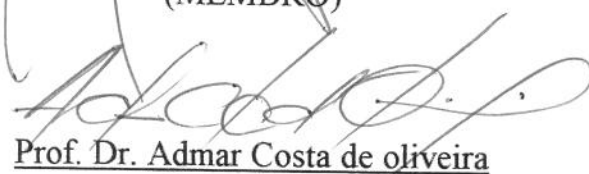
Prof. Dr. Yoon Kil Chang
(ORIENTADOR)



Prof. Dr. Ahmed Athia El-Dash
(MEMBRO)

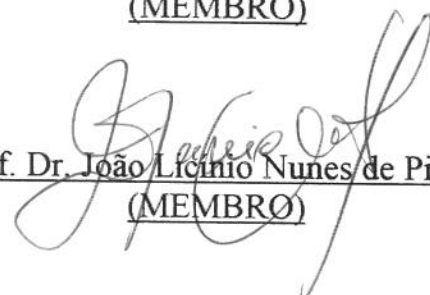


Profa. Dra. Marisa de Nazare Hoelz Jackix
(MEMBRO)



Prof. Dr. Admar Costa de oliveira
(MEMBRO)

Profa. Dra. Flávia Maria Netto
(MEMBRO)



Prof. Dr. João Lício Nunes de Pinho
(MEMBRO)

Profa. Dra. Maria Victória Eiras Grossmann
(MEMBRO)

Campinas, 07 de dezembro de 2001.

A meu pai,
Joaquim Francisco de Lira,
que, sem palavras, ensinou-me
o caminho da decência e do trabalho.

Aos meus filhos
Layre, Giselle e Joaquim Neto,
de quem espero
o enveredamento por esse nobre caminho.

À minha esposa Rozilda,
que se solidarizou com o meu propósito
de cursar este Doutorado.

Aos meus incontáveis ex-alunos,
hoje profissionais,
por quem sempre procurei oferecer, de mim, o melhor.

A todos aqueles que,
em tempos idos,
acreditaram em mim,
abriram seus espíritos,
estenderam-me suas mãos,
transmitiram-me otimismo,
concederam-me oportunidades,
reavivaram-me a força interior,
fizeram-me ganhar espaços
e mais espaços,
e acabaram por contribuir,
de uma forma ou de outra,
para que hoje,
neste dia único de minha vida,
eu concretizasse este velho sonho:
a obtenção deste nobre título.

AGRADECIMENTOS:

- Ao prof. Dr. Yoon Kil Chang, pelo franqueamento do laboratório de Cereais, Grãos e Leguminosas da FEA, e pelo apoio decisivo dispensado no transcorrer da elaboração deste trabalho.
- À Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP – pela oportunidade que me concedeu de realizar o presente Doutorado.
- À Universidade Estadual do Ceará – UECE – que apoiou integralmente a minha intenção de concretizar este antigo sonho: cursar pós-graduação em nível de Doutorado.
- À Universidade Federal do Ceará – U.F.C – através do seu Departamento de Tecnologia de Alimentos, do Centro de Ciências Agrárias, que me facilitou um levantamento bibliográfico manual em sua Biblioteca Setorial.
- A CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – pelo suporte financeiro dispensado.
- À ex-secretária da Comissão de Pós Graduação da FEA, Thelma Sílvia Assad Sallum, pela atenciosidade, prestatividade, respeito e solidariedade a mim dispensado desde o momento em que pisei pela primeira vez, em outubro de 1991, as dependências da Faculdade de Engenharia de Alimentos da UNICAMP.
- Ao prof. Dr. João Licínio Nunes de Pinho, do Departamento de Fitotecnia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, pelo fornecimento de todas as amostras de feijão caupi variedade Epace-10 e pelas diversas sugestões apresentadas para a realização deste trabalho.
- Ao prof. Dr. Ahmed A. El-Dash, do DTA da FEA, pelas inestimáveis sugestões apresentadas para a redação final desta Tese.
- À profa. Sílvia Maria de Freitas, do Depto. de Estatística e Matemática Aplicada da Universidade Federal do Ceará, pela revisão da parte estatística deste trabalho.
- À nutricionista Mathilde Rebelo Fortes Nogueira (*in memorian*) e à engenheira de alimentos Déborah dos Santos Garrutti, pelo apoio moral dispensado no sentido de que eu cursasse pós-graduação, para consolidação de minha carreira universitária.

- À pesquisadora científica Vera Lúcia Signoreli Baldini, do Centro de Química de Alimentos e Nutrição Aplicada do ITAL - Instituto de Tecnologia de Alimentos -, pela determinação do perfil de aminoácidos das farinhas de caupi e pela ajuda em diversas outras determinações químicas.
- Aos diversos setores outros do ITAL - Instituto de Tecnologia de Alimentos -, incluindo sua biblioteca, dos quais me utilizei na feitura desta Tese.
- Ao Centro de Computação da Universidade Estadual de Campinas – C.C.U.E.C. – pelos cursos de informática ministrados e pelos inestimáveis serviços outros prestados.
- Ao Micro-Centro da Faculdade de Engenharia de Alimentos pelo apoio logístico dispensado e bem assim pelas orientações diversas na redação deste trabalho.
- Ao inesquecível colega Doutorando Leonard Mensanh Sebio, do Laboratório de Cereais do Departamento de Tecnologia de Alimentos, com quem tive o prazer de trocar inúmeras idéias e sugestões no desenrolar das pesquisas.
- Aos colegas doutorandos, também do Laboratório de Cereais da Faculdade de Engenharia de Alimentos, Martha Zavariz de Miranda, Luiz Carlos Gutkoski e Manoel Oviedo, pelas diversas sugestões, críticas e observações que me apresentaram.
- Ao professor da Universidade Federal do Piauí José Arimatéia Dantas Lopes, Doutor em Química pela Unicamp, bem como à sua família, pelo apoio logístico dispensado quando da minha chegada em Campinas.
- Às nutricionistas Josette Ramos e Maria Amélia Mota Amado, pelo estímulo que sempre se constituíram em minha vida profissional, sobretudo no início desta.
- Ao Sr. Nilo Marques, funcionário exemplar do Laboratório de Cereais da FEA, que sempre de bom grado operou o equipamento extrusor.
- À professora Lys Mary Bileski Cândido, da Universidade Federal do Paraná, colega de Doutorado, pela decisiva ajuda em algumas determinações químicas.
- Ao também colega doutorando André Herzog, do Instituto de Química da Unicamp, que prestou uma inestimável colaboração na maior parte da documentação fotográfica exibida nesta Tese.

- Aos demais colegas de turma, tanto do Departamento de Tecnologia de Alimentos, como do Departamento de Ciência de Alimentos, pela amizade e pelos momentos inesquecíveis de um convívio fraterno.
- À técnica Maria Auxiliadora Moraes Lisboa, do Laboratório de Carnes do DTA da FEA da Unicamp, pela análise instrumental da cor das amostras de farinha de feijão caupi.
- À também técnica Judite Lapa Guimarães, do DTA da FEA, pela decisiva ajuda na determinação do teor de triptofano das amostras de caupi.
- A srta Kelly Regina Azevedo, do Laboratório de Cereais do DTA, pela análise instrumental da dureza das amostras de feijão extrusadas.
- À minha ex-aluna e hoje professora universitária na UECE, Sônia Maria Vieira de Castro, pela ajuda na redação do sumário em inglês.
- Às nutricionistas Taciana Figueiredo Cruz de Carvalho e Thelma Celene Saraiva Leão, pela representação legal exercida durante a minha ausência de Fortaleza.
- Aos médicos, para-médicos e instituições de saúde a quem a minha saúde esteve confiada durante a estada em Campinas, menção especial para o médico cirurgião urologista Dr. Wilmar Azal Jr.
- A todos aqueles que, embora não especificados nominalmente, contribuíram de uma forma ou de outra para a concretização deste trabalho.

SUMÁRIO

ÍNDICE.....	I.
ÍNDICE DE TABELAS	IV.
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII.
ÍNDICE DE ANEXOS	X.
RESUMO	XIV.
SUMMARY	XVI.
1. INTRODUÇÃO	1.
2. REVISÃO DA LITERATURA	3.
3. MATERIAIS E MÉTODOS	47.
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	75.
5. CONCLUSÕES	124.
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	127.
7. ANEXOS	147.

ÍNDICE.

1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	3
2.1 O FEIJÃO CAUPI.....	3
2.1.1 Origem, importância, características externas e considerações gerais ..	3
2.1.2 Cultivo, produtividade e fatores limitantes da produção	9
2.1.3 Composição química e valor nutritivo	13
2.1.4 Digestibilidade protéica do caupi	20
2.2 A TECNOLOGIA DA EXTRUSÃO	22
2.2.1 Generalidades	22
2.2.2 O aparelho extrusor.....	22
2.2.3 As vantagens do processo de extrusão.....	26
2.2.4 Fenômenos gerais relacionados ao processo da extrusão termoplástica.....	27
2.2.4.1 Fenômenos de natureza puramente operacional	27
2.2.4.2 Fenômenos de natureza físico-química	28
2.2.4.3 Fenômenos de ordem química e microbiológica	29
2.3 O PROCESSAMENTO DE LEGUMINOSAS POR EXTRUSÃO	30
2.4 O PROCESSAMENTO DO FEIJÃO CAUPI POR EXTRUSÃO	31
2.6 EFEITOS DA EXTRUSÃO TERMOPLÁSTICA SOBRE A QUALIDADE NUTRICIONAL DOS ALIMENTOS	38
2.6.1 A lisina como aminoácido indicador de alterações pelo calor.....	38
2.6.2 Alterações químicas e nutricionais dos produtos extrusados.....	39
2.6.2.1 Reação de Maillard.....	39
2.6.2.2 Ligações cruzadas	41
2.6.2.3 Misturas protéicas vegetais.....	42
2.6.2.4 Digestibilidade protéica.....	42
2.6.3 Alterações funcionais: solubilidade e desnaturação protéica.....	45

3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	47
3.1 MATERIAIS.....	47
3.1.1 Matéria prima.....	47
3.1.2 Reagentes.....	47
3.1.3 Equipamentos	47
3.1.3.1 Gerais.....	47
3.1.3.2 Características do extrusor utilizado	49
3.2 MÉTODOS	50
3.2.1 Processamento das sementes do feijão caupi.....	50
3.2.2 Delineamento experimental e tratamento estatístico	52
3.2.2.1 Seleção das variáveis independentes.....	52
3.2.2.2 Tratamento estatístico.....	52
3.2.2.3 Justificativa da adoção do modelo estatístico.....	54
3.2.3 Processamento da farinha integral do feijão caupi.....	61
3.2.4 Determinações físicas e químicas.....	62
3.2.4.1 Granulometria da matéria-prima.....	62
3.2.4.2 Diâmetro médio das partículas da matéria-prima	62
3.2.4.3 Correção da umidade da matéria-prima.....	62
3.2.4.4 Cor.....	63
3.2.4.5 Proteína bruta	67
3.2.4.6 Lipídeos totais.....	67
3.2.4.7 Cinzas	67
3.2.4.8 Umidade.....	67
3.2.4.9 Carboidratos.....	67
3.2.4.10 Fibra bruta.....	67
3.2.5 Determinação das características nutricionais da matéria-prima e dos produtos extrusados	67
3.2.5.1 Determinação dos aminoácidos totais por hidrólise ácida.. ...	67
3.2.5.2 Determinação da lisina disponível.....	68
3.2.5.3 Determinação colorimétrica do triptofano.....	68
3.2.5.4 Digestibilidade <i>in vitro</i>	68
3.2.6 Avaliação das características tecnológicas e funcionais da matéria-prima e do produto extrusado	70
3.2.6.1 Densidade.....	70
3.2.6.2 Taxa de expansão dos extrusados (TE).....	70
3.2.6.3 Dureza dos extrusados.....	71

3.2.6.4 Índice de absorção de água (IAA).....	71
3.2.6.5 Índice de solubilidade em água (ISA).....	72
3.2.7 Cálculo dos escores químicos com base na análise de aminoácidos...	72
3.2.8 Cálculo do valor nutritivo da proteína	73
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	75
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA PRIMA.....	75
4.1.1 Análise granulométrica da farinha crua integral	75
4.1.2 Módulo de finura e diâmetro médio da partícula	75
4.1.3 Composição química da farinha crua integral.....	76
4.2 AVALIAÇÃO FÍSICO QUÍMICA DOS PRODUTOS EXTRUSADOS	77
4.2.1 Aspectos gerais dos extrusados	77
4.2.2 Cor dos extrusados.....	77
4.2.3 Teor protéico dos extrusados.....	86
4.3 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE NUTRICIONAL DAS FARINHAS EXTRUSADAS.....	88
4.3.1 Digestibilidade <i>in vitro</i>	88
4.3.2 Lisina disponível.....	91
4.3.3 Perfil de aminoácidos.....	94
4.3.4 Escore químico	101
4.3.5 Escore químico corrigido pela digestibilidade protéica (PDCAAS).....	107
4.4 AVALIAÇÃO TECNOLÓGICA DOS PRODUTOS EXTRUSADOS	111
4.4.1 Taxa de expansão.....	111
4.4.2 Densidade	113
4.4.3 Dureza dos extrusados	115
4.4.4 Índice de absorção de água das farinhas extrusadas (IAAFE).....	119
4.4.5 Índice de solubilidade em água das farinhas extrusadas (ISAFE)	121
5 CONCLUSÕES	124
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	127
7 ANEXOS	147

ÍNDICE DE TABELAS

1 Caracterização sumária do feijão caupi, variedade EPACE-10.....	4
2 Produtividade do caupi no Estado do Ceará entre 1995 e 2000.....	10
3 Composição química do caupi cru e processado	14
4 Teor protéico (g/100 g) do caupi segundo determinações realizadas por diversos autores.....	15
5 Teor (g/100 g) dos principais oligossacarídeos do feijão caupi (<i>Vigna</i> <i>unguiculata</i> (L.) Walp) segundo diversos autores	18
6 Composição (g/100g) da farinha crua integral obtida do feijão caupi (<i>Vigna</i> <i>unguiculata</i> (L.) Walp), em sua base úmida segundo diversos autores.....	19
7 Efeitos das alterações nas condições de extrusão sobre a lisina disponível, segundo diversos autores	39
8 Valores das variáveis independentes para efeito de análise das superfícies de resposta	59
9 Delineamento experimental utilizado nos ensaios de extrusão da farinha integral de feijão caupi.....	60
10 Granulometria da farinha crua integral de feijão caupi variedade EPACE-10	75
11 Composição da farinha integral do feijão caupi cultivar EPACE-10	77
12 Alterações na cor da farinha crua após o processamento por extrusão	81
13 Coeficientes da equação de regressão para a luminosidade (L*) das farinhas extrusadas de caupi.....	82

14 Coeficientes da equação de regressão para a diferença de cor (ΔE) dos extrusados	82
15 Modelo de regressão e análise de variância para cor e diferença de cor dos extrusados	84
16 Teor protéico das amostras de caupi variedade EPACE-10 após o processo de extrusão	87
17 Digestibilidade <i>in vitro</i> das farinhas de caupi extrusadas, de acordo com as variáveis de processamento	89
18 Coeficientes da equação de regressão para a digestibilidade <i>in vitro</i> das farinhas extrusadas de caupi	90
19 Teor de lisina disponível das farinhas de caupi submetidas a diversos testes de extrusão	93
20 Coeficientes da equação de regressão para a lisina disponível das farinhas extrusadas de feijão caupi.....	94
21 Resumo da análise estatística (SAS® - PROC RSREG) do perfil de amino-ácidos das farinhas de feijão caupi.....	96
22 Equação de regressão para os aminoácidos das farinhas de feijão caupi após o processo de extrusão (SAS® - PROC RSREG)	97
23 Perfil de aminoácidos das amostras de farinha integral de caupi (<i>Vigna unguiculata</i> (L) Walp) submetidas a diversos testes de extrusão	98
24 Perfil de aminoácidos (base seca) das amostras de farinha integral de caupi (<i>Vigna unguiculata</i> (L) Walp) submetidas a diversos ensaios de extrusão (cont) ..	99
25 Teor de triptofano das amostras de caupi submetidas a diversos testes de extrusão.....	100

26 Quadro comparativo sumário do teor de aminoácidos essenciais das farinhas extrusadas de caupi com padrões estipulados internacionalmente	102
27 Quadro comparativo do teor de aminoácidos essenciais das farinhas extrusadas de caupi com padrões estipulados internacionalmente (cont.).....	103
28 Escore químico dos aminoácidos essenciais das farinhas de caupi (<i>Vigna unguiculata</i> (L) Walp) variedade EPACE-10 submetidas a diversos testes de extrusão.....	104
29 Escore químico dos aminoácidos essenciais das farinhas de caupi (<i>Vigna unguiculata</i> (L) Walp) variedade EPACE-10 submetidas a diversos testes de extrusão (cont.)	105
30 Escore químico dos aminoácidos essenciais das farinhas de caupi (<i>Vigna unguiculata</i> (L) Walp) variedade EPACE-10 submetidas a diversos testes de extrusão (cont.)	106
31 Escore químico dos aminoácidos das farinhas extrusadas de caupi EPACE-10 corrigido pela digestibilidade <i>in vitro</i>	108
32 Escore químico dos aminoácidos das farinhas extrusadas de caupi EPACE-10 corrigido pela digestibilidade <i>in vitro</i> (cont.)	109
33 Escore químico dos aminoácidos das farinhas extrusadas de caupi EPACE-10 corrigido pela digestibilidade <i>in vitro</i> (cont.)	110
34 Coeficientes da equação de regressão para a taxa de expansão das farinhas extrusadas de caupi.....	111
35 Coeficientes da equação de regressão para a densidade das farinhas extrusadas de caupi.....	114
36 Coeficientes da equação de regressão para a dureza dos extrusados de caupi.....	115

37 Taxa de expansão, densidade e dureza dos extrusados de farinha de caupi de acordo com as condições de processamento	117
38 Modelo de regressão e análise de variância para taxa de expansão, dureza e densidade	118
39 Coeficientes da equação de regressão para o índice de absorção de água das farinhas extrusadas (IAAFE) de caupi	120
40 Coeficientes da equação de regressão para o índice de solubilidade em água das farinhas extrusadas (ISAFE) do caupi	122
41 Índice de solubilidade e índice de absorção de água dos extrusados de acordo com as condições do processo	123

ÍNDICE DE FIGURAS

1 Sementes de feijão caupi da variedade EPACE-10	5
2 Diagrama de um equipamento extrusor de parafuso único	24
3 Extrusor Brabender de parafuso único usado no processamento do caupi	25
4, 5 e 6 Alterações na digestibilidade protéica <i>in vitro</i> da farinha de caupi.....	44
7 Variação da digestibilidade protéica do caupi (<i>V. unguiculata</i>) a 80° C e 3 níveis de atividade de água	45
8 Perfil geométrico de um parafuso mono rosca de taxa de compressão 3:1	50
9 Fluxograma do processamento da semente do feijão caupi	51
10 Fluxograma do processamento por extrusão da farinha integral do feijão caupi.....	61
11 Representação esquemática do diagrama de cromaticidade a* e b*	64
12 Representação da cor sólida no sistema de cor L* a* b*	66
13 Sólido do sistema de cor L* a* b* (seção horizontal)	66
14 Farinha crua integral do feijão caupi espécie EPACE-10	76
15 Aspectos gerais dos extrusados de acordo com as condições de processamento.....	79
16 Efeito da temperatura de processamento e da umidade da matéria-prima na luminosidade da farinha extrusada.....	85
17 Efeito da temperatura de processamento e da umidade da matéria-prima na diferença de cor dos extrusados	86

18 Efeito da temperatura de processamento e da umidade sobre a digestibilidade <i>in vitro</i> das farinhas de caupi extrusadas.....	91
19 Efeito da temperatura de processamento e da umidade sobre o teor de lisina disponível (g/100 g de prot.) dos extrusados.....	92
20 Efeito da temperatura do processo e da umidade sobre a taxa de expansão dos extrusados do feijão caupi.....	113
21 Efeito da temperatura de processamento e da umidade sobre a densidade dos extrusados de caupi.....	114
22 Efeito da temperatura de processamento e da umidade da matéria-prima sobre a dureza dos extrusados de caupi.....	116
23 Efeito da temperatura do processo e da umidade sobre o índice de absorção de água dos extrusados de caupi.....	120
24 Efeito da temperatura de processamento e da umidade da matéria-prima sobre o índice de solubilidade em água dos extrusados.....	122

ÍNDICE DE ANEXOS

1	Análise de variância da luminosidade (L^*) através do SAS® (PROC RSREG).....	147
2	Modelo ajustado para a luminosidade dos extrusados (PROC GLM – SAS®).....	148
3	Análise de variância da coordenada de cromaticidade a^* através do SAS® (PROC RSREG).....	148
4	Modelo ajustado para o componente a^* da cor dos extrusados (PROC GLM – SAS®).....	149
5	Análise de variância da coordenada de cromaticidade b^* dos extrusados através do SAS® (PROC RSREG)	149
6	Modelo ajustado para a coordenada de cromaticidade b^* dos extrusados (PROC GLM – SAS®).....	150
7	Análise de variância da diferença de cor (ΔE) das amostras através do SAS® (PROC RSREG).....	150
8	Modelo ajustado para a diferença de cor dos extrusados SAS® (PROC GLM)	151
9	Análise de variância da taxa de expansão dos extrusados através do do SAS® (PROC RSREG).....	151
10	Modelo ajustado para a taxa de expansão dos extrusados SAS® - (PROC GLM)	152
11	Análise de variância da dureza dos extrusados através do SAS® (PROC RSREG).....	152

12 Modelo ajustado para a dureza dos extrusados SAS® (PROC GLM)	153
13 Análise de variância da densidade dos extrusados através do SAS® (PROC RSREG).....	153
14 Modelo ajustado para a densidade dos extrusados (SAS® - PROC GLM)	154
15 Análise de variância do índice de solubilidade em água (ISA) dos extrusados através do SAS® (PROC RSREG).....	154
16 Análise de variância do índice de absorção de água (IAA) dos extrusados através do SAS® (PROC RSREG).....	155
17 Análise de variância do teor de metionina total das farinhas extrusadas através do SAS® (PROC RSREG).....	155
18 Análise de variância do teor de isoleucina das farinhas extrusadas através do SAS® (PROC RSREG).....	156
19 Análise de variância do teor de leucina das farinhas extrusadas através do SAS® (PROC RSREG).....	156
20 Análise de variância do teor de tirosina das farinhas extrusadas através do SAS® (PROC RSREG).....	157
21 Análise de variância do teor de fenilalanina das farinhas extrusadas através do SAS® (PROC RSREG).....	157
22 Análise de variância do teor de lisina total das farinhas extrusadas através do SAS® (PROC RSREG).....	158
23 Análise de variância do teor de histidina das farinhas extrusadas através do SAS® (PROC RSREG).....	158

24	Análise de variância do teor de arginina das farinhas extrusadas através do SAS® (PROC RSREG).....	159
25	Análise de variância do teor de triptofano das farinhas extrusadas através do SAS® (PROC RSREG).....	159
26	Análise de variância do teor de ácido aspártico das farinhas extrusadas através do SAS® (PROC RSREG).....	160
27	Análise de variância do teor de treonina das farinhas extrusadas através do SAS® (PROC RSREG).....	160
28	Análise de variância do teor de serina das farinhas extrusadas através do SAS® (PROC RSREG).....	161
29	Análise de variância do teor de ácido glutâmico das farinhas extrusadas através do SAS® (PROC RSREG).....	161
30	Análise de variância do teor de prolina das farinhas extrusadas através do SAS® (PROC RSREG).....	162
31	Análise de variância do teor de glicina das farinhas extrusadas através do SAS® (PROC RSREG).....	162
32	Análise de variância do teor de alanina das farinhas extrusadas através do SAS® (PROC RSREG).....	163
33	Análise de variância do teor de cistina das farinhas extrusadas através do SAS® (PROC RSREG).....	163
34	Análise de variância do teor de valina das farinhas extrusadas através do SAS® (PROC RSREG).....	164
35	Análise de variância do teor de lisina disponível das farinhas extrusadas através do SAS® (PROC RSREG).....	164

36	Análise de variância da digestibilidade <i>in vitro</i> das farinhas extrusadas através do SAS® (PROC RSREG).....	165
37	Análise de variância da digestibilidade <i>in vitro</i> das farinhas extrusadas através do SAS® (PROC GLM).....	165

RESUMO

Foram estudados os efeitos da extrusão termoplástica sobre as propriedades tecnológicas e nutritivas da farinha da semente do caupi (*Vigna unguiculata* (L) Walp) variedade EPACE-10.

As amostras de caupi foram obtidas junto ao Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil. A farinha integral do caupi foi obtida do grão inteiro através do emprego dos moinhos de rolos e de disco. Antes da extrusão, água destilada foi adicionada à farinha por meio de agitação mecânica até se atingir valores pré-estabelecidos de umidade.

Os ensaios de extrusão foram executados em um extrusor Brabender de parafuso único. As variáveis independentes estudadas foram: temperatura de processamento, velocidade do parafuso e umidade de partida da farinha. Os seguintes parâmetros de extrusão permaneceram inalterados: temperatura da primeira zona do extrusor (80° C), diâmetro da matriz (3 mm) e relação de compressão do parafuso (3:1). O teor de umidade das farinhas variou de 18 % a 28 %, a temperatura das segunda e terceira zonas do extrusor, de 116° C a 184° C e a velocidade do parafuso de 106 a 174 r.p.m. O produto final foi naturalmente esfriado e em seguida moído e armazenado em recipientes de vidro à temperatura ambiente.

Os efeitos das variáveis do processamento por extrusão sobre as propriedades tecnológicas e nutritivas da matéria-prima foram avaliados por Metodologia de Superfície de Resposta utilizando-se um modelo composto rotacional de três níveis. A análise estatística dos resultados foi processada usando-se o programa SAS® e mostrou que a velocidade do parafuso, para um nível de significância de 5 % ($p \leq 0,05$), não afetou as propriedades dos extrusados. A mais importante variável independente de extrusão foi a temperatura, seguida da umidade. Esses dois parâmetros afetaram significativamente as propriedades tecnológicas e nutritivas da farinha da semente do caupi.

Os resultados indicaram que a temperatura do processo afetou linearmente e quadraticamente a taxa de expansão, a dureza e a densidade dos produtos. A umidade da matéria-prima afetou quadraticamente a taxa de expansão. Extrusados que teriam uma dureza apropriada para produtos tipo “snack” foram obtidos com um teor de umidade da matéria-prima de 23% e a uma temperatura de processamento de 150° C. Produtos extrusados sob essas condições tinham a maior expansão radial e mais baixa dureza.

O teor protéico total da matéria-prima foi largamente preservado após o processo de extrusão. Com o aumento da severidade do tratamento térmico, alguns produtos apresentaram uma digestibilidade *in vitro* diminuída, e uma mais pronunciada perda de lisina disponível.

Uma redução na temperatura de processamento e uma elevação no teor de água da matéria-prima, durante a extrusão, mostrou-se como a melhor maneira prática para melhorar as propriedades tecnológicas e nutritivas dos produtos.

SUMMARY.

Effects of thermoplastic extrusion on the technological and nutritive properties of cowpea (*Vigna unguiculata* (L) Walp) seed flour variety EPACE-10 were studied.

Samples of cowpea were obtained at the Phytotechny Department of the Federal University of Ceará, Fortaleza, Brazil. Cowpea flour was obtained by the whole seeds using roller and disk mill. Before extrusion, distilled water was added to the flour to reach a pre-determined moisture values, with mechanical agitation.

Extrusion experiments were performed in a Brabender single-screw cooking-forming extruder. The independent variables examined were: process temperature, screw speed, and starting moisture content. The following extrusion parameters remained constant: temperature of first zone (80° C), diameter of die (3 mm), and screw compression ratio (3:1). Flour moisture contents varied between 18 % and 28 %, second and third zones temperature of the extruder between 116° C and 184° C, and screw speed between 106 and 174 rpm. The end product was naturally cooled, then ground and stored in glass recipients at ambient temperature.

The effects of extrusion processing variables on the technological and nutritive properties of raw material was evaluated by Response Surface Methodology (RSM) utilizing a rotatable three level composite design. The statistical analysis of the results was processed using the software SAS® and shows that the screw speed, at the 5 % level of significance ($p \leq 0,05$) does not affected the extrudate properties. The most important independent variable of extrusion was temperature, followed by moisture. These two parameters significantly affected technological and nutritive properties of cowpea seed flour.

Results indicated that process temperature linearly and quadratically affected expansion ratio, texture, and bulk density products. Feed moisture quadratically affected expansion ratio. Extrudates that would have suitable texture for snack products were produced at 23% initial moisture content and 150° C processing temperature. Products extruded under these conditions had the greater radial expansion and lower texture.

Total protein content of the raw material was widely preserved after the extrusion process. With increasing severity of heat treatment, some products presented an *in vitro* digestibility decreased, and a more pronounced loss of available lysine.

A decrease in the processing temperature and an increase in the raw material water content, during extrusion, appears as the best practical way to improve both technological and nutritive properties of the products.

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, datam de várias décadas os estudos com o objetivo de reduzir a níveis suportáveis os problemas de alimentação e nutrição das populações menos favorecidas, e de suas nefastas conseqüências. As propostas de diversos pesquisadores no sentido de equacionar o problema têm envolvido, via de regra, a utilização sob diferentes formas de alimentos ou misturas de alimentos vegetais de cultivo fácil, elevado rendimento por hectare, baixo preço aquisitivo, fácil preparo e razoável ou elevado teor protéico. Nesse sentido, as leguminosas têm merecido uma atenção toda especial e, dentro desse grupo de alimentos, os feijões.

A deficiência de proteínas na alimentação humana é bem maior que a deficiência de energia, devendo, por isto mesmo, ser causa de maiores preocupações tanto por parte dos pesquisadores que se dedicam ao setor de nutrição, como das autoridades governamentais (MOURA FÉ *et al.*, 1981).

Devido ao elevado preço proibitivo da carne e peixe, uma maior importância está sendo agora dispensada ao feijão como uma fonte barata de proteína (ABBEY & IBEH, 1988). Com o lançamento da cultivar de feijão EPACE-10 desenvolvida no Departamento de Pesquisa do Cariri, Estado do Ceará, ficaram ampliadas as possibilidades genéticas ligadas ao potencial de produção, resistência às viroses, tolerância à estiagem e qualidade comercial do grão e da vagem.

O feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) constitui-se em um dos mais importantes alimentos da população das regiões Norte e Nordeste do Brasil, pelo seu alto valor nutritivo, conteúdo alto de carboidratos, baixo teor de gordura e razoável nível de proteínas (AGUIAR *et al.*, 1992). Tudo indica que a designação "caupi" ou "feijão caupi", usada largamente em todo o território nacional, também se presta para identificar o chamado "feijão-de-corda" com todas as suas variedades. Nos meios científicos, especificamente, a designação "*Vigna*" parece ser a mais utilizada, inclusive internacionalmente. É o alimento básico, juntamente com o milho e a mandioca, das populações das zonas semi-áridas. Consumido normalmente como grão "seco" e também como feijão "verde", é utilizado na África sob as mais diferentes formas: grãos "secos" e "verdes", "vagens verdes", plântulas e folhas novas cozidas (MAFRA, 1979). Precisamente, é a variedade de feijão mais consumida pelas comunidades de baixa renda de muitos Estados brasileiros, notadamente os nordestinos.

O presente trabalho teve como objetivo geral estudar as alterações funcionais e nutricionais da farinha integral do feijão caupi, após a mesma ser submetida ao processo de extrusão termoplástica.

Como objetivos específicos o trabalho se propôs a:

1- Caracterizar sob o ponto de vista físico-químico, tecnológico e nutricional a farinhas crua, bem como a farinha extrusada do feijão caupi.

2- Estudar os efeitos das variáveis do processo de extrusão termoplástica (temperatura, umidade da matéria-prima e velocidade do parafuso do extrusor) sobre as propriedades tecnológicas e nutricionais das proteínas da matéria-prima.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 O FEIJÃO CAUPI

2.1.1 Origem, importância, características externas e considerações gerais

No presente trabalho a cultivar de caupi estudada foi a denominada de EPACE-10, que representa o resultado do cruzamento da linha CNCx166-8E obtida a partir do cruzamento Seridó x TVu 1888, realizado no CNPAF/EMBRAPA. Atualmente é a cultivar mais em evidência em todo o Estado do Ceará.

OLIVEIRA (1993), com base numa revisão bibliográfica, chegou à conclusão de que o feijão-de-corda ou caupi é uma cultura de grande potencial a ser explorado considerando o grau de adaptação da espécie a ambientes semi-áridos não só do Brasil como nos U.S.A., África e Austrália. Advertiu, no entanto, que no Brasil o caupi sofre problema adicional, por ser uma cultura basicamente de subsistência e de consumo quase restrito ao Nordeste, e ter seu material genético reproduzido pelos produtores em nível de campo sem qualquer preocupação por parte dos programas oficiais de pesquisa.

A região Norte do Brasil talvez seja hoje a segunda em destaque quanto ao cultivo e consumo do feijão *Vigna*. COSTA *et al.* (1981) ressaltaram o lugar de destaque que esta leguminosa, por seu valor alimentício, deve ocupar no regime alimentar para suprir a deficiência de proteínas do homem amazônico. Admitiram que o gênero *Vigna*, por ser menos exigente que o *Phaseolus*, poderia facilmente ser cultivado de maneira generalizada na região amazônica, necessitando, entretanto, da existência de boas variedades, altamente produtivas e precoces, assim como da utilização de práticas racionais de manejo do solo. Os autores reconheceram a importância preponderante que a pesquisa com esta leguminosa assumiria para o Estado do Pará.

Quando uma baixa produtividade desse feijão é obtida, isto se associa à limitações de diversas ordens, como a situação econômico-cultural do produtor, às adversidades climáticas, deficiências estruturais e em destaque a não utilização ou falta de tecnologias voltadas para a solução dos entraves diretamente ligados à produção (EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DO CEARÁ, 1988).

A Tabela 1 mostra uma caracterização geral do feijão caupi (*Vigna unguiculata*, (L.) Walp), correspondente à cultivar em estudo.

Tabela 1 Caracterização sumária do feijão caupi, cultivar EPACE-10

Especificação	Valor / Característica
Hábito de crescimento	Indeterminado
Porte	Semi-ramador
Ciclo	65 a 75 dias
Cor da flor	Violeta
Comprimento da vagem	21 cm
Número de grãos por vagem	15
Cor da semente	marrom
Peso de cem sementes	20 gramas
Produtividade (sem adubação)	1.000 kg / ha

Fonte: EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DO CEARÁ (1988).

A Empresa de Pesquisa Agropecuária do Ceará – EPACE –, na sua linha de dotar os produtores cearenses de variedades regionalizadas para as condições de clima e solo, optou por concentrar sua ação de pesquisa no melhoramento genético, dada a possibilidade de solução para muitos dos problemas técnicos diagnosticados e principalmente porque a semente se constitui num insumo barato e acessível para a grande maioria dos produtores (EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DO CEARÁ, 1988).

É também cultivado em grande extensão nas regiões tropicais e mais particularmente nas zonas semi-árida e sub-úmida dos continentes africano, asiático e americano. Na África, maior centro produtor mundial, esta planta é cultivada no Alto Volta, Uganda, Senegal, Niger e Nigéria. Este país produz aproximadamente 760 mil toneladas por ano, que representa cerca de 61% da produção mundial. Esta leguminosa é ainda cultivada na Índia, em alguns países da América Central e nos EUA, mais precisamente na Califórnia. Na América do Sul a principal região produtora é o Nordeste do Brasil, onde ocupam posição de destaque os Estados da Bahia, Ceará, Pernambuco, Piauí, Maranhão e Rio Grande do Norte, entre outros (MAFRA, 1979). Trata-se de uma variedade que não é encontrada, por exemplo, nos grandes supermercados dos bairros da classe média alta das principais metrópoles. Pode ser adquirida com relativa facilidade nas feiras livres, nos armazéns e nas mercearias situadas nas zonas rurais dos Estados nordestinos e na periferia de muitas capitais do país, inclusive as da região Sudeste. Este fato por si só representa um forte indício de que o *Vigna* (Figura 1) é a maior fonte protéica, senão uma das maiores fontes protéicas, ao alcance das camadas pobres do nosso país.

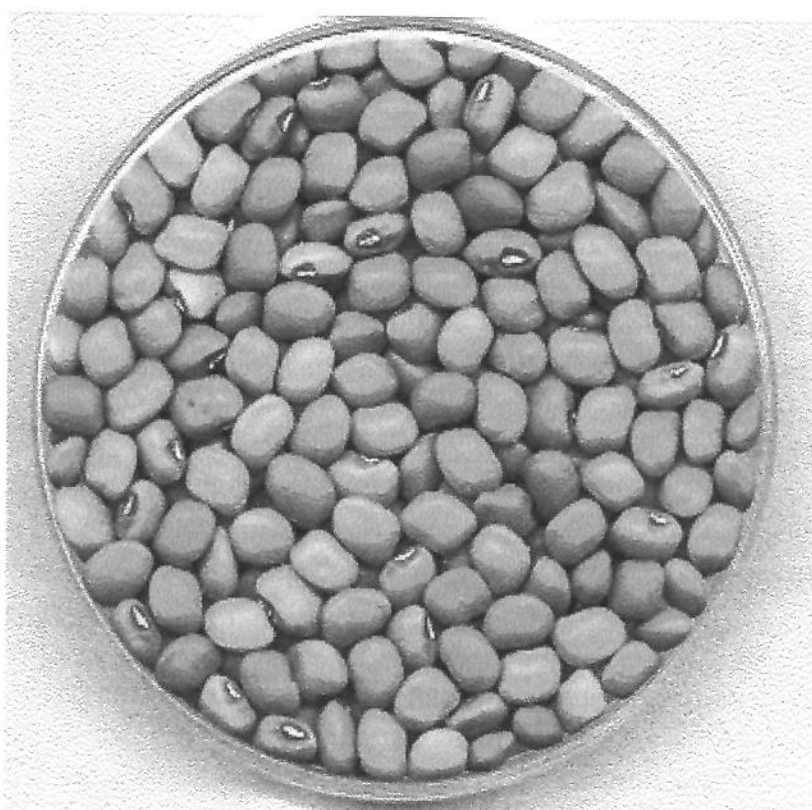


Figura 1 Sementes de feijão caupi da variedade EPACE-10

O Estado do Ceará é o principal produtor de feijão-de-corda no Brasil, contribuindo com cerca de 21% de toda produção brasileira. A espécie é cultivada geralmente em caráter de subsistência por pequenos agricultores. A cultura do feijão-de-corda no Estado do Ceará encontra-se difundida em quase todos os municípios, desempenhando papel importante na economia do Estado, tanto no que concerne à alimentação da população como no que se refere à sua participação no valor da produção agrícola. Entre os feijões cultivados no Estado do Ceará, o feijão-de-corda é o mais cultivado, sendo que os feijões do gênero *Phaseolus* participam com apenas 5% do total da produção (PAIVA *et al.*, 1973).

É conhecido no Nordeste brasileiro sob a denominação de “feijão-de-corda”, “feijão de macacá”, “feijão macássar”, “feijão pardo”, “feijão chochabunda”, “feijão verde”, “feijão fradinho” e “feijão manteiga” (KRUTMAN *et al.*, 1968). Além destas, outras denominações no Nordeste lhe são atribuídas, como: “feijão miúdo” e “feijão-de-praia” (REGO NETO *et al.*, 1981; BEVITORI *et al.*, 1992).

O caupi trata-se de uma planta herbácea, anual, dicotiledônea (PINHO, 1995), e apresenta uma classificação botânica bem delineada. A denominação de *Vigna unguiculata* (L.) Walp, atualmente atribuída ao feijão caupi por grande parte dos pesquisadores no mundo inteiro, vem causando controvérsias a respeito da

nomenclatura científica exata que deve ser definitivamente atribuída à leguminosa. Isto porque, nos meios técnicos, ainda hoje alguns autores preferem usar a denominação de *Vigna sinensis* para denotar essa variedade de feijão. FREIRE FILHO *et al.* (1982) puseram fim a essa discussão esclarecendo que há vários grupos de espécies nesse gênero de feijão, com ampla distribuição mundial. Um desses grupos é o *Vigna sinensis* (L.) Savi, o mais importante agronomicamente, no qual foram reconhecidas cinco subespécies dentre elas a *Vigna unguiculata* (L.) Walp, sub-espécie *unguiculata*. Com base nesse estudo, o Serviço de Pesquisa Agrícola do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos estipulou em 1973 mudanças nos nomes científicos das três formas do grupo *Vigna sinensis*, agronomicamente mais importantes e dessa forma a espécie *Vigna sinensis* (L.) Savi passou a ser *Vigna unguiculata* (L.) Walp., sub-espécie *unguiculata*;

Entre a população menos esclarecida a confusão que reina é com relação ao nome vulgar do feijão caupi, e mais uma vez FREIRE FILHO *et al.* (1982) esclareceram as muitas dúvidas pertinentes ao assunto, afirmando que a espécie *Vigna unguiculata* (L.) Walp possui, no Brasil, uma série de nomes vulgares, que variam de região para região. No Nordeste e no Norte, onde se concentra o cultivo dessa espécie, são mais usados os nomes macáassar (macaça, macassar ou macaçá), feijão-de-corda, feijão-de-moita, feijão-de-praia ou simplesmente feijão. No meio técnico, ultimamente, vem sendo usado o nome caupi, latinização da expressão “cow-pea” do inglês que, traduzida, significa ervilha-de-vaca. Os autores acrescentaram que outras denominações menos frequentes são: feijão fradinho, feijão miúdo, feijão-de-estrada, feijão-manteiga, feijão-verde, feijão-pardo, feijão-coquinho, feijão-de-vara, feijão-de-metro (restrito à sub-espécie *sesquipedalis*), etc.

Na literatura mais recente há um consenso de que o caupi é originário da África. No Brasil, foi introduzido durante o século XVII pelos colonizadores portugueses e espanhóis e pelos escravos africanos, provavelmente no Estado da Bahia, a julgar pela grande variedade de tipos de planta e uso culinário, tais como o acarajé e o abará, pratos de origem africana. Após a Guerra da Secessão, novas sementes foram trazidas para o Estado de São Paulo por colonos americanos que se estabeleceram nas regiões da Ribeira do Iguapé, Vale do Rio Juquiá, Santa Bárbara, Vila Americana e outras áreas. A partir do século XVIII foi levado por colonizadores nordestinos para a região Norte do Brasil (BEVITORI *et al.*, 1992).

BEZERRA & SAUNDERS (1992) concordaram com a afirmativa de que a introdução do caupi se deu provavelmente no Estado da Bahia, através dos povos africanos trazidos como escravos na época do Brasil colônia. Atribuíram crédito a opinião de que a partir da Bahia, acompanhando a colonização, esta leguminosa disseminou-se por todas as regiões do país.

MAFRA (1979) assinalou que, sendo cultivado em épocas pré-históricas na África Tropical, o feijão caupi deve ter atingido o Egito, a Arábia e a Índia em tempos remotos, pois já era conhecido alguns anos antes do aparecimento de Cristo. Os gregos e romanos o conheciam e os espanhóis no século XVI o introduziram nas Índias Orientais, chegando aos Estados Unidos por volta do ano de 1700. As divergências dizem respeito à origem exata do feijão caupi; não se sabe ao certo se é uma leguminosa originária da parte oeste ou da parte central do continente africano (ALBUQUERQUE *et al.*, 1980).

Para FREIRE FILHO *et al.* (1981) a grande adaptabilidade do caupi às condições ambientais das regiões Norte e Nordeste do Brasil guarda forte relação com a sua introdução pelos colonizadores portugueses. Admitindo-se que esta introdução se deu por volta do século XVI, o germoplasma "local", hoje cultivado nas regiões Nordeste e Norte do Brasil, estaria sob seleção natural há aproximadamente quatro séculos.

A exemplo dos feijões do gênero *Phaseolus*, o caupi também apresenta fatores tóxicos e antinutricionais. De acordo com VILELA (1983) as três características indesejáveis associadas com grãos de leguminosas são: a) presença de substâncias que aglutinam as células vermelhas do sangue; b) inibidores de tripsina, e c) tendência a induzir flatulência. MAFRA (1979) especificou que o elevado teor de glicosídeos cianogênicos do caupi (2 mg/100 g) responde por sua atividade de inibição da tripsina. Entretanto, o cozimento, que é bem mais rápido que o do feijão "mulatinho" (*Phaseolus*), pode inativar esses princípios tóxicos.

Os feijões *Vigna* são conhecidos nos países de língua inglesa com o nome de "cowpeas", recebendo ainda denominações outras como "blackeye beans" e "southern peas". Representam uma importante leguminosa para os países africanos e outros países em desenvolvimento, onde constituem uma boa fonte de proteína, energia e outros nutrientes. Apesar de seu potencial na elevação da qualidade das dietas das populações pobres do mundo, existem certas restrições quanto à ótima utilização do caupi como alimento devido a problemas relacionados com infestação por praga, prolongado tempo de cocção, aroma característico desfavorável e presença de antinutrientes que causam baixa digestibilidade e distúrbios abdominais (UZOGARA & OFUYA, 1992). Estes autores, no entanto, admitiram que a utilização do caupi é recomendada na preparação de produtos novos e antigos tanto para crianças nos primeiros anos de vida, assim como para adultos, a fim de prevenir freqüentes problemas de má nutrição nos países em desenvolvimento.

No Brasil, o cultivo desse feijão vem sendo conduzido no agreste e sertão. Tem grande possibilidade na "zona da mata" do Nordeste brasileiro como cultura de subsistência e rápido reembolso. Um variedades são especializadas ao consumo de grãos secos, outras ao uso de vagens ou grãos verdes à semelhança de

ervilhas, dependendo das características na cultura da planta, das vagens ou do grão. Considerando o porte, umas prestam-se à cultura solteira, outras à cultura consorciada ou ao consumo da folhagem para adubação verde, alimentação animal ou enriquecimento de pastos (KRUTMAN *et al.*, 1968).

No Nordeste brasileiro, o caupi encontrou habitat que lhe possibilitou excelente desempenho, constituindo-se na cultura alimentar anual que oferece menos riscos, principalmente quando explorada em áreas menos favorecidas em unidade, o que explica sua disseminação nas zonas semi-áridas da região. Os principais estados produtores são o Ceará, Rio Grande do Norte, Piauí, Pernambuco, Paraíba e Maranhão (FREIRE FILHO, 1981). No Estado do Ceará os trabalhos de pesquisa foram iniciados em 1963 onde a princípio foram realizados introduções de cultivares, estudos de características agrônomicas do material introduzido, ensaios com fertilizantes e competição de cultivares. Em 1973 já era possível contabilizar 175 cultivares de feijão caupi como consequência das introduções realizadas a partir de material coletado no Ceará, em outros estados do Brasil, Estados Unidos e África (PAIVA *et al.*, 1973).

O caupi tem um cultivo bastante expressivo na Amazônia (OLIVEIRA *et al.*, 1990b) e é cultivado em pequena escala em Rondônia (OLIVEIRA *et al.*, 1990a e 1990c). No estado do Amazonas, onde o déficit na produção de feijão é suprido com a importação do *Phaseolus vulgaris*, o feijão caupi representa uma grande opção como fonte de proteínas, face a sua rusticidade e adaptação às condições ecológicas locais (NOGUEIRA, 1981). É a mais importante leguminosa consumida na África Ocidental (PHILLIPS & McWATTERS, 1991), e está presente em larga escala na dieta dos nigerianos (FARINU & INGRAO, 1991; GIANI & OKWECHIME, 1993).

A identificação de uma determinada variedade de feijão caupi pode se transformar num assunto de extrema complexidade pelo fato de um grande número de variedades ser cultivado nos diferentes estados brasileiros (KRUTMAN *et al.*, 1968). Esses autores admitiram que o hábito de crescimento e as características das plantas não são suficientes para distingui-las entre si. Uma determinada variedade pode, sob certas condições de chuvas, solos e adubação, apresentar um porte definido, porte este que se modifica completamente sob condições diferentes. Constataram, *a priori*, que uma mesma variedade pode apresentar plantas arbustivas eretas na época chuvosa, outras decumbentes, alastradoras, na seca. Os autores admitiram também que a existência de variedades de diferentes denominações resulta em considerável duplicação e confusão de nomes. Classificaram os caracteres das variedades de feijão caupi em primários e secundários. Caracteres primários foram assim considerados aqueles ligados à produtividade de grãos secos ou verdes, vagens ou folhagens. As características externas das sementes foram consideradas como secundárias e constituiriam, ainda na opinião dos autores, uma base mais segura sobre a qual se deveria fazer a classificação e identificação das variedades da espécie.

A morfologia dos grãos de caupi foi bem estudada por KRUTMAN *et al.* (1968). Esses autores deixaram bem claro que é possível alguns grãos apresentarem dois tipos de faces. Quanto a forma do grão, esta pode assumir a configuração: ovóide, reniforme, rombóide e globosa. Por sua vez, OGHIAKHE *et al.* (1993) admitiram que a eletroforese das proteínas da semente do caupi proporciona uma possível maneira de classificação dos seus cultivares.

2.1.2 Cultivo, produtividade e fatores limitantes da produção

O feijão caupi pode ser cultivado em quase todos os tipos de solos. Nas áreas de terra firme deve-se dar preferência aos que apresentam teor regular de matéria orgânica, que sejam soltos, leves, profundos, arejados e dotados de razoável fertilidade, pois nestes solos a cultura produz sem a aplicação de adubos. No caso dos demais latossolos de baixa fertilidade, somente se obtém produção satisfatória desta leguminosa mediante a aplicação de fertilizantes químicos e/ou orgânicos. Apesar de ser possuidor de certo grau de rusticidade, trata-se de um feijão bastante sensível aos extremos de pluviosidade, isto é, ao excesso e à escassez de chuvas. Por isso, é necessário escolher-se os períodos do ano que melhor atendam às exigências climáticas, os quais devem se caracterizar por boa disponibilidade de água no solo durante a fase vegetativa e por ausência total de chuvas no decorrer da colheita (NOGUEIRA, 1981).

Trata-se também de uma planta autógama. As vagens da *Vigna unguiculata* medem aproximadamente 12 a 20 cm de comprimento e contém de 6 a 21 grãos por vagem, dependendo da cultivar e das condições ambientais. A cor e a forma das sementes são variáveis. Apresenta hábitos de crescimento determinado e indeterminado. Quanto ao porte distinguem-se: ereto agudo, ereto, semi-ereto, intermediário, semi ramador, ramador e trepador. Quanto ao ciclo da planta, as cultivares podem ser agrupadas em: precoces, quando as vagens amadurecem com menos de 90 dias; médias, quando as vagens amadurecem entre 90 e 105 dias, e tardias, quando as vagens amadurecem com mais de 105 dias. O caupi é bem adaptado às condições brasileiras de clima e solo, desenvolvendo-se adequadamente na faixa de temperatura compreendida entre 18 e 34° C. O ciclo vegetativo do caupi aumenta à medida que a temperatura é reduzida. Se o período frio é longo, ocorre muita produção de ramos, com conseqüente redução do rendimento. Por outro lado, altas temperaturas reduzem o pegamento floral e prejudicam a floração (BEVITORI *et al.*, 1992).

A produtividade do feijão caupi nas mais diversas condições ecológicas e sistemas de produção tem variado entre 300 a 2.800 Kg/ha (MAFRA, 1979).

No Estado do Ceará, por exemplo, constatou-se nos últimos anos um ligeiro incremento na produtividade do caupi, embora com uma menor área de cultivo (Tabela 2).

Tabela 2 Produtividade do caupi no Estado do ceará entre 1995 e 2000

ANO	ÁREA PLANTADA (ha)	ÁREA COLHIDA (ha)	PRODUÇÃO (ton)	RENDIMENTO (Kg / ha)
1995	672.707	658.042	201.564	306,3
1996	684.164	680.440	246.673	362,6
1997	534.348	496.048	143.274	288,8
1998	452.191	349.904	119.252	340,8
1999	558.035	558.035	184.023	329,8
2000	553.193	552.943	192.567	348,3

Fonte: INST. BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (1995-2001)

BEVITORI *et al.* (1992) assinalaram que a produção mundial de caupi é estimada em 2,2 milhões de toneladas colhidas em 7 milhões de hectares. Aproximadamente 70% da produção naquele ano estavam concentrados em três países tropicais: Nigéria, com 850.000 ton., Brasil, com 400.000 ton. e Niger, com 270.000 ton. São produtores alguns países da África, Ásia, Oriente Médio, América do Sul, América Central e América do Norte. A produtividade é baixa, sendo 250 a 300 Kg/ha na África, 400 a 500 Kg/ha na América Latina e Ásia e 600 a 800 Kg/ha nos Estados Unidos.

As explicações para o baixo rendimento ou pouca produtividade por hectare na produção do caupi tem sido objeto de estudo para diversos pesquisadores brasileiros.

PAIVA *et al.* (1973) são de opinião de que este baixo rendimento pode ser explicado, dentre outros motivos, pelas técnicas inadequadas de cultivo, bem como pela associação com outras culturas tais como: algodão, milho, mandioca e, em alguns casos, o arroz.

Descrição detalhada das causas da baixa produtividade do caupi no Brasil foi fornecida por PONTE (1979). A autora afirmou que o que se observa a respeito desse feijão, bem como das demais culturas de subsistência, é que seu cultivo iniciou-se com o objetivo simples de suprir o consumo familiar e que esse fato perdura até hoje e perdurará talvez por muito tempo, a não ser que medidas severas sejam tomadas em relação à cultura. Com o passar dos anos e conseqüente crescimento da população, observa-se que os mercados se expandiram, porém a estrutura de produção permaneceu praticamente constante, ou seja, apenas o pequeno excedente das unidades

familiares é que se destina aos mercados. A autora apontou ainda alguns dos fatores limitantes da produção do caupi, como:

- Utilização de cultivares inadequadas.
- Pequeno percentual de sementes melhoradas utilizadas nos plantios.
- Adoção de espaçamentos inadequados.
- Baixo nível cultural dos agricultores.
- Deficiência no sistema de armazenamento, ocasionando índice elevado de perdas.
- Divulgação deficiente de informações.
- Sistema de produção inadequado.
- Fertilidade dos solos.

ALBUQUERQUE *et al.* (1980) colocaram que o ataque de pragas como o manhoso (*Chalcodermus bimaculatus*) e o pulgão (*Aphis craccivora*), assim como a ocorrência de doenças (mosaico e fusário), também representam fatores que contribuem para a baixa produtividade do caupi.

QUEIROZ FILHO *et al.* (1986) acrescentaram mais um sério obstáculo à alta produtividade do caupi que é a sensibilidade da planta às adversidades climáticas, notadamente ao excesso ou escassez de chuvas.

A adubação fosfatada (P_2O_5), levada a efeito dentro de certos critérios, determina um aumento significativo da produtividade (TÁVORA *et al.*, 1971; PAIVA *et al.*, 1971; PAIVA *et al.*, 1973). A adubação nitrogenada, segundo os dois últimos autores, também determina esse aumento. ALMEIDA *et al.* (1988) aventaram a possibilidade do uso da cinza da castanha do caju (*Anacardium occidentale*, L.) como fonte de fósforo para a cultura do caupi.

A prática da adubação do caupi tem revelado efeitos positivos, principalmente em relação à utilização de macronutrientes. Na determinação das necessidades minerais das plantas, dentre os métodos utilizados atualmente, muita atenção tem sido dada ao método visual de diagnose baseada nos sintomas de deficiências exibidas pelas plantas, principalmente na folhagem, quando um dos nutrientes minerais encontra-se em quantidade insuficiente ao crescimento normal (LIRA *et al.*, 1981). Estes autores estudaram os sintomas visuais das deficiências de macronutrientes no caupi e concluíram que os sintomas de deficiência de nitrogênio, fósforo e cálcio são os primeiros a serem observados. Os sintomas de deficiência de potássio, magnésio e enxofre são mostrados tardiamente.

A literatura brasileira ressalta também as diversas formas e condições de cultivo do feijão caupi. Os autores brasileiros citam o regime de cultivo de sequeiro FERREIRA *et al.* (1990) e o regime de irrigação (CARDOSO *et al.*, 1987;

SAUNDERS *et al.*, 1981; EPACE/EMATERCE, 1993). Mencionam, igualmente, a forma ou sistema de cultivo denominada "solteiro" (monocultivo) assim como a forma conhecida por "consorciada" (REGO NETO *et al.*, 1982; MIRANDA *et al.*, 1992), na qual o caupi é plantado juntamente com outros vegetais, destacando-se comumente o milho (CARDOSO & RIBEIRO, 1987; CARDOSO *et al.*, 1992; QUINDERÉ *et al.*, 1985) e o algodão. ANTERO NETO *et al.* (1984) ressaltaram a viabilidade técnica e econômica do consórcio milho e feijão.

Para QUEIROZ FILHO *et al.* (1986), na região Nordeste do Brasil o caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) se apresenta como uma das culturas de maior expressão, tanto em regime de cultivo de sequeiro como de irrigação. Nos cultivos irrigados os principais fatores agravantes são a falta de conhecimentos para um manejo adequado de irrigação e os efeitos do excesso de sais no solo.

O Nordeste do Brasil, por ser uma região de precipitações pluviométricas irregulares, com veranicos prolongados, faz com que a agricultura de sequeiro torne-se de alto risco, proporcionando uma baixa produtividade das culturas. Uma das maneiras de diminuir os riscos é através da irrigação, seja a de salvação ou durante todo o ciclo da cultura (CARDOSO *et al.*, 1987).

Fatores de diversas ordens que afetam a capacidade produtiva do caupi foram devidamente estudados por REGO NETO *et al.* (1982), QUINDERÉ *et al.* (1985), CARDOSO & RIBEIRO (1987), MIRANDA *et al.* (1992) e CARDOSO *et al.* (1992), dentre outros.

A baixa produtividade do caupi, afora o ataque de pragas como o manhoso (*Chalcodermus himaculatus*) e o pulgão (*Aphis craccivora*), relatado por ALBUQUERQUE *et al.* (1980), está também associada a um terceiro tipo de praga, por sinal a mais comum: a do caruncho (*Callosobruchus maculatus*).

As pragas, como não poderia deixar de ser, constituem-se um sério entrave na vida do agricultor que se dedica ao plantio do caupi. Muito provavelmente os maiores prejuízos ficam por conta das infestações que acometem os grãos armazenados, haja vista que estes representam o estágio final do processo produtivo e a perspectiva de lucro do agricultor. Os autores brasileiros são unânimes em apontar o *Callosobruchus maculatus* conhecido popularmente como "caruncho" ou "gorgulho", como a principal praga passível de danificar de forma praticamente irreversível grãos de caupi imprópriamente armazenados.

O caruncho exerce efeitos danosos sobre o poder germinativo das sementes, os quais podem ser evitados por tratamento químico e armazenamento em condições tecnicamente adequadas. Em período de armazenamento superior a um mês o feijão poderá sofrer sensível alteração na sua capacidade de germinar (SANTOS &

VIEIRA, 1971). O seu ataque às sementes é iniciado antes da colheita e intensifica-se no produto armazenado provocando crescentes desvalorizações no preço de comercialização, as quais foram estudadas por BASTOS (1973a).

Os estudos sobre a infestação das sementes do caupi pelo *Callosobruchus maculatus* e de suas conseqüências negativas já atingiram um patamar de destaque no Brasil. O estudo sob diversos ângulos desse agente nocivo, incluindo o seu combate, está fartamente descrito nos trabalhos de BASTOS & AGUIAR (1971), BASTOS & ASSUNÇÃO (1975), SANTOS *et al.* (1981), OLIVEIRA *et al.* (1983) e SANTOS *et al.* (1978). OLIVEIRA & SANTOS (1983) admitiram que é possível se fazer uma predição de período de estocagem das sementes de caupi, na perspectiva de seu uso para plantio, levando-se em consideração parâmetros como teor inicial de umidade, furos provocados e ovos depositados pelo *Callosobruchus maculatus*.

Mesmo sem a infestação pelo caruncho é possível que o caupi sofra séria rejeição por parte do consumidor bastando que para isso adquira uma coloração escura o que evidencia, a princípio, um prolongado e impróprio armazenamento.

BASTOS (1973b) avaliou os prejuízos causados pelo escurecimento do caupi (*Vigna sinensis*, Endl.) em Fortaleza, Ceará, e concluiu que o envelhecimento da semente é acompanhado pelo escurecimento do grão, fenômeno que sofre a influência de condições inadequadas de armazenamento. O fato reveste-se de grande importância no que tange ao valor comercial do produto, evidenciado na queda do preço, que chegou à ordem de 80%, segundo o autor, justificando a realização de estudos para equacionar e solucionar o problema.

2.1.3 Composição química e valor nutritivo

O caupi é considerado alimento rico em proteína, apresentando elevado conteúdo energético, teores altos de cálcio, ferro e vitaminas. O seu valor nutricional pode ser considerado superior ao do feijão comum (*Phaseolus vulgaris*), porque possui maior conteúdo de metionina, cistina e triptofano, além de possuir uma proteína de melhor digestibilidade e apresentar menores quantidades de substâncias responsáveis pela flatulência (BEVITORI *et al.*, 1992).

CABEZAS *et al.* (1982) realizaram um interessante estudo acerca da composição química do caupi cru e extrusado (Tabela 3) no qual é possível se constatar não apenas um apreciável teor protéico, como também uma riqueza em lisina disponível da matéria-prima.

Tabela 3 Composição química do caupi cru e processado

COMPONENTES	FEIJÃO CAUPI		
	CRU	COZIDO EM AUTOCLAVE	EXTRUSADO
Umidade (%)	8,7	6,6	8,1
Proteína bruta (%)	21,9	22,0	24,3
Extrato etéreo (%)	2,5	2,6	3,0
Fibra bruta (%)	2,4	2,8	2,7
Cinzas (%)	3,5	3,7	3,8
Extrato livre de nitrogênio (%)	69,7	68,9	66,2
Metionina (g / 16g N)	1,3	1,2	1,1
Lisina disponível (g / 16g N)	6,3	5,7	5,7
Inibidores de tripsina (UIT/ /g N solúvel)	58,1	0,0	50,0
Taninos (%)	0,4	0,4	0,4
Amido total (%)	50,7	44,9	42,1
Amido danificado	0,3	22,5	30,5

Fonte: CABEZAS *et al.*, 1982.

O relativamente elevado teor protéico do caupi, mesmo em sua base úmida, tem sido amplamente discutido por inúmeros pesquisadores brasileiros e estrangeiros. PAIVA *et al.* (1973) procederam a uma análise das características químicas de quarenta cultivares de feijão caupi. Destas, doze variedades se sobressaíram com um teor protéico igual ou superior a 24 %, que representa uma porcentagem relativamente elevada desse nutriente. O limite mais baixo ficou com a cultivar “Quebra cadeira”, com um percentual protéico de 24,13%, enquanto que o teor mais alto de proteína ficou com a cultivar “Barba de guiné”, com um percentual de 25,72%. STRENGTH (1976) relatou que o teor protéico da maior parte das 800 variedades e linhagens de caupi que estudou variou entre 17 e 36%. TELLA & DJEHOMON (1980), testando procedimentos rápidos para extração e avaliação de albuminas, globulinas, glutelinas e gliadinas em sementes de caupi, encontraram um teor de proteínas extratíveis que variou de 19,0 a 25,7%. DEL ROSÁRIO *et al.* (1981) analisaram sementes maduras de 18 cultivares de caupi as quais evidenciaram ser fontes potenciais de proteína de boa qualidade. O teor protéico das amostras variou de 19,96 a 24,4%. Globulina foi a fração predominante (63,35 a 66,81% do total de nitrogênio), albumina compreendeu um porção menor (8,44 a 11,72%) enquanto que proteínas solúveis em álcalis e álcool foram encontradas em pequenas quantidades. Albumina apresentou mais altos níveis de aminoácidos essenciais que a fração globulina.

Todos os valores citados anteriormente para o teor de proteína bruta do caupi encontram-se aproximadamente dentro da faixa encontrada por diversos

pesquisadores estrangeiros. Um teor protéico mais alto foi encontrado em cultivares e linhagens que sofreram algum processo de melhoramento ou que tiveram o resultado da determinação de proteína expresso em sua base seca (Tabela 4).

Tabela 4 Teor protéico (g/100 g) do caupi segundo determinações realizadas por diversos autores

TEOR %	REFERÊNCIA / ANO	CONDIÇÃO EXPERIMENTAL
20,7 - 27,3	KOCHHAR <i>et al.</i> , 1988.	22 variedades catalogadas. (b.s.)*
21,5 - 27,0	FASHAKIN & FASANYA, 1988.	Variedades melhoradas.
20,9 - 26,9	FASHAKIN & OJO, 1988.	Média de 10 cultivares.
20,8 - 26,4	DELLA GATA <i>et al.</i> , 1989.	Média de 21 linhagens.
24,0 - 33,0	LONGE, 1980.	20 variedades (b.s.)*
17,9 - 27,6	ARORA & DAS, 1976.	Média de 22 espécies.
20,3 - 29,0	OMUETI & SINGH, 1987.	Média de 37 cultivares.
23,1 - 25,2	HABIB <i>et al.</i> , 1989.	Média de 3 variedades
18,3 - 30,3	KACHARE <i>et al.</i> , 1988	13 cultivares melhoradas.

*(b.s.) – base seca

A composição em aminoácidos do caupi também tem sido alvo de intensos estudos. Há várias décadas, os autores são quase uma unanimidade em apontar, para o caupi, um teor relativamente alto de lisina e um baixo teor de aminoácidos sulfurados, notadamente de metionina. DEL ROSÁRIO *et al.* (1981) constataram que no caupi lisina ocorria em proporções consideráveis, enquanto que aminoácidos sulfurados, isoleucina e algumas vezes valina, constituíram-se em alguns casos fatores limitantes. KOCHHAR *et al.* (1988) encontraram para o caupi não só um alto teor de lisina, como um elevado teor de leucina, isoleucina, e fenilalanina + tirosina.

Os baixos teores de metionina (0,12 - 0,26 %) e de triptofano (0,11 - 0,22 %) do caupi ficaram bem evidenciado por KACHARE *et al.* (1988) ao submeterem 13 cultivares melhoradas da leguminosa a um estudo da composição aproximada. HABIB *et al.* (1989), por sua vez, encontraram para 3 variedades não-melhoradas do caupi um teor mais alto de triptofano (1,25 - 2,77 %) e uma percentagem de lisina que oscilou entre 5,25 e 6,11 %.

AHMED & NOUR (1990) analisaram grãos moídos de diversas leguminosas consumidas no Sudão, dentre elas duas variedades de caupi, para avaliar inclusive a sua composição aminoacídica. Essas duas variedades figuraram entre os materiais encontrados ricos em lisina (5,56 - 6,27 g /16 g de N), estando a maior parte desse aminoácido em sua forma disponível.

YOUSSEF & ABDEL (1992) estudaram a composição de seis leguminosas encontradas comumente no Egito. Cinco dessas leguminosas, incluindo o caupi, foram consideradas ricas em lisina, pois as determinações acusaram um teor desse aminoácido que variou de 5,27 a 6,94 g /16 g de N. A maior parte dessa lisina (67,6 - 87,6 %) encontrava-se em sua forma disponível. Todas as leguminosas estudadas pelos autores acusaram um baixo teor de aminoácidos sulfurados.

Na atualidade, as atenções parecem estar mais voltadas para a lisina disponível do que para a lisina total presente em um alimento. LEDWARD & TESTER (1994) procederam a um interessante estudo a respeito das transformações moleculares que o processo de extrusão imprime aos alimentos protéicos e admitiram que a quantidade de lisina disponível, ou seja, daquela lisina que possui o grupo ϵ -amino livre, diminui em mais de 50 %, dependendo da severidade do processamento e de outros fatores. Os autores citaram CHEFTEL (1986), que declarou que a maior parte dos estudos sobre as alterações que a proteína sofre durante o processamento por extrusão tem se concentrado sobre os grupos ϵ -amino livres da lisina, e tem-se estabelecido que a concentração desses grupos diminui após a extrusão.

A conformação das proteínas nas sementes do caupi também tem sido alvo de estudos e dentre estas se destacam globulinas e albuminas. KHAN *et al.* (1980) analisaram sementes de caupi e encontraram que a principal globulina dessa leguminosa é uma proteína heterogênea de peso molecular 170.000. Esses autores conseguiram separar, usando eletroforese em gel em pH 4,0, duas unidades de proteína: uma continha subunidades de peso molecular 52.000 e 58.000, que era a forma predominante; a outra unidade continha subunidades de peso molecular 52.000, 58.000 e 63.000 em quantidades aproximadamente iguais. As subunidades de peso molecular 58.000 e 63.000 continham carboidrato em ligação covalente. Dentre as outras proteínas isoladas, uma tratava-se de globulina com peso molecular 300-400.000, contendo subunidades de peso molecular 62.000 e 18.500 ligadas através de pontes dissulfeto. A principal albumina encontrada foi um monômero de peso molecular 105.000; outras albuminas, presentes em quantidades significantes, continham subunidades de peso molecular mais baixo (32.000, 22.500, e inferior).

O caupi apresenta um altíssimo teor de carboidratos, sendo a maioria desses representada por compostos de peso molecular elevado. O amido é o principal carboidrato, podendo ainda ser detectada no grão a presença de diversos oligossacarídeos como verbascose, estaquiose e rafinose, além de pequena fração de sucrose. MOURA FÉ *et al.* (1981) encontraram no caupi um teor de açúcares totais que oscilou entre um mínimo de 2,34% (var. Quarenta dias) e um máximo de 5,35% (var. Izabel 1).

LONGE (1980), examinou o teor de açúcares, amido, carboidratos da parede celular e lignina de 20 variedades de feijão caupi. As amostras apresentaram a

seguinte composição aproximada: matéria seca, 87-94%; extrato etéreo, 1-2%; fibra bruta, 2-5% e cinzas, 2-5%. As sementes das leguminosas encerraram um teor de carboidratos total variando de 56 a 68%, sendo o maior constituinte o amido. Teores de amido mais altos como 45-48% foram obtidos para algumas variedades, embora a maioria dos valores tenha oscilado entre 37 e 42%. Os açúcares solúveis em etanol encontrados foram verbascose, estaquiose, sacarose e rafinose, em diversas proporções, porém apenas traços de frutose e glicose foram detectados. As amostras encerraram ainda teores de açúcares solúveis totais variando entre 6 e 13%. Os valores de carboidratos indisponíveis foram 11-13% para a maior parte das amostras. O teor de lignina se apresentou muito baixo e variou de 0,6 a 1,8%.

Teores elevados de verbascose, estaquiose e rafinose nas leguminosas chegam a preocupar devido à propriedade que esses oligossacarídeos possuem de causar flatulência. ONYENEKWE *et al.* (2000) estudaram os efeitos de diversos métodos de processamento do caupi sobre os oligossacarídeos causadores de flatulência e ressaltaram que estaquiose e rafinose representam os dois principais galactosídeos do caupi responsáveis pelo surgimento desse problema. O tratamento térmico, principalmente o uso do calor seco, é apontado como causador da redução acentuada desses carboidratos, cujo teor usual no caupi é visto na Tabela 5.

Quanto ao teor lipídico do caupi, os resultados apontam para valores relativamente insignificantes. MOURA FÉ *et al.* (1981) estudaram a composição química média de quarenta variedades de feijão caupi (*Vigna sinensis*, Endl.) e encontraram um teor de gordura que variou entre um mínimo de 0,93% (var. Quarenta dias) e um máximo de 1,65% (var. Ritinha). Os autores constataram que a porção lipídica do caupi possui ao redor de 66% de ácidos graxos insaturados, distribuídos entre ácido oléico, linoléico e linolênico.

A composição centesimal de grãos de caupi, em termos de macronutrientes, efetuada por diversos autores, é vista na Tabela 6.

O caupi apresenta teores apreciáveis de alguns minerais como cálcio (90 mg/100g) e ferro (6-7 mg/100g), e de vitaminas como a tiamina (0,9 mg/100g), contribuindo assim para as necessidades da dieta nas regiões tropicais (MAFRA, 1979). Segundo OLUWATOSIN (1998), em muitos países da África o caupi representa não apenas uma fonte barata de proteína, como também uma fonte de ácidos graxos, aminoácidos essenciais, vitaminas e minerais.

As propriedades nutritivas da farinha integral do caupi têm levado pesquisadores a usa-la no enriquecimento da farinha trigo com o objetivo de fabricar pães (MABESA *et al.*, 1983; MUSTAFA *et al.*, 1986; HABIB *et al.*, 1989 e NINGSANOND & OORAIKUL, 1989b).

Tabela 5 Teor (g / 100 g) dos principais oligossacarídeos do feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L) Walp) segundo diversos autores

VERBASCOSE (%)	ESTAQUIOSE (%)	RAFINOSE (%)	SUCROSE (%)	REFERÊNCIAS / ANO
3,6	2,7	0,7	1,6	LONGE, 1980 (1)
	3,3	2,6	0,8	ONIGBINDE & AKINYELE, 1983 (2)
	2,4	1,8	0,7	ONIGBINDE e AKINYELE, 1983 (3)
	3,0	2,1	1,9	NINGSANOND & OORAIKUL, 1989a (4)
0,9	0,52 - 2,44	0,16 - 4,32		AKINYELE <i>et al.</i> , 1988 (5).
	3,4	1,26	2,2	AKPAPUNAM & MARKAKIS, 1979 (6).
	3,88	1,19		ONYENEKWE <i>et al.</i> , 2000 (7).

(1)- 20 variedades, valor expressos na base seca.

(2)- 20 variedades, grãos inteiros secos, valores na base seca.

(3)- grãos crus descascados.

(4)- farinha seca.

(5)- 3 cultivares extrusadas.

(6)- 13 cultivares americanas, base seca.

(7)- farinha crua integral, média de 5 variedades.

Tabela 6 Composição (g/100g) da farinha crua integral obtida do feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) em sua base úmida segundo diversos autores

Especificação	REFERÊNCIAS / ANO						
	RODRIGUES (1986) (I)	MAFRA (1979) (II)	COELHO (1986) (III)	McWATTERS (1983) (IV)	OLOGHOBO & FETUGA (1982) (V)	MOHAN JANARDHANAN (1993) (VI)	FASHAKIN & OJO (1988) (VII)
Umidade	6,44	11,00	11,28	8,90	25,21	7,00	20,9 - 26,9
Proteína bruta (% N x 6,25)	20,89	23,40	25,93	24,50	1,96	24,50	1,7 - 3,2
Lípidios totais	1,71	1,30	1,46	1,50	4,24	2,59	2,3 - 3,7
Cinzas	3,38	3,60	3,60	3,30	3,21	4,52	3,2 - 5,1
Fibra bruta		3,90	4,01			4,69	
Carboidratos (p/ diferença)	67,58	56,80		70,70			48,7 - 54,5
Extrato não nitrogenado			53,72		65,09		
Taninos (mg / 100g)	494,78				92,90	63,70	
Matéria seca (%)							

- (I)- variedade de feijão caupi não especificada.
 (II)- composição química média. Variedade não especificada.
 (III)- variedade escura, sem mais outros dados especificativos.
 (IV)- produto comercial adquirido na Nigéria em 1981.
 (V)- média da análise de amostras de dez variedades.
 (VI)- variedade não especificada, procedente da Índia.
 (VII)- média de 10 cultivares.

2.1.4 Digestibilidade protéica do caupi

A digestibilidade protéica constitui o principal fator determinante da biodisponibilidade de aminoácidos, sendo que digestibilidade e biodisponibilidade conservam entre si uma relação direta (MARQUEZ & LAJOLO, 1988).

CAMIRE *et al.* (1990), colocaram que, de um modo geral, o aquecimento melhora a digestibilidade das proteínas através da inativação de inibidores de enzimas e da desnaturação protéica, as quais podem expor novos sítios ao ataque enzimático. Admitiram que o aquecimento do material protéico antes do processamento por extrusão pode também melhorar a digestibilidade. Citaram estudos em que a elevação da temperatura do cilindro durante a extrusão fez aumentar a digestibilidade, mas em contrapartida admitiram que a velocidade do parafuso, assim como sua relação comprimento/diâmetro, não exerceram qualquer efeito.

CAMIRE (1991) afirmou que o desdobramento de moléculas protéicas durante a extrusão confere-lhes realmente mais susceptibilidade à digestão pelas enzimas proteolíticas. Citou estudos segundo os quais a extrusão pode acentuar a digestibilidade das proteínas através da desnaturação protéica e da inativação de inibidores de proteases. Ressaltou, no entanto, que a melhoria na digestibilidade, nesse caso, é geralmente menor que 5 %.

PHILLIPS & BAKER (1987) estudaram os efeitos de diversos tipos de processamento sobre a qualidade nutricional da proteína da farinha do caupi através de métodos *in vivo* e *in vitro*. Entre as variáveis observadas estavam quatro modalidades de farinhas: não-cozidas, extrusadas sob várias temperaturas e umidades, cozidas a vapor e secadas em tambor, e hidratadas até a condição de pasta. Os autores encontraram uma digestibilidade *in vitro* alta para os produtos extrusados (83 - 85 %) e mais baixa para a farinha crua (77,8 %).

LAURENA *et al.* (1987) submeteram grãos secos de caupi vermelho da cultivar UPC Cp 3 a quatro tratamentos térmicos distintos: 1- fervura por 120 min.; 2- autoclavagem a 5 - 15 psig por 30 min.; 3- tostagem por 10 min. A 110 - 120° C.; 4- aquecimento em forno de microondas de 930 W durante 5 minutos. Os autores constataram elevação na digestibilidade *in vitro* em todos os tratamentos, nas seguintes percentagens: 6,26 % para as amostras fervidas, 1,1 a 4,2 % para o material autoclavado, e apenas 1 % para o caupi tostado e para o aquecido em microondas.

ONIGBINDE & AKINYELE (1989) incubaram farinhas de caupi e farinhas de milho, separadamente, em frascos fechados de vidro a 80, 100 e 120° C durante 6 horas, sendo as amostras retiradas a cada hora de intervalo para análise da

digestibilidade protéica *in vitro*. As farinhas de caupi foram condicionadas para as atividades de água de 0,33, 0,55 e 0,75. Os resultados indicaram que ocorreu um incremento máximo na digestibilidade protéica durante a primeira hora de aquecimento, para em seguida ocorrer um decréscimo progressivo. A máxima digestibilidade protéica *in vitro* encontrada para a farinha de caupi foi 84,6 %, a uma atividade de água de 0,75 e aquecimento a 100° C. A diminuição máxima na digestibilidade protéica que ocorreu na farinha de caupi foi de 9,3 %, a uma atividade de água de 0,33 e a uma temperatura de 120° C.

2.2 A TECNOLOGIA DA EXTRUSÃO

2.2.1 Generalidades

O cozimento por extrusão termoplástica tem alguns aspectos ímpares comparado a outros processos térmicos, especialmente porque na extrusão o material é submetido a um intenso cisalhamento mecânico. A extrusão é capaz de romper ligações covalentes de biopolímeros e a intensa ruptura estrutural acompanhada de mistura facilitará reações que em outro processo seriam limitadas pela difusão dos reagentes e dos produtos (ASP & BJÖERCK, 1989). Estudos acerca da proteína de um material extrusado, proteína esta que pode ser extraída em diversos solventes, mostram claramente largas diferenças entre as proteínas formadas no processo (MITCHELL & ARÊAS, 1992).

2.2.2 O aparelho extrusor

A extrusão de alimento é definida como um processo contínuo no qual o trabalho mecânico é combinado com calor para gelatinizar amido e desnaturar proteínas plasticizando e reestruturando o material para criar novas texturas e formatos (SMITH, 1976; EL-DASH, 1982).

Atualmente, os extrusores podem ser encontrados numa variedade de tamanhos e tipos, mas geralmente são equipamentos que consistem de um cilindro metálico fixo através do qual o material é transportado. O cilindro contém um ou dois parafusos que deslocam o material alimentício do final do alimentador do cilindro até a matriz, que determina a configuração do produto. Calor é usualmente aplicado ao cilindro, mas o calor devido à fricção pode ser suficiente para cozinhar o material. A temperatura é usualmente aumentada ao longo do cilindro, desde a alimentação até a matriz. As dimensões e geometria do cilindro, a relação de compressão do parafuso e posição de elementos na regulação dos parafusos são variáveis adicionais que afetam cisalhamento e pressão dentro do extrusor. A velocidade de rotação do parafuso também afeta o grau de cisalhamento desenvolvido e a duração do tempo de residência dentro do extrusor (CAMIRE, 1991).

O extrusor de parafuso duplo apresenta algumas vantagens sobre o de parafuso único, incluindo o controle preciso das características do produto e o processamento de materiais secos (TRIBELHORN & HARPER, 1980).

O extrusor de alimentos é considerado atualmente como um biorreator com aplicação de calor do tipo alta temperatura e curto tempo (HTST), que transforma a matéria prima em produtos intermediários ou finais totalmente modificados (HARPER, 1981). Fornece uma larga variedade de produtos com diferentes formatos, texturas, densidades e características de rehidratação (SMITH, 1975).

O extrusor consiste de um parafuso giratório firmemente encaixado dentro de um cilindro (Figura 2). O parafuso, ao girar, empurra o alimento na direção de uma matriz, revirando-o e pressionando-o contra as paredes do cilindro, e exercendo sobre ele um trabalho de cisalhamento, transformando-o em uma massa uniforme. O alimento absorve calor por dissipação viscosa da energia mecânica aplicada no parafuso. Calor pode ser adicionado também por camisa de vapor ao redor do cilindro ou por aquecimento elétrico. Quando há necessidade de resfriamento usa-se camisa de água fria. O tempo de residência do alimento no extrusor é de poucos segundos e varia com o desenho do parafuso e sua velocidade de rotação. A temperatura de descarga pode exceder a 200°C (VILELA, 1983).

HARPER (1979) distinguiu três funções para o parafuso do extrusor: recebimento e deslocamento do alimento, compressão e transporte uniforme, e mistura do extrusado.

O extrusor de parafuso único (Figura 3) foi primeiramente usado no processamento de alimentos em 1935, na extrusão contínua de massas (ROSSEN & MILLER, 1973). A partir daí o processamento de alimentos nesse tipo de aparelho tomou um grande impulso, sua engenharia foi aperfeiçoada, resultando hoje no aparelho extrusor de parafuso duplo ou parafuso gêmeo.

MUSTAKAS *et al.* (1964 e 1970), ao estudarem a farinha de soja integral, assinalaram que o curto tempo de cocção proporcionado por um extrusor minimiza danos à qualidade nutricional, além de bloquear adequadamente a ação de inibidores. No entanto, lembraram que a qualidade do produto final depende das condições do processo.

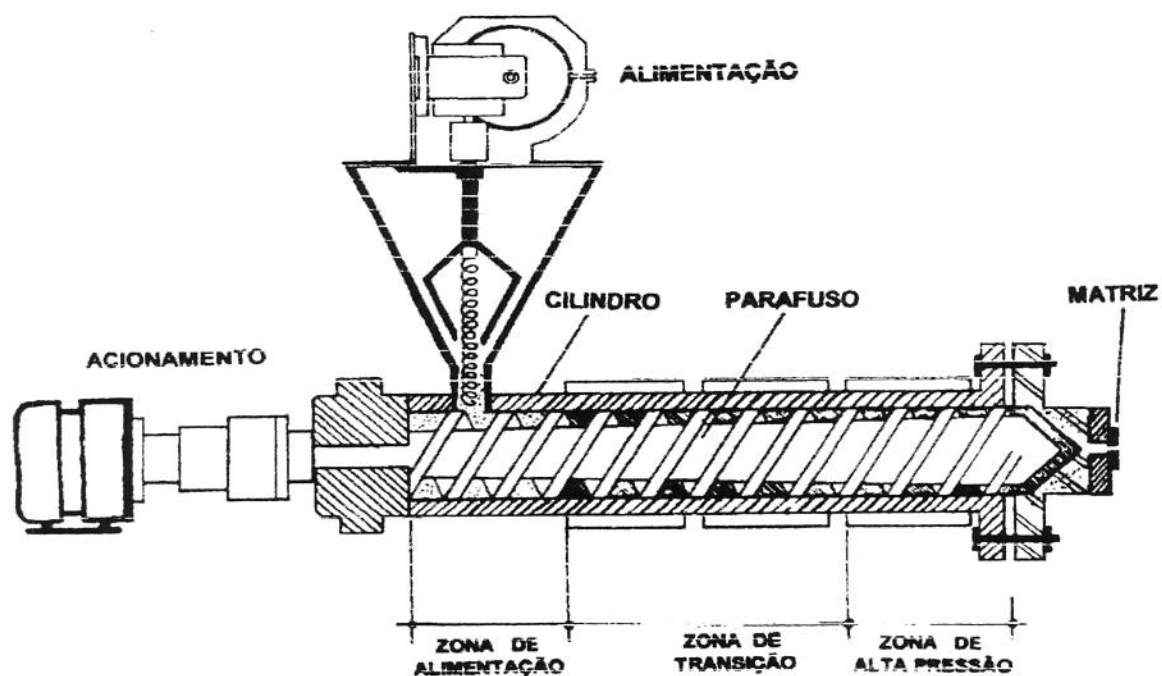


Figura 2 Diagrama de um equipamento extrusor de parafuso único

Para efeito de controle de temperatura, o cilindro do extrusor geralmente é dividido em zonas que podem ser controladas independentemente (YACU, 1990).



Figura 3 Extrusor Brabender de parafuso único usado no processamento do caupi

A alimentação da matéria-prima no processo de extrusão deve ser mantida uniforme e contínua a fim de permitir o bom funcionamento do extrusor e evitar flutuações no cozimento e nas características dos produtos extrusados. Para isto os alimentadores devem ser equipados com agitadores e roscas a fim de manter um fluxo contínuo de alimentação.

Segundo VILELA (1983) as variáveis do processo de extrusão podem ser divididas em três grandes grupos:

A - desenho do parafuso e da matriz;

B - variáveis operacionais- velocidade de alimentação, temperatura e rotação do parafuso, e

C - matéria-prima- teor de umidade e composição química.

2.2.3 As vantagens do processo de extrusão

O extrusor tem como uma de suas principais vantagens a possibilidade de executar três funções ao mesmo tempo, ou seja, de misturar, cozinhar e estruturar o alimento (VILELA, 1983). O mesmo autor ressalta que produtos de vários formatos, densidades e tamanhos, pós, flocos, grânulos, podem ser produzidos por extrusão de matérias-primas de várias origens. E que estes produtos podem ser salgados, adoçados, aromatizados, coloridos, enriquecidos, cobertos, para usos diretos em refeições ou como ingredientes por processadores.

Uma descrição detalhada das vantagens do cozimento por extrusão foi bem procedida por SMITH (1976) e por LAZARD (1993). Os dois autores, em comum, admitiram que em relação aos demais sistemas de cocção a extrusão de alimentos representa uma tecnologia vantajosa pois implica em:

- 1- Versatilidade. Com uma mesma matéria prima é possível a elaboração de uma grande variedade de produtos alimentícios.
- 2- Produtividade. Os extrusores apresentam uma elevada capacidade de produção (rendimento), mesmo quando comparados com outros equipamentos de porte similar.
- 3- Baixo custo. Extrusores exigem menos mão-de-obra por tonelada de produção que qualquer outro sistema de cocção.
- 4- Diversificação na obtenção de produtos. Somente por extrusão será possível a obtenção de uma larga variedade de produtos com formas, aspectos, densidades e texturas diferentes.
- 5- Qualidade dos produtos. Um tratamento do tipo HTST preserva os nutrientes e torna os amidos e as proteínas mais facilmente digeríveis.
- 6- Ausência de efluentes. Ao contrário da maioria dos métodos de cocção, não há nenhum efluente ou outro perigo ecológico residual após o processo de cozimento por extrusão.

SMITH (1976) citou ainda, como vantagens, a exigência de um espaço físico bastante reduzido por tonelada de produção, a maior vida de prateleira, a excelência bacteriológica do produto final e o controle de inibidores de crescimento em relação aos produtos extrusados. LAZARD (1993), por sua vez, ressaltou a

rentabilidade energética do processo; para secar um produto extrusado faz-se necessário o emprego de pouca energia.

2.2.4 Fenômenos gerais relacionados ao processo da extrusão termoplástica

Sensíveis alterações de natureza físico-química, microbiana, funcional e nutricional são passíveis de ocorrer durante o processamento por extrusão termoplástica, visto que nessa modalidade de cocção as matérias-primas e ingredientes, com teores de umidade limitados, são submetidos a severo tratamento térmico, alta pressão e intenso cisalhamento. Será conveniente, portanto, subdividir os fenômenos relacionados ao processo da extrusão termoplástica em 3 grandes grupos: 1) - fenômenos de natureza puramente operacional; 2) - fenômenos de natureza físico-química; 3) - fenômenos de ordem química e microbiológica (CAMARGO *et al.*, 1988).

2.2.4.1 Fenômenos de natureza puramente operacional

Transporte. Configura-se como uma função fundamental do extrusor. Precauções devem ser tomadas quanto ao controle da alimentação e acondicionamento da matéria prima, a fim de que o processo seja contínuo, sem interrupções e com uma vazão uniforme. A velocidade do transporte e a vazão dependem da geometria, dimensão e configuração da rosca extrusora, dimensões do cilindro, tipo de matéria prima, conformação da matriz e velocidade rotacional do eixo do extrusor.

Atrito. O intenso cisalhamento que sofre o material no interior do extrusor provoca intenso atrito entre as partículas do material e entre estas e as paredes do cilindro e rosca do equipamento. Este atrito múltiplo gera calor suficiente para cozinhar e até fundir os alimentos sem aplicação adicional de calor, ou ainda ser necessário utilizar refrigeração para remover parte desse calor.

Cisalhamento. Durante o processo a matéria prima sofre intenso cisalhamento em virtude do tipo de fluxo, geometria e configuração da rosca e do cilindro, e

da velocidade rotacional. Este fenômeno contribui para a plasticização e fusão do material.

Mistura: Ocorre durante o transporte em virtude do fluxo e do cisalhamento produzidos no interior do cilindro do extrusor. Quando adequada, contribui também para plasticização e fusão do material.

Transferência de calor. Durante a extrusão ocorre transferência de calor pelo atrito e ou pela aplicação de calor adicional. A massa alimentícia funciona como fluido de transporte de calor, dissipando o calor gerado pelo atrito com as camisas do cilindro e ao mesmo tempo absorvendo o calor aplicado por estas. Os fenômenos de gelatinização, desnaturação e plasticização tornam a transferência de calor uma operação altamente complexa.

Pressão. Como consequência do transporte, geometria e configuração da rosca e do cilindro do extrusor, da vazão de alimentação, assim como da restrição apresentada pela matriz, se produz um gradiente de pressão que aumenta em direção à saída do extrusor. A pressão é elevada e responsável pela evaporação “flash” e expansão que ocorre no material ao sair da matriz.

Moldagem e expansão. O desenho e o tipo da matriz (trefila) utilizada contribui para o desenvolvimento da pressão no interior do extrusor e influencia fundamentalmente na forma do produto. A expansão e velocidade de corte dão a configuração e tamanho ao produto final.

2.2.4.2 Fenômenos de natureza físico-química

Plasticização. Devido ao teor de umidade, calor absorvido, mistura dos componentes, cisalhamento e principalmente às características físico-químicas, o material processado se transforma do estado sólido inicial para o estado fluido, praticamente fundido, tornando-se “plasticizado”, o que contribui para a sua expansão.

Desnaturação. Os materiais protéicos processados por extrusão, em virtude do atrito, cisalhamento e principalmente devido ao calor aplicado, sofrem um drástico efeito de desnaturação que modifica substancialmente as estruturas nativas. Esses fatores interferem na configuração final do produto.

Gelatinização. Os materiais amiláceos submetidos ao calor, atrito, cisalhamento, e em condições de umidade adequadas, sofrem uma ruptura estrutural do amido a qual modifica profundamente as características iniciais deste, alterando suas propriedades, dentre elas a solubilidade e a viscosidade.

Aglomeração e orientação de estruturas. Normalmente as matérias primas têm seus tamanhos de partículas reduzidas. Durante a extrusão, em função do calor, umidade e outros fatores já mencionados, as partículas são aglomeradas e compactadas e através do transporte e passagem pela matriz as estruturas são fisicamente acomodadas e orientadas, permitindo então, no caso de materiais protéicos, a obtenção de novas estruturas que se assemelham às estruturas naturais da carne.

2.2.4.3 Fenômenos de ordem química e microbiológica

Caramelização e reação de Maillard. A caramelização envolve principalmente açúcares enquanto a reação de Maillard envolve reações químicas entre açúcares redutores e compostos nitrogenados. Ambos os fenômenos são responsáveis pela formação de cor e eventualmente podem conferir características indesejáveis ao produto final extrusado.

Redução de fatores tóxicos, anti-nutricionais e de microorganismos. Esta redução se deve principalmente aos efeitos do calor, umidade, cisalhamento e pressão. A extrusão funciona então como valiosa operação de tratamento térmico, tornando desnecessário um pré-processamento com sua conseqüente contaminação microbiológica, reduzindo substancialmente a carga microbiana e melhorando sensivelmente o sabor e o valor nutricional das matérias-primas.

As proteínas apresentam uma variedade muito extensa no comportamento durante a extrusão, que se deve provavelmente às largas diferenças em suas propriedades de associação (ARÊAS, 1992).

2.3 O PROCESSAMENTO DE LEGUMINOSAS POR EXTRUSÃO

A extrusão de farinhas de leguminosas, especialmente de feijões, com os objetivos os mais variados, representa um procedimento praticado desde o final da década de 1970, inclusive por pesquisadores brasileiros. O processamento por extrusão trata-se, antes de tudo, de uma maneira não-convencional de preparação de um alimento passível de ser submetido a essa modalidade de cozimento.

O processamento de leguminosas por extrusão apresenta nítidas vantagens sobre a cocção convencional com água, sobretudo quando se trata de grãos estocados por longos períodos de tempo. PHILLIPS (1991), assim como LIU *et al.* (1993) referiram que o caupi é uma das leguminosas que apresenta tendência a desenvolver um defeito denominado *hard-to-cook* (retardo no tempo de cocção) quando submetido à estocagem prolongada em alta temperatura e umidade, o que inviabiliza o seu consumo. Este fato não deixa de ser relevante, embora ONIGBINDE & ONOBUN (1993) tenham referido que um pH alcalino da água de cocção atenua o problema.

Constatada a vantagem da extrusão termoplástica sobre as modalidades convencionais de processamento, diversos pesquisadores voltaram as suas atenções para aquela.

ALEXANDRIDIS (1985) estudou os efeitos do teor de umidade, temperatura do cilindro e velocidade do parafuso sobre a taxa de escoamento, textura, temperatura, densidade e umidade final da farinha de soja (*Glycine max*, L.).

CARDOSO FILHO (1993) analisou os efeitos da combinação de variáveis como temperatura de extrusão, umidade da matéria prima e velocidade do parafuso, sobre as características funcionais e nutritivas da farinha de feijão comum (*Phaseolus vulgaris*, L.).

MEUSER *et al.* (1982) observaram, com efeito, que as variáveis mais importantes no processo de extrusão são: temperatura, velocidade e configuração da rosca, diâmetro da matriz e fluxo de alimentação, além da umidade inicial da matéria-prima a ser extrusada.

No entanto, os diversos pesquisadores que trabalharam com extrusão deixaram claro em suas publicações que temperatura do cilindro e umidade da matéria-prima são os dois principais parâmetros que podem afetar, de forma incisiva, as características funcionais, tecnológicas e nutritivas dos produtos. Na maioria dos trabalhos, pouca e às vezes quase nenhuma influência é atribuída à velocidade do

parafuso, e também ao diâmetro da matriz, sobre os resultados do processamento por extrusão.

2.4 O PROCESSAMENTO DO FEIJÃO CAUPI POR EXTRUSÃO

Há pelo menos três décadas o caupi vem sendo alvo de intensos estudos não só por parte de pesquisadores brasileiros, como por parte de pesquisadores internacionais. Os efeitos do processamento por extrusão sobre as propriedades de diversas ordens do caupi vêm ocupando as atenções dos pesquisadores estrangeiros.

ELÍAS *et al.* (1976) estudaram os efeitos do pré cozimento sobre o valor nutricional do feijão preto (*Phaseolus vulgaris*), do feijão caupi (*Vigna sinensis*) e da ervilha. Amostras moídas e inteiras do grão cru foram embebidas por 18 horas e então cozidas em um autoclave a 15 lb./pol² de pressão por 15, 30 e 45 minutos. No caso do caupi outros métodos de cocção foram estudados: torração por 30 minutos a 210 e 240° C, cozimento em uma chaleira aberta a 90-95° C durante 45 minutos, e cozimento por extrusão. As amostras cozidas de feijão preto, caupi e ervilha foram secadas e moídas. Determinou-se a composição aminoacídica, a concentração de lisina disponível e a atividade do inibidor de tripsina das amostras cruas e processadas. A qualidade da proteína e sua digestibilidade foram determinadas através de ensaios de alimentação de ratos. Dados obtidos dos grãos crus mostraram que caupi e ervilha tinham uma mais alta concentração de aminoácidos sulfurados, porém uma mais baixa concentração de lisina, comparando-se com o feijão preto. A atividade do inibidor de tripsina (AIT) do feijão preto cru foi muito mais alta que a do caupi cru. A AIT da ervilha foi intermediária. A cocção diminuiu significativamente a AIT dos grãos inteiros. Os efeitos do cozimento sobre a AIT dos grãos pré-moídos foram pequenos. O valor nutricional e a digestibilidade das amostras cozidas pré-moídas foram consideravelmente mais pobres em relação aos grãos cozidos inteiros. O valor nutricional protéico do caupi cozido pré-moído foi especialmente baixo. Caupi e ervilha necessitaram cozimento por apenas 15 minutos para atingir um valor nutricional protéico máximo. Feijão preto necessitou de cozimento por mais de 30 minutos. Os autores concluíram que a moagem dos grãos antes da cocção forneceu resultados pobres os quais são atribuídos à pobre transferência de calor característica do produto moído.

BRESSANI *et al.* (1977a) estudaram os efeitos de diversas modalidades de processamento sobre o valor nutricional da farinha de feijão preto (*Phaseolus vulgaris*) a 100% bem como da mistura a 50/50% e 25/75% com caupi. As modalidades de processamento foram: 1- maceração por uma hora, seguida de

modalidades de processamento foram: 1- maceração por uma hora, seguida de autoclavagem por 20 minutos a 121° C e logo após secagem em bandeja; 2- maceração por 24 horas, seguida de moagem em disco e cozimento/secagem num cilindro secador; 3- moagem em disco, seguida de maceração por 30 minutos e depois cozimento/secagem em cilindro secador e, 4- moagem seguida de cozimento por extrusão. Concluíram que o PER (Quociente de Eficiência Protéica) aumentou e a atividade do inibidor de tripsina diminuiu com o aumento da porcentagem de caupi no produto. Os valores do PER foram mais altos nas amostras processadas por extrusão e mais baixos nas amostras do processamento 2 e 3.

SEFA-DEDEH *et al.* (1978) desenvolveram um método para medir a textura do caupi cru e umedecido usando uma lâmina tipo cunha montada numa máquina de teste *Instron* para cortar transversalmente os cotilédones dos grãos. Constataram que o umedecimento do caupi cru em água, antes do cozimento, produziu um feijão mais macio e a diminuição do endurecimento foi proporcional ao tempo de embebição. A textura dos feijões cozidos poderia então ser prognosticada a partir da correspondente textura do feijão cru e embebido. A influência da temperatura e do tempo de cocção na textura do feijão foi estudada usando a unidade de cisalhamento-compressão do Sistema de Teste de Textura e a unidade do Sistema de Medição de Textura Ottawa, com uma extrusão em grade de arame. Encontrou-se que a velocidade relativa de cozimento para textura obedeceu a uma cinética de primeira ordem. Um microscópio eletrônico de varredura foi usado para estudar as alterações que ocorreram na microestrutura durante o processo de cocção. O principal efeito observado foi uma avaria na lamela média. As paredes celulares permaneceram intactas.

JORGE JOÃO *et al.* (1980) estudaram os efeitos da extrusão (Brady Crop Cooker) a 290-300° C sobre o valor nutritivo de misturas preparadas à base de feijão caupi/milho (65/25%) e de feijão caupi/mandioca (72/18%). O valor nutricional protéico das misturas cruas e dos produtos extrusados foi avaliado através de ensaios de alimentação de ratos, com e sem suplementação com metionina. Foram observados o crescimento dos ratos e os quocientes de eficiência protéica (PER). Para ambas as misturas, o PER foi melhorado pela extrusão c/ou suplementação com metionina. O PER dos produtos extrusados com suplementação de metionina apresentou um valor de 2,6 para ambas as misturas. A adição de metionina teve um efeito positivo não só sobre a mistura farinácea crua como também sobre as misturas extrusadas devido ao fato de ambas serem deficientes nesse aminoácido. Por outro lado, uma melhor qualidade protéica foi encontrada na mistura extrusada preparada com caupi/milho, não suplementada com metionina, quando comparada à mistura caupi/mandioca tratada sob as mesmas condições. Esse efeito pode ser devido à melhor dotação de aminoácidos essenciais encontrada nas amostras de caupi/milho. Os autores admitiram que o processo de aquecimento relacionado à extrusão pode causar alterações na fração de carboidratos das sementes das leguminosas e, por conseguinte, uma melhor

novos estudos na tentativa de explicar esse efeito particular, já que o processo de extrusão oferece muitas vantagens e pode chegar a se constituir num recurso tecnológico importante.

CABEZAS *et al.* (1982) conduziram estudos para avaliar os efeitos do cozimento por autoclave, do processamento por extrusão e da suplementação com DL-metionina sobre o valor nutricional de feijões caupi (*Vigna sinensis*). Constataram que o conteúdo de lisina disponível, de 6,3g/16 g N, foi reduzido para 5,7g/16 g N nas amostras cozidas por autoclave e nas amostras processadas por extrusão. A atividade do inibidor de tripsina foi eliminada pelo cozimento por autoclave, mas apenas levemente reduzida pelo processamento por extrusão. O Quociente de Eficiência Protéica (PER) não foi afetado nem pelo cozimento por autoclave nem pelo processamento por extrusão, mas foi acentuado pela suplementação com DL-metionina.

PHILLIPS *et al.* (1983a) extrusaram farinhas grossas de caupi com teores de umidade variando entre 20 e 40%, à temperaturas controladas de 150, 175 e 200° C. As amostras de caupi foram descorticadas grosseiramente por quebra das sementes e seguida da aspiração da película que envolve os grãos. Os extrusados foram estocados para posterior avaliação nutricional e reológica. Os autores constataram que as propriedades texturais foram grandemente afetadas pela umidade e temperatura do cilindro. Os valores de PER (Quociente de eficiência protéica) não se apresentaram significativamente diferentes entre os extrusados, nem entre os secados por tambor, nem entre os fritos em banho de gordura e nem entre as farinhas cruas de caupi. A digestibilidade *in vitro*, no entanto, foi maior para os produtos extrusados.

PHAM & DEL ROSÁRIO (1984a) estudaram o efeito da temperatura, velocidade do parafuso, teor de umidade e pH, sobre as propriedades da proteína do caupi e de outras leguminosas processadas por extrusão. À alta temperatura do processo e baixo teor de umidade, o aumento na velocidade do parafuso resultou na diminuição do índice de solubilidade do nitrogênio. A medida da capacidade de absorção de água (WAC) refletiu diferenças na composição das matérias-primas. Os valores da capacidade de absorção de água aumentaram com a elevação do pH, velocidade do parafuso e temperatura do processo e com a diminuição do teor de umidade, na farinha de caupi com baixo teor de proteína. Valores da capacidade de absorção de água diminuíram em todas as farinhas com alto teor de umidade. Os autores observaram que, durante o processo de extrusão, o decréscimo nas solubilidades dos produtos extrusados pode ser devido ou à formação de interações não covalentes ou à formação de novas ligações dissulfeto.

PHAM & DEL ROSÁRIO (1984b) prognosticaram perdas de lisina disponível em caupi extrusado por uma equação de regressão usando temperatura de processo, velocidade do parafuso, pH tampão e teor de umidade como as principais

processo, velocidade do parafuso, pH tampão e teor de umidade como as principais variáveis independentes. Constataram, efetivamente, que a destruição da lisina disponível dependeu fortemente da temperatura do processo, teor de umidade, velocidade do parafuso e pH. Os açúcares totais liberados aumentaram com a elevação da temperatura, com o teor de umidade dos produtos e com a diminuição da velocidade do parafuso e do pH. O nível médio de açúcares totais foi de 16,25 mg/g nos extrusados de caupi. Os açúcares redutores foram liberados em uma função quadrática com os açúcares totais. Mapas de contorno mostraram que o valor da retenção de lisina disponível seria melhorado se a concentração de açúcares redutores e totais dos produtos fosse abaixada.

CHINNAN *et al.* (1985) praticaram uma extrusão capilar viscométrica para obter dados sobre o cisalhamento e tensão-cisalhamento de dois tipos de pasta de caupi, tradicional e experimental. Encontrou-se um modelo para descrever adequadamente o comportamento de escoamento das pastas com coeficiente de consistência de 77,45 e 59,02, e índices de comportamento de escoamento de 0,456 e 0,458 para as pastas experimental e tradicional, respectivamente. O efeito do tempo de hidratação (0-180 min) e nível de água (54-62%) sobre a viscosidade aparente da pasta experimental foi determinado por extrusão capilar e viscosímetro Brookfield com coeficiente de correlação de 0,953. O nível de água teve um efeito significativamente mais alto do que o tempo de hidratação sobre a viscosidade aparente da pasta de caupi.

RINGE (1985) e RINGE & LOVE (1988) estudaram os efeitos de variadas e uniformes condições de estocagem sobre a qualidade protéica de uma mistura de 70/30% de caupi/farinha de milho cozida por extrusão. As atividades de água (A_w) das amostras foram condicionadas para 0,44, 0,55 e 0,65 com soluções salinas apropriadas e estocadas a 25, 35, 45 e 55° C por 15-21 semanas. Perdas de lisina reativa e produção de pigmentos devido ao escurecimento não enzimático foram calculados a fim de se determinar parâmetros da cinética das alterações na qualidade da proteína. Concluiu-se que alterações nas temperaturas de estocagem tiveram um maior impacto sobre esses parâmetros, que causaram alterações na A_w . Os parâmetros de dependência de temperatura para a reação de perda de FNDB - lisina foram baixos. Um mensurável escurecimento não enzimático de pigmentos foi encontrado apenas naquelas amostras estocadas às mais altas temperaturas e atividades de água.

KENNEDY *et al.* (1986) extrusaram farinha descorticada de caupi a 20, 30 e 40% de umidade e 150, 175 e 200° C de temperatura do cilindro. Os produtos obtidos foram submetidos à avaliação reológica. Equações de regressão descrevendo as propriedades reológicas para a umidade de alimentação e temperatura do cilindro foram computadas a partir dos dados colhidos e superfícies de resposta foram produzidas com base nesses modelos. A resistência à tensão dos extrusados foi mais alta para os produtos espessos obtidos na faixa de baixa umidade-baixa temperatura e diminuiu para umidades e temperaturas mais altas. A resistência ao cisalhamento

exibiu picos de valores altos, estendendo-se de 20%/150° C a 30%/200° C, diminuindo para produtos expandidos feitos a baixa umidade e alta temperatura, e para produtos frágeis feitos em alta umidade.

AKINYELE *et al.* (1988) misturaram três cultivares diferentes de caupi (inteiras e descascadas) alternadamente com arroz e/ou milho, e arroz com purê de banana. As amostras foram secadas e extrusadas. O teor energético das misturas variou de 430 a 466 Kcal/100g, a concentração protéica oscilou de 15,4 a 26,0 g/100g, as unidades de inibidor de tripsina de 0,9 a 2,4/ml, e as concentrações de estaquiase, rafinose e sacarose (g/100g) ficaram entre 0,52 e 2,44, 0,16 e 4,32 e 0,15 e 1,16, respectivamente. Os produtos apresentaram uma cor aceitável sem qualquer evidência de escurecimento. Os autores admitiram que essas misturas provavelmente seriam apropriadas para a produção de alimentos infantis.

FALCONE & PHILLIPS (1988) extrusaram farinhas descorticadas de grãos de sorgo e caupis, isoladamente, assim como uma mistura de 33:67% de sorgo: feijão caupi. As matérias-primas foram hidratadas a 13, 15, 18, 20,5, 23 e 25% de umidade e extrusadas a 160, 175, 190 e 205 C. Os autores detectaram que a farinha de sorgo integral pôde ser extrusada sob todas as combinações de condições citadas, porém nenhum material contendo caupi pôde ser extrusado com teores de umidade abaixo de 20,5%. A umidade tornou-se assim o fator mais importante na composição das misturas contendo níveis mais altos de caupi e por isso somente a faixa de 20,5-25% foi considerada no estudo. Determinaram os efeitos da umidade e da composição da matéria-prima e da temperatura do cilindro sobre a temperatura do produto, tempo de residência, taxa de expansão, densidade, umidade dos produtos, força de cisalhamento, tensão e energia, dureza sensorial e fragilidade dos extrusados. A maior parte das propriedades dos extrusados pôde ser descrita através de um modelo generalizado de segunda ordem. O efeito da umidade aumentou em significância proporcionalmente ao aumento de caupi nas misturas.

CALVETTE (1992) pesquisou o efeito da mistura da proteína de farinha desengordurada do gergelim como complemento da proteína da farinha extrusada do caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). Os resultados obtidos foram avaliados através de análises químicas, bioquímicas, sensoriais e nutricionais dos alimentos onde a mistura foi utilizada na preparação. Concluiu que o processamento do caupi, usando o cozimento por extrusão, fornece com rapidez e eficiência produtos com baixos níveis de antinutricionais e, deste modo, com maior valor nutricional. A farinha obtida pela moagem do produto extrusado se constituiu numa matéria prima facilmente utilizada na preparação de misturas que serviram como base na preparação de alimentos corretamente balanceados. Constatou que a extrusão do caupi com 23% de umidade a uma temperatura de 160° C, usando uma matriz cilíndrica com 3 mm de diâmetro, forneceu um produto expandido com 6 mm de diâmetro, dentro das condições estáveis de processo.

TUAN & PHILLIPS (1992) induziram o defeito de retardamento do tempo de cocção (endurecimento) em sementes de caupi mediante estocagem a 37° C e 85% de umidade relativa, durante seis semanas. Sementes endurecidas e sementes controle (estocadas a 7° C e 60% de umidade relativa) foram uma parte fervidas por 45 e 90 minutos, e outra parte moída até a condição de farinha. Tanto a farinha do feijão endurecido como a farinha do feijão controle teve uma parte cozida sob a forma de pasta, enquanto que a outra parte foi extrusada a 20% de umidade e 150° C de temperatura. A qualidade dietética global foi avaliada como eficiência alimentar e relação de resposta relativa. A qualidade da proteína foi determinada como eficiência de nitrogênio e valor nutritivo relativo. A qualidade nutricional protéica global foi geralmente mais alta para dietas com sementes-controle do que para o caupi endurecido. O processamento afetou diferentemente as sementes controle e as sementes endurecidas. O aquecimento das sementes controle ou das sementes endurecidas inteiras melhorou não só a qualidade protéica como a qualidade global, comparando-se com as sementes cruas. A extrusão, por sua vez, aumentou substancialmente a qualidade das sementes controle, porém reduziu a qualidade das sementes endurecidas. O cozimento sob a forma de pasta melhorou a qualidade global e protéica das sementes controle, mas não melhorou a qualidade protéica das sementes endurecidas.

Estudos dos efeitos da extrusão sobre a mistura caupi/milho foram também relatados nos trabalhos de SAALIAH & SEFA-DEDEH e SAALIAH *et al.* (1995), CHOME & PHILLIPS (1996), e SEFA-DEDEH & SAALIAH (1997). Estes últimos utilizaram um equipamento extrusor modificado (modified oil expeller) e as variáveis independentes do processo foram: porcentagem de caupi na mistura (0 - 25%), umidade (10 - 25%), e temperatura do cilindro (130 - 200° C). Estudou-se os efeitos dessas variáveis sobre diversos parâmetros tecnológicos, além do efeito sobre o grau de gelatinização da farinha dos extrusados. Dentre os diversos resultados obtidos, constatou-se que o grau de gelatinização diminuiu proporcionalmente à quantidade de caupi na mistura e aumentou com a temperatura de extrusão.

Mais recentemente, OBATOLU & COLE (2000) extrusaram milho maltado e não-maltado enriquecido com caupi com o objetivo de estudar as propriedades funcionais do produto. A proporção milho/caupi foi de 65/35 % e utilizou-se um equipamento de parafuso único modelo 600 Insta. A temperatura do processo foi 120° C sob pressão de 300 psi. Os autores constataram que a adição de caupi ao milho maltado reduziu a viscosidade de ambos. Essa redução foi atribuída à degradação do amido causada pela ação da α -amilase e da β -amilase que se desenvolveram durante o processo de maltação.

OBATOLU *et al.* (2000) extrusaram milho maltado e não-maltado enriquecido com caupi com o objetivo de estudar a qualidade nutricional do produto.

A farinha de caupi foi misturada com cada tipo de farinha de milho numa relação de 65 % para o milho e 35 % para o caupi. As misturas foram extrusadas a 120° C e à pressão de 300 psi² lbf. As misturas produziram amostras de bom valor nutricional e os autores concluíram que as misturas com milho maltado serviriam como uma adequada complementação alimentar para crianças após o desmame (em termos de proteína e caloria).

2.6 EFEITOS DA EXTRUSÃO TERMOPLÁSTICA SOBRE A QUALIDADE NUTRICIONAL DOS ALIMENTOS

2.6.1 A lisina como aminoácido indicador de alterações pelo calor

A lisina trata-se de um aminoácido considerado dos mais reativos na proteína, e também o aminoácido limitante nos cereais. Desta forma, a retenção de lisina em produtos extrusados é de suma importância. Sob severas condições de processamento a disponibilidade de aminoácidos e a digestibilidade da proteína podem ficar reduzidas e vários estudos já procuraram relacionar a perda de lisina aos parâmetros do processo de cozimento por extrusão (ASP & BJORCK, 1989).

DE MUELENAERE & BUZZARD (1969) assinalaram que o cozimento por extrusão acarreta perdas de lisina que não são maiores que aquelas perdas observadas em outros métodos de processamento de alimentos. Os autores fizeram alusão a um ensaio de extrusão de farinha de soja não desengordurada, no qual a perda da quantidade de lisina disponível foi insignificante. Em contrapartida, uma mistura de soja desengordurada, milho e sorgo, perdeu 20% de lisina disponível quando submetida a secagem por rolos, perdendo no entanto de 3 a 13% quando extrusada.

A lisina torna-se, portanto, um composto chave na maior parte dos estudos sobre os efeitos da extrusão sobre os componentes protéicos da matéria-prima.

ASP & BJORCK (1984) relataram estudos realizados até então sugerindo que um tempo de residência reduzido, uma taxa de alimentação mais elevada, uma temperatura de processamento mais baixa e um aumento no teor de umidade aumentam o valor protéico do produto.

CHEFTEL (1986) concluiu que, para minimizar a perda de lisina, a temperatura do produto deveria ser mantida abaixo de 180° C, particularmente para um baixo teor de umidade (menor que 15%). Mais adiante, a presença de açúcares redutores durante o processamento seria evitada.

LEDWARD & TESTER (1994), além de admitir que a quantidade de lisina disponível, ou seja, daquela lisina que possui o grupo amino livre, diminui em mais de 50%, dependendo da severidade do processamento e de outros fatores, aventaram ainda a possibilidade dessa perda estar fortemente relacionada com o desenvolvimento da estrutura (dureza) do produto. Isto, considerando que as ligações covalentes que se formam em decorrência dessa perda são provavelmente muito fortes.

A Tabela 7 apresenta um resumo dos efeitos das diferentes variáveis de extrusão sobre a disponibilidade de lisina.

Tabela 7 Efeitos das alterações nas condições de extrusão sobre a lisina disponível, segundo diversos autores (*) ()**

Parâmetros de extrusão	Variação no teor de lisina disponível		
	Aumento	Redução	Nenhum efeito
Temperatura		4, 5, 6, 7, 8, 10	
Umidade %	1, 2, 3, 4, 5, 6	8, 9	
Taxa de alimentação	7		
Velocidade do parafuso	8	1, 7	4, 5
Rel. compressão parafuso		1	
Diâmetro da matriz	1		
Torque e pressão		1	
Energia fornecida		3	
pH	5, 8		

(*)- Fonte: Asp e Björck, 1989.

(**)- Referências:

- 1- Tsao (1976), extrusor de parafuso único;
- 2- Beaufrand *et al.* (1978), extrusor de parafusos gêmeos;
- 3- Köhler (1981), extrusor de parafuso único;
- 4- Noguchi *et al.*, (1982), extrusor de parafusos gêmeos;
- 5- Noguchi e Cheftel (1983), extrusor de parafusos gêmeos;
- 6- Björck *et al.* (1983), extrusor de parafusos gêmeos;
- 7- Björck *et al.* (1984), extrusor de parafusos gêmeos;
- 8- Pham & Del Rosário (1984b), extrusor de parafuso único;
- 9- Harmuth-Hoene *et al.* (1985), extrusor de parafusos gêmeos;
- 10- Eggum *et al.* (1986), extrusor de parafuso único.

2.6.2 alterações químicas e nutricionais de produtos extrusados

2.6.2.1 Reação de Maillard

A reação de Maillard é tida como o principal mecanismo responsável por alterações no valor nutricional dos alimentos, principalmente através do decréscimo da

disponibilidade de lisina, em particular (BEAUFRAND *et al.*, 1978; BJORCK *et al.*, 1983, 1984, 1985; EGGUM *et al.*, 1986).

A reação de Maillard compreende a interação de açúcares redutores com grupos aminados protéicos para formar derivados de 1-amino-1-desoxi-2-cetose (compostos de Amadori), seguida de sua degradação. Durante essa degradação, açúcares derivados de desoxi-dicarbonil são formados, os quais desempenham um importante papel nos estágios subsequentes da reação (FEATHER, 1994).

Trata-se de um dos mais importantes caminhos para a formação de compostos que conferem “flavor” em alimentos cozidos. Os estágios iniciais da reação envolvem a condensação do grupo carbonil de um açúcar redutor com um composto aminado, seguida da degradação de produtos de condensação para dar um número de diferentes compostos oxigenados. Os passos subsequentes da reação de Maillard envolvem a interação desses compostos com outros componentes reativos tais como aminas, aminoácidos, aldeídos, sulfeto de hidrogênio e amônia. Essas reações adicionais conduzem à formação de muitos tipos de compostos que proporcionam “flavor” incluindo furanos, pirazinas, pirróis, oxazóis, tiofenóis, tiazóis e outros compostos heterocíclicos (MOTTRAM, 1994).

Durante o cozimento por extrusão tem lugar uma comparativamente baixa redução do teor de água que é conhecida por favorecer a reação de Maillard. Matérias primas com baixos teores de açúcares redutores são menos propensas a deterioração durante o tratamento térmico. Contudo, durante o cozimento por extrusão a formação de carboidratos redutores pode ocorrer através da hidrólise da sacarose (NOGUCHI *et al.*, 1982) ou do amido (SAHAGUN & HARPER, 1980), aumentando assim a reatividade.

A intensidade da reação de Maillard em produtos extrusados pode ser avaliada através da redução do teor de lisina que durante o processo tem o seu grupamento ϵ -amino combinado com açúcares redutores, dando início à referida reação.

A perda de lisina disponível através da reação de Maillard ocorrida durante o processo de cocção por extrusão diminui com o aumento do teor de umidade da matéria-prima e aumenta com a elevação da temperatura do processo (NOGUCHI *et al.*, 1982). Para estes autores, as reações de Maillard, embora possam levar a formação de pigmentos e aromas agradáveis, também causam a formação de derivados da união proteína-lisina, quimicamente estáveis e nutricionalmente não-disponíveis.

Segundo CHEFTEL (1986), a reação de Maillard é favorecida por condições de alta temperatura (acima de 180° C) e alto cisalhamento (velocidade do parafuso acima de 100 r.p.m.), em combinação com baixa umidade (abaixo de 15%).

PHAM & DEL ROSÁRIO (1986), no entanto, constataram maiores perdas de lisina disponível em farinhas extrusadas de legumes mantendo-se constante a temperatura e aumentando-se o teor de água da mistura. Estes autores reportaram ainda que o teor de lisina disponível conservou-se sempre elevado com o aumento da velocidade do parafuso, que acarretou a diminuição do tempo de residência dentro do extrusor. Os autores apontaram também a possibilidade do amido e açúcares não-redutores como a sacarose serem hidrolisados durante a extrusão para formar açúcares redutores e desta maneira desencadear a reação de Maillard. Ressalvaram, contudo, as farinhas extrusadas do feijão caupi, alegando que em condições de pH alto a hidrólise do açúcar nessas farinhas fica reduzida, favorecendo a retenção de lisina disponível.

Um outro indicativo da extensão das reações de Maillard é a cor do material extrusado. A formação de melanoidinas e de outros produtos da reação de Maillard acarretarão o escurecimento do alimento, embora o surgimento de uma coloração mais escura não se deva necessariamente à presença dessas substâncias (BJORCK *et al.*, 1984).

2.6.2.2 Ligações cruzadas

Proteínas processadas sob condições de pH alcalino e calor podem dar origem a resíduos de aminoácidos que não são naturalmente encontrados. Nessas condições a alanina, por exemplo, é primeiramente convertida à dehidroalanina, que pode então reagir com lisina para formar lisinoalanina (LAL). Pode reagir também com cisteína para formar lantionina (LAT) ou com ornitina para formar ornitoalanina (CHEFTEL *et al.*, 1985).

JEUNINK & CHEFTEL (1979) constataram a presença de LAL e LAT em concentrados de feijão e de soja desengordurada quando extrusados sob altas condições de temperatura (245° C), baixa umidade (10%), 50 rpm e uma taxa de alimentação de 400 g/min. LAL e LAT foram detectados também nos concentrados, possivelmente como resultado do processo de trituração empregado. Os pesquisadores concluíram que a extrusão não aumentou de forma significativa os níveis desses compostos nos extrusados.

2.6.2.3 Misturas protéicas vegetais

Pouquíssimas proteínas possuem uma dotação satisfatória dos aminoácidos essenciais para o homem. Os cereais são geralmente deficientes em lisina, enquanto que metionina é o aminoácido limitante na soja. Um equilíbrio aminoacídico pode não se caracterizar simplesmente pela ingestão de mais de uma proteína contendo quantidades mais baixas de um ou mais aminoácidos essenciais. Contudo, duas ou mais proteínas podem ser misturadas e, juntas, proporcionar melhor qualidade protéica que qualquer uma delas isoladamente. As proteínas podem ser enriquecidas com o aminoácido que lhes falta, podem ser suplementadas com uma proteína rica nesse aminoácido faltante ou podem ser misturadas com uma proteína complementar. A verdadeira complementação protéica envolve o uso de duas proteínas, uma delas sendo rica fonte do aminoácido que é limitante na outra (CAMIRE *et al.*, 1990).

A cocção por extrusão, usando extrusores de duplo parafuso em particular, oferece a capacidade de misturar duas fontes protéicas fisicamente diferentes, fornecendo um novo material de qualidade protéica superior (BHATTACHARYA *et al.*, 1986; PERI *et al.*, 1983).

2.6.2.4 Digestibilidade protéica

BRESSANI *et al.* (1977b) admitiram que são possivelmente quatro os fatores que de uma forma ou de outra influenciam na baixa digestibilidade de uma proteína: os inibidores de tripsina, o processamento, certas frações protéicas resistentes à hidrólise, e talvez a presença de certas substâncias como os fenóis, que reagem com as proteínas, tornando-as parcialmente indisponíveis.

SGARBIERI *et al.* (1982), no entanto, colocaram que o que limita a digestibilidade de um material protéico são a presença de inibidores de proteases e a resistência à proteólise das proteínas nativas.

Em geral, o aquecimento melhora a digestibilidade das proteínas através da inativação de enzimas inibidoras e da desnaturação protéica, que podem expor novos sítios de ataque enzimático. O aumento da temperatura do cilindro durante a extrusão tem mostrado aumentar a digestibilidade das misturas soro de leite/glúten de

milho (BHATTACHARYA & HANNA, 1988), peixe/trigo (BHATTACHARTTA *et al.*, 1988), além do sorgo integral (FAPOJUWO *et al.*, 1987).

O efeito positivo da extrusão sobre a digestibilidade protéica fica evidenciado no trabalho de ALONSO *et al.* (1999), que estudaram os efeitos desse tipo de processamento, e de alguns métodos tradicionais de preparo de alimentos (embebição, descascamento, etc.), sobre o teor protéico e a redução de fatores antinutricionais do feijão fava (*V. faba*) e do feijão comum (*Phaseolus vulgaris*). Esses autores constataram que a extrusão foi o melhor método encontrado para eliminar tripsina, quimotripsina, inibidores de alfa-amilase e atividade hemaglutinante desses feijões, sem modificação do teor protéico.

O assunto, no entanto, parece ser alvo de controvérsias. Enquanto CAMIRE (1991) alegou um acréscimo na digestibilidade protéica geralmente não superior a 5 %, em decorrência da extrusão, PHILLIPS *et al.* (1983b) relataram um decréscimo na digestibilidade mediante exposição de um material protéico ao calor, embora não por esse mesmo tipo de processamento. Esses autores aqueceram amostras de farinha de caupi finamente moída em tubos fechados contendo 7,5 %, 19,4 % e 25,5% de umidade, por períodos que variaram de 0,5 a 120 min. As temperaturas de exposição foram 100, 125 e 150° C. Os resultados, expressos através de um modelo cinético sequencial de primeira ordem, mostraram que a digestibilidade protéica aumentou até um determinado tempo de exposição, para em seguida diminuir. Os gráficos tempo de exposição *versus* digestibilidade protéica *in vitro* (Figuras 4, 5 e 6), apresentados pelos autores, ilustram bem esses resultados. Os autores justificaram esses resultados citando WALLACE *et al.* (1971), que afirmaram que o tratamento térmico de proteínas de leguminosas e de proteína de materiais farináceos melhora a digestibilidade até um certo ponto, porém além desse ponto pode reduzi-la. PHILLIPS *et al.* (1983b) admitiram que para temperaturas e umidades mais altas um máximo de digestibilidade é rapidamente alcançado e que um aquecimento além desse máximo resulta numa significativa redução de digestibilidade. Colocaram ainda que valores de energia de ativação para aumento na digestibilidade são mais baixos do que aqueles valores para inativação do inibidor de tripsina a 7,5 e 19,4 % de umidade. Isto, no entendimento desses autores, indica que o melhoramento da digestibilidade produzido pelo aquecimento é o resultado da ação de fatores outros que não a destruição de antinutricionais, a maior parte provavelmente não-ligados às cadeias de proteínas.

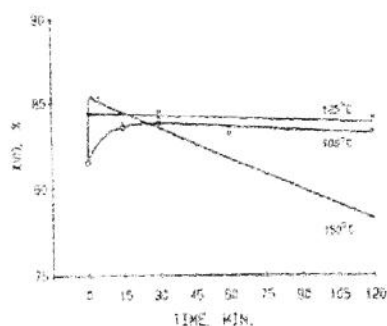


Figura 4

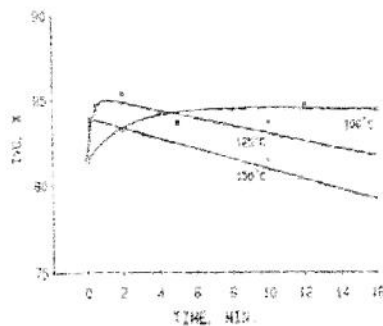


Figura 5

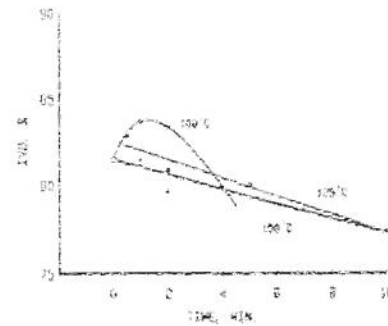


Figura 6

Figura 4 Alterações na digestibilidade protéica *in vitro* na farinha de caupi contendo 7,5 % de umidade ao ser aquecida a 100, 125 e 150° C (PHILLIPS *et al.*, 1983b)

Figura 5 Alterações na digestibilidade protéica *in vitro* na farinha de caupi contendo 19,4 % de umidade ao ser aquecida a 100, 125 e 150° C (PHILLIPS *et al.*, 1983b).

Figura 6 Alterações na digestibilidade protéica *in vitro* na farinha de caupi contendo 25,5 % de umidade ao ser aquecida a 100, 125 e 150° C (PHILLIPS *et al.*, 1983b).

CONVENÇÃO: IVD % = digestibilidade protéica *in vitro*, expressa em porcentagem.

Uma redução na digestibilidade protéica resultante de um maior tempo de exposição ao calor ou devido ao emprego de temperaturas mais elevadas foi também relatada por ASP & BJORCK (1989) e ONIGBINDE & AKINYELE (1989). Estes últimos chegaram a afirmar que a redução na digestibilidade protéica constatada em alimentos que sofreram danos pelo calor é um assunto que ainda não foi minuciosamente estudado. Apresentaram um gráfico tempo de exposição ao calor *versus* porcentagem de digestibilidade protéica, ilustrativo do decréscimo da digestibilidade, constatada em suas pesquisas utilizando farinha de caupi (Figura 7). Deixaram claro, no entanto, que dois indicativos que têm sido largamente usados na deterioração da qualidade protéica em muitos alimentos são escurecimento não-enzimático e lisina disponível.

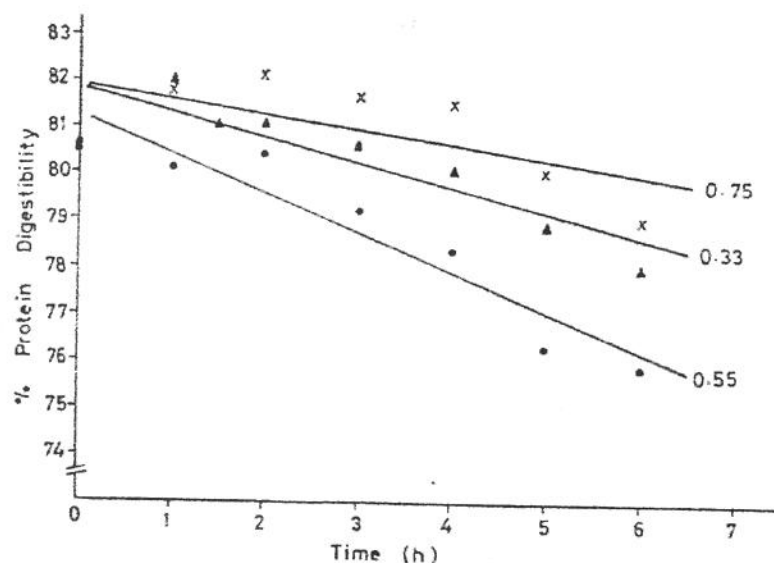


Figura 7 Variação da digestibilidade protéica do caupi (*V. unguiculata*) a 80° C e 3 níveis de atividade de água (ONIGBINDE & AKINYELE, 1989)

2.6.3 Alterações funcionais: solubilidade e desnaturação protéica

A desnaturação é qualquer alteração na conformação de uma proteína que não envolva a quebra de ligações peptídicas (CHEFTEL *et al.*, 1985). Pode, de início, envolver a não-degradação de polipeptídeos e nenhuma perda aparente na solubilidade (KINSELLA, 1976).

A transformação na proteína durante a extrusão envolve simultaneamente desnaturação termomecânica e cruzamento de ligações, da mesma maneira que a degradação do amido resulta dos fenômenos de fusão e de quebra de cadeia (DELLA VALLE *et al.*, 1993).

A diminuição da solubilidade do material extrusado, em comparação com a do material não-extrusado, foi constatada na mistura milho/soja (MAGA & LORENZ, 1978). Fatores que favorecem a desnaturação protéica como temperaturas altas e aumento no tempo de residência, reduzem a solubilidade (CAMIRE *et al.*, 1990).

A formação de ligação dissulfeto também foi apontada como responsável pela redução da solubilidade do nitrogênio em farinhas de leguminosas texturizadas

por extrusão (PHAM & DEL ROSÁRIO, 1984a). Também, produtos com teores mais altos de proteína acusaram solubilidade do nitrogênio mais baixa, que foi atribuída à maior desnaturação e, dessa forma, à agregação de moléculas protéicas. O teor elevado de carboidratos do feijão caupi extrusado pode também contribuir para sua diferente solubilidade do nitrogênio comparando-se, por exemplo, com soja extrusada (CAMIRE *et al.*, 1990).

Tipicamente, grupos hidrofóbicos são expostos durante a desnaturação, resultando no decréscimo da solubilidade da proteína em solução aquosa. Dessa forma, a medida da solubilidade de uma proteína extrusada pode indicar o grau de desnaturação protéica, bem como o efeito sobre as propriedades funcionais (CAMIRE *et al.*, 1990).

As proteínas nativas são desnaturadas durante a extrusão. As forças que estabilizam as estruturas terciária e quaternária das proteínas são enfraquecidas pela combinação do aumento da temperatura e do cisalhamento dentro do extrusor. Moléculas protéicas se desdobram e se reorganizam com o escoamento do material em direção à matriz (HARPER, 1986). Primeiramente, resíduos de aminoácidos ocultos se tornam expostos e ficam livres para reagir com açúcares redutores e outros componentes do alimento. A exposição de resíduos hidrofóbicos, tais como fenilalanina e tirosina, reduzem a solubilidade do extrusado protéico em sistemas aquosos. Ligações intermoleculares podem se formar entre as moléculas protéicas mesmo antes do alimento sair pela matriz (CAMIRE *et al.*, 1990).

Outros componentes dos alimentos também influenciam a desnaturação. Componentes da parede celular, assim como altos níveis de gordura e/ou umidade, podem proteger as proteínas celulares de temperaturas excessivas. Por esta razão, CHEFTEL (1986) admitiu que uma deterioração protéica mínima ocorre durante uma extrusão em alta umidade (acima de 25% com base no peso da amostra).

SHEARD *et al.* (1985 e 1986) também chamaram a atenção para o importante papel que o teor de umidade desempenha na desnaturação protéica durante a extrusão. Em um estudo comparativo de isolados de soja, extrusados com baixa solubilidade em água tinham estruturas mais rijas.

Portanto, um alto teor de umidade da matéria prima acarretaria uma mais baixa desnaturação protéica no material extrusado, um menor enrijecimento, e, por conseguinte, uma maior solubilidade.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS

3.1.1 Matéria prima

Feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) da variedade EPACE-10, cultivada em Fortaleza, Ceará, e doada pela Empresa de Pesquisa Agropecuária do Ceará - EPACE, órgão vinculado a Secretaria da Ciência e Tecnologia do Ceará (SICETECE).

3.1.2 Reagentes

Foram utilizados reagentes do tipo P.A. (Padrão Analítico) nas análises correspondentes tanto às matérias-primas como às farinhas extrusadas.

3.1.3 Equipamentos

3.1.3.1 Gerais

Foram utilizados, além de vidrarias gerais e utensílios de uso comum em laboratório, os seguintes equipamentos:

- Moinho de facas marca "TIGRE", tipo CV2, potência de 0,75 c.v., 3.800 rpm, de fabricação nacional.

- Moinho de rolos marca "BRABENDER", modelo Quadromatic Senior, de fabricação alemã.
- Extrusor de laboratório marca "BRABENDER", modelo 20 D/N - GNF 101412, de parafuso único, camisa ranhurada, acoplado a um motor com registrador "D-corder".
- Analisador de aminoácidos DIONEX DX 300.
- Moinho de disco "MARCONI", modelo TE 020.
- Aparelho determinador de umidade INFRARED modelo AD-4714A.
- Estufa de secagem e esterilização "FANEM", modelo 320-SE, circulação mecânica.
- Estufa a vácuo "FANEM", modelo 414.
- Centrífuga marca "FANEM", modelo 204 NR.
- Centrífuga Beckman modelo J-21B.
- Centrífuga refrigerada Beckman modelo Avanti J-25.
- Equipamento PRODUTEST com peneiras de diâmetros 16, 40, 60, 80 e 100 Mesh.
- Agitador vertical de tubos marca "TECNAL", modelo TE 320.
- Agitador horizontal Júnior Orbit Shaker.
- Balança analítica "DARTLING", modelo LA 164.
- Balança semi-analítica "METTLER" modelos P 1000 e P1210.
- Câmara de estocagem ajustada para 5° C.
- Destilador para análise de proteína "TECNAL".
- Digestor de proteína "TECHNICON", modelo BD-40.
- Extrator e digestor de fibras "FANEM", mod. 170/3.
- Extrator de gordura tipo SOXHLET, em aço inox, cap. 10 Kg.

- Misturador planetário de grande porte SIAM-TWEEDY, modelo TW-70.
- Misturador planetário de pequeno porte KITCHENAID, mod. K45SS.
- Autoclave vertical PHOENIX.
- Analisador de textura modelo TA-XT2, fabricado pela Texture Technologies Scarsdale, N. Y.
- Mufla monofásica "ART LAB", modelo 1961.
- pH metro "MICRONAL", modelo B-374.
- Colorímetro portátil MINOLTA modelo CR 300.
- Espectrofotômetro BECKMAN, modelo DV-70.

3.1.3.2 Características do extrusor utilizado

Além das particularidades já anteriormente descritas, o equipamento de extrusão usado nos experimentos apresentou as seguintes especificações:

- A - Motor acionador. De corrente contínua de 5 IIP, possibilitando oscilação na velocidade do parafuso até 250 r.p.m.
- B - Alimentador. Motor de ¼ HP acoplado na parte superior e inicial do funil de alimentação, dotado de uma velocidade ajustável de sorte a se obter variações na taxa de alimentação.
- C - Parafuso. Único, com rosca sem fim uniforme (mono piece). Apresentava ainda taxa de compressão 3:1, sendo a relação comprimento/diâmetro (expressa em mm) equivalente a 450/30. A profundidade do passo na sua parte inicial (zona de alimentação) era o triplo da profundidade na porção final (zona de descarga), conforme ilustração apresentada na Figura 8.
- D - Matriz: rosqueada na extremidade final do cilindro, apresentava conformação cilíndrica e abertura de 3 mm.

E - Cilindro: compreendia 3 diferentes zonas de temperatura que eram aquecidas através de resistência elétrica. A primeira zona tinha a sua temperatura regulada por um dispositivo que permitia a circulação de água fria, enquanto uma circulação de ar comprimido ajustava a temperatura das segunda e terceira zonas. O controle da temperatura nas 3 zonas se dava por termopares interligados a um registrador. O cilindro apresentava internamente ranhuras longitudinais e retilíneas.

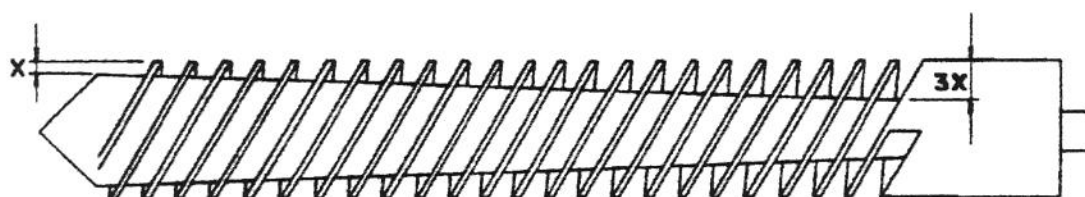


Figura 8 Perfil geométrico de um parafuso mono rosca de taxa de compressão 3:1 (CONTI, 1993)

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Processamento das sementes do feijão caupi

Para a obtenção da farinha integral do feijão caupi as sementes foram primeiramente quebradas em moinho de facas, para em seguida passarem por diversas seções do moinho de rolos, entre as quais as seções de quebra e redução. Obteve-se farinha de quebra, farinha de redução, farelinho e farelo. Em seguida, os fragmentos da casca do feijão (farelo), com granulometria maior, foram passados em um moinho de disco para adquirir uma granulometria que possibilitasse, após incorporação ao restante das farinhas e do farelinho, o processamento por extrusão. Esses quatro derivados foram misturados a seco em um misturador planetário SIAM-TWEEDY para possibilitar a obtenção de uma farinha integral a mais homogênea possível quanto ao aspecto. A farinha integral crua foi assim acondicionada em embalagens de polietileno e em seguida armazenada sob refrigeração para uso posterior (Figura 9). Em se tratando de processamento em escala industrial, a etapa de refrigeração da matéria-prima torna-se evidentemente dispensável.

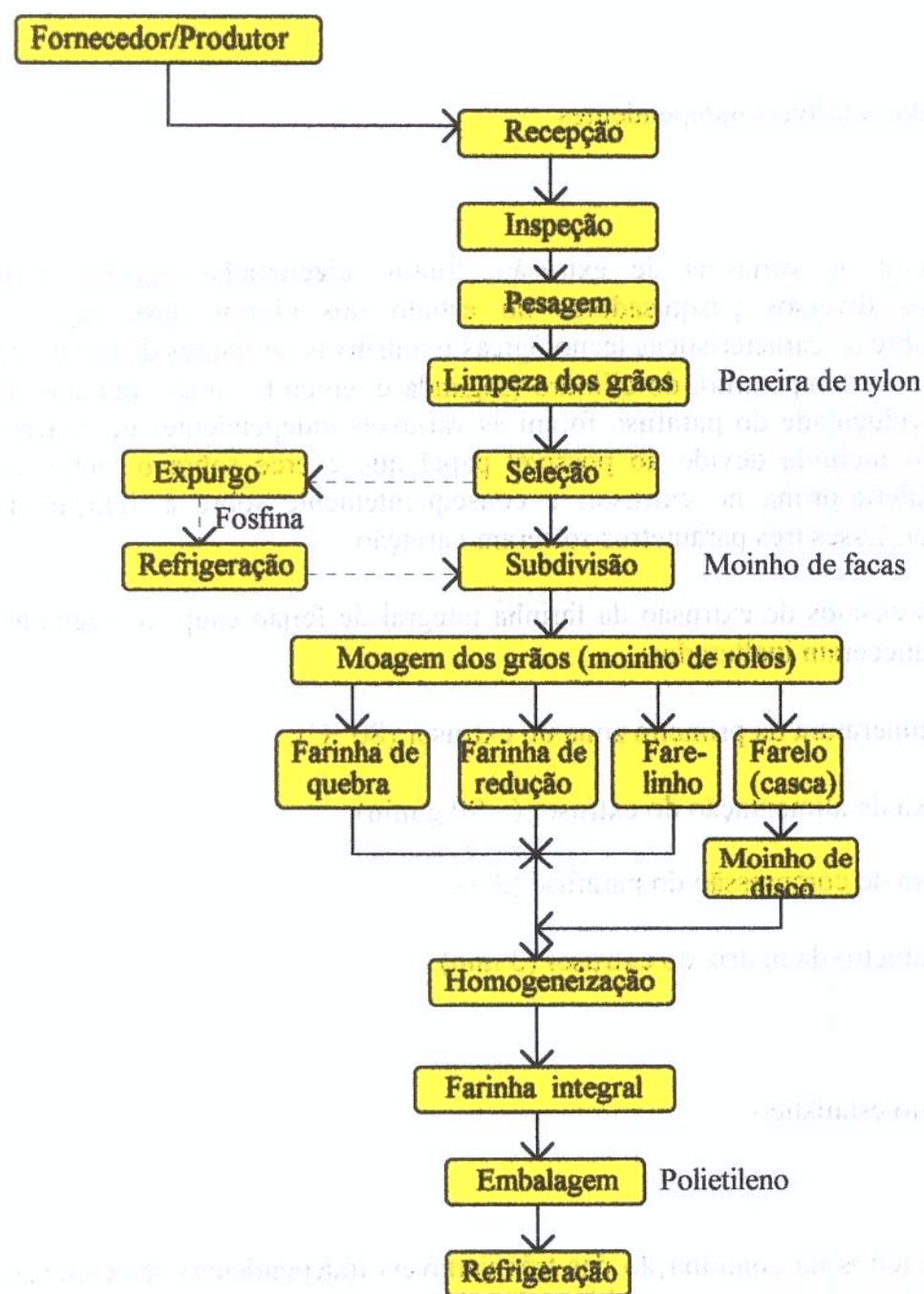


Figura 9 Fluxograma do processamento da semente do feijão caupi

3.2.2 Delineamento experimental e tratamento estatístico

3.2.2.1 Seleção das variáveis independentes

Dentre as variáveis de extrusão, foram selecionadas aquelas mais empregadas pelos diversos pesquisadores no estudo dos efeitos deste tipo de processamento sobre as características tecnológicas e nutritivas de feijões de um modo geral. Desta maneira, temperatura do cilindro (segunda e terceira zonas), umidade da matéria-prima e velocidade do parafuso foram as variáveis independentes de eleição, esta última sendo incluída devido ao possível papel que exerce sobre o tempo de residência da matéria-prima no extrusor, e consequentemente sobre a duração da exposição ao calor. Esses três parâmetros sofreram variação.

Nos ensaios de extrusão da farinha integral de feijão caupi os seguintes parâmetros permaneceram inalterados:

- temperatura da primeira zona do extrusor (80° C);
- taxa de alimentação do extrusor (~ 90 g/min);
- taxa de compressão do parafuso (3:1).
- diâmetro da matriz do extrusor (3 mm).

3.2.2.2 Tratamento estatístico

Os efeitos da combinação das três variáveis independentes selecionadas sobre as características funcionais e nutritivas da matéria-prima foram estatisticamente avaliados por Metodologia de Superfície de Resposta (RSM), através de um delineamento central composto rotacional de segunda ordem conforme descrição de BOX *et al.* (1978).

Trata-se de uma metodologia que permite descrever a resposta de uma determinada variável dependente quando mudanças são processadas nas variáveis independentes. A resposta assim obtida não deixa de ser função dos níveis segundo os

quais essas variáveis independentes foram combinadas, podendo, de acordo com BOX & DRAPER (1967), ser assim descrita:

$$y = f(X_1, X_2, \dots, X_k).$$

Dentro da região caracterizada por esses níveis, a avaliação estatística das farinhas extrusadas foi procedida pela fórmula:

$$y = 0 + X_1X_1 + X_2X_2 + X_3X_3 + \beta_{11}X_1^2 + \beta_{22}X_2^2 + \beta_{33}X_3^2 + \beta_{12}X_1X_2 + \beta_{13}X_1X_3 + \beta_{23}X_2X_3 + \varepsilon$$

onde:

y = variável dependente ou função resposta.

0 = constante (interseção do plano com o eixo resposta).

X₁ = temperatura do processo.

X₂ = teor de umidade (%) da amostra.

X₃ = velocidade do parafuso (rev/min).

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

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

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

ε = erro experimental.

O modelo matemático de superfície de resposta pelo qual cada variável dependente foi tratada envolveu, portanto, termos lineares e quadráticos, além de termos de interação das 3 variáveis independentes.

GIOVANNI (1983) afirmou ser a RSM um método mais eficiente do que os demais na otimização de um produto, porque essa metodologia: 1- descreve como as variáveis independentes em teste influenciam na resposta; 2- determina a interação entre as variáveis em teste; 3- descreve o efeito combinado de todas as variáveis em teste sobre a resposta.

A aplicação da Metodologia de Superfície de Resposta no estudo dos efeitos do processamento por extrusão de leguminosas e outros vegetais representa uma técnica vantajosa, e isso fica bastante evidente nos trabalhos de DAS *et al.* (1992), BATISTUTI *et al.* (1991), SEFA-DEDEH & STANLEY (1979) e ALVAREZ-MARTINEZ *et al.* (1988), dentre outros.

3.2.2.3 Justificativa da adoção do modelo estatístico

Num experimento, a estratégia de mudar uma variável de cada vez nem sempre dá a melhor resposta porque tacitamente assume que o valor ótimo de uma variável é independente da outra. Geralmente isto não é verdadeiro. A Metodologia de Superfície de Resposta, no entanto, trata-se de uma metodologia estatística que permite descobrir o conjunto de variáveis do processo que dará ao produto as especificações desejadas. Permite saber, também, como essas variáveis afetam o resultado esperado. Determina, além disso, os valores de variáveis do processo que darão um rendimento máximo para uma resposta específica. Com a Superfície de Resposta, portanto, é possível identificar como as variáveis afetam a resposta, determinar a inter-relação entre elas e descrever o efeito combinado de todas as variáveis na resposta (MATARAZZO, s.d.).

Os delineamentos experimentais mais comuns são fatoriais de 2^n e 3^n , onde 2 e 3 correspondem ao número de níveis e “n” é o número de variáveis ou fatores. As funções que geralmente representam esses experimentos são modelos de primeira ou de segunda ordem, respectivamente (MATARAZZO, s.d.).

Dentro desta concepção, o processamento das farinhas de feijão caupi obedeceria a um delineamento fatorial incompleto 3^n , precisamente 3^3 , o qual estaria também consubstanciado no modelo descrito por BOX & BEHNKEN (1960).

Na verdade, a maioria dos experimentos de Superfície de Resposta de segunda ordem ou utiliza o delineamento central composto rotacional, em que cada variável independente possui 5 níveis ($-\alpha$, -1, 0, +1, $+\alpha$), ou o delineamento proposto por BOX-BEHNKEN (1960), em que cada variável independente possui 3 níveis (-1, 0, +1).

O delineamento central composto rotacional, por sua vez, é constituído por:

A - Pontos fatoriais de 2 níveis (número de pontos = 2^n , em que “n” é o número de fatores). Os níveis dos fatores codificados são ± 1 .

B - Pontos axiais que, no delineamento composto, são chamados de “pontos estrela”. São pontos axiais a uma distância α do ponto central e têm como coordenadas $(\pm \alpha, 0, \dots, 0)$, $(0, \pm \alpha, \dots, 0)$, ..., $(0, \dots, 0, \pm \alpha)$. O número de pontos é $2 \times n$.

C - Pontos centrais que são repetições do ponto central $(0, \dots, 0)$. Esses pontos centrais têm duas finalidades: fornecer n-1 graus de liberdade para estimar o erro experimental, e determinar a medida de falta de ajuste (MATARAZZO, s.d.)

De acordo com ARTEAGA *et al.* (1994) um delineamento central composto rotacional para duas, três ou quatro variáveis deve conter um mínimo de $2^N + 2N + 1$ pontos ou experimentos, quando “N” for o número de variáveis. Segundo ainda os autores, os experimentos definidos por esses pontos compreendem 2^N pontos fatoriais, $2N$ pontos axiais ou pontos estrela, mais um ou mais pontos no centro do delineamento.

O presente estudo, comportando esses três pontos, teve assim 8 (2^3) pontos fatoriais codificados em ± 1 , e 6 (2×3) pontos axiais codificados em $\pm \alpha$. Arbitrou-se a adoção de 6 pontos centrais ou 6 repetições no ponto central, totalizando assim 20 ensaios para cada variável dependente.

Identificados como variáveis independentes, os parâmetros temperatura do processo, umidade da matéria prima e velocidade do parafuso do extrusor foram codificados em cinco diferentes níveis $(-\alpha, -1, 0, +1, +\alpha)$ de acordo com as Tabelas 9 e 10, e definidos pela fórmula:

$$x_i = \frac{X_i - \bar{X}_i}{\Delta X_i}, \text{ onde:}$$

x_i = valor codificado da variável X_i

X_i = valor real da variável.

$\bar{X}_i$ = valor real da variável no ponto central.

ΔX_i = valor do intervalo de variação de X_i .

No delineamento central rotacional composto de segunda ordem $-\alpha$ e $+\alpha$ representam dois níveis axiais de variação codificados, em que o valor de α depende do número fatorial do delineamento (F) e da quantidade de variáveis independentes (k), sendo o seu valor definido pela equação:

$$\alpha = (F)^{1/k}$$

Como $F = 2^k$, vem que $\alpha = (2^k)^{1/k}$.

E como $k = 3$, temos que $\alpha = (2^3)^{1/3} = (8)^{1/3} = 1,682$.

Então, no caso, $F = 8$ e α variará de $-1,682$ a $+1,682$.

O valor real das variáveis independentes no ponto central ($\bar{X}_i$) do delineamento foi estipulado com base principalmente nos melhores resultados obtidos por diversos pesquisadores nacionais e estrangeiros que estudaram os efeitos da extrusão termoplástica sobre a farinha de feijões dos gêneros *Vigna* e *Phaseolus*. O valor adotado para o ponto central do modelo estatístico com relação a umidade da farinha crua de caupi foi 23%, para a velocidade do parafuso foi 140 rpm, e para a temperatura de processamento foi 150° C.

Ensaio preliminares tiveram que ser realizados para testar se o limite inferior e o limite superior de cada variável independente selecionada compreendiam exequibilidade de processamento.

A variável que mais necessitou ter sua faixa de viabilidade de uso previamente testada foi a umidade. Com efeito, testes preliminares de extrusão ratificaram a viabilidade da adoção da faixa de umidade da matéria-prima nos limites inferior de 18% e superior de 28%. Evitou-se, tanto quanto possível, a ocorrência dos inconvenientes resultantes de uma baixa umidade (problemas de compactação da farinha na entrada do extrusor, desuniformidade do fluxo, variações altas de torque, travamento do parafuso com conseqüente paralisação do processo), citados pela literatura, notadamente por VILELA (1983). Evitaram-se, igualmente, os inconvenientes de uma umidade excessiva (difícil adição de água na farinha, alta formação de grumos e alimentação irregular do extrusor durante o processamento).

A temperatura de processamento também mereceu atenção especial. Foi adotado para o ponto central dessa variável um valor que além de se apresentar compatível com a literatura, seu limite superior (184° C) não representasse uma temperatura caracterizada como extrema e altamente danosa para os princípios termolábeis da matéria-prima.

Uma vez determinado o valor real de cada variável independente no ponto central, foi calculado o valor real (X_i) das variáveis propriamente dito aplicando-se a fórmula

$$x_i = \frac{X_i - \bar{X}_i}{\Delta X_i}$$

O valor do intervalo de variação de X_i (ΔX_i) foi arbitrado em 3 para a umidade, e em 20 para a temperatura e também para a velocidade do parafuso. Desta forma, no caso da umidade, o cálculo do valor real (X_i) da variável, considerando os níveis axiais de variação codificados $-\alpha$ e $+\alpha$, empregando a fórmula acima, compreendeu

$$x_i = \frac{X_i - 23}{3}, \text{ ou}$$

$$\pm 1,682 = \frac{X_i - 23}{3}$$

$$\text{onde } \bar{X}_i \simeq 18 \text{ e } X_i' \simeq 28$$

Portanto, para a umidade, $-\alpha$ (limite inferior) foi considerado $\simeq 18$, enquanto $+\alpha$ assumiu o valor de $\simeq 28$ (Tabela 9).

A mesma linha de raciocínio foi adotada para o cálculo de $-\alpha$ e $+\alpha$ da temperatura de processamento e da velocidade do parafuso, assim como para o cálculo do valor real (X_i) de todas as variáveis independentes nos níveis codificados (x_i) 1 e -1.

O pacote estatístico SAS® (1985), de propriedade do SAS Institute Incorporation, foi utilizado no tratamento estatístico dos resultados das análises e determinações dos extrusados. Para a construção de modelos de regressão quadráticos de superfície de resposta utilizou-se uma programação do SAS® denominada PROC RSREG. A programação PROC GLM (General Linear Models) foi utilizada para encontrar modelos lineares gerais através do método dos mínimos quadrados. Com o uso da PROC GLM também é possível, inclusive, o desenvolvimento de regressão

simples, múltipla e polinomial. A interpretação dos resultados foi levada a efeito com ajuda de literatura especializada complementar (ALVES, s.d.; BARROS NETO *et al.*, 1995).

Usou-se o Teste F na avaliação da significância do modelo estatístico, que foi realizada por análise de variância (ANOVA). Observou-se a significância da regressão e da falta de ajuste (lack of fit) em relação a 95 % ($p \leq 0,05$) de confiança e analisou-se, também, o coeficiente de determinação (R^2).

Um modelo considerado pela literatura especializada como ideal ou preditivo para cada resposta ou variável dependente necessita apresentar uma regressão significativa ao nível de 95 % de confiança, o que equivale a uma alta confiabilidade e a um resíduo irrelevante. Deve igualmente possuir boa significância ($p \leq 0,05$) e um coeficiente de determinação (R^2) maior ou igual que 70 %, além de um coeficiente de variação (C.V.) menor que 20 %. Para BARROS NETO *et al.* (1995), quanto maior for o valor de R^2 , ou seja, quanto mais o seu valor se aproximar de 100 % (ou 1,00), melhor terá sido o ajuste do modelo aos dados experimentais observados.

Usualmente se espera que um modelo, ao nível 95 % de confiança, apresente não somente uma regressão significativa, como também uma falta de ajuste não-significativa.

No entanto, é perfeitamente possível um modelo apresentar uma regressão significativa ($p \leq 0,05$), um alto coeficiente de determinação (R^2), porém uma falta de ajuste do resíduo significativa.

Foi para uma situação como essa que HENIKA (1978), em comunicação pessoal a WASZCZYNSKYJ *et al.* (1981) sugeriu analisar o quadrado médio do erro puro ou erro experimental. Se o quadrado médio desse erro exibir valores extremamente baixos, o teste de significância para falta de ajuste, nesse caso, será considerado irrelevante. Para calcular o F da regressão WASZCZYNSKYJ *et al.* (1981) sugeriram, no entanto, a repetição dos cálculos da análise de variância usando-se o quadrado médio da falta de ajuste, ao invés do quadrado médio do resíduo. Em outras palavras, esses autores sugeriram o cálculo de uma ANOVA modificada para a confirmação da significância da regressão, o que foi adotado, em algumas situações, neste trabalho. Usou-se nessa ANOVA modificada a programação do SAS® PROC GLM, retirando-se os termos não-significativos e colocando-se os termos significativos a um nível de 5 % de probabilidade.

Houve situações em que o coeficiente de determinação apresentou um valor abaixo de 70 %. Um valor baixo de R^2 como esse não deve ser usado com fins preditivos, mas sim como indicador de tendência. Quando esse valor caiu abaixo de 40 % no modelo ajustado, utilizou-se o modelo completo.

O reajuste do modelo, eliminando-se em alguns casos os termos não-significativos, permitindo se chegar ao delineamento da melhor equação de regressão para cada variável dependente, também foi procedido pelo pacote estatístico SAS®.

A elaboração dos gráficos tridimensionais de superfície de resposta deu-se com base na equação de cada regressão reajustada e compreendeu para cada variável dependente (resposta) a alternância de duas das três variáveis independentes.

Foram elaborados gráficos bi e tridimensionais através do programa Statistica for Windows, Versão 5.0, para representar o efeito das variáveis independentes sobre as variáveis dependentes, fixando-se geralmente a velocidade do parafuso no ponto central, visto que foi este um dos fatores que na maior parte dos experimentos o que menos influenciou na resposta.

Tabela 8 Valores das variáveis independentes para efeito de análise das superfícies de resposta

Fatores/Níveis de variação	$-\alpha$	-1	0	+1	$+\alpha$	Cód.
Variáveis independentes:						
Temperatura (2ª e 3ª zona) (°C)	116	130	150	170	184	X1
Umidade (%)	18	20	23	26	28	X2
Velocidade do parafuso (rpm)	106	120	140	160	174	X3

Tabela 9 Delineamento experimental utilizado nos ensaios de extrusão da farinha integral de feijão caupi

Ensaio	Variáveis independentes					
	Codificação			Valor real		
	x ₁	x ₂	x ₃	X1 (°C)	X2 (U%)	X3 (rpm)
01	-1	-1	-1	130	20	120
02	1	-1	-1	170	20	120
03	-1	1	-1	130	26	120
04	1	1	-1	170	26	120
05	-1	-1	1	130	20	160
06	1	-1	1	170	20	160
07	-1	1	1	130	26	160
08	1	1	1	170	26	160
09	0	0	0	150	23	140
10	0	0	0	150	23	140
11	0	0	0	150	23	140
12	0	0	0	150	23	140
13	0	0	0	150	23	140
14	0	0	0	150	23	140
15	- α	0	0	116	23	140
16	+ α	0	0	184	23	140
17	0	- α	0	150	18	140
18	0	+ α	0	150	28	140
19	0	0	- α	150	23	106
20	0	0	+ α	150	23	174

CONVENÇÃO: X1 = Temperatura de processamento.
X2 = Umidade da matéria prima
X3 = Velocidade do parafuso.

3.2.3 Processamento da farinha integral do feijão caupi

Foi efetuado de acordo com o fluxograma abaixo (figura 10). As farinhas extrusadas, secadas por 24 horas a 45° C, e novamente moídas, foram acondicionadas em embalagens de vidro e estocadas à temperatura ambiente, ao abrigo da luz.

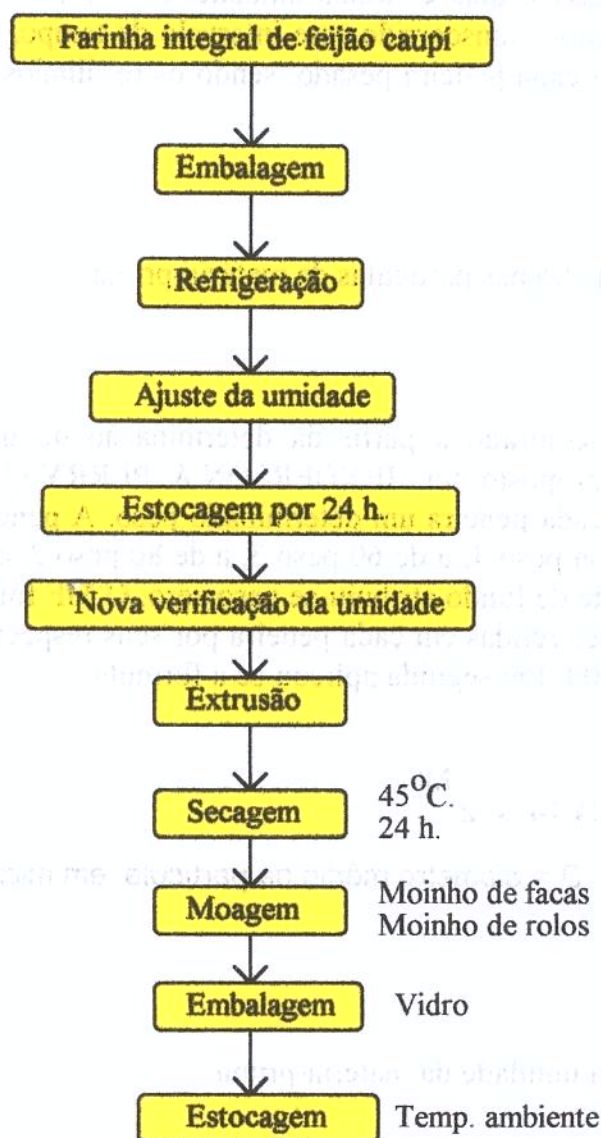


Figura 10 Fluxograma do processamento por extrusão da farinha integral do feijão caupi

3.2.4 Determinações físicas e químicas

3.2.4.1 Granulometria da matéria-prima

A farinha integral de feijão caupi devidamente homogeneizada foi submetida a agitação constante durante 30 minutos em um conjunto de peneiras do aparelho PRODUTEST o qual continha unidades de 16, 40, 60, 80 e 100 Mesh, além do recipiente de fundo. Transcorrido esse intervalo de tempo, a agitação foi cessada e o material retido em cada peneira pesado, sendo os resultados calculados na forma de percentagem.

3.2.4.2 Diâmetro médio das partículas da matéria-prima

Foi encontrado a partir da determinação do módulo de finura (MF), através do método proposto por HENDERSON & PERRY (1976), que atribui para o material retido em cada peneira um determinado peso. A peneira de 16 Mesh recebeu peso 5, a de 40 Mesh peso 4, a de 60 peso 3, a de 80 peso 2, e a de 100 Mesh recebeu peso 1. Ao recipiente de fundo atribuiu-se peso zero. O MF foi encontrado somando-se o produto das frações retidas em cada peneira por seus respectivos pesos, e dividindo-se o resultado por 100. Em seguida aplicou-se a fórmula

$$D = 104,14 \times 2^{\frac{MF}{100}}$$

onde: D = diâmetro médio da partícula, em micrômetro

3.2.4.3 Correção da umidade da matéria-prima

Antes de cada ensaio de extrusão as amostras de farinha integral tiveram sua umidade ajustada de acordo com as indicações do delineamento estatístico. Essa

correção se deu mediante adição lenta de água destilada à farinha, com auxílio de uma bureta, cuja quantidade foi calculada pela equação:

$$Y = \frac{(U_f - U_i) P_a}{100 - U_f}$$

onde:

Y = quantidade de água a ser adicionada à farinha (mL).

U_f= umidade final (desejada) da farinha.

U_i= umidade inicial da farinha.

P_a= peso da amostra de farinha em teste.

As amostras foram homogeneizadas num misturador planetário de pequeno porte e em seguida acondicionadas em sacos de polietileno de baixa densidade para então serem submetidas a refrigeração por 24 horas a fim de se conseguir uma umidade uniforme. Após esse período de tempo a umidade foi mais uma vez determinada, desta feita com o auxílio de aparelho de infra-vermelho, para verificar se o valor desejado foi realmente alcançado. Após a devida correção da umidade as amostras estavam em condições de ser submetidas ao processamento por extrusão. O teor de umidade foi determinado também nas farinhas extrusadas, após a secagem a 45° C por 24 horas.

3.2.4.4 Cor

A variação da cor ocorrida na farinha crua de feijão caupi após o processo de extrusão foi medida através de um colorímetro portátil MINOLTA modelo TE020, que mede as cores nos sistemas (Y,x,y), (L,C,H^a), (X,Y,Z), (L a b HUNTER) e (L* a* b* CIELAB), sendo este último o sistema escolhido.

Também conhecido como CIELAB, trata-se na atualidade de um dos mais populares sistemas utilizados na medição da cor de objetos, sendo largamente usado em virtualmente todos os campos. É considerado um dos sistemas uniformes definidos pela CIE em 1976 com o fim de reduzir um dos principais problemas do sistema original (Yxy): iguais distâncias no diagrama de cromaticidade x,y não correspondiam à iguais diferenças de cor percebidas. No sistema L* a* b* CIE, “L”

significa luminosidade, enquanto a^* e b^* são as coordenadas de cromaticidade. A Figura 11 mostra uma representação sumária do diagrama de cromaticidade a^* e b^* , enquanto as Figuras 12 e 13 mostram uma representação detalhada. Nos diagramas, a^* e b^* indicam a direção das cores: $+a^*$ é a direção do vermelho, $-a^*$ é a direção do verde, $+b^*$ é a direção do amarelo, e $-b^*$ é a direção do azul. O centro é acromático.

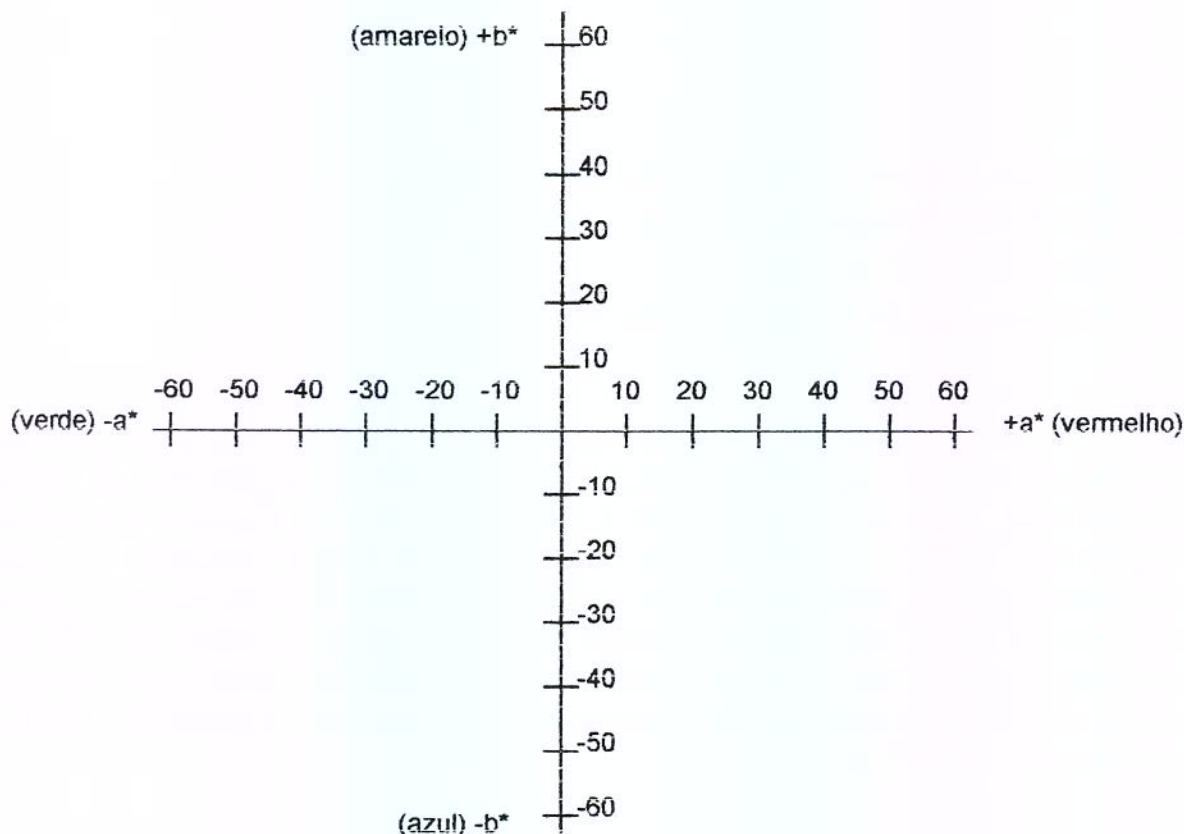


Figura 11 Representação esquemática do diagrama de cromaticidade a^* e b^*

A Figura 12 representa uma representação da cor sólida para o sistema de cor $L^* a^* b^*$, enquanto que a Figura 13 é uma vista desse sólido seccionado horizontalmente considerando-se constante um valor para " L ". Quando se mede a cor de uma determinada amostra usando-se o sistema de cores $L^* a^* b^*$ obtém-se determinados valores. Para saber a que cor esses valores representam, primeiramente plotou-se os valores de a^* e b^* no diagrama $a^* b^*$ da Figura 13 para se obter o ponto que mostra a cromaticidade da amostra (MINOLTA Co. Ltd., 1993).

A diferença de cor (ΔE) entre as farinhas extrusadas e a farinha crua foi definida pela expressão

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2},$$

onde:

$$\Delta L = L_O - L_e$$

$$\Delta a = a_O - a_e,$$

$$\Delta b = b_O - b_e, \text{ sendo:}$$

o = índice utilizado para a farinha crua,

e = índice utilizado para as farinhas extrusadas,

L = intensidade da luz no sistema de cor $L^* a^* b^*$ CIE,

a = eixo verde-vermelho no sistema de cor $L^* a^* b^*$ CIE

b = eixo azul-amarelo no sistema de cor $L^* a^* b^*$ CIE

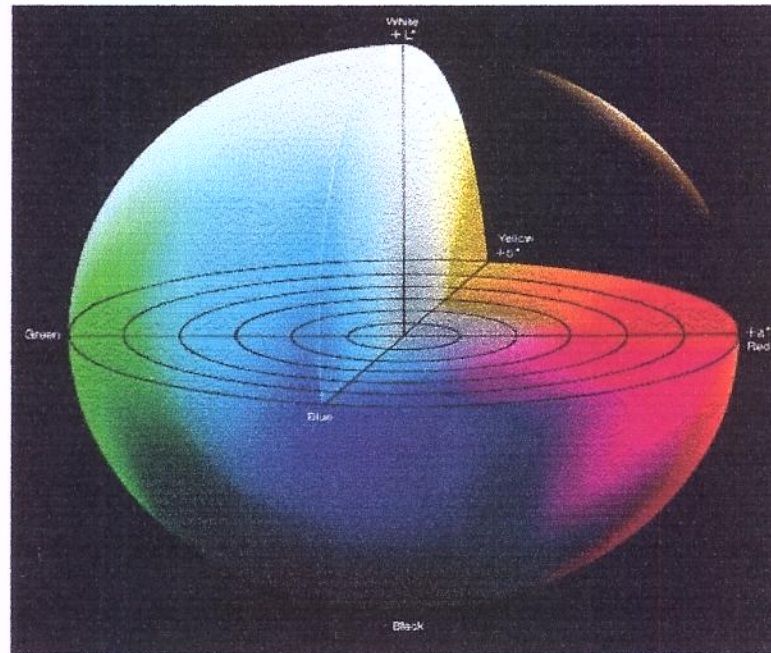


Figura 12 Representação da cor sólida no sistema de cor $L^* a^* b^*$.
(Minoita Co., Ltd., 1993)

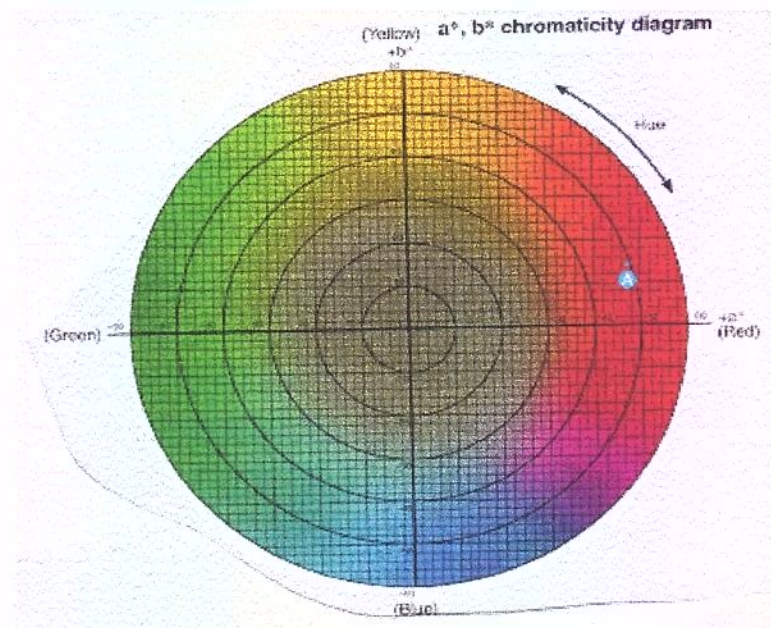


Figura 13 Sólido do sistema de cor $L^* a^* b^*$ (seção horizontal).
(Minoita Co. Ltd., 1993)

- 3.2.4.5 Proteína bruta (% nitrogênio total x 6,25): Foi determinada na matéria-prima e nos produtos extrusados pelo método AACC 46-13, 1995 (micro Kjeldahl).
- 3.2.4.6 Lipídeos totais: Foram determinados na matéria-prima pelo método proposto por BLIGH & DYER (1959).
- 3.2.4.7 Cinzas. O teor foi determinado na matéria-prima por incineração em mufla a 550° C até peso constante, através do método AACC 08-01, 1995.
- 3.2.4.8 Umidade: Foi determinada na matéria-prima e nos produtos extrusados através de dessecação em estufa a 103° C até peso constante, de acordo com o método AACC 44-15A (1995).
- 3.2.4.9 Carboidratos: Foi determinado o teor de carboidratos totais na matéria-prima, por diferença {100 - (% umidade - % lipídios - % proteínas - % cinzas)}.
- 3.2.4.10 Fibra bruta: Foi determinada na matéria-prima pelo método proposto por VAN DE KAMER, 1952.

3.2.5 Determinação das características nutricionais da matéria-prima e dos produtos extrusados

3.2.5.1 Determinação dos aminoácidos totais por hidrólise ácida

Foi realizada nas farinhas crua e processadas pelo método de SPACKMAN *et al.* (1958) tendo como ponto de partida a hidrólise ácida com HCl 6N, a vácuo, durante 22h à temperatura de 110° C, exceção para o triptofano, destruído na hidrólise ácida. A determinação foi realizada em um analisador DIONEX DX 300 com coluna de troca iônica e derivatização pós-coluna com ninidrina. Pesou-se o equivalente a 25 mg de proteína de cada amostra e hidrolisou-se com 10 mL do HCl 6N. Após a hidrólise ácida das amostras procedeu-se a filtração em membrana de 0,22 μ . Transferiu-se o filtrado para um balão volumétrico, completando-se o volume com água microfiltrada (Milli Q). Uma alíquota do hidrolisado diluído foi levada à secagem em rotavapor e redissolvida em tampão (diluyente) de pH 2,2 marca Pickering. Posteriormente, uma alíquota de 25 μ L foi injetada no analisador para separação dos aminoácidos, usando-se como referência solução padrão de aminoácidos Pierce.

3.2.5.2 Determinação da lisina disponível

Realizada pelo método proposto por KAKADE & LIENER (1969), baseia-se na especificidade que o ácido 2, 4, 6- trinitrobenzenosulfônico (TNBS) possui de reagir com grupos ϵ -amino livres da proteína, formando o trinitrofenil lisina (TNP- Lys), de coloração intensa, que é hidrolisado. Após a extração com éter do sub-produto amarelo, a lisina é medida espectrofotometricamente em 346 nm. Nessa determinação tomou-se o cuidado de utilizar éter de boa qualidade a fim de se evitar os inconvenientes citados por MIRANDA (1998). Esse inconvenientes estão relacionados com a propriedade que o TNBS possui de reagir tanto com os grupos ϵ -amino da lisina, como com os grupos α -amino dos aminoácidos N-terminais. Esses últimos geram, no final da reação a 120° C em autoclave, os α -TNP aminoácidos, que podem ser extraídos com éter etílico, enquanto os grupos ϵ -amino da lisina geram o trinitrofenil lisina (TNP-Lys) que permanece na fase aquosa para posterior determinação espectrométrica. Caso não se utilize um éter com bom critério de pureza, os α -TNP aminoácidos não serão eliminados satisfatoriamente.

3.2.5.3 Determinação colorimétrica do triptofano

Foi procedida pelo método de CONTRERAS & LAPA (1989). Baseia-se na propriedade que o triptofano possui de reagir com a antrona em meio ácido, na presença de Fe^{+2} e Fe^{+3} . O complexo colorido formado absorve fortemente a 545 nm e é estável por várias horas. Os autores apontam como grande vantagem deste método o fato da determinação poder ser realizada na própria proteína, sem necessidade de hidrólise alcalina ou enzimática, apenas sendo necessária a dissolução das proteínas em NaOH.

3.2.5.4 Digestibilidade *in vitro*

Foi avaliada nas farinhas crua e extrusadas pelo método proposto por AKESON & STAHPMAN (1964). Utilizou-se o sistema enzimático pepsina-

pancreatina e o percentual de digestibilidade de cada amostra encontrou-se pela fórmula:

$$D \% = \frac{Nd - Nba - Nbe}{Nt - Nba} \times 100$$

onde:

D % = percentual de digestibilidade.

Nd = teor de nitrogênio total (amostra + sistema enzimático) do hidrolisado expresso em mg/50 mL.

Nbe = teor de nitrogênio liberado pela autodigestão do sistema pepsina-pancreatina expresso em mg/50 mL do hidrolisado correspondente.

Nba = teor de nitrogênio total do hidrolisado da amostra incubada sem o sistema pepsina-pancreatina

Nt = teor de nitrogênio total da alíquota de farinha de feijão caupi utilizada expresso em mg.

O nitrogênio total do hidrolisado contido nas amostras de feijão caupi que foram incubadas juntamente com o sistema pepsina/pancreatina (Nd), assim como o nitrogênio total do hidrolisado das amostras incubadas sem as enzimas (Nba), e o nitrogênio resultante somente da autodigestão do sistema enzimático (Nbe), foram determinados através do método micro-Kjeldahl aplicando-se a fórmula:

$$\frac{(HCl_{am} - HCl_{bco}) \times NR_{HCl} \times 14,007 \times 50}{10}$$

onde:

HCl_{am} = quantidade de HCl (mL) gasta para a titulação da amostra

HCl_{bco} = quantidade de HCl (mL) gasta para a titulação do branco.

NR HCl = normalidade real (corrigida) do HCl.

14,007 = constante usada quando se trabalha com mL.

50 = referente a 50 mL (volume de partida)

10 = alíquota da amostra utilizada no método micro-Kjeldahl.

3.2.6 Avaliação das características tecnológicas e funcionais da matéria-prima e do produto extrusado

3.2.6.1 Densidade

Foi determinada em todas as amostras de farinha pela fórmula proposta por DAS *et al.* (1992):

$$\rho_0 = M (1 - W/100) / V - M (W/100), \text{ onde,}$$

ρ_0 = densidade aparente da amostra de farinha.

M = peso líquido da farinha, não compactada, dentro de um recipiente considerado.

W = teor de umidade (%) da farinha em teste.

V = volume total (capacidade em cm^3) do recipiente considerado. Equivale à massa de água (M) que o recipiente pode suportar sem transbordar, levando em conta ainda a densidade da água (D) igual a $1 \text{ g} / \text{cm}^3$ e usando a fórmula: volume (V) = massa (M) / densidade (D), onde a massa (M) de água fica numericamente igual a seu volume (V).

A farinha em teste foi deixada cair lentamente no recipiente através de um funil de vidro preso a um suporte. A extremidade inferior do funil distava aproximadamente 15 cm da borda do recipiente em uso (placa de alumínio) que, uma vez bastante cheio, teve o seu conteúdo bem nivelado com a borda, com o auxílio de uma régua. Os resultados da determinação da densidade aparente foram expressos em g / cm^3 .

3.2.6.2 Taxa de expansão dos extrusados (TE)

Foi determinada pelo método de FAUBION & HOSENEY (1982), que consiste na divisão do diâmetro da amostra pelo diâmetro da matriz utilizada no equipamento extrusor. Para cada tratamento, considerou-se como TE a média aritmética de dez medições realizadas ao longo das superfícies mais uniformes dos

extrusados, com um paquímetro de precisão marca MITUTOYO. A avaliação da TE foi efetuada antes da secagem das farinhas extrusadas em estufa por 24 horas a 45° C.

3.2.6.3 Dureza dos extrusados

A resistência à ruptura ou textura dos extrusados foi avaliada através de um texturômetro (Texture Analyser) modelo TA-XT2 acoplado a um microcomputador, com as seguintes especificações:

Força máxima	= 25 Kg.
Sensibilidade de força	= 1,0 g.
Velocidade descendente do cabeçote	= 5,0 cm/min.
Sensibilidade de distância	= 0,0025 mm.

Subdividiram-se as amostras dos extrusados em pedaços de 30 mm de comprimento, as quais foram devidamente acomodadas na plataforma (base) do texturômetro. As amostras foram então submetidas a ação de uma faca retangular medindo 12,0 X 7,0 cm, do próprio instrumento, que se deslocou de cima para baixo, atingindo-as e rompendo-as. A força necessária para romper cada amostra foi automaticamente registrada no computador e ao final dos testes considerou-se, para cada ensaio de extrusão, a média aritmética de dez leituras da força de ruptura das amostras correspondentes.

3.2.6.4 Índice de absorção de água (IAA)

Foi determinado pelo método de ANDERSON *et al.*, (1969), que consiste na dispersão da amostra em água a 30° C, seguida de agitação por 30 minutos e centrifugação. O "IAA" é a relação entre o peso do resíduo e o peso seco da amostra, do qual se subtrai o peso do resíduo de evaporação do sobrenadante. Foi expresso pela equação:

$$IAA = \frac{PRC}{PA - PRE}$$

onde:

IAA = índice de absorção de água.

PRC = peso do resíduo de centrifugação (g).

PA = peso da amostra (base seca) (g).

PRE = peso do resíduo de evaporação do sobrenadante (g).

3.2.6.5 Índice de solubilidade em água (ISA)

Foi determinado pelo método de ANDERSON *et al.* (1969), que expressa a relação entre o peso do resíduo de evaporação e o peso seco da amostra, através da fórmula:

$$ISA = \frac{PRE}{PA} \times 100$$

onde:

ISA = índice de solubilidade em água.

PRE = peso do resíduo de evaporação (g).

PA = peso seco da amostra (g).

3.2.7 Cálculo dos escores químicos com base na análise de aminoácidos

Os escores químicos foram calculados com base nos aminoácidos considerados essenciais que se encontravam disponíveis no hidrolisado da digestão protéica das amostras crua e processadas. O objetivo do cálculo foi o de estabelecer

aminoácido correspondente de uma proteína tomada como referência, e que se denominou proteína padrão. Atualmente, entre os padrões de referência de bastante aceitação no cálculo de escores químicos encontram-se aqueles que correspondem aos perfis recomendados pela FAO/WHO/UNU (1985). Segundo essa entidade esses padrões são: 1- proteína do ovo integral, da carne e do leite; 2- requerimentos para recém-nascidos (crianças de 2 a 3 meses), crianças de 2 a 5 anos, adolescentes (10 a 12 anos) e adultos. No presente trabalho a comparação foi estabelecida tomando-se como padrão a proteína do ovo integral, além dos requerimentos para crianças de 2 a 5, e de 10 a 12 anos, através da fórmula

$$EQ = \frac{\text{g de aminoácido} / 100 \text{ g da proteína teste}}{\text{g de aminoácido} / 100 \text{ g da proteína padrão}} \times 100$$

onde:

EQ = escore químico

Através do cálculo do escore de cada aminoácido essencial foi possível se estabelecer qual o que se caracterizou como fator limitante (escore químico mais baixo).

3.2.8 Cálculo do valor nutritivo da proteína

Consistiu em se determinar o PDCAAS (Protein Digestibility - Corrected Amino Acid Scoring), ou seja, o escore químico corrigido pela digestibilidade protéica. Calculou-se então o valor nutritivo da proteína através do método de HENLEY & KUSTER (1994), que relaciona o escore químico com a digestibilidade verdadeira, e também através de método de PETZKE *et al.* (1997), que associa o mesmo escore químico com a digestibilidade *in vitro*. Através dos Regulamentos de Nutrição da FOOD AND DRUG ADMINISTRATION (FDA), edição 1993, Apêndice B, obteve-se o valor de 79 % para a digestibilidade verdadeira do caupi. A fórmula para se encontrar o valor nutritivo da proteína foi:

$$\text{PDCAAS (\%)} = \frac{\text{digestibilidade protéica} \times \text{EQ do aminoácido essencial}}{100}$$

onde:

PDCAAS = escore químico corrigido pela digestibilidade protéica.

EQ = escore químico.

Segundo HENLEY & CUSTER (1994), o método do PDCAAS começou a ser recomendado a partir de 1989 por um comitê de peritos consultores em avaliação da qualidade protéica da FAO/OMS e leva em conta três parâmetros importantes: o perfil de aminoácidos essenciais das proteínas do alimento em estudo, a digestibilidade dessas proteínas, e a capacidade que essas mesmas proteínas possuem de fornecer amino ácidos essenciais nas quantidades necessárias ao ser humano.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA PRIMA

4.1.1 Análise granulométrica da farinha crua integral

Procedida com o auxílio de agitador de peneiras PRODUTEST apontou o seguinte resultado (Tabela 10):

Tabela 10 Granulometria da farinha crua Integral de feijão caupi variedade EPACE-10

Mesh (ABNT)	Abertura (mm)	Tara (g) peneira	Amostra + Peneira (g)	Material retido (g)	% Retenção
16	1,19	525,25	525,25	-	-
40	0,42	434,01	434,49	0,48	3,14
60	0,250	392,50	394,58	2,08	13,59
80	0,177	397,26	404,04	6,78	44,32
100	0,149	414,56	417,27	2,71	17,71
fundo	(papel)	3,89	7,14	3,25	21,24

4.1.2 Módulo de Finura e diâmetro médio de partícula

O módulo de finura (MF) e o diâmetro médio de partícula (D), calculados pelo método descrito em 3.2.4.2., foi:

$$MF = \frac{0 \times 5 + 3,14 \times 4 + 13,59 \times 3 + 44,32 \times 2 + 17,71 \times 1 + 21,24 \times 0}{100}$$

logo, MF = 1,60 micrômetro.

O diâmetro médio da partícula da farinha crua acusou um valor de 315,7 μm , o que a tornou viável para o processamento por extrusão.

4.1.3 Composição química da farinha crua integral

A composição centesimal da farinha integral da espécie de feijão caupi estudada é vista na Tabela 11. O teor de proteína constatado ratifica a posição que essa leguminosa desfruta perante a comunidade científica de todo o mundo de excelente fonte desse nutriente. De um modo geral, os resultados obtidos da análise da composição centesimal da matéria-prima se aproximam bastante dos resultados encontrados pelos pesquisadores brasileiros MAFRA (1979) e COELHO (1986), expostos na Tabela 6. Isto representa um bom indício de que o feijão caupi produzido no Brasil, especialmente nas regiões Centro-Oeste e Nordeste, possui uma composição química bastante similar. O teor lipídico encontrado de aproximadamente 1,5 % é compatível com os resultados anunciados por pesquisadores nacionais e estrangeiros, assim como o teor de cinzas (em torno de 3,5 %). O teor de fibra bruta de 4,68 % detectado na matéria-prima coincide com o valor encontrado por MOHAN & JANARDHANAN (1993), e está dentro da faixa detectada por FASHAKIN & OJO (1988). Um teor protéico mais elevado foi encontrado por pesquisadores estrangeiros que estudaram espécies melhoradas do caupi, embora os resultados de suas análises tenham sido expressos em base úmida.

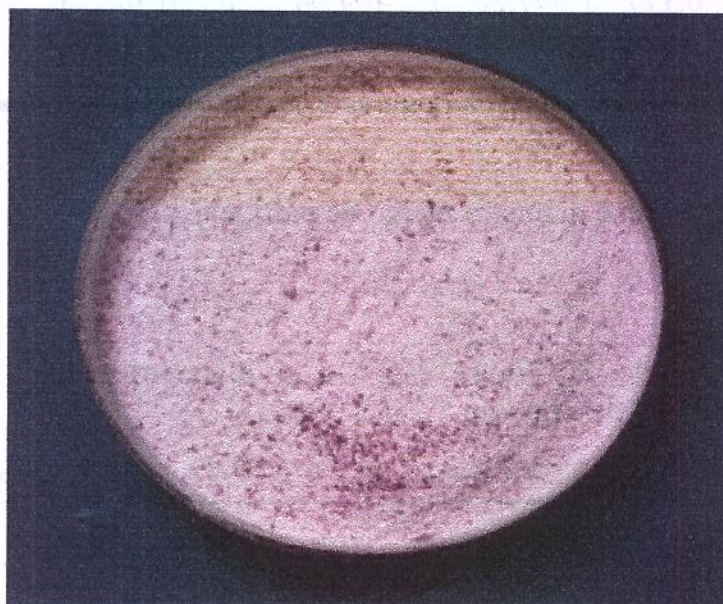


Figura 14 Farinha crua integral do feijão caupi cultivar EPACE-10

Tabela 11 Composição da farinha integral do feijão caupi cultivar EPACE-10 (*)

Discriminação	%
Umidade	11,37
Proteína bruta (% N x 6,25)	20,96
Lípídeos totais	1,57
Cinzas	3,27
Carboidratos totais (por diferença)	62,83

(*) - média de 3 determinações.

4.2 AVALIAÇÃO FÍSICO QUÍMICA DOS PRODUTOS EXTRUSADOS

4.2.1 Aspecto geral dos extrusados

A Figura 15 permite a constatação visual de alguns resultados obtidos instrumentalmente na análise dos produtos, como expansão radial e cor. É possível se constatar que quanto maior foi a temperatura de processamento, maior foi a tendência da expansão radial dos extrusados de diminuir. Com relação a cor dos extrusados, esta tendeu a se mostrar mais escura às temperaturas mais baixas de processamento. A ilustração mostra que é possível se obter extrusados de diversas taxas de expansão radial, assim como de várias intensidades de coloração marrom ou parda, variando-se os parâmetros de extrusão.

4.2.2 Cor dos extrusados

As farinhas de caupi EPACE-10 processadas às mais altas temperaturas aparentaram ter produzido extrusados de uma coloração marrom muito menos intensa que aquelas processadas às mais baixas temperaturas, sem levar em conta o teor de umidade da matéria-prima e a velocidade do parafuso. Este fato pode ser explicado pela elevação da pressão no interior do cilindro do equipamento extrusor que ocorre quando a temperatura das segunda e terceira zonas é elevada, acelerando a descarga pela matriz, encurtando o tempo de residência e reduzindo consequentemente a

exposição do alimento ao calor. Nesse caso, as reações de Maillard não seriam muito favorecidas, e bem assim a formação de melanoidinas que conferem uma coloração escura aos produtos.

Não fica invalidada com esse fato a afirmativa de CHEFTEL (1986), segundo a qual as reações de Maillard são favorecidas às elevadas temperaturas (acima de 180° C), visto que segundo esse autor é necessário uma combinação de alta temperatura com um baixo teor de umidade (aquém de 15 %) para que esse favorecimento se concretize. As farinhas que foram extrusadas à temperatura de 150° C e à 23% de umidade da matéria-prima resultaram em produtos de coloração menos escura e, portanto, de maior luminosidade (L^*) que aquela que encerrava o menor teor de umidade (18 %). Isto evidencia que sob teores mais altos de umidade da farinha crua de caupi as reações de Maillard ocorreram dentro de uma intensidade menor durante o processo.

Figura 15 Aspectos gerais dos extrusados de acordo com as diversas condições de processamento

CONDIÇÕES DE PROCESSAMENTO				APARÊNCIA	CONDIÇÕES DE PROCESSAMENTO				APARÊNCIA
TEMP. (°C)	UMID. (%)	VEL. (RPM)			TEMP. (°C)	UMID. (%)	VEL. (RPM)		
116	23	140			150	23	174		
130	20	120			150	28	140		
130	20	160			170	20	120		
130	26	120			170	20	160		
130	26	160			170	26	120		
150	18	140			170	26	160		
150	23	106			184	23	140		
150	23	140							

A medição instrumental da cor dos extrusados através de um Colorímetro portátil MINOLTA (Tabela 12) indica uma confirmação dos resultados constatados sensorialmente. O componente L^* (lightness) se refere à luminosidade e varia de 100 (cem) para superfícies perfeitamente brancas, até 0 (zero) para o preto. Isto significa que quanto mais alto for o valor de L^* detectado, mais tendente a clara se apresentará a amostra em estudo. O componente a^* , por sua vez, mede a quantidade de vermelho, quando positivo, cinza quando zero, e verde quando negativo. O componente b^* mede a quantidade de amarelo, quando positivo, cinza, quando zero, e azul quando negativo.

Nas medições de cor não foi constatado nenhum componente a^* ou componente b^* com valor negativo. A amostra de farinha crua de caupi processada a 150° C, porém contendo o mais baixo teor de umidade (18 %), acusou um mais alto ΔL exibindo, conseqüentemente, uma coloração menos escura.

Os resultados da variação da luminosidade ficam mais bem visualizados observando-se a coluna da variação de cor (ΔE) da Tabela 12, já que este item é obtido pela junção da variação da luminosidade, variação no componente a^* e variação no componente b^* . Observa-se que uma maior ΔE foi constatada para as amostras de farinha crua que foram processadas contendo maiores teores de umidade (26 e 28%) e temperaturas mais elevadas (150 - 170° C). Extrusados que tiveram uma menor diferença de cor em relação à matéria-prima foram, conseqüentemente, aqueles processados sob condições suaves ou moderadas de temperatura e umidade. Extrusados obtidos sob essas condições teriam uma melhor aceitação perante diversos grupos de consumidores, caso ficasse constatada a preferência destes por produtos mais claros.

A análise estatística dos resultados da luminosidade (L^*) pelo pacote estatístico SAS® (PROC RSREG) das amostras de farinha de feijão caupi mostrou um elevado coeficiente de determinação (R^2 explicando 84,75 % das respostas), e um reduzido coeficiente de variação (2,95 %). Indicou também que não ocorreu falta de ajuste do resíduo no modelo proposto (Anexo 01). O nível de significância total do modelo (Prob > F) alcançou um valor de 0,4782, portanto bem maior que 0,05 ($p > 0,05$), indicando dessa forma um resíduo pequeno (não-significativo).

O alto valor constatado para o coeficiente de determinação da luminosidade (L^*) das amostras permitiu, consubstanciando-se em BARROS NETO *et al.* (1995), a afirmativa de que o modelo adotado ajustou-se da melhor forma aos dados experimentais observados, podendo o mesmo ser considerado preditivo para descrever essa variável dependente dentro da região analisada.

A equação que descreve as características da luminosidade (L^*) dos extrusados, incluindo os termos significativos e não-significativos ao nível de 5% de significância, na região considerada, pode ser visualizada examinando-se a Tabela 13. Nessa Tabela constatou-se que no nível de significância considerado a velocidade do

parafuso não influenciou na luminosidade dos produtos. O mesmo ocorreu com relação à diferença de cor, cujos termos significativos e não-significativos ao nível de 5% de significância são vistos na Tabela 14.

Tabela 12 Alterações na cor da farinha crua após o processamento por extrusão

ENSAIO	VARIÁVEIS			PARÂMETROS DE COR (SISTEMA CIELAB)						
	T(°)	U(%)	RPM	L*	a*	b*	ΔL	Δa	Δb	ΔE
*	*	*	*	84,40	+ 0,74	+11,06	-	-	-	-
01	130	20	125	63,25	+ 5,45	+18,38	21,15	4,71	7,32	22,87
02	170	20	125	60,02	+ 8,70	+23,69	24,38	7,96	12,63	28,59
03	130	26	125	58,71	+ 7,35	+19,73	25,69	6,61	8,67	27,91
04	170	26	125	55,04	+10,26	+23,92	29,36	9,52	12,86	33,44
05	130	20	155	62,58	+ 5,64	+18,34	21,82	4,90	7,28	23,52
06	170	20	155	61,10	+ 8,47	+24,06	23,30	7,73	13,00	27,78
07	130	26	155	58,42	+ 7,11	+19,53	25,98	6,37	8,47	28,06
08	170	26	155	54,10	+10,22	+23,66	30,30	9,48	12,60	34,16
09	150	23	140	62,82	+ 5,48	+17,56	21,58	4,74	6,50	23,03
10	150	23	140	58,95	+ 7,17	+20,58	25,45	6,43	9,52	27,92
11	150	23	140	62,30	+ 5,50	+18,44	22,10	4,76	7,38	23,78
12	150	23	140	60,15	+ 6,58	+19,99	24,25	5,84	8,93	26,49
13	150	23	140	63,14	+ 4,94	+18,36	21,26	4,20	7,30	22,87
14	150	23	140	59,94	+ 7,01	+21,54	24,46	6,27	10,48	27,34
15	116	23	140	67,25	+ 4,33	+16,46	17,15	3,59	5,40	18,33
16	184	23	140	63,38	+ 7,86	+25,98	21,02	7,12	14,92	26,79
17	150	18	140	59,03	+ 6,72	+22,23	25,37	5,98	11,17	28,36
18	150	28	140	54,22	+ 9,85	+23,66	30,18	9,11	12,60	33,95
19	150	23	106	59,11	+ 6,51	+20,49	25,29	5,77	9,43	27,60
20	150	23	174	61,60	+ 6,02	+20,40	22,80	5,28	9,34	25,20

CONVENÇÃO:

(*) - Farinha crua de feijão caupi.

ΔL - Variação na luminosidade da farinha extrusada em relação à farinha crua.

Δa - Variação no componente "a*".

Δb - Variação no componente "b*".

ΔE - Variação na cor da farinha de feijão caupi extrusada determinada pela fórmula

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}.$$

Tabela 13 Coeficientes da equação de regressão para a luminosidade (L^*) das farinhas extrusadas de caupi

PARÂMETRO	COEFICIENTES	SIGNIFICÂNCIA
Interseção	61,30	0,0000
X_1	-1,40	0,0151
X_2	-2,10	0,0014
X_3	0,25	0,6188
$X_1 * X_1$	1,11	0,0384
$X_2 * X_1$	-0,41	0,5283
$X_2 * X_2$	-1,96	0,0019
$X_3 * X_1$	0,14	0,8310
$X_3 * X_2$	-0,21	0,7507
$X_3 * X_3$	-0,64	0,2016

Tabela 14 Coeficientes da equação de regressão para a diferença de cor (ΔE) dos extrusados

PARÂMETRO	COEFICIENTES	SIGNIFICÂNCIA
Interseção	25,19	0,0000
X_1	2,62	0,0006
X_2	2,21	0,0020
X_3	-0,24	0,6568
$X_1 * X_1$	-0,63	0,2510
$X_2 * X_1$	0,20	0,7727
$X_2 * X_2$	2,41	0,0009
$X_3 * X_1$	-0,11	0,8760
$X_3 * X_2$	0,13	0,8567
$X_3 * X_3$	0,73	0,1908

A exemplo da luminosidade (L^*), as coordenadas de cromaticidade a^* e b^* , como também o componente “diferença de cor dos extrusados (ΔE)”, apresentaram no modelo significância a nível de 5 %, não acusaram falta de ajuste, e o quadrado médio do erro experimental mostrou-se pequeno para todas essas quatro respostas. Em assim sendo, procedeu-se a um ajuste do modelo pelo pacote estatístico SAS® (PROC GLM), cujos resultados estão apostos na Tabela 15. O objetivo foi o de se chegar a um modelo ajustado e, portanto, mais adequado para descrever as características da região em estudo. Foram eliminados nessa nova análise os termos não-significativos e incluídos apenas os termos significativos ao nível de 5 % de probabilidade.

Tabela 15 Modelo de regressão e análise de variância para cor e diferença de cor dos extrusados.

ATRIBUTO	EQUAÇÃO AJUSTADA (*)	R ² (%)	C.V.(%)
LUMINOSIDADE	$\hat{y} = 60,7 - X_1 - 2,11 X_2 + 1,18 X_1^2 - 1,89 X_2^2$	80,61	2,71
COMPONENTE "a"	$\hat{y} = 6,42 + 1,32 X_1 + 0,87 X_2 + 0,93 X_1^2$	82,97	10,99
COMPONENTE "b"	$\hat{y} = 20,09 + 2,59 X_1 + 1,11 X_2^2$	83,86	5,35
DIFERENÇA DE COR	$\hat{y} = 25,26 + 2,62 X_1 + 2,21 X_2 + 2,40 X_2^2$	81,73	6,88

(*). Modelo incompleto com variáveis e valores codificados. Valores significativos ao nível de 5% de significância ($p \leq 0,05$).

CONVENÇÃO:

X_1 = temperatura de processamento.

X_2 = umidade da matéria prima

R^2 = coeficiente de determinação

C.V. = coeficiente de variação.

$\hat{y}$ = função resposta.

O gráfico tridimensional de superfície de resposta da luminosidade (L^*) enquadra-se em um tipo cuja representação caracteriza-se por um assim chamado “ponto de sela” da superfície encontrada (Figura 16). Uma breve observação nesse tipo de gráfico mostra que, a depender da direção do movimento a partir do ponto estacionário, a resposta (no caso, a luminosidade) pode aumentar ou diminuir. A região de menor resposta ocorreu para teores intermediários de umidade da matéria-prima e de temperatura de processamento, para uma velocidade do parafuso do extrusor fixada em 140 r.p.m.

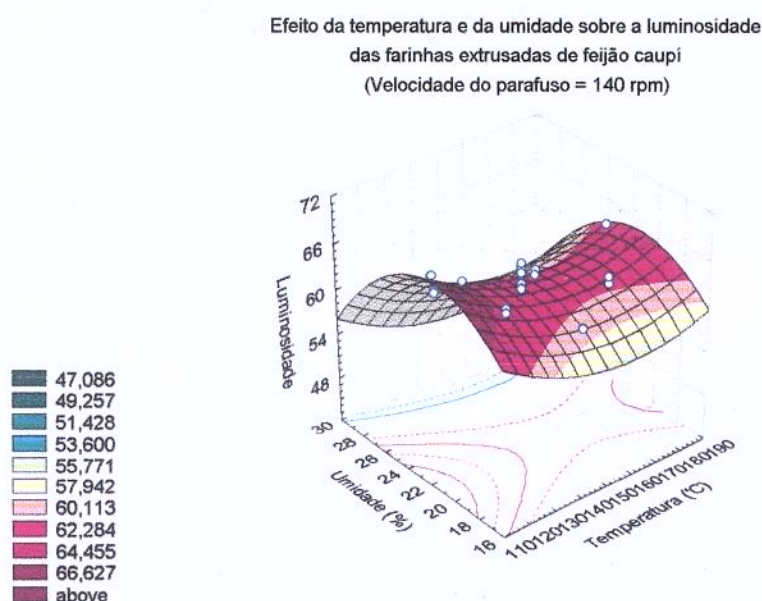


Figura 16 Efeito da temperatura de processamento e da umidade da matéria-prima na luminosidade da farinha extrusada

O gráfico tridimensional que mostra o efeito das variáveis de processamento na diferença de cor dos extrusados é visto na Figura 17. Observa-se, por esse gráfico de superfície, que a região de maior resposta ocorreu para os teores de umidade da matéria-prima mais altos, e para as mais elevadas temperaturas, estando a velocidade do parafuso fixada no ponto central (140 r.p.m.).

Efeito da temperatura e da umidade sobre a diferença na cor (DC) das amostras de farinha de feijão caupi extrusadas (velocidade do parafuso =140 rpm)

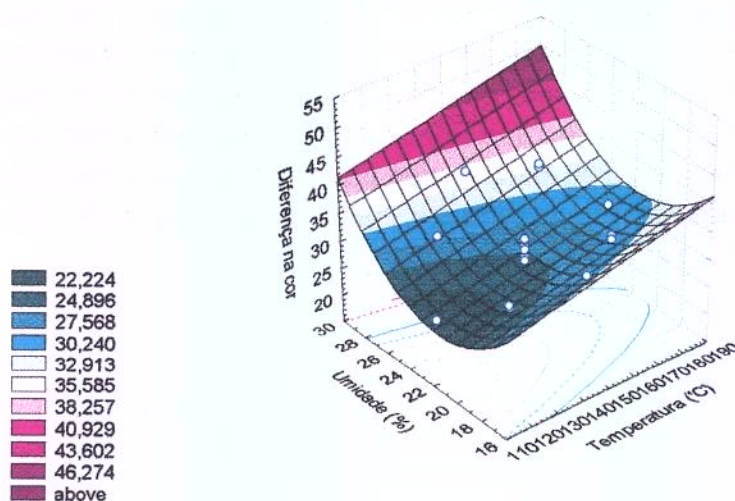


Figura 17 Efeito da temperatura de processamento e da umidade e da matéria-prima na diferença de cor dos extrusados.

4.2.3. Teor protéico dos extrusados.

A farinha integral crua do caupi EPACE-10 apresentou em sua base seca um teor protéico bruto de 23,56 % (Tabela 16). Os dados expressos nessa Tabela indicam que durante o processamento por extrusão não ocorreu uma perda significativa de material protéico da matéria-prima. Todas as determinações acusaram um teor em torno de 25,5 % para esse componente, expresso em sua base seca, sugerindo que as variáveis independentes em estudo exerceram, efetivamente, um efeito destrutivo praticamente desprezível nesse aspecto. Mostrou igualmente que essa insignificante ação destrutiva se manifestou de maneira aproximadamente uniforme.

Tabela 16 Teor protéico das farinhas de caupi variedade EPACE-10 extrusadas.

ENSAIO	VARIÁVEIS			N (%)	UMID. (%) **	PROTEÍNA BRUTA %	
	T (° C)	U (%)	RPM			B. ÚMID.	B. SECA
	*	*	*	3,3543	11,37	20,96	23,65
01	130	20	120	3,7363	6,94	23,35	25,09
02	170	20	120	3,7165	7,45	23,23	25,10
03	130	26	120	3,7236	7,04	23,27	25,03
04	170	26	120	3,7615	7,40	23,51	25,39
05	130	20	160	3,6828	7,97	23,02	25,01
06	170	20	160	3,7474	7,35	23,42	25,28
07	130	26	160	3,7369	7,15	23,36	25,16
08	170	26	160	3,7978	8,56	23,74	25,96
09	150	23	140	3,7700	8,36	23,56	25,71
10	150	23	140	3,7778	7,37	23,61	25,49
11	150	23	140	3,7663	7,63	23,54	25,48
12	150	23	140	3,7587	8,04	23,49	25,54
13	150	23	140	3,7554	6,79	23,47	25,18
14	150	23	140	3,7977	6,90	23,73	25,49
15	116	23	140	3,7523	6,61	23,73	25,41
16	184	23	140	3,7423	6,93	23,39	25,13
17	150	18	140	3,7498	5,67	23,44	24,85
18	150	28	140	3,7307	6,50	23,32	24,94
19	150	23	106	3,7268	6,86	23,29	25,00
20	150	23	174	3,6937	7,10	23,08	24,84

(*) Farinha crua.

(**) Teor de umidade dos extrusados após 24 horas de secagem em estufa a 45° C (ensaios 1 a 20).

A ausência de considerável diversificação de resultados quanto ao teor protéico total das amostras representou inadequabilidade para avaliação através da Metodologia de Superfície de Resposta.

4.3 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE NUTRICIONAL DAS FARINHAS EXTRUSADAS

4.3.1 Digestibilidade *in vitro*

A digestibilidade *in vitro* encontrada para a farinha crua do feijão caupi EPACE-10, 76,3 %, em base úmida, aproximou-se bastante dos 79 % registrados no Apêndice B de Regulamentos de Nutrição do organismo internacional FOOD AND DRUG ADMINISTRATION (1993), para a digestibilidade verdadeira dessa leguminosa. É igualmente um resultado compatível com os 77,8 % encontrados por PHILLIPS & BAKER (1987), com os 74,1 % achados por ROS & COLLINS (1992) para o grão seco não-cozido, e não se distancia muito dos 81 % constatados por ONIGBINDE & AKINYELE (1989).

Os dados apresentados na Tabela 17 permitem constatar que os incrementos na digestibilidade em decorrência do processamento por extrusão apenas em alguns poucos ensaios ultrapassaram a faixa dos 5 %, o que corrobora a afirmativa de CAMIRE (1991). Este autor colocou que o processamento por extrusão pode efetivamente acentuar a digestibilidade das proteínas através da desnaturação protéica e da inativação de proteases, mas lembrou que nesse caso a melhoria na digestibilidade passível de se detectar é geralmente menor que 5 %. Um percentual um pouco maior (6,26 %) pôde ser constatado em amostras de caupi vermelho fervidas (LAURENA *et al.*, 1987), assim como por ensaios realizados por PHILLIPS & BAKER (1987). Esses últimos acusaram para o caupi extrusado uma elevação de até 8,47 % na digestibilidade, comparando-se com a digestibilidade da farinha crua.

A Tabela 17 permite também visualizar que algumas amostras extrusadas sofreram redução na digestibilidade *in vitro*. Uma maior redução foi constatada na amostra processada à temperatura mais alta (184° C), embora essa mesma amostra apresentasse um teor de umidade intermediário. Nas farinhas extrusadas à 170° C, mas que encerravam um teor de umidade de 20 % (no presente estudo considerado como relativamente baixo), esse efeito negativo na digestibilidade não foi observado. A temperatura mais baixa de processamento (116° C) proporcionou um extrusado com uma discreta melhoria na digestibilidade. As amostras extrusadas que apresentaram um valor na digestibilidade *in vitro* menor que o da matéria-prima estão com os seus valores de redução assinalados com um sinal negativo.

Um decréscimo na digestibilidade protéica *in vitro* em decorrência do emprego de temperaturas mais elevadas foi relatado por ASP & BJÖRCK (1989) e

ONIGBINDE & AKINYELE (1989). PHILLIPS *et al.* (1983b) também fizeram alusão a esse mesmo decréscimo.

No estudo da redução da digestibilidade *in vitro* do feijão caupi quando submetido ao aquecimento, constatado por ONIGBINDE & AKINYELE (1989) e PHILLIPS *et al.* (1983b), os autores consideraram, além da temperatura propriamente dita, o tempo de exposição da matéria-prima ao calor.

Tabela 17 Digestibilidade *in vitro* das farinhas de caupi extrusadas, de acordo com as variáveis de processamento

TESTES	VARIÁVEIS			D (%)*	ELEVAÇÃO/ /REDUÇÃO (%)
	T(°C)	R.P.M.	U(%)		
far. crua				76,31	
01	130	120	20	80,03	4,65
02	170	120	20	79,53	4,05
03	130	120	26	79,86	4,45
04	170	120	26	71,40	- 6,88
05	130	160	20	80,52	5,23
06	170	160	20	79,92	4,52
07	130	160	26	77,87	2,00
08	170	160	26	73,16	- 4,31
09	150	140	23	76,99	0,88
10	150	140	23	78,73	3,07
11	150	140	23	75,68	- 0,83
12	150	140	23	76,08	- 0,30
13	150	140	23	80,19	4,84
14	150	140	23	78,00	2,17
15	116	140	23	77,09	1,01
16	184	140	23	68,39	- 11,58
17	150	140	18	77,28	1,26
18	150	140	28	81,26	6,09
19	150	106	23	79,33	3,81
20	150	174	23	82,20	7,16

Convenção: (*) - Digestibilidade (em porcentagem).

A análise de variância para a digestibilidade *in vitro* através do SAS® (PROC RSREG) acusou um coeficiente de determinação de 73,73 % (Anexo 36), coeficiente este de boa significância para a regressão. Não apresentou falta de ajuste a nível de 5 % de significância e o quadrado médio do erro experimental (2,90) mostrou-se como baixo em relação ao quadrado médio constatado em outras propriedades

nutritivas. Pela inspeção visual da Tabela 18 é possível se delinear a equação de regressão para a digestibilidade *in vitro* incluindo os termos significativos e não-significativos ao nível de 95 % de probabilidade. Observa-se que somente o efeito linear e o efeito quadrático da temperatura de processamento apresentaram significância ao nível de $p \leq 0,05$. Fez-se Anova modificada (Anexo 37) para previsão da resposta na região em estudo, conservando-se apenas esses dois efeitos, o que fez diminuir o coeficiente de determinação para 49,53 %. A equação ajustada para prever a resposta na região considerada é

$$Y = 78,93 - 2,12 X_1 - 1,84 X_1^2$$

Tabela 18 Coeficientes da equação de regressão para a digestibilidade *in vitro* das farinhas extrusadas de feijão caupi

PARÂMETRO	COEFICIENTES	SIGNIFICÂNCIA
Interseção	77,60	0,0000
X ₁	- 2,12	0,0091
X ₂	- 0,81	0,2473
X ₃	0,40	0,5548
X ₁ * X ₁	- 1,68	0,0251
X ₂ * X ₁	- 1,51	0,1090
X ₂ * X ₂	0,63	0,3492
X ₃ * X ₁	0,46	0,6063
X ₃ * X ₂	- 0,14	0,8747
X ₃ * X ₃	1,16	0,1005

A Figura 18 ilustra a representação gráfica tridimensional de superfície de resposta para a digestibilidade *in vitro* das farinhas extrusadas. O exame desse gráfico mostra que, mantendo-se a umidade da matéria-prima inalterada, um valor máximo de digestibilidade *in vitro* é alcançado para um incremento na temperatura de processamento até 150° C. À medida que a temperatura se distancia para mais a partir deste valor, o gráfico aponta para uma tendência na redução na digestibilidade, que será tanto acentuada quanto mais pronunciada for a temperatura do processo.

Digestibilidade in vitro das farinhas de caupi extrusadas
(velocidade do parafuso 140 rpm)

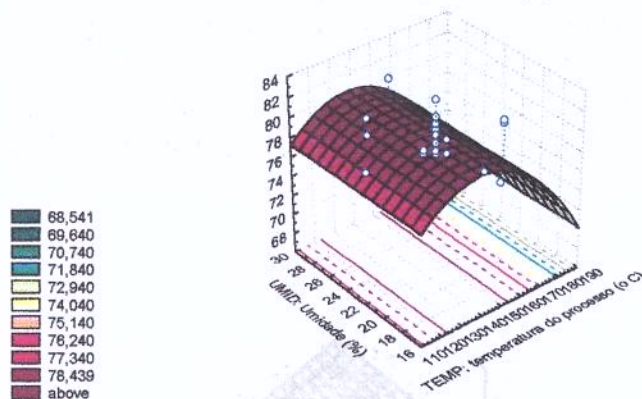


Figura 18 Efeito da temperatura de processamento e da umidade sobre a digestibilidade *in vitro* das farinhas de caupi extrusadas.

4.3.2 Lisina disponível

O teor de lisina disponível dos extrusados é visto na Tabela 19. As amostras de farinha crua de feijão caupi que foram processadas às temperaturas mais elevadas, contendo paralelamente um teor intermediário de umidade (23 %), foram as que apresentaram maior tendência a perda de lisina disponível. A única amostra processada à mais baixa temperatura do delineamento experimental (116° C) foi a que acusou menor perda de lisina disponível, encerrando um teor médio de umidade.

A perda em torno de 55 % no teor de lisina disponível constatada em três amostras extrusadas reflete um percentual elevado, mas que mostra compatibilidade com as opiniões de LEDWARD & TESTER (1994). Esses autores afirmaram que, a depender da severidade do processamento e de outros fatores, a quantidade de lisina disponível, ou seja, daquela lisina que possui o grupo ϵ -amino livre, diminui em mais de 50%. Diversos trabalhos fizeram alusão à perda no teor de lisina disponível em alimentos extrusados pela ação da temperatura de processamento, dentre os quais podem ser citados os de NOGUCHI *et al.* (1982), BJÖRCK *et al.* (1983, 1984 e 1985), e PHAM & DEL ROSARIO (1984b). Esses trabalhos ressaltaram ainda a redução dessa perda como consequência do aumento do teor de água da matéria-prima durante o processamento.

NOGUCHI *et al.* (1982) e NOGUCHI & CHEFTEL (1983), por sua vez, fizeram referência ao efeito nulo que a velocidade do parafuso exerce sobre a variação do teor de lisina disponível do alimento processado por extrusão.

A Figura 19 mostra a representação gráfica de superfície de resposta para o teor de lisina disponível das farinhas processadas. Observa-se que maiores perdas de lisina disponível ocorreram a medida que se elevou a temperatura do processamento e a medida que, paralelamente, se diminuiu teor de umidade da matéria-prima, mantendo-se a velocidade do parafuso do equipamento extrusor em 140 r.p.m.

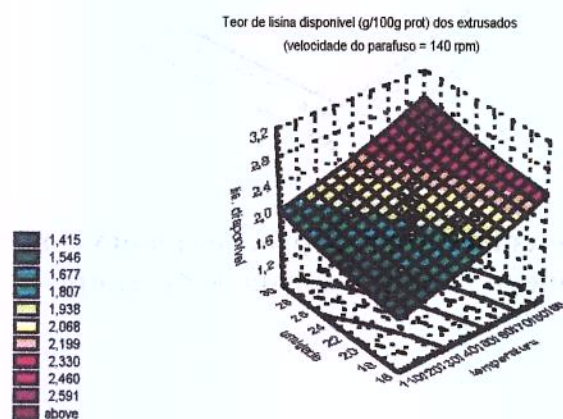


Figura 19. Efeito da temperatura de processamento e da umidade sobre o teor de lisina disponível (g/100 g de prot.) dos extrusados.

Tabela 19 Teor de lisina disponível das farinhas de caupi submetidas a diversos testes de extrusão.

TESTE	VARIÁVEIS			LISINA DISPONÍVEL		PERDA (%) DE LISINA
	T(°C)	U(%)	R.P.M	g/100 g am.	g /100 g prot.	
	*	*	*	1,03	4,91	
01	130	20	120	0,33	1,41	28,72
02	170	20	120	0,42	1,81	36,86
03	130	26	120	0,50	2,15	43,79
04	170	26	120	0,55	2,34	47,66
05	130	20	160	0,62	2,69	54,79
06	170	20	160	0,41	1,75	35,64
07	130	26	160	0,41	1,76	35,84
08	170	26	160	0,67	2,82	57,43
09	150	23	140	0,40	1,70	34,62
10	150	23	140	0,41	1,74	35,44
11	150	23	140	0,47	2,00	40,73
12	150	23	140	0,32	1,36	27,30
13	150	23	140	0,36	1,53	31,16
14	150	23	140	0,57	2,40	48,88
15	116	23	140	0,25	1,05	21,38
16	184	23	140	0,61	2,61	53,16
17	150	18	140	0,52	2,22	45,21
18	150	28	140	0,48	2,06	41,96
19	150	23	106	0,37	1,58	32,18
20	150	23	174	0,34	1,47	29,94

(*) Farinha crua.

A análise de variância do teor de lisina disponível das farinhas extrusadas através do SAS® (PROC RSREG) é mostrada no Anexo 35. A análise revelou um baixo coeficiente de determinação (48,65 %), assim como um elevadíssimo coeficiente de variação. A equação de regressão, cujo modelo completo pode ser visualizado examinando-se a Tabela 20, não se apresenta significativa a nível de 5 % de significância. Em vista desses resultados, o modelo poderá ser usado para analisar a tendência de resposta na região estudada, porém não como fim preditivo.

Tabela 20 Coeficientes da equação de regressão para a lisina disponível das farinhas extrusadas do feijão caupi.

PARÂMETRO	COEFICIENTES	SIGNIFICÂNCIA
Interseção	1,78	0,0000
X ₁	0,24	0,0870
X ₂	0,08	0,5308
X ₃	0,08	0,5364
X ₁ * X ₁	0,07	0,5941
X ₂ * X ₁	0,22	0,2127
X ₂ * X ₂	0,18	0,1845
X ₃ * X ₁	- 0,06	0,7340
X ₃ * X ₂	- 0,14	0,4204
X ₃ * X ₃	- 0,04	0,7626

4.3.3 Perfil de aminoácidos

As Tabelas 23 e 24 mostram o teor total de aminoácidos (g de aminoácido/100 g de proteína) das vinte amostras de farinha crua de caupi (*Vigna unguiculata* (L) Walp) submetidas ao processo de extrusão termoplástica.

O perfil de aminoácidos da farinha crua, como também o das farinhas de caupi variedade EPACE-10 processadas, revelaram um baixo teor de aminoácidos sulfurados, especialmente de metionina, fato este que vem sendo costumeiramente apontado pela literatura especializada para essa espécie de leguminosa (CABEZAS *et al.*, 1982).

O aminograma revelou também um expressivo teor de ácido glutâmico para todas as amostras. Esse significativo teor de ácido glutâmico em materiais protéicos que podem ser facilmente extrusados foi justificado por LEDWARD & TESTER (1994). Esses autores admitiram que nas proteínas nativas resíduos desse aminoácido existem invariavelmente sob a forma amida, e que durante o processo de extrusão é possível ocorrer uma desaminação. Contudo, os autores alertaram que não está claro se a quebra do grupamento amida dos resíduos de ácido glutâmico é devido à produção de amônia a partir desses resíduos, ou se o próprio amino grupo toma parte no escurecimento não-enzimático, ou se é devido a ambas as coisas. Mesmo assim, os

autores admitiram que sistemas fechados de aquecimento, usando-se temperaturas equivalentes àquelas obtidas no interior de um extrusor, acarretam alguma perda de ácido glutâmico ou de resíduos de glutamina.

As Tabelas 23 e 24 mostram igualmente que o processo de extrusão, na maior parte dos ensaios, não afetou consideravelmente o teor total de quase todos os aminoácidos da matéria-prima. A lisina foi um dos pouquíssimos aminoácidos a sofrer redução em seu teor total (somatório da lisina disponível mais lisina não-disponível), devendo esse decréscimo ser atribuído, primordialmente, à termolabilidade do aminoácido. A participação nas reações de Maillard com destruição desse aminoácido, e a formação de ligações cruzadas com outros aminoácidos como alanina, cisteína e ornitina, devem igualmente responder pela redução da lisina total.

Afora a riqueza em ácido glutâmico, mostrada no perfil de aminoácidos, observou-se também um destaque para o teor de leucina, vindo em seguida a prolina, e logo após a alanina e a valina. No cômputo geral, observou-se uma predominância de aminoácidos com a cadeia lateral hidrófila sem carga e de aminoácidos com a cadeia lateral carregada sobre os aminoácidos com a cadeia lateral não-polar ou hidrófoba, o que sugere que a farinha do caupi possui uma boa ou razoável solubilidade em água.

A análise estatística do aminograma através do SAS® (PROC RSEG) mostrou que a maior parte dos aminoácidos apresentou um coeficiente de determinação relativamente baixo (Tabela 21), sugerindo que o modelo estatístico de segunda ordem adotado explicou uma porcentagem igualmente baixa dos resultados, por isso mesmo não podendo ser usado como preditivo. A equação completa de segunda ordem para cada aminoácido é visualizada na Tabela 22.

Em algumas condições de processamento o caupi acusou uma perda superior a 15 % no teor de lisina total, o que no entendimento de CHEFTEL (1986) representa uma perda considerável. Esse autor admitiu que as perdas no teor total desse aminoácido, para se situar dentro de limites aceitáveis, deve permanecer na faixa de 10-15 %. Segundo ainda o autor, esse limite pode ser alcançado ou ultrapassado quando a temperatura de processamento do alimento atinge um valor superior a 180° C e a umidade da matéria-prima situa-se abaixo de 15 %. As temperaturas mais elevadas de processamento implicaram realmente em maior redução do teor total de lisina, sendo que a maior perda constatada foi de 28,6 %, que ocorreu justamente com o uso da mais elevada temperatura de extrusão (184° C). Ao mesmo tempo, uma redução de quase 50 % no teor desse aminoácido foi observada na amostra processada contendo o mais baixo teor de umidade (18%).

A equação completa para a lisina está exposta na Tabela 22 e mostra que, linearmente, existe uma tendência para a redução do teor desse aminoácido quando ocorre um incremento na temperatura do processo (X_1), ao mesmo tempo em que

ocorre uma redução no teor de umidade da matéria-prima (X_2). Os resultados da análise estatística do perfil de aminoácidos (Tabela 21) acusaram para a lisina total um coeficiente de determinação abaixo de 70%, um coeficiente de variação acima de 10%, embora não tenham mostrado uma falta de ajuste significativa ao nível de 5% de significância.

Tabela 21 Resumo da análise estatística (SAS® - PROC RSREG) do perfil de aminoácidos das farinhas de feijão caupi

ANÁLISE DE VARIÂNCIA	AMINOÁCIDO
R^2 relativamente baixo ($\leq 70\%$) C.V. relativamente alto ($\geq 10\%$) Falta de ajuste significativa ($p \leq 0,05$)	Metionina Histidina
R^2 relativamente baixo ($\leq 70\%$) C.V. relativamente baixo ($\leq 10\%$) Não ocorreu falta de ajuste a 5 % prob.	Prolina, glicina Valina, isoleucina Leucina, tirosina Fenilalanina, triptofano Ác. aspártico, treonina Serina, ác. glutâmico Alanina
R^2 relativamente baixo ($\leq 70\%$) C.V. relativamente alto (10 %) Não ocorreu falta de ajuste a 5 % prob.	Lisina
R^2 relativamente alto ($\geq 70\%$) C.V. relativamente baixo ($\leq 10\%$) Não ocorreu falta de ajuste a 5 % prob.	Arginina
R^2 relativamente alto ($\geq 70\%$) C.V. relativamente alto (10 %) Falta de ajuste significativa ($p \leq 0,05$)	Cistina

Tabela 22 Equação de regressão para os aminoácidos das farinhas de feijão caupi após o processo de extrusão (SAS® - PROC RSREG)

AMINOÁCIDO	EQUAÇÃO DE REGRESSÃO (MODELO COMPLETO)
metionina	$1,08 + 0,31 X_1 + 0,38 X_2 + 0,47 X_3 + 0,01 X_1^2 + 0,50 X_2 X_1 + 0,08 X_2^2 + 0,56 X_3 X_1 + 0,64 X_3 X_2 + 0,08 X_3^2$
isoleucina	$4,26 - 0,08 X_1 - 0,05 X_2 + 0,11 X_3 + 0,01 X_1^2 + 0,23 X_2 X_1 - 0,03 X_2^2 - 0,01 X_3 X_2 - 0,03 X_3^2$
leucina	$8,61 - 0,05 X_1 - 0,02 X_2 + 0,14 X_3 - 0,04 X_1^2 + 0,31 X_2 X_1 + 0,03 X_2^2 + 0,03 X_3 X_1 - 0,16 X_3 X_2 + 0,08 X_3^2$
tirosina	$3,02 + 0,06 X_1 + 0,04 X_2 - 0,01 X_1^2 + 0,04 X_2 X_1 + 0,01 X_2^2 - 0,02 X_3 X_1 - 0,09 X_3 X_2 + 0,04 X_3^2$
fenilalanina	$6,38 - 0,01 X_1 - 0,01 X_2 + 0,06 X_3 + 0,22 X_2 X_1 + 0,04 X_2^2 + 0,03 X_3 X_1 - 0,15 X_3 X_2 + 0,09 X_3^2$
lisina	$6,68 - 0,49 X_1 - 0,24 X_2 - 0,07 X_3 + 0,28 X_1^2 + 0,40 X_2 X_1 - 0,42 X_2^2 + 0,15 X_3 X_1 - 0,29 X_3 X_2 + 0,52 X_3^2$
histidina	$3,32 + 0,32 X_1 - 0,26 X_2 - 0,21 X_3 + 0,76 X_1^2 + 0,91 X_2 X_1 + 0,13 X_2^2 + 0,69 X_3 X_1 + 0,44 X_3 X_2 + 0,04 X_3^2$
arginina	$4,40 - 0,29 X_1 - 0,18 X_2 + 0,04 X_3 - 0,14 X_1^2 - 0,04 X_2 X_1 - 0,14 X_2^2 - 0,09 X_3 X_2 + 0,04 X_3^2$
ácido glutâmico	$20,8 - 0,28 X_1 - 0,24 X_2 + 0,08 X_3 - 0,17 X_1^2 + 0,27 X_2 X_1 - 0,07 X_2^2 - 0,03 X_3 X_1 - 0,52 X_3 X_2 + 0,16 X_3^2$
prolina	$6,44 - 0,41 X_1 - 0,09 X_2 + 0,05 X_3 - 0,38 X_1^2 - 0,09 X_2 X_1 - 0,32 X_2^2 - 0,09 X_3 X_1 - 0,26 X_3 X_2 - 0,07 X_3^2$
glicina	$4,74 + 0,02 X_1 - 0,01 X_2 + 0,06 X_3 - 0,03 X_1^2 + 0,10 X_2 X_1 + 0,01 X_2^2 - 0,01 X_3 X_1 - 0,15 X_3 X_2 + 0,03 X_3^2$
alanina	$5,05 - 0,03 X_1 - 0,01 X_2 + 0,07 X_3 - 0,08 X_1^2 + 0,04 X_2 X_1 - 0,03 X_3 X_1 - 0,14 X_3 X_2$
triptofano	$1,75 - 0,02 X_1 + 0,12 X_2 + 0,03 X_3 - 0,05 X_2 X_1 - 0,07 X_2^2 + 0,02 X_3 X_1 - 0,12 X_3 X_2 + 0,04 X_3^2$
ácido aspártico	$14,2 - 0,19 X_1 - 0,04 X_2 - 0,17 X_1^2 + 0,09 X_2 X_1 - 0,05 X_2^2 - 0,01 X_3 X_1 - 0,38 X_3 X_2 + 0,07 X_3^2$
treonina	$4,61 - 0,03 X_1 - 0,01 X_2 - 0,04 X_1^2 + 0,09 X_2 X_1 - 0,02 X_2^2 + 0,03 X_3 X_1 - 0,04 X_3 X_2 + 0,02 X_3^2$
serina	$6,65 - 0,11 X_1 + 0,02 X_2 + 0,02 X_3 - 0,13 X_1^2 + 0,01 X_2^2 - 0,13 X_3 X_2$
cistina	$0,58 - 0,50 X_1 - 0,41 X_2 + 0,22 X_3 + 0,17 X_1^2 + 1,11 X_2 X_1 + 0,16 X_2^2 + 0,18 X_3 X_1 + 0,24 X_3 X_2 + 0,19 X_3^2$
valina	$5,14 - 0,07 X_1 - 0,08 X_2 + 0,17 X_3 - 0,03 X_1^2 + 0,27 X_2 X_1 - 0,05 X_2^2 - 0,01 X_3 X_1 - 0,02 X_3 X_2 - 0,05 X_3^2$

CONVENÇÃO:

X1 = temperatura

X2 = umidade da matéria-prima.

X3 = velocidade do parafuso.

Tabela 23 Perfil de aminoácidos totais (hidrólise ácida) das amostras de farinha integral de caupi (*Vigna unguiculata* (L) Walp) submetidas a diversos testes de extrusão

TESTE	VARIÁVEIS			TEOR TOTAL DE AMINOÁCIDOS (g / 100 g de proteína)								
	T(°C)	U(%)	R.P.M	Asp	Thr	Ser	Glu	Pro	Gly	Ala	Cys2	Val
	*	*	*	12,83	4,47	5,89	18,89	6,13	4,29	4,36	0,51	4,79
01	130	20	120	12,45	4,27	5,65	18,24	5,46	4,06	4,18	0,34	4,59
02	170	20	120	13,40	4,31	6,06	19,65	4,89	4,53	4,73	0,29	4,33
03	130	26	120	13,53	4,21	6,11	19,54	4,89	4,49	4,63	0,36	4,33
04	170	26	120	13,44	4,32	6,18	19,53	4,39	4,66	4,77	0,21	4,63
05	130	20	160	12,81	4,09	5,73	19,00	4,74	4,44	4,53	0,36	4,80
06	170	20	160	13,40	4,29	6,13	19,43	4,61	4,57	4,76	0,30	4,44
07	130	26	160	13,20	4,29	6,21	19,02	6,35	4,34	4,67	0,59	4,81
08	170	26	160	12,85	4,23	5,88	18,94	4,39	4,62	4,69	0,21	4,90
09	150	23	140	13,38	4,40	6,18	19,38	5,97	4,36	4,71	0,65	4,79
10	150	23	140	13,31	4,36	6,21	19,24	5,92	4,41	4,77	0,61	4,91
11	150	23	140	13,26	4,27	6,24	19,24	6,31	4,36	4,65	0,58	4,63
12	150	23	140	13,51	4,39	6,38	19,39	6,20	4,44	4,81	0,65	4,93
13	150	23	140	12,89	4,11	6,22	19,32	6,53	4,32	4,63	0,61	4,72
14	150	23	140	12,86	4,12	5,79	19,22	4,86	4,45	4,54	0,31	4,72
15	116	23	140	12,97	4,16	6,18	19,49	5,77	4,26	4,58	0,64	4,74
16	184	23	140	12,54	4,26	5,78	18,80	5,09	4,30	4,42	0,20	4,89
17	150	18	140	13,18	4,26	6,38	20,07	5,84	4,47	4,83	0,54	5,02
18	150	28	140	13,43	4,45	6,57	19,51	5,50	4,51	4,82	0,32	4,63
19	150	23	106	13,16	4,28	6,22	19,52	6,16	4,29	4,53	0,39	4,37
20	150	23	174	12,84	4,20	6,06	19,40	6,04	4,31	4,63	0,57	4,82

(*) Farinha crua.

Tabela 24 Perfil de aminoácidos totais (hidrólise ácida) das amostras de farinha integral de caupi (*Vigna unguiculata* (L) Walp) submetidas a diversos testes de extrusão (continuação)

TESTE	VARIÁVEIS			TEOR TOTAL DE AMINOÁCIDOS (g / 100 g de proteína)										
	T(°C)	U(%)	R.P.M	Meth	Ileu	Leu	Tyr	Phe	Lys	NH ₃	His	Arg	Trp*	Σ %**
01	***	***	***	0,73	4,14	7,86	2,97	5,96	7,71	1,57	2,83	4,07	-	100,0
02	130	20	120	0,56	3,99	7,63	2,49	5,75	7,62	1,89	6,99	3,85	-	100,0
03	170	20	120	0,69	3,71	7,92	2,85	6,04	6,72	2,28	3,77	3,83	-	100,0
04	130	26	120	0,76	3,71	7,87	2,76	5,98	7,25	2,11	3,49	3,99	-	100,0
05	170	26	120	0,74	3,91	8,17	2,97	6,18	6,34	2,31	3,97	3,27	-	100,0
06	130	20	160	0,55	4,04	8,12	2,64	6,09	7,95	2,23	3,83	4,07	-	100,0
07	170	20	160	0,77	3,74	7,99	2,87	6,11	6,75	2,25	3,79	3,81	-	100,0
08	130	26	160	1,21	4,02	7,95	2,71	5,85	6,22	1,65	2,96	3,98	-	100,0
09	170	26	160	0,67	4,12	8,47	2,80	6,30	6,44	2,23	4,94	3,33	-	100,0
10	150	23	140	1,10	3,93	7,92	2,79	5,84	5,90	1,63	2,97	4,10	-	100,0
11	150	23	140	1,23	4,06	8,01	2,84	5,90	5,61	1,57	3,02	4,03	-	100,0
12	150	23	140	1,16	3,81	7,81	2,62	5,79	6,57	1,84	2,90	3,95	-	100,0
13	150	23	140	1,26	3,85	8,00	2,87	5,87	4,85	1,59	3,06	4,04	-	100,0
14	150	23	140	0,87	4,01	7,95	2,76	5,91	6,75	1,49	2,72	4,19	-	100,0
15	150	23	140	0,56	3,97	8,16	2,81	6,11	7,48	2,05	3,84	4,14	-	100,0
16	116	23	140	0,90	4,02	7,98	2,77	5,89	6,95	1,57	2,89	4,24	-	100,0
17	184	23	140	0,72	4,11	8,00	3,03	6,04	5,89	2,00	6,46	3,50	-	100,0
18	150	18	140	1,19	4,11	8,28	2,86	6,08	4,35	1,49	2,89	4,16	-	100,0
19	150	28	140	0,94	3,89	8,40	3,19	6,32	4,90	1,53	3,28	3,79	-	100,0
20	150	23	106	0,75	3,69	8,03	3,02	6,04	7,14	1,52	2,68	4,22	-	100,0
20	150	23	174	1,20	3,98	8,09	2,91	6,00	6,57	1,45	2,74	4,20	-	100,0

(*) Destruído na hidrólise ácida e determinado à parte pelo método de CONTRERAS & LAPA (1989)

(**) Somatório do percentual dos aminoácidos. (***) Farinha crua de caupi

O triptofano, determinado à parte pelo método CONTRERAS & LAPA (1989), não apresentou sensíveis perdas em seu teor na maioria dos ensaios de extrusão termoplástica, conforme se observa na Tabela 25.

Tabela 25 Teor de triptofano das amostras de caupi submetidas a diversos testes de extrusão

TESTE	VARIÁVEIS			Tryptofano (g/100 g prot.)*
	T(°C)	U(%)	R.P.M	
	*	*	*	1,81
01	130	20	120	1,61
02	170	20	120	1,61
03	130	26	120	1,69
04	170	26	120	1,51
05	130	20	160	1,38
06	170	20	160	1,47
07	130	26	160	1,92
08	170	26	160	1,82
09	150	23	140	1,87
10	150	23	140	1,61
11	150	23	140	1,96
12	150	23	140	1,43
13	150	23	140	2,14
14	150	23	140	1,45
15	116	23	140	1,90
16	184	23	140	1,80
17	150	18	140	1,47
18	150	28	140	1,91
19	150	23	106	1,94
20	150	23	174	2,06

(*) – Farinha crua de caupi

4.3.4 Escore químico

A determinação do escore químico dos aminoácidos essenciais das proteínas do caupi, assim consideradas proteínas-teste, foi efetuada mediante comparação com três padrões distintos: proteína do ovo, requerimentos de aminoácidos essenciais para crianças de 2 a 5 anos, e requerimentos para adolescentes de 10 a 12 anos. Objetivou-se estudar o quanto o valor nutritivo dessas proteínas-teste se distanciou desses padrões, estipulados em 1985 pela FAO/WHO/UNU. HENLEY & CUSTER (1994) chamaram a atenção para a importância da centralização das atenções na faixa etária de 2 a 5 anos, visto tratar-se, segundo os autores, de um período de vida em que, à exceção do infante, as necessidades nutricionais se apresentam bem mais críticas.

Uma comparação sumária entre o teor de aminoácidos essenciais das amostras extrusadas do feijão caupi com os três padrões em perspectiva é visualizada nas Tabelas 26 e 27. É possível se constatar nessas tabelas que em relação a todos os ensaios de extrusão a metionina apresentou uma dotação abaixo das recomendações propostas pelos organismos internacionais. Com efeito, cálculos do escore químico com base em requerimentos para crianças de 2 a 5 anos, levaram a identificação da metionina + cistina como um aminoácido limitante. Mesmo em comparação com uma faixa etária em que os requerimentos protéicos se mostram menos críticos, como o período de idade compreendido entre 10 e 12 anos, a junção metionina + cistina da quase totalidade das amostras extrusadas continuou se caracterizando como quantitativamente deficitária. Os baixos teores de metionina constatados para o caupi no presente estudo confirmaram os resultados divulgados por DEL ROSÁRIO *et al.* (1981), KACHARE *et al.* (1988) e CABEZAS *et al.* (1982), que também detectaram, nessa leguminosa, uma deficiência nesse aminoácido.

As Tabelas 28, 29 e 30 mostram, efetivamente, os escores químicos devidamente calculados de todos os aminoácidos essenciais das amostras extrusadas. Comparando-se com a proteína adotada como referência pela FAO/WHO/UNU (1991), a proteína do ovo, alguns aminoácidos essenciais contidos nas amostras de farinhas extrusadas do caupi cultivar EPACE-10 se aproximaram ou chegaram mesmo a ultrapassar um percentual de adequação (escore) de 100 %. Esses aminoácidos foram leucina, lisina, fenilalanina + tirosina, triptofano, treonina e histidina, principalmente este último, cujo escore mínimo atingido foi em torno de 130 %. Em comparação com a proteína do ovo, isoleucina também se apresentou como um aminoácido limitante. Os aminoácidos com escore químico abaixo de 100% estão com os seus valores expostos com coloração distinta.

Tabela 26 Quadro comparativo sumário do teor de aminoácidos essenciais das farinhas extrusadas de caupi com padrões estipulados internacionalmente

Amino- ácidos	Quantidade (g / 100 g de proteína) de aminoácidos essenciais											PADRÃO FAO/OMS/UNU*			
	CR	ENSAIO										Recomendação (g/100 g prot)			
		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	Ovo	2-5 anos	10-12 anos
Essenciais															
Thr	4,47	4,27	4,31	4,21	4,32	4,09	4,29	4,23	4,40	4,36	4,27	4,70	3,40	2,80	
Val	4,79	4,59	4,33	4,33	4,63	4,80	4,44	4,90	4,79	4,91	4,63	6,60	3,50	2,50	
Ileu	4,14	3,99	3,71	3,91	3,91	4,04	3,74	4,12	3,93	4,06	3,81	5,40	2,80	2,80	
Leu	7,86	7,63	7,92	7,87	8,17	8,12	7,99	8,47	7,92	8,01	7,81	8,60	6,60	4,40	
Lys	7,71	7,62	6,72	7,25	6,34	7,95	6,75	6,44	5,90	5,61	6,57	7,00	5,80	4,40	
Phe + Tyr	8,93	8,24	8,89	8,74	9,15	8,73	8,98	9,10	8,63	8,74	8,41	9,30	6,30	2,20	
Met + ½Cys	1,24	0,90	0,88	1,12	0,95	0,91	1,07	0,88	1,75	1,84	1,74	5,70	2,50	2,20	
Trp	1,81	1,61	1,69	1,51	1,38	1,47	1,92	1,83	1,87	1,61	1,96	1,70	1,10	0,90	
His	2,83	6,99	3,77	3,49	3,97	3,83	3,79	5,20	2,97	3,02	2,90	2,20	1,90	1,90	

(*)- Revisão 1985.

CR = amostra crua (matéria-prima)

Tabela 27 Quadro comparativo sumário do teor de aminoácidos essenciais das farinhas extrusadas de caupi com padrões estipulados internacionalmente (continuação)

Aminoácidos Essenciais	Quantidade (g/100 g proteína) de aminoácidos essenciais										PADRÃO FAO/OMS/UNU(*)		
	ENSAIOS										Recomendação (g/100 g proteína)		
	12	13	14	15	16	17	18	19	20		Ovo	2-5 anos	10-12 anos
Thr	4,39	4,11	4,12	4,16	4,26	4,26	4,45	4,28	4,20		4,70	3,40	2,80
Val	4,93	4,72	4,72	4,74	4,89	5,02	4,63	4,37	4,82		6,60	3,50	2,50
Ileu	3,85	4,01	3,97	4,02	4,11	4,11	3,89	3,69	3,98		5,40	2,80	2,80
Leu	8,00	7,95	8,16	7,98	8,00	8,28	8,40	8,03	8,09		8,60	6,60	4,40
Lys	4,85	6,75	7,48	6,95	5,89	4,35	4,90	7,14	6,57		7,00	5,80	4,40
Phe + Tyr	8,74	8,67	8,92	8,66	9,07	8,94	9,51	9,06	8,91		9,30	6,30	2,20
Met + ½Cys2	1,91	1,48	0,87	1,54	0,92	1,73	1,26	1,14	1,77		5,70	2,50	2,20
Trp	1,44	2,13	1,45	1,90	1,81	1,47	1,91	1,93	2,06		1,70	1,10	0,90
His	3,06	2,72	3,84	2,89	6,46	2,89	3,28	2,68	2,74		2,20	1,90	1,90

(*) - revisão 1985.

Tabela 28 Escore químico dos aminoácidos essenciais das farinhas de caupi (*Vigna unguiculata* (L) Walp) variedade EPACE-10 submetidas a diversos testes de extrusão

TESTE	VARIÁVEIS			ESCORE QUÍMICO								
	T(°C)	U(%)	R.P.M	Thr			Val			Ileu		
				(I)	(II)	(III)	(I)	(II)	(III)	(I)	(II)	(III)
01	130	20	120	95,1	131,5	159,6	73,0	136,9	191,6	76,7	147,9	147,9
02	170	20	120	90,9	125,6	152,5	69,5	131,1	183,6	73,9	142,5	142,5
03	130	26	120	91,7	126,8	153,9	65,6	123,7	173,2	68,7	132,5	132,5
04	170	26	120	89,6	123,8	150,4	65,6	123,7	173,2	68,7	132,5	132,5
05	130	20	160	91,9	127,1	154,3	70,2	132,3	185,2	72,4	139,6	139,6
06	170	20	160	87,0	120,3	146,1	72,7	137,1	192,0	74,8	144,3	144,3
07	130	26	160	91,3	126,2	153,2	67,3	126,9	177,6	69,3	133,6	133,6
08	170	26	160	90,0	124,4	151,1	72,9	137,4	192,4	74,4	143,6	143,6
09	150	23	140	93,6	129,4	157,1	74,2	140,0	196,0	76,3	147,1	147,1
10	150	23	140	92,8	128,2	155,7	72,6	136,9	191,6	72,8	140,4	140,4
11	150	23	140	90,9	125,6	152,5	74,4	140,3	196,4	75,2	145,0	145,0
12	150	23	140	93,4	129,1	156,8	70,2	132,3	185,2	70,6	136,1	136,1
13	150	23	140	87,4	120,9	146,8	74,7	140,9	197,2	71,3	137,5	137,5
14	150	23	140	87,7	121,2	147,1	71,5	134,9	188,8	74,3	143,2	143,2
15	116	23	140	88,5	122,4	148,6	71,8	135,4	189,6	73,5	141,8	141,8
16	184	23	140	90,6	125,3	152,1	74,1	139,7	195,6	74,4	143,6	143,6
17	150	18	140	90,6	125,3	152,1	76,1	143,4	200,8	76,1	146,8	146,8
18	150	28	140	94,7	130,9	158,9	70,2	132,3	185,2	72,0	138,9	138,9
19	150	23	106	91,1	125,9	152,9	66,2	124,9	174,8	68,3	131,8	131,8
20	150	23	174	89,4	123,5	150,0	73,0	137,7	192,8	73,7	142,1	142,1

(*) amostra crua (matéria-prima).

(I) - com base na proteína do ovo (padrão). (II) - com base em requerimentos para crianças de 2 a 5 anos.

(III) - com base em requerimentos para adolescentes de 10 a 12 anos.

Tabela 29 Escore químico dos aminoácidos essenciais das farinhas de caupi (*Vigna unguiculata* (L) Walp) variedade EPACE-10 submetidas a diversos testes de extrusão

TESTE	VARIÁVEIS			ESCORE QUÍMICO								
	T(°C)	U(%)	R.P.M	Leu			Lys			Phe + Tyr		
				(I)	(II)	(III)	(I)	(II)	(III)	(I)	(II)	(III)
01	*	*	*	91,4	119,1	178,6	110,1	132,9	175,2	96,0	141,7	405,9
02	130	20	120	88,7	115,6	173,4	108,9	131,4	173,2	88,6	130,8	374,5
03	170	20	120	92,1	120,0	180,0	96,0	115,9	152,7	95,6	141,1	404,1
04	130	26	120	91,5	119,2	178,9	103,6	125,0	164,8	94,0	138,7	397,3
05	170	26	120	95,0	123,8	185,7	90,6	109,3	144,1	98,4	145,2	415,9
06	130	20	160	94,4	123,0	184,5	113,6	137,1	180,7	93,9	138,6	396,8
07	170	20	160	92,9	121,1	181,6	96,4	116,4	153,4	96,6	142,5	408,2
08	130	26	160	92,4	120,5	180,7	88,9	107,2	141,4	92,0	135,9	389,1
09	170	26	160	98,5	128,3	192,5	92,0	111,0	146,4	97,8	144,4	413,6
10	150	23	140	92,1	120,0	180,0	84,3	101,7	134,1	92,8	137,0	392,3
11	150	23	140	93,1	121,4	182,0	80,1	96,7	127,5	94,0	138,7	397,3
12	150	23	140	90,8	118,3	177,5	93,9	113,3	149,3	90,4	133,5	382,3
13	150	23	140	93,0	121,2	181,8	69,3	83,6	110,2	94,0	138,7	397,3
14	150	23	140	92,4	120,5	180,7	96,4	116,4	153,4	93,2	137,6	394,1
15	150	23	140	94,9	123,6	185,5	106,9	129,0	170,0	95,9	141,6	405,5
16	116	23	140	92,8	120,9	181,4	99,3	119,8	158,0	93,1	137,5	393,6
17	184	23	140	93,0	121,2	181,8	84,1	101,6	133,9	97,5	144,0	412,3
18	150	18	140	96,3	125,5	188,2	62,1	75,0	98,9	96,1	141,9	406,4
19	150	28	140	97,7	127,3	190,9	70,0	84,5	111,4	102,3	151,0	432,3
20	150	23	106	93,4	121,7	182,5	102,0	123,1	162,3	97,4	143,8	411,8
20	150	23	174	94,1	122,6	183,9	93,9	113,3	149,3	95,8	141,4	405,0

* amostra crua (matéria-prima)

(I) - com base na proteína do ovo (padrão). (II)- com base em requerimentos para crianças de 2 a 5 anos.

(III)- com base em requerimentos para adolescentes de 10 a 12 anos.

Tabela 30 Escore químico dos aminoácidos essenciais das farinhas de caupi (*Vigna unguiculata* (L) Walp) variedade EPACE-10 submetidas a diversos testes de extrusão

TESTE	VARIÁVEIS			ESCORE QUÍMICO								
	T(°C)	U(%)	R.P.M	Met + ½ Cys2			Trp			His		
				(I)	(II)	(III)	(I)	(II)	(III)	(I)	(II)	(III)
01	130	20	120	21,8	49,6	56,4	106,5	164,5	201,1	128,6	148,9	148,9
02	170	20	120	15,8	36,0	40,9	94,7	146,4	178,9	317,7	367,9	367,9
03	130	26	120	15,4	35,2	40,0	94,7	146,4	178,9	171,4	198,4	198,4
04	170	26	120	19,6	44,8	50,9	99,4	153,6	187,8	158,6	183,7	183,7
05	130	20	160	16,7	38,0	43,2	88,8	137,3	167,8	180,5	208,9	208,9
06	170	20	160	16,0	36,4	41,4	81,2	125,4	153,3	174,1	201,6	201,6
07	130	26	160	18,8	42,8	48,6	86,5	133,6	163,3	172,3	199,5	199,5
08	170	26	160	31,6	72,0	81,8	112,9	174,5	213,3	134,5	155,8	155,8
09	150	23	140	15,4	35,2	40,0	107,1	166,4	202,2	224,5	260,0	260,0
10	150	23	140	30,7	70,0	79,5	110,0	170,0	207,8	135,0	156,3	156,3
11	150	23	140	32,3	73,6	83,6	94,7	146,4	178,9	137,3	158,9	158,9
12	150	23	140	30,5	69,6	79,1	115,3	178,2	217,8	131,8	152,6	152,6
13	150	23	140	33,5	76,4	86,8	84,1	130,0	158,9	139,1	161,1	161,1
14	150	23	140	26,0	59,2	67,3	125,9	194,5	237,8	123,6	143,2	143,2
15	116	23	140	15,3	34,8	39,5	85,3	131,8	161,1	174,5	202,1	202,1
16	184	23	140	27,0	61,6	70,0	111,8	172,7	211,1	131,4	152,1	152,1
17	150	18	140	16,1	36,8	41,8	105,9	163,6	200,0	293,6	340,0	340,0
18	150	28	140	30,4	69,2	78,6	86,5	133,6	163,3	131,4	152,1	152,1
19	150	23	106	22,1	50,4	57,3	112,3	173,6	212,2	149,1	172,6	172,6
20	150	23	174	20,0	45,6	51,8	114,1	176,4	215,6	121,8	141,1	141,1
				31,1	70,8	80,5	121,2	187,3	228,9	124,5	144,2	144,2

* amostra crua (matéria-prima).

(I) - com base na proteína do ovo (padrão). (II)- com base em requerimentos para crianças de 2 a 5 anos.

(III)- com base em requerimentos para adolescentes de 10 a 12 anos.

4.3.5 Escore químico corrigido pela digestibilidade protéica (PDCAAS)

A FOOD AND DRUG ADMINISTRATION (FDA) em seus Regulamentos de Nutrição datados de 1993 determinou que o método PDCAAS de avaliação da qualidade protéica fosse usado com objetivos de classificação nutricional em todos os produtos alimentícios consumidos não somente por crianças com idade acima de um ano, como também por adultos.

O PDCAAS substituiria então o PER (relação de eficiência protéica), método adotado em muitos países desde 1919 para avaliação da qualidade protéica (HENLEY & CUSTER, 1994). Segundo esses autores, todas as proteínas com um PDCAAS de valor 1,00 (100) são proteínas de alta qualidade e se equivalem em qualidade protéica. São também consideradas proteínas completas e que satisfazem as exigências de aminoácidos essenciais no ser humano. Os autores lembraram, no entanto, que do ponto de vista nutricional, não existe absolutamente nenhuma vantagem em se consumir proteínas com escores maiores que 100, visto que o excesso de aminoácidos não será utilizado pelo organismo como aminoácidos de *per si*. Mesmo assim os autores sugeriram que, ao se calcular o PDCAAS da proteína de um alimento, qualquer escore encontrado acima de 100 deverá ser arredondado para esse valor, para efeito de cálculos finais.

As Tabelas 31, 32 e 33 apresentam valores de escores químicos dos aminoácidos das farinhas de caupi extrusadas corrigidos pela digestibilidade protéica *in vitro*, conforme modelo proposto por PETZKE *et al.* (1997), consubstanciados em AKESON & STAHMANN (1964). Esses últimos demonstraram que o uso da digestibilidade protéica *in vitro* para o cálculo do PDCAAS oferece resultados compatíveis com os métodos *in vivo* quando se trabalha com ratos.

O escore de aminoácidos corrigido pela digestibilidade protéica (PDCAAS) trata-se de um procedimento defendido por BOUTRIF (1991) com o objetivo de conferir melhor exatidão e confiabilidade nos cálculos. Esse mesmo autor também sugeriu a determinação do PDCAAS com base na digestibilidade *in vitro*, ao invés da digestibilidade verdadeira conforme propuseram HENLEY & CUSTER (1994). BOUTRIF (1991) lembrou, no entanto, que essa metodologia baseada na digestibilidade *in vitro* precisa ser aperfeiçoada.

Tabela 31 Escore químico dos aminoácidos das farinhas extrusadas de caupi EPACE-10 corrigido pela digestibilidade *in vitro*

TESTE	VARIÁVEIS			PDCAAS								
	T(°C)	U(%)	R.P.M	Thr			Val			Ileu		
				(I)	(II)	(III)	(I)	(II)	(III)	(I)	(II)	(III)
01	*	*	*	72,6	100,3	121,8	55,7	104,5	146,2	58,5	112,9	112,9
02	130	20	120	72,7	100,5	122,0	55,6	104,9	146,9	59,1	114,0	114,0
03	170	20	120	72,9	100,8	122,4	52,2	98,4	137,7	54,6	105,4	105,4
04	130	26	120	71,6	98,9	120,1	52,4	98,8	138,3	54,9	105,8	105,8
05	170	26	120	65,6	90,7	110,2	50,1	94,5	132,2	51,7	99,7	99,7
06	130	20	160	70,1	96,9	117,6	58,5	110,4	154,6	60,2	116,2	116,2
07	170	20	160	73,0	100,9	122,4	53,8	101,4	141,9	55,4	106,8	106,8
08	130	26	160	71,1	98,3	119,3	56,8	107,0	149,8	57,9	111,8	111,8
09	170	26	160	65,8	91,0	110,5	54,3	102,4	143,4	55,8	107,6	107,6
10	150	23	140	72,1	99,6	121,0	55,9	105,4	147,5	56,0	108,1	108,1
11	150	23	140	73,1	100,9	122,6	58,6	110,5	154,6	59,2	114,2	114,2
12	150	23	140	68,8	95,1	115,4	53,1	100,1	140,2	53,4	103,0	103,0
13	150	23	140	71,1	98,2	119,3	56,8	107,2	150,0	54,2	104,6	104,6
14	150	23	140	70,1	96,9	117,7	57,3	108,2	151,4	59,6	114,8	114,8
15	150	23	140	68,4	94,5	114,7	55,8	105,2	147,3	57,3	110,6	110,6
16	116	23	140	68,2	94,4	114,6	55,4	104,4	146,2	57,4	110,7	110,7
17	184	23	140	62,0	85,7	104,0	50,7	95,5	133,8	52,0	100,4	100,4
18	150	18	140	70,0	96,8	117,5	58,8	110,8	155,2	58,8	113,4	113,4
19	150	28	140	77,0	106,4	129,1	57,0	107,5	150,5	58,5	112,9	112,9
20	150	23	106	72,3	99,9	121,3	52,5	99,1	138,7	54,2	104,6	104,6
	150	23	174	73,5	101,5	123,3	60,0	113,2	158,5	60,6	116,8	116,8

* amostra crua (matéria-prima).

(I) - com base na proteína do ovo (padrão). (II)- com base em requerimentos para crianças de 2 a 5 anos.

(III)- com base em requerimentos para adolescentes de 10 a 12 anos.

Tabela 32 Escore químico dos aminoácidos das farinhas extrusadas de caupi EPACE-10 corrigido pela digestibilidade *in vitro*

TESTE	VARIÁVEIS			PDCAAS								
	T(°C)	U(%)	R.P.M	Leu			Lys			Phe + Tyr		
				(I)	(II)	(III)	(I)	(II)	(III)	(I)	(II)	(III)
01	*	*	*	69,7	90,9	136,3	84,0	101,4	133,7	73,3	108,1	309,7
02	130	20	120	71,0	92,5	138,8	87,2	105,2	138,6	70,9	104,7	299,7
03	170	20	120	73,2	95,4	143,2	76,3	92,2	121,4	76,0	112,2	321,4
04	130	26	120	73,1	95,2	142,9	82,7	99,8	131,6	75,1	110,8	317,3
05	170	26	120	67,8	88,4	132,6	64,7	78,0	102,9	70,3	103,7	297,0
06	130	20	160	76,0	99,0	148,6	91,5	110,4	145,5	75,6	111,6	319,5
07	170	20	160	74,2	96,8	145,1	77,0	93,0	122,6	77,2	113,9	326,2
08	130	26	160	72,0	93,8	140,7	69,2	83,5	110,1	71,6	105,8	303,0
09	170	26	160	72,1	93,9	140,8	67,3	81,2	107,1	71,6	105,6	302,6
10	150	23	140	70,9	92,4	138,6	64,9	78,3	103,2	71,4	105,5	302,0
11	150	23	140	73,3	95,6	143,3	63,1	76,1	100,4	74,0	109,2	312,8
12	150	23	140	68,7	89,5	134,3	71,1	85,7	113,0	68,4	101,0	289,3
13	150	23	140	70,8	92,2	138,3	52,7	63,6	83,8	71,5	105,5	302,3
14	150	23	140	74,1	96,6	144,9	77,3	93,3	123,0	74,7	110,3	316,0
15	150	23	140	74,0	96,4	144,7	83,4	100,6	132,6	74,5	110,4	316,3
16	116	23	140	71,5	93,2	139,8	76,6	92,4	121,8	71,8	106,0	303,4
17	184	23	140	63,6	82,9	124,3	57,5	69,5	91,6	66,7	98,5	282,0
18	150	18	140	74,4	97,0	145,4	48,0	58,0	76,4	74,3	109,7	314,1
19	150	28	140	79,4	103,4	155,1	56,9	68,7	90,5	83,1	122,7	351,3
20	150	23	106	74,1	96,5	144,8	80,9	97,7	128,8	77,3	114,1	326,7
20	150	23	174	77,4	100,8	151,2	77,2	93,1	122,7	78,7	116,2	332,9

(*) amostra crua (matéria-prima).

(I) - com base na proteína do ovo (padrão). (II)- com base em requerimentos para crianças de 2 a 5 anos.

(III)- com base em requerimentos para adolescentes de 10 a 12 anos.

Tabela 33 Escore químico dos aminoácidos das farinhas extrusadas de caupi EPACE-10 corrigido pela digestibilidade *in vitro*

TESTE	VARIÁVEIS			PDCAAS								
	T(°C)	U(%)	R.P.M	Met + ½ Cys2			Trp			His		
				(I)	(II)	(III)	(I)	(II)	(III)	(I)	(II)	(III)
01	130	20	120	16,6	37,8	43,0	81,3	125,5	153,5	98,1	113,6	113,6
02	170	20	120	12,6	28,8	32,7	75,8	117,2	143,2	254,3	294,4	294,4
03	130	26	120	12,2	28,0	31,8	75,3	116,4	142,3	136,3	157,8	157,8
04	170	26	120	15,7	35,8	40,6	79,4	122,7	150,0	126,7	146,7	146,7
05	130	20	160	11,9	27,1	30,8	63,4	98,0	119,8	128,9	149,2	149,2
06	170	20	160	12,9	29,3	33,3	65,4	101,0	123,4	140,2	162,3	162,3
07	130	26	160	15,0	34,2	38,8	69,1	106,8	130,5	137,7	159,4	159,4
08	170	26	160	24,6	56,1	63,7	87,9	135,9	166,1	104,7	121,3	121,3
09	150	23	140	11,3	25,8	29,3	78,4	121,1	147,9	164,2	190,2	190,2
10	150	23	140	23,6	53,9	61,2	84,7	130,9	160,0	103,9	120,3	120,3
11	150	23	140	25,4	57,9	65,8	74,5	115,3	140,8	108,1	125,1	125,1
12	150	23	140	23,1	52,7	59,9	87,3	134,9	164,8	99,7	115,5	115,5
13	150	23	140	25,5	58,1	66,0	64,0	98,9	120,9	105,8	122,6	122,6
14	150	23	140	20,8	47,5	54,0	101,0	156,0	190,7	99,1	114,8	114,8
15	116	23	140	11,9	27,1	30,8	66,5	102,8	125,6	136,1	157,6	157,6
16	184	23	140	20,8	47,5	54,0	86,2	133,1	162,7	101,3	117,3	117,3
17	150	18	140	11,0	25,2	28,6	72,4	111,9	136,8	200,8	232,5	232,5
18	150	28	140	23,5	53,5	60,7	66,8	103,2	126,2	101,5	117,5	117,5
19	150	23	106	18,0	41,0	46,6	91,2	141,1	172,4	121,2	140,3	140,3
20	150	23	174	15,9	36,2	41,1	90,5	139,9	171,0	96,6	111,9	111,9
		23		25,6	58,2	66,2	99,6	154,0	188,1	102,3	118,5	118,5

* amostra crua (matéria-prima).

(I) - com base na proteína do ovo (padrão). (II)- com base em requerimentos para crianças de 2 a 5 anos.

(III)- com base em requerimentos para adolescentes de 10 a 12 anos.

4.4 AVALIAÇÃO TECNOLÓGICA DOS PRODUTOS EXTRUSADOS

As diferentes condições de processamento influenciaram marcadamente na aparência dos extrusados, sobretudo na sua expansibilidade (Figura 17). A cor dos produtos também sofreu uma forte influência dos parâmetros de extrusão, notadamente da temperatura, o mesmo acontecendo com a dureza e a densidade.

4.4.1 Taxa de expansão

A equação para a taxa de expansão dos extrusados, incluindo os termos significativos e não-significativos ao nível de 5 % de significância, pode ser visualizada examinando-se a Tabela 34. Os resultados experimentais dos testes de extrusão são vistos na Tabela 37. As condições de processamento permitiram a obtenção de produtos com os mais diversos perfis de expansibilidade, embora se tenha observado que dentro do nível de significância adotado a velocidade do parafuso não influenciou nessa resposta.

Tabela 34 . Coeficientes da equação de regressão para a taxa de expansão das farinhas extrusadas de caupi.

PARÂMETRO	COEFICIENTES	SIGNIFICÂNCIA
Interseção	2,44	0,0000
X ₁	- 0,48	0,0000
X ₂	- 0,13	0,0683
X ₃	0,03	0,6313
X ₁ * X ₁	- 0,38	0,0001
X ₂ * X ₁	- 0,10	0,2311
X ₂ * X ₂	- 0,31	0,0004
X ₃ * X ₁	- 0,03	0,7393
X ₃ * X ₂	0,05	0,5478
X ₃ * X ₃	- 0,05	0,4018

EL-DASH (1982) admitiu que a expansão acontece como consequência da evaporação da água superaquecida, em virtude da descompressão que o produto sofre ao sair pela matriz. O autor fez alusão a uma relação direta entre a temperatura de processamento e o grau de evaporação. Alertou, no entanto, que temperaturas mais elevadas acarretam o rompimento da estrutura do produto, pois nesse caso a evaporação ocorre de modo violento, não havendo expansão. A taxa de expansão assume importância na medida em que a cocção por extrusão é usada por muitas indústrias para produzir alimentos expandidos tipo “snack”, além de cereais tipo ready-to-eat e pet foods (CHINNASWAMY & HANNA, 1988). Com esse objetivo, o que se busca geralmente é a obtenção de produtos com uma maior taxa de expansão e uma menor dureza (COULTER & LORENZ, 1991; PARK *et al.*, 1993; ABDEL-AAL *et al.*, 1992).

COLONNA *et al.* (1987) admitiram ser o amido o componente chave envolvido no fenômeno da expansão. Para esses autores, o fenômeno ocorre quando o polissacarídeo se encontra a uma temperatura superior à temperatura de transição vítrea, na fase amorfa, na qual os segmentos das cadeias moleculares adquirem uma acentuada mobilidade. Ao ser expelido pela matriz do equipamento extrusor, o material amiláceo fundido é solidificado em consequência da queda de temperatura, estando envolvidos nesse processo a energia de vaporização e o resfriamento do material por condução.

A análise de variância para a taxa de expansão através do SAS® (PROC RSREG) mostrou um coeficiente de determinação (R^2) no valor de 92,82 %, considerado elevado e portanto altamente significativo para a regressão. Mostrou em contrapartida uma falta de ajuste (lack of fit) significativa ($p < 0,05$), conforme se pode visualizar no Anexo 09, e um quadrado médio do erro puro (erro experimental) bastante baixo. Uma falta de ajuste significativa gera dúvidas sobre a utilização do modelo. Em consequência desses resultados, atentou-se para a sugestão que HENIKA (1978) encaminhou através de comunicação pessoal a WASZCZYNSKYJ *et al.* (1981), de considerar irrelevantes os testes de significância para a falta de ajuste. Procedeu-se então a um ajuste do modelo através da ANOVA modificada, usando-se o quadrado médio da falta de ajuste, ao invés do total do resíduo. Os resultados obtidos do ajuste do modelo para a taxa de expansão estão expressos na Tabela 37. Utilizou-se a equação ajustada para prever a resposta na região estudada, e ao procedimento do ajuste do modelo constatou-se que R^2 diminuiu em mais de 5 % em relação ao modelo completo.

A representação gráfica tridimensional de superfície de resposta para a taxa de expansão é vista na Figura 20. Visualiza-se que os valores mais elevados para a expansibilidade dos produtos foram obtidos com teores altos de umidade da matéria-prima e valores intermediários de temperatura de processamento.

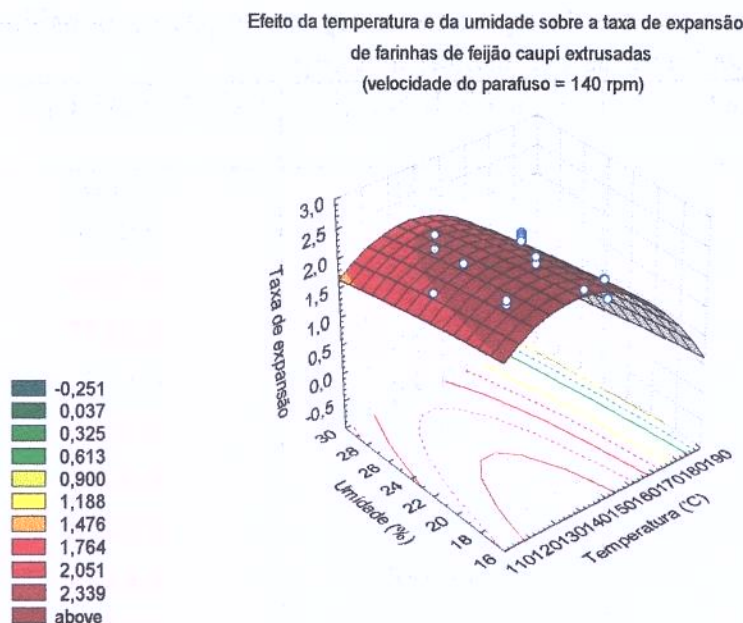


Figura 20. Efeito da temperatura do processo e da umidade sobre a taxa de expansão dos extrusados do feijão caupi.

4.4.2 Densidade

A densidade de um produto representa uma característica importante pois está relacionada com o seu peso e, por extensão, com a maior ou menor facilidade no acondicionamento, transporte e armazenagem.

Os resultados experimentais obtidos para a densidade dos extrusados de caupi estão apostos na Tabela 37. Observa-se que o processamento por extrusão acarretou uma discreta redução na densidade da maior parte dos produtos, exceção para o tratamento que compreendeu um processamento à temperatura mais drástica.

A análise estatística dos resultados da densidade (Anexo 13), realizada pelo pacote estatístico SAS® (PROC RSREG), mostrou que na equação de regressão (exposta separadamente na Tabela 34) somente os efeitos linear e quadrático da temperatura apresentaram significância a nível de $p \leq 0.05$. A análise revelou também um elevado coeficiente de determinação (0,9671), um baixo coeficiente de variação (3,18 %), e não apresentou falta de ajuste ($\text{Prob} > F = 0,1914$) ao nível de 5 % de significância. Fez-se Anova modificada, conservando-se apenas os termos da equação de regressão significativos ao nível de $p \leq 0.05$. Os resultados da equação ajustada encontram-se apostos na Tabela 38. No modelo ajustado, o coeficiente de determinação caiu para 0,9448 e o coeficiente de variação para 3,15 % (Anexo 14).

Tabela 35 Coeficientes da equação de regressão para a densidade das farinhas extrusadas de caupi

PARÂMETRO	COEFICIENTES	SIGNIFICÂNCIA
Interseção	0,50	0,0000
X ₁	- 0,06	0,0000
X ₂	0,001	0,7259
X ₃	0,002	0,5577
X ₁ * X ₁	- 0,04	0,0000
X ₂ * X ₁	- 0,005	0,3682
X ₂ * X ₂	- 0,008	0,0671
X ₃ * X ₁	- 0,003	0,6476
X ₃ * X ₂	- 0,003	0,6476
X ₃ * X ₃	0,002	0,5432

Efeito do processamento por extrusão sobre a densidade dos produtos
(Velocidade do parafuso = 140 rpm)

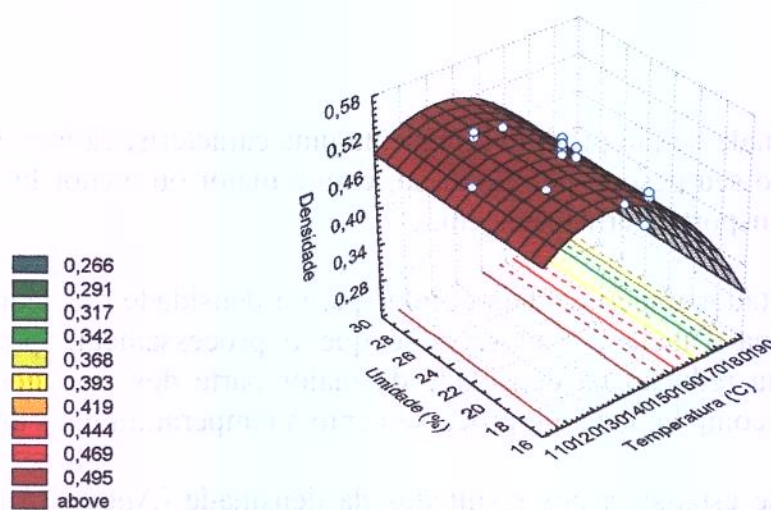


Figura 21. Efeito da temperatura de processamento e da umidade sobre a densidade dos extrusados de caupi.

O gráfico tridimensional de superfície de resposta (Figura 21) mostra efetivamente que as temperaturas mais elevadas de processamento implicaram na produção de extrusados de mais baixa densidade, independentemente da variação do teor de umidade. No entanto, para as temperaturas médias de processamento

(aproximadamente 150-160° C) o que se observa é uma tendência da elevação nos valores da densidade dos extrusados, também independentemente da variação do teor de umidade.

4.4.3 Dureza dos extrusados

Na Tabela 37 encontram-se os resultados obtidos para a dureza dos extrusados após a sua secagem por 24 h a 45° C. Os parâmetros e coeficientes que permitem esboçar a equação de regressão para essa resposta, incluindo os termos significativos e não-significativos ao nível de 5 % de significância, estão apostos na Tabela 36. A análise de variância da dureza através do pacote estatístico SAS® (PROC RSREG) revelou um elevado coeficiente de determinação (94,21 %), um reduzido coeficiente de variação, e uma falta de ajuste não-significativa ao nível de 95 % de confiança (Anexo 11). Apresentou também um pequeno quadrado médio do erro experimental. Em vista desses resultados, procedeu-se ao ajuste do modelo (Anexo 12) através do SAS® (PROC GLM), eliminando-se os termos não-significativos ao nível de 5 % de significância. A equação ajustada, que descreve a resposta nessas condições, é vista na Tabela 38. No modelo ajustado apresentaram significância ao nível de 5 % somente os efeitos linear e quadrático da temperatura de processamento.

Tabela 36 Coeficientes da equação de regressão para a dureza dos extrusados de caupi

PARÂMETRO	COEFICIENTES	SIGNIFICÂNCIA
Interseção	1852,25	0,0000
X ₁	- 1129,37	0,0000
X ₂	- 34,96	0,7408
X ₃	- 34,31	0,7454
X ₁ * X ₁	605,74	0,0001
X ₂ * X ₁	- 26,28	0,8488
X ₂ * X ₂	- 90,36	0,3877
X ₃ * X ₁	105,80	0,4491
X ₃ * X ₂	- 82,05	0,5549
X ₃ * X ₃	- 83,66	0,4226

O gráfico tridimensional de superfície de resposta (Figura 22) mostra que extrusados de maior dureza foram produzidos a medida que a temperatura do processo decresceu, independentemente do teor de umidade da farinha crua do caupi.

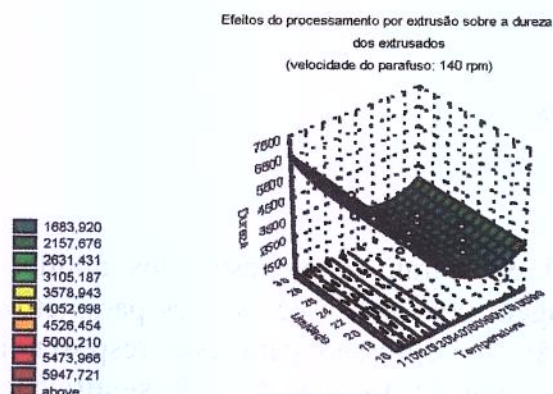


Figura 22. Efeito da temperatura de processamento e da umidade da matéria-prima sobre a dureza dos extrusados do feijão caupi

Tabela 10: Efeitos da temperatura de processamento e da umidade da matéria-prima sobre a dureza dos extrusados do feijão caupi		
Temperatura (°C)	Umidade (%)	Dureza (N)
110	10	1683,920
110	20	2157,676
110	30	2631,431
120	10	3105,187
120	20	3578,943
120	30	4052,698
130	10	4526,454
130	20	5000,210
130	30	5473,966
140	10	5947,721
140	20	above
140	30	above

Tabela 37. Taxa de expansão, densidade e dureza dos extrusados de farinha de caupi de acordo com as condições de processamento.

TESTE	VARIÁVEIS			T. EXPANSÃO	DENSIDADE	DUREZA (gf)
	T(°C)	U(%)	R.P.M			
	*	*	*		0,56	
01	130	20	120	2,04	0,51	3520,2
02	170	20	120	1,21	0,41	1101,4
03	130	26	120	2,16	0,52	3209,4
04	170	26	120	0,94	0,42	1509,9
05	130	20	160	2,11	0,51	2988,7
06	170	20	160	1,19	0,42	1817,5
07	130	26	160	2,45	0,53	3174,1
08	170	26	160	1,10	0,40	1073,4
09	150	23	140	2,44	0,50	1665,0
10	150	23	140	2,51	0,52	1943,8
11	150	23	140	2,47	0,50	1969,7
12	150	23	140	2,44	0,51	2224,8
13	150	23	140	2,40	0,49	1631,7
14	150	23	140	2,39	0,49	1685,9
15	116	23	140	2,09	0,50	5932,8
16	184	23	140	0,77	0,28	1155,7
17	150	18	140	2,17	0,47	1579,8
18	150	28	140	1,09	0,47	1570,0
19	150	23	106	2,39	0,49	1647,8
20	150	23	174	2,34	0,51	1539,9

(*) Farinha crua.

Tabela 38 Modelo de regressão e anál. variância para taxa de expansão, dureza, e densidade

ATRIBUTO	EQUAÇÃO AJUSTADA (*)	R ² (%)	C.V.(%)
TAXA DE EXPANSÃO	$\hat{y} = 2,40 - 0,48 X_1 - 0,38 X_1^2 - 0,31 X_2^2$	87,56	12,22
DUREZA	$\hat{y} = 1722,7 - 1129,4 X_1 - 621,5 X_1^2$	92,68	15,25
DENSIDADE	$\hat{y} = 0,50 - 0,06 X_1 - 0,04 X_1^2$	94,48	3,15

(*). Modelo incompleto com variáveis e valores codificados. Valores significativos ao nível de 5% de significância ($p \leq 0,05$).

CONVENÇÃO:

X_1 = temperatura de processamento.

X_2 = umidade da matéria prima

R^2 = coeficiente de determinação

C.V. = coeficiente de variação.

$\hat{y}$ = função resposta.

4.4.4 Índice de absorção de água das farinhas extrusadas (IAAFE)

O índice de absorção de água guarda relação direta com a quantidade de hidroxilas que se encontram livres para formar pontes de hidrogênio com a água. Durante o processo de extrusão o amido tanto sofre gelatinização como sofre liquefação e reações de fragmentação (CHEFTEL, 1986; CAMIRE *et al.*, 1990; LAI & KOKINI, 1991). É a intensidade da ocorrência da gelatinização e da fragmentação que determina uma maior ou menor quantidade de hidroxilas disponíveis para formar essas pontes de hidrogênio e, por conseguinte, uma maior ou menor elevação do índice de absorção de água. Isto equivale a dizer que os grânulos de amido gelatinizados e dextrinizados possuem a propriedade de absorver mais água do que os grânulos que se encontram no estado nativo.

Essa relação de disponibilidade de grupos hidrofílicos para interagir com moléculas de água, bem como da capacidade que possuem certas macromoléculas de formar gel, foi noticiada, dentre outros autores, por GOMEZ & AGUILERA (1983).

Na Tabela 41 encontram-se os resultados da determinação experimental do índice de absorção de água das farinhas extrusadas (IAAFE) de caupi, de acordo com as condições de processamento. É possível se observar que em todos os ensaios as farinhas extrusadas apresentaram um índice de absorção de água bem superior ao da farinha crua, evidenciando não somente uma significativa gelatinização dos grânulos de amido, como também uma desnaturação das proteínas solúveis em água, da matéria-prima. A elevação do IAAFE constatada poderia igualmente representar um indício da predominância das proteínas solúveis sobre as proteínas insolúveis, haja vista que a presença maciça e a desnaturação destas últimas contribuiriam para acarretar uma redução no índice de solubilidade em água dos extrusados.

Uma elevação do índice de solubilidade em água em farinha de feijão como consequência do processamento por extrusão foi também constatada por CARDOSO FILHO (1993) ao estudar o feijão comum (*Phaseolus vulgaris*). Este autor, no entanto, não verificou efeitos significativos nem da temperatura do processo, nem do teor de umidade da matéria-prima, no índice de absorção de água das amostras de feijão extrusadas. GIAMI (1993), constatou elevação na capacidade de absorção de água do caupi em razão do tratamento térmico.

Ao ser analisado pelo SAS® (PROC RSREG) o modelo apresentou falta de ajuste (Prob > F=0,0423), explicou somente 60,08 % da variação da resposta e mostrou um elevado coeficiente de variação (Anexo 16). A equação de regressão que descreve o IAAFE pode ser visualizada nos dados constantes da Tabela 39. O modelo,

por apresentar um valor considerado médio para R^2 , não pode ser usado para fins preditivos, mas sim para se analisar a tendência da resposta na região considerada.

Tabela 39 . Coeficientes da equação de regressão para o índice de absorção de água das farinhas extrusadas (IAAFE) de caupi.

PARÂMETRO	COEFICIENTES	SIGNIFICÂNCIA
Interseção	4,97	0,0000
X ₁	0,24	0,2500
X ₂	0,28	0,1677
X ₃	- 0,33	0,1143
X ₁ * X ₁	- 0,20	0,3119
X ₂ * X ₁	- 0,33	0,2152
X ₂ * X ₂	- 0,05	0,8102
X ₃ * X ₁	0,06	0,8056
X ₃ * X ₂	0,17	0,5065
X ₃ * X ₃	0,39	0,0645

O exame do gráfico tridimensional de superfície de resposta do índice de absorção de água (Figura 23) permite visualizar a tendência que possui o IAAFE de aumentar à medida que se eleva a temperatura do processo e paralelamente a medida que se eleva o teor de umidade da matéria-prima.

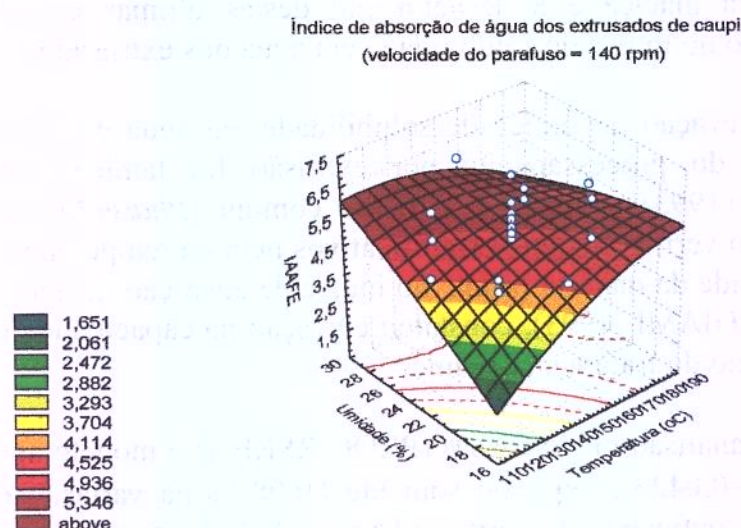


Figura 23. Efeito da temperatura do processo e da umidade sobre o índice de absorção de água dos extrusados de caupi

A elevação do índice de absorção de água como resultado do tratamento térmico torna a farinha de caupi adequada para a produção de preparações viscosas como molhos, sopas e alimentos preparados ao forno, em que uma boa interação água-proteína é exigida (PADMASHREE *et al.*, 1987).

4.4.5 Índice de solubilidade em água das farinhas extrusadas (ISAFE)

O índice de solubilidade em água, a exemplo do índice de absorção de água, também guarda relação direta com a intensidade de gelatinização e dextrinização que sofre o amido durante a extrusão termoplástica.

Os resultados experimentais obtidos na determinação do índice de solubilidade em água das farinhas extrusadas (ISAFE) estão apostos na Tabela 41 e mostram que os produtos apresentam um índice de solubilidade em água maior do que o índice constatado na matéria-prima. A exemplo do que ocorreu com o índice de absorção de água, esta elevação no ISAFE deve ser atribuída não somente à gelatinização e dextrinização do material amiláceo no interior do cilindro do extrusor, como também ao teor relativamente baixo de aminoácidos de cadeia lateral hidrofóbica na matéria-prima. Com efeito, a análise de aminoácidos da farinha crua do caupi mediante hidrólise ácida revelou não somente um baixíssimo teor de metionina, como também um percentual relativamente baixo de outros aminoácidos hidrofóbicos como isoleucina, valina e alanina (Tabelas 23 e 24).

A análise de variância para o índice de solubilidade em água através do SAS (PROC RSREG) resultou em uma equação de regressão que não acusou significância ao nível de 5 % (Tabela 40). Isto significa que os resultados obtidos para essa resposta não se adaptaram ao modelo. O coeficiente de determinação (R^2) apontou um valor abaixo de 40 % (Anexo 15), indicando por sua vez que o modelo explica uma porcentagem muito baixa dos resultados, não podendo ser usado como preditivo.

Tabela 40 Coeficientes da equação de regressão para o índice de solubilidade em água das farinhas extrusadas (ISAFE) de caupi

PARÂMETRO	COEFICIENTES	SIGNIFICÂNCIA
Interseção	36,0	0,0000
X ₁	2,16	0,3557
X ₂	0,13	0,9546
X ₃	3,33	0,1663
X ₁ * X ₁	1,00	0,6537
X ₂ * X ₁	2,63	0,3886
X ₂ * X ₂	- 0,44	0,8421
X ₃ * X ₁	- 1,02	0,7332
X ₃ * X ₂	- 1,51	0,6159
X ₃ * X ₃	- 2,40	0,2947

O gráfico tridimensional de superfície de resposta do índice de solubilidade em água das farinhas de caupi extrusadas (Figura 24) mostra que valores máximos de resposta tendem a ser obtidos quando a temperatura de processamento se eleva até um determinado ponto, ao mesmo tempo em que também se eleva o teor de umidade da matéria-prima. Nessas condições ocorreria um maior rompimentos de grânulos de amido, realidade efetivamente passível de se constatar quando produtos amiláceos são submetidos a temperaturas consideráveis.

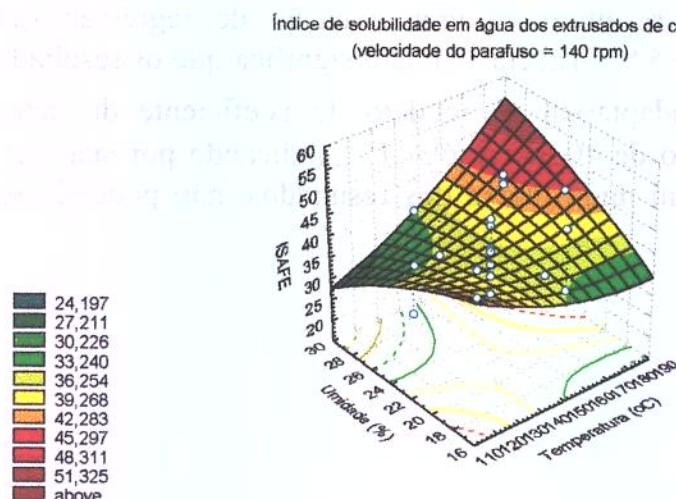


Figura 24. Efeito da temperatura de processamento e da umidade da matéria-prima sobre o índice de solubilidade em água dos extrusados.

Tabela 41. Índice de solubilidade e índice de absorção de água dos extrusados de acordo com as condições do processo.

TESTE	VARIÁVEIS			I.S.A.F.E.	I.A.A.F.E.
	T(°C)	U(%)	R.P.M	(%)	(%)
	*	*	*	11,16	3,33
01	130	20	120	32,70	4,52
02	170	20	120	23,39	6,11
03	130	26	120	29,92	5,54
04	170	26	120	44,64	4,43
05	130	20	160	40,28	4,05
06	170	20	160	40,41	4,53
07	130	26	160	44,99	4,40
08	170	26	160	42,10	4,91
09	150	23	140	30,42	5,51
10	150	23	140	41,20	4,47
11	150	23	140	43,00	4,70
12	150	23	140	34,84	4,97
13	150	23	140	33,88	4,72
14	150	23	140	34,01	5,30
15	116	23	140	26,34	4,31
16	184	23	140	42,30	5,35
17	150	18	140	37,09	4,12
18	150	28	140	23,36	6,41
19	150	23	106	22,21	7,05
20	150	23	174	27,17	5,95

(*) Farinha crua.

5 CONCLUSÕES

- 1 - É possível, através do processo de extrusão termoplástica, se obter um produto à base de caupi com boas e adequadas propriedades tecnológicas para a produção de materiais expandidos úteis para a alimentação humana, tipo snack. Para isso, temperaturas drásticas de processamento devem ser evitadas, e o teor de umidade da matéria-prima deve assumir valores intermediários. Extrusados que teriam uma dureza apropriada para produtos tipo snack foram obtidos em um teor de umidade da matéria-prima de 23% e temperatura de processamento de 150° C. Produtos extrusados sob essas condições apresentaram uma maior expansão radial e uma mais baixa dureza. Essas condições de processamento favoreceram, outrossim, a produção de extrusados com uma mais baixa diferença de coloração em relação a matéria-prima. Pelo fato de proporcionar produtos extrusados de boa expansão radial, e também pelo fato de encerrar um considerável teor protéico, a farinha de caupi teria dessa forma o seu emprego reforçado para fim de complementação nutricional e assim enriquecer matérias-primas de reduzido teor de proteínas comumente utilizadas na elaboração de produtos expandidos tipo snack, como é o caso das farinhas de milho, arroz, trigo, inhame, etc. A pouca perda de lisina total, constatada em alguns ensaios de extrusão, também embasaria o enriquecimento dessas farinhas, reconhecidamente pobres em lisina.
- 2 - Além de produtos expandidos, a farinha de feijão caupi variedade EPACE-10, extrusada sob condições intermediárias de temperatura e umidade da matéria-prima, poderia ser testada na elaboração ou no enriquecimento de alguns produtos alimentícios como pães, talharim, além de bolachas, biscoitos, bolos, sopas desidratadas, purês, pirões, etc. A adição da farinha de caupi extrusada poderia se dar numa proporção de até 10 % ou mais, segundo a própria literatura sugere (MUSTAFA *et al.*, 1986 e NINGSANOND & OORAIKUL, 1989b), sem possivelmente acarretar, quando de uma avaliação sensorial, rejeição quanto a cor e sabor.
- 3 - O baixo teor de aminoácidos com a cadeia lateral hidrofóbica da matéria-prima respondeu pelo acentuado incremento do índice de solubilidade em água das farinhas extrusadas. Dessa forma, quer isoladamente, quer misturada a outras farinhas também de boa solubilidade em água, as farinhas extrusadas do caupi obtidas teriam assim seu emprego ratificado na elaboração de formulações e processamento de alimentos nos quais se utilizasse o calor úmido (uso de água). Mesmo em preparações executadas ao forno, em que uma boa interação água-proteína no alimento também se faz necessária, os produtos do caupi obtidos por extrusão seriam, efetivamente, de larga utilidade.

- 4 – Dentro da região estudada, ou seja, dentro dos limites inferior e superior de cada variável dependente em apreço, foi possível, através da Metodologia de Superfície de Resposta, se estabelecer modelos matemáticos preditivos para a maior parte das propriedades tecnológicas (taxa de expansão radial, densidade, dureza) das farinhas extrusadas.
- 5 – A velocidade do parafuso foi a variável independente que na maioria dos ensaios pouca ou nenhuma influência exerceu sobre as respostas, ao nível de 5 % de significância. Dentro da região em estudo, e dentro desse mesmo nível de significância, a temperatura de processamento foi o fator que mais influenciou sobre as características tecnológicas dos extrusados, seguida da umidade da matéria-prima.
- 6 – As condições intermediárias de temperatura de processamento e de teor de umidade da matéria-prima serviram também de base para inter-relacionar as propriedades tecnológicas com as propriedades nutritivas das farinhas de caupi. Sob essas condições de processo, além de terem sido obtidos produtos com uma coloração aceitável, foram também obtidos extrusados com um melhor valor nutricional, traduzido por uma melhor digestibilidade protéica *in vitro* e uma menor perda de lisina disponível. Todas essas melhorias se deveram em grande parte à ocorrência em menor escala das reações de Maillard.
- 7 – Em todos os ensaios de extrusão a metionina constituiu-se realmente o aminoácido limitante, comparando-se seu perfil (em g/100 g de proteína) com as recomendações nutricionais para crianças na faixa etária de dois a cinco anos, revisadas pela FAO/OMS/UNU em 1985, e também com os demais parâmetros estipulados pelo órgão. Mesmo para a faixa etária de dez a doze anos, com necessidades nutricionais relativamente menores, os valores encontrados para a metionina mediante hidrólise ácida estão aquém daqueles estipulados por aquele organismo internacional. Contudo, o processo de extrusão termoplástica proporcionou, de uma maneira global, produtos de caupi de valor nutricional melhor que o da matéria-prima, e sem significativa perda de proteínas. Isto foi observado quando a temperatura de processamento situou-se na faixa de 120 a 150° C e o teor de umidade da matéria-prima manteve-se no intervalo de 20-23%.
- 8 – Os resultados da determinação dos escores químicos dos produtos, bem como dos escores químicos corrigidos pela digestibilidade protéica (PDCAAS), comparados com as recomendações da FAO/OMS/UNU (1985), mostraram que alimentos preparados à base de caupi podem ser consumidos sem maiores preocupações a partir dos dez anos de idade. Abaixo desta idade, uma complementação com farinha rica em metionina, por exemplo, se faria necessária nas formulações dos alimentos, sobretudo daquelas destinadas à faixa etária de 2 - 5 anos, período em que os requerimentos em aminoácidos essenciais se mostram mais críticos.

- 9 – A produção de extrusados de melhor digestibilidade protéica *in vitro*, conseguida sob condições intermediárias de processamento, deveu-se também possivelmente à inativação não só das enzimas proteolíticas, como também de outros fatores antinutricionais que estavam presentes na farinha crua. Contribuíram, outrossim, para esse incremento na digestibilidade, a inevitável desnaturação protéica resultante do tratamento térmico, embora moderado, com surgimento em alguns produtos de novos sítios susceptíveis ao ataque enzimático. Uma redução na digestibilidade protéica *in vitro*, constatada em algumas condições de processamento, estaria basicamente associada ao surgimento de uma resistência à proteólise em virtude do uso de temperaturas mais altas de processamento. Essa resistência a hidrólise protéica poderia ser atribuída, em grande parte, aos efeitos indesejáveis das reações de Maillard ocorridas em maior escala. Sabe-se que essas reações envolvem açúcares redutores e grupos ϵ -amino livres das proteínas. São reações intensificadas às temperaturas mais altas e teores de umidade mais baixos, e podem levar à formação de peptídeos não-digeríveis. Na redução da digestibilidade *in vitro* a formação de complexos de proteínas com substâncias fenólicas, por exemplo, também deve ser considerada, assim como a união de certos aminoácidos, como a lisina, com outros aminoácidos formando ligações cruzadas também não susceptíveis ao ataque enzimático.
- 10– É igualmente possível se obter extrusados com aceitável perda de lisina disponível embora este aminoácido, por apresentar o grupo ϵ -amino livre, possui uma reatividade maior do que quando se encontra na forma combinada, sendo esta a razão básica pela qual as perdas de lisina disponível, constatada em alguns ensaios, superaram as perdas de lisina total. A considerável perda de lisina disponível, constatada às mais altas temperaturas de processamento, deveu-se provavelmente a formação de monossacarídeos redutores resultantes da hidrólise da sacarose não só presente naturalmente em pequena quantidade na farinha crua do caupi, como também da sacarose proveniente da degradação do amido como consequência do tratamento térmico. Tudo isso contribuiu para realimentar as reações de Maillard, com perda maior para o aminoácido que apresentava o grupo ϵ -amino livre. Condições mais drásticas de temperatura de processamento não chegaram a proporcionar perdas maiores que 30 % no teor de lisina total, o que não aconteceu com a lisina disponível, cuja perda chegou a 55%.
- 11- De um modo geral, a análise estatística dos produtos obtidos na extrusão termoplástica revelou que pouquíssimas variáveis dependentes acusaram falta de ajuste significativa, indicando dessa forma que fatores que influenciam marcadamente na resposta não foram omitidos no modelo proposto. Indicou, igualmente, que nesse modelo não ocorreu a omissão de termos de maior ordem, e que seriam necessários para explicar convenientemente, segundo KHURI & CORNELL (1987), o comportamento da resposta.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBEY, B. W.; IBEH, G. O. Functional properties of raw and heat processed cowpea (*Vigna unguiculata*, Walp) flour. **Journal of Food Science**, v. 53, n. 6, p. 1775-1777, 1988.
- ABDEL-AAL, E-S M.; SOSULSKI, F. W.; ADEL, A.; SHEHATA, Y.; YOUSSEF, M.M.; IBAVE, J. L. Effect of extrusion cooking on the physical and functional properties of wheat, rice and fafabean blends. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, v. 25, n. 1, p. 21-25, 1992.
- AGUIAR, J. V. de; LEÃO, M. C. S.; SAUNDERS, L. C. U. Determinação do consumo de água pelo caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) irrigado em Bragança-Pará. Fortaleza: **Ciência Agrônômica**, v. 23, n. 1-2, p. 33-37, 1992.
- AHMED, A .H. R.; NOUR, A .A. A. M. Protein quality of common Sudanese leguminous seeds. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, v. 23, n. 4, p. 301-304, 1990.
- AKESON, W. R.; STAHPMAN, M. A. Pepsin-pancreatin digest indexes of protein quality evaluation. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 83, p. 257-261, 1964.
- AKINYELE, I. O.; LOVE, M. H.; RINGE, M. Nutrient composition of extruded cowpea products. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 23, n. 3, p. 297-301, 1988.
- AKPAPUNAM, M. A.; MARKAKIS, P. Oligosaccharides of 13 American cultivars of cowpeas (*Vigna sinensis*). **Journal of Food Science**, v. 44, n. 5, p. 1317-1318, 1979.
- ALBUQUERQUE, M. C. de F. e; ARAGÃO, R. G. M.; ALVES, J. F.; PAIVA, J. B. Crescimento e diferenciação de tecidos de feijão-de-corda, *Vigna sinensis* (L.) Savi, *in vitro*. Fortaleza: **Ciência Agrônômica**, v. 10, n. 1, p. 1-8, 1980.
- ALEXANDRIDIS, N. A. Effects of process variables on the physical and chemical properties of extrusion cooked soy flour. **Dissertation Abstracts International**, v. 45, n. 7, p. 1983, 1985.
- ALMEIDA, F.A G.; FONTES, J. M.; ALMEIDA, F. C. G. Uso da cinza da casca da castanha do caju, *Anacardium occidentale* L., como fonte de fósforo para a cultura do feijão-de-corda, *Vigna unguiculata* (L.) Walp. Fortaleza: **Ciência Agrônômica**, v. 19, n. 1, p. 31-35, 1988.

- ALONSO, R.; AGUIRRE, A.; MARZO, F. Effects of extrusion and traditional processing methods on antinutrients and *in vitro* digestibility of protein and starch in faba and kidney beans. **Food Chemistry**, v. 68, n. 2, p. 159-165, 1999.
- ALVES, M. C. **SAS - Estatística básica**. Piracicaba: USP, Centro de Informática na Agricultura, Campus "Luiz de Queiroz", s.d. 53 p. (Série Didática CIAGRI, 16).
- AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. **Approved Methods of the American Association of the Cereal Chemists** 9 ed. Saint Paul: A.A.C.C., 1995. 1 v. (paginação irregular).
- ANDERSON, R. A.; CONWAY, H. F.; PFEIFER, V. V.; GRIFFIN Jr., E. L. Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. **Cereal Science Today**, v. 14, n. 1, p. 4-7, 11-12, 1969.
- ANTERO NETO, J. F.; VIEIRA, F. Z. G. Estudo da viabilidade técnica e econômica do consórcio milho e feijão. Fortaleza: **EPACE/Comitê de Publicações**, 1984. 19 p. (Boletim de Pesquisa, 5).
- ARÊAS, J. A. G. Extrusion of food proteins **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 32, n. 4, p. 365-392, 1992.
- ARORA, S. K.; DAS, B. Cowpea as potential crop for starch. **Starch/Stärke**, v. 28, n. 5, p. 158-160, 1976.
- ARTEAGA, G. E.; LI-CHAN, E.; VAZQUEZ-ARTEAGA, M. C.; NAKAI, S. Systematic experimental designs for product formula optimization. **Trends in Food Science and Technology**, v. 5, n. 8., p. 243-254, 1994.
- ASP, N. -G.; BJÖRCK, I. The effect of extrusion-cooking on nutritional value. In: ZEUTHEN, P.; CHEFTEL, J. C.; ERIKSSON, C.; LENIGER, M. J. H.; LINKO, P.; VARELA, G.; VOS, G., ed. **Thermal Processing and Quality of Foods**. London: Elsevier, 1984. p. 162-167.
- ASP, N. -G.; BJÖRCK, I. Nutritional properties of extruded foods. In: MERCIER, C.; LINKO, P.; HARPER, J.M., ed. **Extrusion Cooking**. Cap 14. St Paul: A.A.C.C., 1989. p. 399-434.
- BARROS NETO, B. de; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Planejamento e otimização de experimentos**. Campinas, SP: Editora da UNICAMP, 1995. 299 p.
- BASTOS, J. A. M. Avaliação dos prejuízos causados pelo gorgulho, *C. maculatus*, em amostras de feijão-de-corda, *V. sinensis*, colhidas em Fortaleza, Ceará. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 8, n. 7, p. 131-132, 1973a. (série agrônômica).

- BASTOS, J. A. M. Avaliação dos prejuízos causados pelo escurecimento do feijão de corda *Vigna sinensis*, Endl., em Fortaleza, Ceará, Brasil. Fortaleza: **Ciência Agronômica**, v. 3, n. 1-2, p. 95-98, 1973b.
- BASTOS, J. A. M.; AGUIAR, P. A. A. Controle do gorgulho do feijão-de-corda, *Callosobruchus maculatus* (Fabr.) (*Col. bruchidae*), com phostoxin. Fortaleza: **Ciência Agronômica**, v. 1, n. 2, p. 59-62, 1971.
- BASTOS, J. A. M.; ASSUNÇÃO, M. V. Influência de diferentes tipos de embalagens na ação do phostoxin contra o gorgulho do feijão-de-corda, *Callosobruchus maculatus* Fabr. Fortaleza: **Ciência Agronômica**, v. 5, n. 1-2, p. 7-11, 1975.
- BATISTUTI, J. P.; BARROS, R. M. C.; ARÊAS, J. A. G. Optimization of extrusion cooking process for chickpea (*Cicer arietinum*, L.) defatted flour by response surface methodology. **Journal of Food Science**, v. 56, n. 6, p. 1695-1698, 1991.
- BEAUFRAND, M. J.; GUÉRIVIÈRE, J. F. de la; MONNIER, C.; POULLAIN, B. Influence du procédé de cuisson extrusion sur la disponibilité des protéines. **Annales de la Nutrition et de L'Alimentation.**, v. 32, n. 2-3, p. 353-364, 1978.
- BEVITORI, R.; NEVES, B. P. das; RIOS, G. P.; OLIVEIRA, I. P. de; GUAZZELLI, R. J. A cultura do caupi. Belo Horizonte: **Informe Agropecuário**, v. 16, n. 174, p. 12-20, 1992.
- BEZERRA, F. M. L.; SAUNDERS, L. C. U. Irrigação de dois cultivares de feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) em três épocas de plantio sob dois níveis de irrigação no Vale do Curu. Fortaleza: **Ciência Agronômica**, v. 23, n. 1-2, p. 39-44, 1992.
- BHATTACHARYA, M; HANNA, M. A. Extrusion processing to improve nutritional and functional properties of corn gluten. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, v. 21, n. 1, p. 20-24, 1988.
- BHATTACHARYA, M.; HANNA, M. A.; KAUFMAN, R. E. Textural properties of extruded plant protein blends. **Journal of Food Science**, v. 51, n. 4, p. 988-993, 1986.
- BHATTACHARYA, S.; DAS, H.; BOSE, A. N. Effect of extrusion process variables on in vitro protein digestibility of fish-wheat flours blends. **Food Chemistry**, v. 28, n. 3, p. 225 - 231, 1988.
- BITTENBENDER, H. C. Handling and storage of cowpea *Vigna unguiculata* (L.) Walp as a leaf vegetable. Trinidad: **Tropical Agriculture**, v. 69, n. 2, p. 197-199, 1992.

- BJÖRCK, I.; NOGUCHI, A.; ASP, N. -G.; CHEFTEL, J. C.; DAHLQVIST, A. Protein nutritional value of a biscuit processed by extrusion cooking: effect on available lysine. **Journal of the Agriculture and Food Chemistry**, v. 31, n. 3, p. 488 - 493, 1983.
- BJÖRCK, I.; ASP, N. -G.; DAHLQVIST, A. Protein nutritional value of extrusion-cooked wheat flours. **Food Chemistry**, v. 15, n. 3, p. 203-214, 1984.
- BJÖRCK, I.; MATOBA, T.; NAIR, B. M. In vitro enzymatic determination of the protein nutritional value and the amount of available lysine in extruded cereal-based products. **Agricultural and Biological Chemistry**, v. 49, n. 4, p. 945 - 951, 1985.
- BLIGH, E. G.; DYER, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian Journal of Biochemistry and Physiology**, v. 37, p. 911-917, 1959.
- BOUTRIF, E. Recent developments in protein evaluation. **Food Nutrition and Agriculture**, v. 1, n. 2/3, p. 36-40, 1991.
- BOX, G. E. P.; BEHNKEN, D. W. Some new three level designs for the study of quantitative variables. **Technometrics**, v. 2, n. 4, p. 455-475, 1960.
- BOX, G. E. P.; DRAPER, N. R. Empirical model-building with response surface. **A book to be published**, 1967.
- BOX, G. E. P.; HUNTER, W. F.; HUNTER, J. S. **Statistics for experimenters: an introduction to design, data analysis, and model building**. New York: John Wiley and Sons, 1978.
- BRESSANI, R.; ELÍAS, L. G.; HUEZO, M. T.; BRAHAM, J. E. Estudios sobre la producción de harinas precocidas de frijol y caupi, solos y combinados mediante cocción-deshidratación. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v. 27, n. 2, p. 247-260, 1977a.
- BRESSANI, R.; ELÍAS, L. G.; MOLINA, M. R. Estudios sobre la digestibilidad de la proteína de varias especies de leguminosas. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v. 27, n. 2, p. 215-231, 1977b.
- CABEZAS, M. T.; GARCIA, J.; MURILO, B.; ELÍAS, L. G.; BRESSANI, R. Valor nutritivo del frijol caupi crudo y procesado. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v. 32, n. 3, p. 543-558, 1982.

- CALVETTE, Y. M. de A. **Processamento do gergelim (*Sesamum indicum*, L.) e utilização da farinha desengordurada como complemento protéico da farinha extrudada de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp).** Fortaleza: Depto. Tec. Alim., C. C. Agrárias, UFC, 1992. 126 p. Dissertação (Mestrado).
- CAMARGO, C. R. O.; DIAZ, N. M.; GUTIERREZ, R. H. **Tecnologia de extrusão: produtos texturizados e expandidos.** Campinas: Fundação Tropical de Pesquisas e Tecnologia "André Tosello", 1988. paginação irregular.
- CAMIRE, M. E. Protein functionality modification by extrusion cooking. **Journal of American Oil Chemists' Society**, v. 68, n. 3, p. 200-205, 1991.
- CAMIRE, M. E.; CAMIRE, A.; KRUMHAR, K. Chemical and nutritional changes in foods during extrusion. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 29, n. 1, p. 35-57, 1990.
- CARDOSO FILHO, N. **Efeito de algumas variáveis do processo de extrusão nas características funcionais e nutricionais da farinha de feijão comum (*Phaseolus vulgaris*, L.).** Campinas; FEA, Unicamp, 1993. 128 p. Dissertação (Mestrado).
- CARDOSO, M. J.; FREIRE FILHO, F. R.; BEZERRA, J. R. C. Comportamento de genótipos de feijão macassar sob regime de irrigação. Fortaleza: **Ciência Agrônômica**, v. 18, n. 2, p. 63-66, 1987.
- CARDOSO, M. J.; FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; FROTA, A. B.; MELO, F. B. População de plantas no consórcio milho x feijão macassar sob regimes de sequeiro e irrigado. Fortaleza: **Ciência Agrônômica**, v. 23, n. 1-2, p. 21-31, 1992.
- CARDOSO, M. J.; RIBEIRO, V. Q. R. Comportamento de sistemas de associação milho com feijão macassar. Fortaleza: **Ciência Agrônômica**, v. 18, n. 2, p. 57-62, 1987.
- CHEFTEL, J. C. Nutritional effects of extrusion-cooking. **Food Chemistry**, v. 20, n. 4, p. 263-283, 1986.
- CHEFTEL, J. C.; CUQ, J. -L.; LORIENT, D. Amino acids, peptides, and proteins. In: FENNEMA, O. R., ed. **Food Chemistry**. New York: Marcel Dekker, 1985.
- CHINNASWAMY, R.; HANNA, M. A. Optimum extrusion-cooking conditions for maximum expansion of corn starch. **Journal of Food Science**, v. 53, n. 3, p. 834-836, 840, 1988.

- CHINNAN, M. S.; McWATTERS, K. H.; RAO, V. N. M. Rheological Characterization of grain legumes pastes and effect of hydration time and water level on apparent viscosity. **Journal of Food Science**, v. 50, n. 4, p. 1167-1171, 1985.
- CHOME, F.; PHILLIPS, R. D. Physicochemical properties of maize/cowpea-based weaning foods produced by extrusion cooking with alpha-amylase. **IFT Annual Meeting**: book of abstracts, 1996. p. 54.
- COELHO, S. de M. **Aspectos nutricionais de farinhas de feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp)**. Fortaleza: Depto. Tec. Alim., C. Ciências Agrárias, UFC, 1986. 145 p. Dissertação (Mestrado).
- COLONNA, P.; BULEON, A.; MERCIER, C. Physically modified starches. In: Starch: properties and potential. **Critical Reports on Applied Chemistry**. Gaillard, T., ed. v. 13. New York, John Wiley & Sons, p. 79-114, 1987.
- CONTI, H. **Efeito das variáveis operacionais de extrusão nas propriedades funcionais do amido de babaçu extrusado**. Fortaleza: Depto. Tec. Alim., C. C. Agrárias, U.F.C., 1993. 117 p. Dissertação (Mestrado).
- CONTRERAS, G. E.; LAPA, J. G. Determinação rápida de triptofano por reação com antrona. Rio de Janeiro: **12º Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos. Livro de Resumos**. 1989. p. 152.
- COSTA, M. F. da; CRAVO, M. da S.; VIEIRA, L. S.; LOPES, D. N. Caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp): adaptação de cultivares às condições amazônicas. Belém: **Instituto do Desenvolvimento Econômico e Social do Pará**, 1981. 17 p. (estudos paraenses, 49).
- COULTER, L. A.; LORENZ, K. Extruded corn grits-quinoa blends: II. Physical characteristics of extruded products. **Journal of Food Processing and preservation**, v. 15, p.243-259, 1991.
- DAS, H. K.; LAMBREV, A.; TE, J. H.; AKTERIAN, S.; TANTCHEV, S. Response surface modeling of extrusion texturing of defatted soya grits. **Journal of the Food Science and Technology**, v. 29, n. 3, p. 141-146, 1992.
- DELLA GATA, C.; PIERGIOVANNI, A. R.; Ng, N. Q.; CARNOVALE, E.; PERRINO, P. Tripsin inhibitor levels in raw and cooked cowpea (*Vigna unguiculata*) seeds. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, v. 22, n. 2, p. 78-80, 1989.
- DE MUELENAERE, H. J. H.; BUZZARD, J. L. Cooker extruders in service of world feeding. **Food Technology**, v. 23, n. 3, p. 71-77, 1969.

- DEL ROSARIO, R. R.; LOZANO, Y.; NOEL, M. G. The chemical and biochemical composition of legume seeds. II. Cowpea. **Philippine Agriculture**, v. 64, n. 1, p. 49-57, 1981.
- DELLA VALLE, G.; QUILLIEN, L.; GUEGUEN, J. Relationships between processing conditions and starch and protein modifications during extrusion-cooking of pea flour. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 64, n. 4, p. 509-517, 1993.
- EGGUM, B. O.; JULIANO, B. O.; IBABAO, M. G. B.; PEREZ, C. M. Effect of extrusion cooking on nutritional value of rice flour. **Food Chemistry**, v. 19, n. 3, p. 235-240, 1986.
- EL-DASH, A. A. Application and control of thermoplastic extrusion of cereals for food and industrial uses. In: POMERANZ, Y. & MUNCH, L., eds. **Cereals: a renewable resource, theory and practice**. St Paul, Minnesota: AACC, 1982. p. 1-52.
- ELIAS, L. G.; HERNANDEZ, M.; BRESSANI, R. The nutritive value of precooked legume flours processed by different methods. **Nutrition Reports International**, v. 14, n. 4, p. 385-403, 1976.
- EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DO CEARÁ. Epace-10: nova cultivar de caupi para o Ceará. Fortaleza: **EPACE/Área de Difusão de Tecnologia**, 1988. (folheto).
- EPACE/EMATERCE. **Sistema de produção para feijão-de-corda irrigado e de sequeiro**. Fortaleza: [s.n.], 1993. 23 p.
- FALCONE, R. G.; PHILLIPS, R. D. Effects of feed composition, feed moisture, and barrel temperature on the physical and rheological properties of snack-like products prepared from cowpeas and sorghum flours by extrusion. **Journal of Food Science**, v. 53, n. 5, p. 1464-1469, 1988.
- FAO/WHO/UNU. Energy and protein requirements. Report of a Joint FAO/OMSUNU. **Technical Report Series 724**. WHO, Geneva, 1985.
- FAPOJUWO, O. O.; MAGA, J. A.; JANSEN, G. R. Effect of extrusion cooking on in vitro protein digestibility of sorghum. **Journal of Food Science**, v. 52, n. 1, p. 218 - 219, 1987.
- FARINU, G. O; INGRAO, G. Gross composition, amino acid, phytic acid and trace element contents of thirteen cowpea cultivars and their nutritional significance. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 55, n. 3, p. 401-410, 1991.

- FASHAKIN, J. B.; FASANYA, J. I. Chemical composition and nutritive changes of some improved varieties of cowpea (*Vigna unguiculata*). I. Some selected varieties from the International Institute for Tropical Agriculture, Ibadan, Nigeria. **Tropical Science**, v. 28, n. 2, p. 111-118, 1988.
- FASHAKIN, J. B.; OJO, F. A. Chemical composition and nutritive changes of some improved varieties of cowpea (*Vigna unguiculata*, L. Walp). II. New breeds of varieties from the International Institute for Tropical Agriculture, Ibadan, Nigeria. **Tropical Science**, v. 28, n. 3, p. 191-199, 1988.
- 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 extruded properties. **Cereal Chemistry**, v. 59, n. 6, p. 529-533, 1982.
- FEATHER, M. S. Dicarbonyl sugar derivatives and their role in the Maillard Reaction. USA: **ACS Symposium Series**, n. 543, p. 127-141, 1994.
- FERREIRA, L. G. R.; ALBUQUERQUE, I. M. de; PAIVA, J. B. Avaliação de genótipos de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) visando resistência à seca e ao calor. Fortaleza: **Ciência Agrônômica**, v. 21, n. 1-2, p. 59-64, 1990.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Fao production yearbook**. Rome, Italy: 1991.
- FOOD AND DRUG ADMINISTRATION. Appendix B of the nutrition labeling regulations. **Federal Regulations**, Washington, 6th ed., v. 58, n. 3, p. 2193-2195, jan. 1993.
- FREIRE FILHO, F. R. Feijão macáassar (ou de corda) com boas perspectivas. São Paulo: **Dirigente Rural**, v. 20, n. 10, p. 17-19, 1981.
- FREIRE FILHO, F. R.; ARAÚJO, A. G. de; CARDOSO, M. J. *Vigna unguiculata* (L.) Walp: nomenclatura científica e nomes vulgares. In: **Resumos da I Reunião Nacional de Pesquisa de Caupi**. Goiânia, GO: EMBRAPA/CNPAP, 1982. p. 43-45. (Documentos, 4).
- FREIRE FILHO, F. R.; CARDOSO, M. J.; ARAÚJO, A. G. de; SANTOS, A. A. dos; SILVA, P. H. S. da. Características botânicas e agronômicas de cultivares de feijão macáassar (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). Teresina: **EMBRAPA-UEPAE**, 1981. 45 p. (Boletim de Pesquisa, 4).
- GIAMI, S. Y. Effect of processing on the proximate composition and functional properties of cowpea (*Vigna unguiculata*) flour. **Food Chemistry**, v. 47, n. 2, p. 153-158, 1993.

- GIAMI, S. Y.; OKWECHIME, U. I. Physicochemical properties and cooking quality of four new cultivars of Nigerian cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 63, n. 3, p. 281-286, 1993.
- GIOVANNI, M. Response surface methodology and product optimization. **Food Technology**, v. 37, n. 11, p. 41-45, 83, 1983.
- GOMEZ, M. H.; AGUILERA, J. M. Changes in the starch fraction during extrusion cooking of corn. **Journal of Food Science**, v. 48, n. 2, p. 378-381, 1983.
- HABIB, F. G. H.; RIAD, W. Y.; MORCOS, S. R. Nutritional value of some pea grown in Egypt. **Bulletin of the Nutrition Institute of the Arab Republic of Egypt**, v. 9, n. 1, p. 53-60, 1989.
- HARMUTH-HOENE, A. E.; SEILER, K.; SEIBEL, W. Der Einfluss verschiedener Extrusionsbedingungen auf die Proteinqualität von Sojaschrot und Roggenvollkornbrot. **Z. Ernährungs**, v. 24, p. 85-95, 1985.
- HARPER, J. M. **Extrusion of foods**. Boca Raton, Flórida: v. 1, CRC Press, 1981. 212 p.
- HARPER, J. M. Extrusion texturization of foods. **Food Technology**, v. 40, n. 3, p. 70-76, 1986.
- HARPER, J. M. Food extrusion. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 11, n. 2, p. 155-215, 1979.
- HENDERSON, S. M.; PERRY, R. L. **Agricultural Process Engineering**. 3 ed. Westport: AVI Publishing, 1976. 422 p. Chapter 6: Size Reduction. P. 130-159.
- HENLEY, E. C.; KUSTER, J. M. Protein quality evaluation by protein digestibility-corrected amino acid scoring. **Food Technology**, New York, v. 48, n. 4, p. 74-77, 1994.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Rio de Janeiro: **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Departamento de Agropecuária. Dez/1995 – Jun/2001.
- JEUNINK, J.; CHEFTEL, J. C. Chemical and physicochemical changes in field bean and soybean proteins texturized by extrusion. **Journal of Food Science**, v. 44, n. 5, p. 1322 -1328, 1979.

- JORGE JOÃO, W. S.; ELÍAS, L. G.; BRASSANI, R. Efecto del proceso de cocción-extrusión (brady crop cooker) sobre el valor nutritivo de mezclas elaboradas a base de frijol caupí (*Vigna sinensis*)-maíz, y de frijol caupí-yuca. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v. 30, n. 4, p. 539-550, 1980.
- KACHARE, D. P.; CHAVAN, J. K.; KADAM, S. S. Nutritional quality of some improved cultivars of cowpea. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 38, n. 2, 155-162, 1988.
- KAKADE, M. L.; LIENER, I. E. Determination of available lysine in proteins. **Analytical Biochemistry**, New York, v. 27, n. 2, p. 273-280, 1969.
- KENNEDY, M. B.; PHILLIPS, R. D.; RAO, V. N. M.; CHHINNAN, M. S. Effects of feed moisture and barrel temperature on the rheological properties of extruded cowpea meal. **Journal of Food Processing Engineering**, v. 8, n. 4, p. 193-212, 1986.
- KHAN, R. I.; GATEHOUSE, J. A.; BOULTER, D. The seed proteins of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp). **Journal of Experimental Botany**, v. 31, n. 125, p. 1599-1611, 1980.
- KHURI, A. I.; CORNELL, J. A.; **Response Surface Designs and Analysis**. Marcel Dekker, 1987. p. 405.
- KINSELLA, J. E. Functional properties of proteins in foods: a survey. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 7, n. 3, p. 255, 1976.
- KOCHHAR, N.; WALKER, A. F.; PIKE, D. J. Effect of variety on protein content, amino acid composition and trypsin inhibitor activity of cowpeas. **Food Chemistry**, v. 29, n. 1, p. 65-78, 1988.
- KÖHLER, F. **Veränderung der ernährungs-physiologischen und physikalischen Eigenschaften von Getreidemahlerzeugnissen durch Extrusion unter besonderer Berücksichtigung proteinangereicherter Produkte**. Dissertation. Instit für Lebensmittel-technologie, Berlin. 1981.
- KRUTMAN, S.; VITAL, A. F.; BASTOS, E. G. **Variedades de feijão macassar - *Vigna sinensis*, L. - características e reconhecimento**. Manual. Recife: Escritório de Pesquisas e Experimentos, Instituto de Pesquisas e Experimentos Agropecuários, 1968. 46 p.
- LAI, L. S.; KOKINI, J. L. Physicochemical changes and rheological properties of starch during extrusion (as review). **Biotechnology Progress**, v. 7, p. 251-266, 1991.

- LAURENA, A. C.; GARCIA, V. V.; MENDOZA, E. M. T. Effect of heat on the removal of polyphenols and in vitro protein digestibility of cowpea (*Vigna unguiculata* (L) Walp). **Qualitas Plantarum Plant Foods for Human Nutrition**, v. 37, n. 2, p. 183-192, 1987.
- LAZARD, L. Comment tirer le meilleur parti de l'extrusion. **Industries Alimentaires et Agricoles**, v. 110, n. 4, p. 229-231, 1993.
- LEDWARD, D. A.; TESTER, R. F. Molecular transformation of proteinaceous foods during extrusion processing. **Trends in Food Science & Technology**, v. 5, p. 117-120, 1994.
- LIRA, L. de G.; CRISÓSTOMO, L. A.; PAIVA, J. B. Identificação dos sintomas visuais das deficiências de macronutrientes em feijão-de-corda, *Vigna sinensis* (L.) Savi. Fortaleza: **Ciência Agronômica**, v. 12, n. 1-2, p. 85-92, 1981.
- LIU, K.; PHILLIPS, R. D.; McWATTERS, K. H. Induced hard-to-cook state in cowpeas by freeze-thawing and calcium chloride soaking. **Cereal Chemistry**, v. 70, n. 2, p. 193-195, 1993.
- LONGE, O. G. Carbohydrate composition of different varieties of cowpea (*Vigna unguiculata*). **Food Chemistry**, v. 6, n. 2, p. 153-161, 1980.
- MABESA, L. B.; ATUTUBO, E. O.; DAQUIL, M. M. Nutritional quality of products prepared from flours of germinated legumes (navy bean, mungbean, cowpea, soybean, rice bean; Philippines). Philippines: **Philippine Journal of Nutrition**, v. 36, n. 4, p. 182-187, 1983.
- MAFRA, R. C. Contribuição ao estudo da cultura do "feijão macassar": fisiologia, ecologia e tecnologia da produção. Goiânia: **EMBRAPA/CNPAF-IITA**, 1979. 39 p. (mimeografado).
- MAGA, J. A.; LORENZ, K. Sensory and functional properties of extruded corn-soy blends. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, v. 11, n. 4, p. 185-187, 1978.
- MARQUEZ, U. M. L.; LAJOLO, F. M. Digestibility of beans (*Phaseolus vulgaris*, L.) albumins and globulins G: contribution of endogenous nitrogen and sulfur. In: **Advances in Bean Research: Chemistry, Nutrition and Technology**. São Paulo: University of São Paulo, 1988. P. 3-21.
- MATARAZZO, A. A. W. **Metodologia de Superfície de resposta e sua aplicação na Tecnologia de Alimentos**. Campinas - SP: ITAL, Setor de Operações Unitárias, s. d. 29 p.

- McWATTERS, K. H. Compositional, physical, and sensory characteristics of *akara* processed from cowpea paste and Nigerian cowpea flour. **Cereal Chemistry**, v. 60, n. 5, p. 333-336, 1983.
- McWATTERS, K. H.; CHINNAN, M. S.; WORTHINGTON, R. E.; BEUCHAT, L. R. Influence of storage conditions on quality of cowpea seeds and products processed from stored seeds. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 11, n. 1, p. 63-76, 1987.
- MEUSER, von F.; LINGERICH, B. V.; KOHLER, F. The influence of extrusion parameters on the functional properties of wheat starch. **Starch/Stärke**, v. 34, n. 11, p. 366-372, 1982.
- MINOLTA CAMERA Co., Ltd. **Precise Color Communication. Color Control from Feeling to Instrumentation**. Japan: 1993. 49 p.
- MIRANDA, M. Z. de. **Efeito do tempo de germinação do trigo e das variáveis de extrusão na qualidade tecnológica e nutricional de farinha integral**. Campinas-SP: FEA, UNICAMP, 1998. 185 p. Tese (Doutorado).
- MIRANDA, P.; COSTA, A. F. da; OLIVEIRA, L. R.; TAVARES, J. A.; PIMENTEL, M. L.; LINS, G. M. L. Comportamento de cultivares de *Vigna unguiculata* (L.) Walp nos sistemas solteiro e consorciado I tipo ramador. Fortaleza: **Ciência Agrônômica**, v. 23, n. 1-2, p. 9-19, 1992.
- MITCHELL, J. R.; ARÊAS, J. A. G. Structural changes in biopolymers during extrusion. In: KOKINI, J. L.; HO, CHI-TANG; KARWE, M. V., ed. **Food Extrusion Science and Technology**. Cap 22. New Jersey: Marcel Dekker, 1992. p. 345-360.
- MOHAN, V. R.; JANARDHANAN, K. Chemical composition and nutritional evaluation of two little-known species of *Vigna*. **Food Chemistry**, v. 48, n. 4, p. 367-371, 1993.
- MOTTRAM, D. S. Flavor compounds formed during the Maillard reaction. USA: **ACS Symposium**, n. 543, p. 104-126, 1994.
- MOURA FÉ, J. de A.; HOLANDA, L. F. F. de; MAIA, G. A.; GUEDES, Z. B. L.; ORIÁ, H. F.; GUIMARÃES, A. C. L. Estudo da composição química de quarenta variedades de feijão-de-corda (*Vigna sinensis*, Endl). Fortaleza: **Ciência Agrônômica**, v. 12, n. 1-2, p. 207-212, 1981.
- MUSTAFA, A. I.; AL-WESSALI, M. S.; AL-BASHA, O. M.; AL-AMIR, R. H. Utilization of cowpea flour and protein isolate in bakery products. **Cereal Foods World**, v. 31, n. 10, p. 756-759, 1986.

- MUSTAKAS, G. C.; ALBRECHT, W. J.; BOOKWALTER, G. N.; MCGHEE, J. E.; KWOLEK, W. F.; GRIFFIN Jr., E. L. Extruder-processing to improve nutritional quality, flavor, and keeping quality of full-fat soy flour. **Food Technology**, v. 24, n. 11, p. 1290-1296, 1970.
- MUSTAKAS, G. C.; GRIFFIN Jr., E. L.; ALLEN, L. E.; SMITH, O. B. Production and nutritional evaluation of extrusion-cooked full-fat soybean flour. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 41, n. 9, p. 607-614, 1964.
- NINGSANOND, S.; OORAIKUL, B. Chemical and nutritional properties of dry and wet milling products of red cowpeas. **Canadian Institute of Food Science and Technology Journal**, v. 22, n. 2, p. 147-155, 1989a.
- NINGSANOND, S.; OORAIKUL, B. Use of red cowpea in the manufacture of some food products. **Starch/Stärke**, v. 41, n. 12, p. 452-457, 1989b.
- NOGUCHI, A.; CHEFTEL, J. -C. Extrusion-cooking of protein enriched cookies. **Nippon Shokuhin Kogyo Gakkai Shi**, v. 30, n. 2, p. 114-124, 1983.
- NOGUCHI, A.; MOSSO, K.; AYMARD, C.; JEUNINK, J.; CHEFTEL, J. C. Maillard reactions during extrusion-cooking of protein-enriched biscuits. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, v. 15, n. 2, p. 105-110, 1982.
- NOGUEIRA, O. L. Cultura do feijão caupi no estado do Amazonas. Manaus: **EMBRAPA-UEPAE**, 1981. 21 p. (circular técnica, 4).
- OBATOLU, V. A.; COLE, A. H. Functional property of complementary blends of soybean and cowpea with malted or unmalted maize. **Food Chemistry**, v. 70, n. 2, p. 147-153, 2000.
- OBATOLU, V. A.; COLE, A. H.; MAZIYA-DIXON, B. B. Nutritional quality of complementary food prepared from unmalted and malted maize fortified with cowpea using extrusion cooking. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 80, n. 6, p. 646-650, 2000.
- OGHIAKHE, S.; COOKE, R. J.; JACKAI, L. E. N. The characterization of cultivars of cowpeas, *Vigna unguiculata* (L.) Walp and *Vigna vexillata* Benth by electrophoresis of seed proteins. Trinidad: **Tropical Agriculture**, v. 70, n. 2, p. 190-192, 1993.
- OLIVEIRA, F. J. de; SANTOS, J. H. R. dos. Predição dos períodos de estocagem para sementes de *Vigna sinensis* (L.) Savi injuriadas pelo *Callosobruchus maculatus* (F., 1775). Fortaleza: **Ciência Agronômica**, v. 14, n. 1-2, p. 1-14, 1983.

- OLIVEIRA, F. J. de; SANTOS, J. H. R. dos; ASSUNÇÃO, M. V.; ALVES, J. F. Determinação do teor de umidade em sementes de *Vigna sinensis* (L.) carunchadas. Fortaleza: **Ciência Agrônômica**, v. 14, n. 1-2, p. 137-140, 1983.
- OLIVEIRA, F. N. S.; NUNES, A. M. L.; OLIVEIRA, J. N. S. Ensaio regional de caupi *Vigna unguiculata* (L.) Walp em Rondônia 1989. Porto Velho: **EMBRAPA-UEPAE**, 1990a. 3p. (Pesquisa em Andamento, 119). impresso.
- OLIVEIRA, F. N. S.; NUNES, A. M. L.; OLIVEIRA, J. N. S. Ensaio preliminar de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) em Rondônia - 1989. Porto Velho: **EMBRAPA-UEPAE**, 1990b. 4 p. (Pesquisa em Andamento, 120). impresso.
- OLIVEIRA, F. N. S.; NUNES, A. M. L.; OLIVEIRA, J. N. S. Ensaio avançado de caupi *Vigna unguiculata* (L.) Walp no Estado de Rondônia - 1989. Porto Velho: **EMBRAPA-UEPAE**, 1990c. 4 p. (Pesquisa em Andamento, 121). impresso.
- OLIVEIRA, P. C. de. Respostas do feijão e do milho à situações de estresse hídrico sob plantio de sequeiro em regiões do semi-árido (fases do ciclo fenológico) - Revisão Bibliográfica. Fortaleza: **Fundação Cearense de Meteorologia e de Recursos Hídricos**, 1993. 26 p.
- OLOGHOBO, A. D.; FETUGA, B. L. Chemical composition of promising cowpea (*Vigna unguiculata*) varieties. **Nutrition Reports International**, v. 25, n. 6, p. 913-919, 1982.
- OLUWATOSIN, O. B. Genetic and environmental variability in starch, fatty acids and mineral nutrients composition in cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 78, n. 1, p. 1-11, 1998.
- OMUETI, O.; SINGH, B.B. Nutritional attributes of improved varieties of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). **Human Nutrition: Food Sciences and Nutrition**, v. 41F, n. 2., p. 103-112, 1987.
- ONIGBINDE, A. O.; AKINYELE, I. O. Oligosaccharide content of 20 varieties of cowpeas in Nigeria. **Journal of Food Science**, v. 48, n. 4, p. 1250-1251, 1254, 1983.
- ONIGBINDE, A. O.; AKINYELE, I. O. Effect of water activity on the heat-induced deterioration in the protein digestibility of corn (*Z. mays*) and cowpeas (*V. unguiculata*). **Food Chemistry**, v. 33, n. 3, p. 215-224, 1989.
- ONIGBINDE, A. O.; ONOBUN, V. Effect of pH on some cooking properties of cowpea (*V. unguiculata*). **Food Chemistry**, v. 47, n. 2, p. 125-127, 1993.

- ONYENEKWE, P. C.; NJOKU, G. C.; AMEH, D. A. Effect of cowpea (*Vigna unguiculata*) processing methods on flatus causing oligosaccharides. **Nutritional Research**, v. 20, n. 3, p. 349-358, 2000.
- PADMASHREE, T. S.; VIJAYALAKSHMI, L.; PUTTARAJ, S. Effect of traditional processing on the functional properties of cowpea (*Vigna catjang*) flour. **Journal of Food Science and Technology**, v. 24, n. 5, p. 221-225, 1987.
- PAIVA, J. B.; ALBUQUERQUE, J. J. L.; BEZERRA, F. F. Adubação mineral em feijão-de-corda (*Vigna sinensis* Endl.) no Ceará-Brasil. Fortaleza: **Ciência Agrônômica**, v. 1, n. 2, p. 75-78, 1971.
- PAIVA, J. B.; ALVES, J. F.; FROTA, J. N. E. Adubação nitrogenada e fosfatada em feijão-de-corda, *Vigna sinensis* (L.) Savi. Fortaleza: **Ciência Agrônômica**, v. 3, n. 1-2, p. 55-60, 1973.
- PARK, J.; RHEE, K. S.; KIM, B. K.; RHEE, K. C. Single-Screw extrusion of defatted soy flour, corn starch and raw beef blends. **Journal of Food Science**, v. 58, n. 1, p. 9 – 20, 1993.
- PERI, C.; BARBIERI, R.; CASIRAGHI, E. M. Physical, chemical and nutritional quality of extruded corn germ flour and milk protein blends. **Journal of Food Technology**, v. 18, n. 1, p. 43-52, 1983.
- PETZKE, K. J.; EZEAGU, I. E.; PROLL, J.; AKINSOYINU, A. O.; METGES, C. C. Amino acid composition available lysine content and in vitro protein digestibility of selected tropical crop seeds. Netherlands: **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 50, n. 2, p. 151-162, 1997.
- PHAM, C. B.; DEL ROSARIO, R. R. Studies on the development of texturized vegetable products by the extrusion process. I. Effect of processing variables on protein properties. **Journal of Food Technology**, v. 19, n. 5, p. 535-547, 1984a.
- PHAM, C. B.; DEL ROSARIO, R. R. Studies on the development of texturized vegetable products by the extrusion process. II. Effects of extrusion variables on the available lysine, total and reducing sugars. **Journal of Food Technology**, v. 19, n. 5, p. 549-559, 1984b.
- PHAM, C. B.; DEL ROSARIO, R. R. Studies on the development of texturized vegetables products by the extrusion process. III. Effects of processing variables of thiamin retention. **Journal of Food Technology**, v. 21, n. 5, p. 569 - 576, 1986.
- PHILLIPS, R. D.; BAKER, E. A. Protein nutritional quality of traditional and novel cowpea products measured by *in vivo* and *in vitro* methods. **Journal of Food Science**, v. 52, n. 3, p. 696-699, 1987.

- PHILLIPS, R. D.; BAKER, E. A.; KENNEDY, M. B.; CHHINNAN, M. S.; RAO, V. N. M. Production, textural, and nutritional properties of extruded foods from cowpea meal. **Proceedings of the 6th International Congress of Food Science and Technology**, v. 1, p. 122-123, 1983a.
- PHILLIPS, R. D.; CHHINNAN, M. S.; MENDOZA, L. G. Effect of temperature and moisture content on the kinetics of trypsin inhibitor activity, protein *in vitro* digestibility and nitrogen solubility of cowpea flour. **Journal of Food Science**, v. 48, n. 6, p. 1863-1867, 1983b.
- PHILLIPS, R. D.; McWATTERS, K. H. Contribution of cowpeas to nutrition and health. **Food Technology**, v. 45, n. 9, p. 127-130, 1991.
- PINHO, J. L. N. de. **A cultura do caupi**. Fortaleza: Depto de Fitotecnia, Centro de Ciências Agrárias, U. F. C., 1995. Paginação irregular.
- PONTE, N. T. da. Aspectos do feijão caupi no estado do Pará. Goiânia: **EMBRAPA/CNPAF-IITA**, 1979. 19 p. (mimeografado).
- QUEIROZ FILHO, F.; FERREIRA, L. G. R.; PAIVA, F. L. de; SAUNDERS, L. C. U. Alterações fisiológicas e de produção do caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) cultivado em solo sódico e irrigado com diferentes lâminas. Fortaleza: **Ciência Agrônômica**, v. 17, n. 2, p. 57-64, 1986.
- QUINDERÉ, M. A. W.; SANTOS, J. H. R. dos; ALVES, J. F.; PAIVA, J. B. Estudo comparativo de policultivos de caupi e milho. Fortaleza: **Ciência agrônômica**, v. 16, n. 1, p. 13-22, 1985.
- REGO NETO, J.; PAIVA, J. B.; SANTOS, J. H. R. dos; ALVES, J. F.; Efeitos do sistema de cultivo sobre a produção e seus componentes em feijão-de-corda, *Vigna sinensis* (L.) Savi. Fortaleza: **Ciência Agrônômica**, v. 13, n. 1-2, p. 35-41, 1982.
- REGO NETO, J.; SIMPLÍCIO, A. A.; CHAGAS, M. C. M. das. Cultura do feijão *Vigna* no Rio Grande do Norte. Natal: **Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio G. Norte S/A**, 1981. 39 p. (Boletim Técnico, 10).
- RINGE, M. L. Kinetics of protein quality change in extruded cowpea/corn flour under varied steady-state storage conditions. **Dissertation Abstracts International, B**, v. 46, n. 1, p. 120-121, 1985.
- RINGE, M. L.; LOVE, M. H. Kinetics of protein quality change in an extruded cowpea-corn flour blend under varied steady-state storage conditions. **Journal of Food Science**, v. 53, n. 2, p. 584-588, 1988.

- RODRIGUES, M. A. C. **Formulação de produtos alimentícios à base de misturas de feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) e sorgo granífero (*Sorghum bicolor* (L.) Moench).** Fortaleza: Depto. Tec. Alim., C. C. Agrárias, UFC, 1986. 102 p. Dissertação (Mestrado).
- ROS, G.; COLLINS, J. L. Physico-chemical and nutritional properties of cowpeas (*Vigna unguiculata*) heated under pressure. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 58, n. 3, p. 369-374, 1992.
- ROSSEN, J. L.; MILLER, R. C. Food extrusion. **Food Technology**, v. 27, n. 8, p. 46-53, 1973.
- SAALIAH, F. K.; SEFA-DEDEH, S. Extrusion of maize-cowpea blends in a modified oil expeller. **IFT Annual Meeting: book of abstracts**, 1995. P. 285.
- SAALIAH, F. K.; SEFA-DEDEH, S.; PHILLIPS, R. D.; CHINNAN, M. S. Application of extrusion technology to cowpea-fortified fermented maize. **IFT Annual Meeting: book of abstracts**, 1995. P. 284.
- SAHAGUN, J. F.; HARPER, J. M. Effects of screw restrictions on the performance of an autogenous extruder. **Journal of Food Processing Engineering**, v. 3, n. 4, p. 199 - 216, 1980.
- SANTOS, J. H. R. dos; ALVES, J. F.; OLIVEIRA, F. J. de. Perda de peso em sementes de *Vigna sinensis* (L.) Savi decorrente do ataque de *Callosobruchus maculatus* (F., 1775) (Col., bruchidae). Primeira aproximação. Fortaleza: **Ciência Agrônômica**, v. 8, n. 1-2, p. 51-56, 1978.
- SANTOS, J. H. R. dos; BELEZA, M. das G. S.; LIMA e SILVA, N. A mortalidade do *Callosobruchus maculatus* em grãos de *Vigna sinensis*, tratados com óleo de algodão. Fortaleza: **Ciência Agrônômica**, v. 12, n. 1-2, p. 45-48, 1981.
- SANTOS, J. H. R. dos; VIEIRA, F. V. Ataque do *Callosobruchus maculatus* F. à *Vigna sinensis* Endl. I- Influência sobre o poder germinativo de sementes da c.v. seridó. Fortaleza: **Ciência Agrônômica**, v. 1, n. 2, p. 71-74, 1971.
- SAS INSTITUTE INC. **SAS® Introductory guide.** Third Edition. Cary, North Caroline:1985. 99 p.
- SAUNDERS, L. C. U.; CASTRO, P. T. de; BARBOSA, C. E.; MATIAS F.º, J. Dinâmica da água no solo com a cultura do feijão-de-corda (*Vigna sinensis* (L) Savi), em aluvião eutrófico. Fortaleza: **Ciência Agrônômica**, v. 12. n. 1-2, p. 141-148, 1981.

- SEFA-DEDEH, S.; SAALIA, F. K. Extrusion of maize-cowpea blends in a modified oil expeller. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 73, n. 2, p. 160-168, 1997.
- SEFA-DEDEH, S.; STANLEY, D. Cowpea proteins. 1. Use of response surface methodology in predicting cowpea (*Vigna unguiculata*) protein extractability. **Journal of the Agriculture and Food Chemistry**, v. 27, n. 6, p. 1238-1243, 1979.
- SEFA-DEDEH, S.; STANLEY, D.; VOISEY, P. W. Effects of soaking time and cooking conditions on texture and microstructure of cowpeas (*Vigna unguiculata*). **Journal of Food Science**, v. 43, n. 6, p. 1832-1838, 1978.
- SGARBIERI, V. C.; CLARKE, E. M. W.; PUSZTAI, A. Proteolytic breakdown of kidney bean (*Phaseolus vulgaris*) storage proteins: nutritional implications. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 33, p. 881, 1982.
- SHEARD, P. R.; MITCHELL, J. R.; LEDWARD, D. A. Comparison of the extrusion cooking of a soya isolate and a soya flour. **Journal of Food Technology**, v. 20, n. 6, p. 763-771, 1985.
- SHEARD, P. R.; FELLOWS, A.; LEDWARD, D. A.; MITCHELL, J. R. Macromolecular changes associated with the heat treatment of soya isolate. **Journal of Food Technology**, v. 21, n. 1, p. 55-60, 1986.
- SMITH, O. B. Extrusion and forming: creating new foods. **Food Engineering**, v. 17, n. 7, p. 48-50, 1975.
- SMITH, O. B. Why extrusion cooking?. **Cereal Foods World**, v. 21, n. 1, p. 4-9, 1976.
- SOSULSKI, F. W.; KASIRYE-ALEMU, E. N.; SUMNER, A. K. Microscopic, nutritional and functional properties of cowpea flours and protein concentrates during storage. **Journal of Food Science**, v. 52, n. 3, p. 700-706, 1987.
- SPACKMAN, D. C.; STEIN, W. H.; MOORE, S. Automatic recording apparatus for use in the chromatography of amino acids. New York: **Analytical Biochemistry**, v. 30, p. 1190-1206, 1958.
- STATISTICA 5.0 for windows. **Statsoft Inc.**, Tulsa, USA. 1995.
- STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM. **SAS User's Guide: Statistics**. 5 ed. Cary: 1985. 956 p.

- STRENGTH, D. R. Biochemical and nutritional evaluation of varieties of cowpeas. **Abstracts of Papers, American Chemical Society**, v. 172, agdf 87, 1976.
- TÁVORA, F. J. A. F.; ALVES, J. F.; NUNES, R. de P. Adubação fosfatada em feijão-de-corda *Vigna sp.* Fortaleza: **Ciência Agronômica**, v. 1, n. 1, p. 23-26, 1971.
- TELLA, A. F.; DJEHOMON, O. O. An extraction method for evaluating the seed proteins of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 31, n. 12, p. 1268-1274, 1980.
- THE SAS SYSTEM for windows 3.95 – Release 6.08. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA, 1992.
- TRIBELHORN, R. E.; HARPER, J. M. Extruder-cooker equipment. **Cereal Foods World**, v. 25, n. 4, p. 154-156, 1980.
- TSAO, T. -F. **Available lysine retention during extrusion processing**. Dissertation. Colorado State University, Fort Collins. 1976.
- TUAN, Y. -H.; PHILLIPS, R. D. Effect of the hard-to-cook defect and processing on protein and starch digestibility of cowpeas. **Cereal Chemistry**, v. 68, n. 4, p. 413-418, 1991.
- TUAN, Y. -H.; PHILLIPS, R. D. Nutritional Quality of hard-to-cook and processed cowpea. **Journal of Food Science**, v. 57, n. 6, p. 1371-1374, 1992.
- UZOGARA, S. G.; OFUYA, Z. M. Processing and utilization of cowpeas in developing countries: a review. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 16, n. 2, p. 105-147, 1992.
- VAN DE KAMER, J. H. & VAN GINKEL, L. Rapid determination of crude fiber in cereals. **Cereal Chemistry**, v. 29, n. 4, p. 239-251, 1952.
- VILELA, E. R. **Produção, caracterização e extrusão de farinha de guandu**. Campinas: Fac. Eng. Alim. e Agrícola, UNICAMP, 1983. 149 p. Tese (Doutorado).
- WALLACE, G. M.; BANNATYNE, W. R.; KHALEQUE, A. Studies on the processing and properties of soymilk. II. Effect of processing conditions on the trypsin inhibitor activity and the digestibility in vitro of proteins in various soymilk preparations. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 22, p. 526, 1971.

- WASZCZYNSKYJ, N.; RAO, C. S.; DA SILVA, R. S. F. Extraction of proteins from wheat bran: application of carbohydrases. **Cereal Chemistry**, v. 58, n. 4, p. 264-266, 1981.
- YACU, W. Process instrumentation and control in food extruders. **Cereal Foods World**, v. 35, n. 9, p. 919-926, 1990.
- YOUSSEF, M. K. E.; ABDEL-GAWAD, A. S. Protein quality and trypsin inhibitors in some common Egyptian legume seeds. **Assiut Journal of Agricultural Sciences**, v. 23, n. 3, p. 3-18, 1992.

7. ANEXOS.

CONVENÇÃO PARA A SIMBOLOGIA:

R^2 = coeficiente de determinação.

C.V. = coeficiente de variação.

G. L. = graus de liberdade.

S. Q. = soma dos quadrados.

Q. M. = quadrado médio (relação SQ / GL).

Prob > F = nível de significância total do modelo.

* = falta de ajuste significativa ao nível $p \leq 0,05$.

Anexo 01. Análise de variância da luminosidade (L^*) através do SAS® (PROC RSREG).

MÉDIA DAS RESPOSTAS = 60,26					
DESVIO PADRÃO = 1,77					
$R^2 = 0,8475$					
C.V. = 2,95 %					
REGRESSÃO	G. L.	S. Q.	R^2	VALOR F	Prob > F
Linear	3	88,5	0,4281	9,358	0,0030
Quadrática	3	84,8	0,4106	8,975	0,0035
Interação	3	1,83	0,0089	0,194	0,8982
Total da regressão	9	175,1	0,8475	6,175	0,0044
RESÍDUO	G. L.	S. Q.	Q. M.	VALOR F	Prob > F
Falta de ajuste	5	16,16	3,23	1,05	0,4782
Erro puro	5	15,35	3,07		
Total do erro	10	31,51	3,15		

Anexo 02. Modelo ajustado para a luminosidade dos extrusados
(PROC GLM-SAS)

MÉDIA DAS RESPOSTAS = 60,256					
DESVIO PADRÃO = 1,6341					
$R^2 = 0,8061$					
C.V.= 2,71 %					
CAUSA DE VARIAÇÃO	G. L.	S. Q.	Q. M.	VALOR F	Prob > F
Modelo	4	166,56	41,64	15,59	0,0001
Erro	15	40,05	2,67		
Total corrigido	19	206,61			

PARÂMETROS	Estimativa	Erro padrão da estimativa	Prob > T
Intercepto	60,7445	0,5657	0,0001
X ₁	-1,4064	0,4422	0,0062
X ₂	-2,1065	0,4422	0,0003
X ₁ *X ₁	1,1778	0,4282	0,0149
X ₂ *X ₂	-1,8939	0,4282	0,0005

Anexo 03. Análise de variância da coordenada de cromaticidade a*
através do SAS® (PROC RSREG)

MÉDIA DAS RESPOSTAS = 7,06					
DESVIO PADRÃO = 0,90					
$R^2 = 0,8564$					
C.V.= 12,78 %					
REGRESSÃO	G. L.	S. Q.	R^2	VALOR F	Prob > F
Linear	3	34,40	0,6066	14,078	0,0006
Quadrática	3	14,10	0,2495	5,790	0,0147
Interação	3	0,01	0,0002	0,00561	0,9994
Total da regressão	9	48,50	0,8564	6,624	0,0034
RESÍDUO	G. L.	S. Q.	Q. M.	VALOR F	Prob > F
Falta de ajuste	5	3,84	0,77	0,986	0,5467
Erro puro	5	4,29	0,86		
Total do erro	10	8,14	0,81		

Anexo 04. Modelo ajustado para o componente a* da cor dos extrusados (PROC GLM - SAS®)

MÉDIA DAS RESPOSTAS = 7,0585					
DESVIO PADRÃO = 0,7764					
$R^2 = 0,8297$					
C.V.= 11,00 %					
CAUSA DE VARIAÇÃO	G. L.	S. Q.	Q. M.	VALOR F	Prob > F
Modelo	3	47,00	15,666	25,99	0,0001
Erro	16	9,64	0,603		
Total corrigido	19	56,64			

PARÂMETROS	Estimativa	Erro padrão da estimativa	Prob > T
Intercepto	6,4225	0,2220	0,0001
X ₁	1,3206	0,2101	0,0001
X ₂	0,8745	0,2101	0,0007
X ₂ *X ₂	0,9313	0,2026	0,0003

Anexo 05. Análise de variância da coordenada de cromaticidade b* dos extrusados através do SAS® (PROC RSREG).

MÉDIA DAS RESPOSTAS = 20,85					
DESVIO PADRÃO = 1,12					
$R^2 = 0,9041$					
C.V.= 5,37 %					
REGRESSÃO	G. L.	S. Q.	R^2	VALOR F	Prob > F
Linear	3	93,23	0,7121	24,757	0,0001
Quadrática	3	24,13	0,1843	6,408	0,0107
Interação	3	1,01	0,0077	0,269	0,8466
Total da regressão	9	118,38	0,9041	10,478	0,0005
RESÍDUO	G. L.	S. Q.	Q. M.	VALOR F	Prob > F
Falta de ajuste	5	0,85	0,17	0,0722	0,9941
Erro puro	5	11,71	2,34		
Total do erro	10	12,55	1,26		

Anexo 06. Modelo ajustado para a coordenada de cromaticidade b*
dos extrusados (PROC GLM - SAS®)

MÉDIA DAS RESPOSTAS = 20,850					
DESVIO PADRÃO = 1,1149					
$R^2 = 0,8386$					
C.V.= 5,35 %					
CAUSA DE VARIAÇÃO	G. L.	S. Q.	Q. M.	VALOR F	Prob > F
Modelo	2	109,80	54,90	44,16	0,0001
Erro	17	21,13	1,24		
Total corrigido	19	130,93			

PARÂMETROS	Estimativa	Erro padrão da estimativa	Prob > T
Intercepto	20,0888	0,3188	0,0001
X ₁	2,5891	0,3017	0,0001
X ₂ *X ₂	1,1147	0,2910	0,0013

Anexo 07. Análise de variância da diferença de cor (ΔE) das amostras
através do SAS® (PROC RSREG)

MÉDIA DAS RESPOSTAS = 26,90					
DESVIO PADRÃO = 1,96					
$R^2 = 0,8713$					
C.V.= 7,31 %					
REGRESSÃO	G. L.	S. Q.	R^2	VALOR F	Prob > F
Linear	3	161,69	0,5387	13,947	0,0007
Quadrática	3	99,27	0,3307	8,563	0,0041
Interação	3	0,57	0,0019	0,0493	0,9847
Total da regressão	9	261,52	0,8713	7,520	0,0020
RESÍDUO	G. L.	S. Q.	Q. M.	VALOR F	Prob > F
Falta de ajuste	5	12,85	2,57	0,498	0,7685
Erro puro	5	25,79	5,16		
Total do erro	10	38,64	3,86		

Anexo 08. Modelo ajustado para a diferença de cor dos extrusados
SAS® (PROC GLM)

MÉDIA DAS RESPOSTAS = 26,90					
DESVIO PADRÃO = 1,8512					
$R^2 = 0,8173$					
C.V.= 6,88 %					
CAUSA DE VARIAÇÃO	G. L.	S. Q.	Q. M.	VALOR F	Prob > F
Modelo	3	245,34	81,78	23,86	0,0001
Erro	16	54,83	3,43		
Total corrigido	19	300,17			

PARÂMETRO	Estimativa	Erro padrão da estimativa	Prob > T
Intercepto	25,2615	0,5293	0,0001
X ₁	2,6240	0,5009	0,0001
X ₂	2,2120	0,5009	0,0004
X ₂ *X ₂	2,3986	0,4831	0,0001

Anexo 09. Análise de variância da taxa de expansão dos extrusados
através do SAS® (PROC RSREG)

MÉDIA DAS RESPOSTAS = 1,94					
DESVIO PADRÃO = 0,23					
$R^2 = 0,9282$					
C.V.= 11,75 %					
REGRESSÃO	G. L.	S. Q.	R^2	VALOR F	Prob > F
Linear	3	3,36	0,4669	21,668	0,0001
Quadrática	3	3,21	0,4460	20,699	0,0001
Interação	3	0,11	0,0153	0,710	0,5678
Total da regressão	9	6,68	0,9282	14,359	0,0001
RESÍDUO	G. L.	S. Q.	Q. M.	VALOR F	Prob > F
Falta de ajuste	5	0,51	0,10	51,301	0,0003*
Erro puro	5	0,01	0,01		
Total do erro	10	0,52	0,05		

Anexo 10. Modelo ajustado para a taxa de expansão dos extrusados
SAS® – (PROC GLM).

MÉDIA DAS RESPOSTAS = 1,94					
DESVIO PADRÃO = 0,24					
$R^2 = 0,8756$					
C.V.= 12,22 %					
CAUSA DE VARIAÇÃO	G. L.	S. Q.	Q. M.	VALOR F	Prob > F
Modelo	3	6,30	2,10	37,55	0,0001
Erro	16	0,89	0,06		
Total corrigido	19	7,19			

PARÂMETRO	Estimativa	Erro padrão da estimativa	Prob > T
Intercepto	2,40	0,0819	0,0001
X ₁	-0,48	0,0640	0,0001
X ₁ * X ₁	-0,38	0,0620	0,0001
X ₂ *X ₂	-0,31	0,0620	0,0001

Anexo 11. Análise de variância da dureza dos extrusados através do
SAS® (PROC RSREG).

MÉDIA DAS RESPOSTAS = 2147,08					
DESVIO PADRÃO = 379,89					
$R^2 = 0,9421$					
C.V.= 17,69 %					
REGRESSÃO	G. L.	S. Q.	R^2	VALOR F	Prob > F
Linear	3	1,74	0,7005	40,314	0,0000
Quadrática	3	0,59	0,2356	13,556	0,0007
Interação	3	0,01	0,0060	0,344	0,7443
Total da regressão	9	2,34	0,9421	18,071	0,0000
RESÍDUO	G. L.	S. Q.	Q. M.	VALOR F	Prob > F
Falta de ajuste	5	0,12	0,23	4,299	0,0677
Erro puro	5	0,02	0,05		
Total do erro	10	0,14	0,14		

Anexo 12. Modelo ajustado para a dureza dos extrusados SAS® - (PROC GLM).

MÉDIA DAS RESPOSTAS = 2147,08

DESVIO PADRÃO = 327,54

$R^2 = 0,9268$

C.V.= 15,25 %

CAUSA DE VARIAÇÃO	G. L.	S. Q.	Q. M.	VALOR F
Modelo	2	23090992,3	11545496,2	107,62
Erro	17	1823758,7	107279,9	
Total corrigido	19	24914751,1		

Prob > F = 0,0001

PARÂMETRO	Estimativa	Erro padrão da estimativa	Prob > T
Intercepto	1722,66	93,65927	0,0001
X ₁	-1129,37	88,62612	0,0001
X ₁ * X ₁	621,47	85,48479	0,0001

Anexo 13. Análise de variância da densidade dos extrusados através do SAS® (PROC RSREG).

MÉDIA DAS RESPOSTAS = 0,47					
DESVIO PADRÃO = 0,02					
$R^2 = 0,9671$					
C.V.= 3,18 %					
REGRESSÃO	G. L.	S. Q.	R^2	VALOR F	Prob > F
Linear	3	0,05	0,6900	67,800	0,0000
Quadrática	3	0,02	0,2927	29,618	0,0000
Interação	3	0,00	0,0044	0,444	0,7268
Total da regressão	9	0,07	0,9671	32,621	0,0000
RESÍDUO	G. L.	S. Q.	Q. M.	VALOR F	Prob > F
Falta de ajuste	5	0,01	0,001	2,296	0,1914
Erro puro	5	0,00	0,000		
Total do erro	10	0,01	0,001		

Anexo 14. Modelo ajustado para a densidade dos extrusados (SAS® - PROC GLM)

MÉDIA DAS RESPOSTAS = 0,47					
DESVIO PADRÃO = 0,015					
$R^2 = 0,9448$					
C.V.= 3,15 %					
CAUSA DE VARIAÇÃO	G. L.	S. Q.	Q. M.	VALOR F	Prob > F
Modelo	2	0,065	0,03	145,57	0,0001
Erro	17	0,004	0,00		
Total corrigido	19	0,069			

PARÂMETRO	Estimativa	Erro padrão da estimativa	Prob > T
Intercepto	0,50	0,00426	0,0001
X_1	-0,06	0,00403	0,0001
$X_1 * X_1$	-0,04	0,00389	0,0001

Anexo 15. Análise de variância do índice de solubilidade em água (ISA) dos extrusados através do SAS® (PROC RSREG)

MÉDIA DAS RESPOSTAS = 34,71					
DESVIO PADRÃO = 8,24					
$R^2 = 0,3730$					
C.V.= 23,74 %					
REGRESSÃO	G. L.	S. Q.	R^2	VALOR F	Prob > F
Linear	3	215,3	0,1988	1,057	0,4100
Quadrática	3	107,0	0,0988	0,525	0,6748
Interação	3	81,7	0,0755	0,401	0,7553
Total da regressão	9	404,0	0,3730	0,661	0,7273
RESÍDUO	G. L.	S. Q.	Q. M.	VALOR F	Prob > F
Falta de ajuste	5	562,5	112,5	4,821	0,0546
Erro puro	5	116,6	23,3		
Total do erro	10	679,1	67,9		

Anexo 16. Análise de variância do índice de absorção de água (IAA)
dos extrusados através do SAS® (PROC RSREG).

MÉDIA DAS RESPOSTAS = 5,07					
DESVIO PADRÃO = 0,71					
$R^2 = 0,6008$					
C.V.= 14,08 %					
REGRESSÃO	G. L.	S. Q.	R^2	VALOR F	Prob > F
Linear	3	3,41	0,2673	2,232	0,1472
Quadrática	3	3,09	0,2420	2,021	0,1749
Interação	3	1,16	0,0914	0,763	0,5400
Total da regressão	9	7,66	0,6008	1,672	0,2172
RESÍDUO	G. L.	S. Q.	Q. M.	VALOR F	Prob > F
Falta de ajuste	5	4,31	0,861	5,505	0,0423*
Erro puro	5	0,78	0,156		
Total do erro	10	5,09	0,509		

Anexo 17.. Análise de variância do teor de metionina total das farinhas
extrusadas através do SAS® (PROC RSREG).

MÉDIA DAS RESPOSTAS = 1,19					
DESVIO PADRÃO = 0,85					
$R^2 = 0,6630$					
C.V.= 70,98 %					
REGRESSÃO	G. L.	S. Q.	R^2	VALOR F	Prob > F
Linear	3	6,24	0,2921	2,889	0,0886
Quadrática	3	0,17	0,0082	0,081	0,9688
Interação	3	7,75	0,3627	3,588	0,0542
Total da regressão	9	14,16	0,6630	2,186	0,1195
RESÍDUO	G. L.	S. Q.	Q. M.	VALOR F	Prob > F
Falta de ajuste	5	6,8960	1,3792	22,689	0,0019*
Erro puro	5	0,3039	0,0608		
Total do erro	10	7,1999	0,7200		

Anexo 18. Análise de variância do teor de isoleucina das farinhas
extrusadas através do SAS® (PROC RSREG).

MÉDIA DAS RESPOSTAS = 4,24					
DESVIO PADRÃO = 0,25					
$R^2 = 0,5434$					
C.V.= 5,93 %					
REGRESSÃO	G. L.	S. Q.	R^2	VALOR F	Prob > F
Linear	3	0,2991	0,2162	1,578	0,2555
Quadrática	3	0,0294	0,0212	0,155	0,9240
Interação	3	0,4234	0,3060	2,234	0,1469
Total da regressão	9	0,7519	0,5434	1,322	0,3333
RESÍDUO	G. L.	S. Q.	Q. M.	VALOR F	Prob > F
Falta de ajuste	5	0,2190	0,0438	0,531	0,7483
Erro puro	5	0,4128	0,0826		
Total do erro	10	0,6317	0,0632		

Anexo 19. Análise de variância do teor de leucina das farinhas
extrusadas através do SAS® (PROC RSREG).

MÉDIA DAS RESPOSTAS = 8,66					
DESVIO PADRÃO = 0,50					
$R^2 = 0,3626$					
C.V.= 5,75 %					
REGRESSÃO	G. L.	S. Q.	R^2	VALOR F	Prob > F
Linear	3	0,3123	0,0803	0,420	0,7426
Quadrática	3	0,1373	0,0353	0,185	0,9044
Interação	3	0,9599	0,2469	1,291	0,3304
Total da regressão	9	1,4095	0,3626	0,632	0,7488
RESÍDUO	G. L.	S. Q.	Q. M.	VALOR F	Prob > F
Falta de ajuste	5	0,2800	0,0560	0,127	0,9794
Erro puro	5	2,1982	0,4396		
Total do erro	10	2,4782	0,2478		

Anexo 20. Análise de variância do teor de tirosina das farinhas extrusadas através do SAS® (PROC RSREG).

MÉDIA DAS RESPOSTAS = 3,04					
DESVIO PADRÃO = 0,19					
$R^2 = 0,3204$					
C.V.= 6,41 %					
REGRESSÃO	G. L.	S. Q.	R^2	VALOR F	Prob > F
Linear	3	0,0693	0,1236	0,606	0,6259
Quadrática	3	0,0262	0,0468	0,230	0,8737
Interação	3	0,0840	0,1500	0,736	0,5543
Total da regressão	9	0,1795	0,3204	0,524	0,8275
RESÍDUO	G. L.	S. Q.	Q. M.	VALOR F	Prob > F
Falta de ajuste	5	0,1470	0,0294	0,629	0,6883
Erro puro	5	0,2338	0,0468		
Total do erro	10	0,3808	0,0381		

Anexo 21. Análise de variância do teor de fenilalanina das farinhas extrusadas através do SAS® (PROC RSREG).

MÉDIA DAS RESPOSTAS = 6,47					
DESVIO PADRÃO = 0,40					
$R^2 = 0,3260$					
C.V.= 6,11 %					
REGRESSÃO	G. L.	S. Q.	R^2	VALOR F	Prob > F
Linear	3	0,0586	0,0253	0,125	0,9431
Quadrática	3	0,1323	0,0571	0,282	0,8370
Interação	3	0,5643	0,2436	1,205	0,3576
Total da regressão	9	0,7552	0,3260	0,537	0,8179
RESÍDUO	G. L.	S. Q.	Q. M.	VALOR F	Prob > F
Falta de ajuste	5	0,2455	0,0491	0,187	0,9554
Erro puro	5	1,3159	0,2632		
Total do erro	10	1,5614	0,1561		

Anexo 22. Análise de variância do teor de lisina total das farinhas extrusadas através do SAS® (PROC RSREG).

MÉDIA DAS RESPOSTAS = 6,94					
DESVIO PADRÃO = 1,29					
$R^2 = 0,4673$					
C.V.= 18,65 %					
REGRESSÃO	G. L.	S. Q.	R^2	VALOR F	Prob > F
Linear	3	4,2032	0,1338	0,837	0,5036
Quadrática	3	8,3386	0,2655	1,661	0,2375
Interação	3	2,1319	0,0679	0,425	0,7395
Total da regressão	9	14,6737	0,4673	0,975	0,5108
RESÍDUO	G. L.	S. Q.	Q. M.	VALOR F	Prob > F
Falta de ajuste	5	7,0183	1,4037	0,723	0,6349
Erro puro	5	9,7113	1,9423		
Total do erro	10	16,7296	1,6730		

Anexo 23. Análise de variância do teor de histidina das farinhas extrusadas através do SAS® (PROC RSREG).

MÉDIA DAS RESPOSTAS = 3,96					
DESVIO PADRÃO = 1,18					
$R^2 = 0,6240$					
C.V.= 29,89 %					
REGRESSÃO	G. L.	S. Q.	R^2	VALOR F	Prob > F
Linear	3	2,8641	0,0769	0,681	0,5833
Quadrática	3	8,3938	0,2252	1,997	0,1785
Interação	3	11,9959	0,3219	2,854	0,0910
Total da regressão	9	23,2538	0,6240	1,844	0,1770
RESÍDUO	G. L.	S. Q.	Q. M.	VALOR F	Prob > F
Falta de ajuste	5	11,8687	2,3737	5,536	0,0418*
Erro puro	5	2,1439	0,4288		
Total do erro	10	14,0126	1,4013		

Anexo 24. Análise de variância do teor de arginina das farinhas extrusadas através do SAS® (PROC RSREG).

MÉDIA DAS RESPOSTAS = 4,24					
DESVIO PADRÃO = 0,27					
$R^2 = 0,7591$					
C.V.= 6,27 %					
REGRESSÃO	G. L.	S. Q.	R^2	VALOR F	Prob > F
Linear	3	1,6178	0,5518	7,636	0,0061
Quadrática	3	0,5387	0,1838	2,543	0,1151
Interação	3	0,0691	0,0236	0,326	0,8067
Total da regressão	9	2,2256	0,7591	3,502	0,0319
RESÍDUO	G. L.	S. Q.	Q. M.	VALOR F	Prob > F
Falta de ajuste	5	0,2111	0,0422	0,426	0,8145
Erro puro	5	0,4951	0,0990		
Total do erro	10	0,7062	0,0706		

Anexo 25. Análise de variância do teor de triptofano das farinhas extrusadas através do SAS® (PROC RSREG).

MÉDIA DAS RESPOSTAS = 1,73					
DESVIO PADRÃO = 0,24					
$R^2 = 0,4310$					
C.V.= 13,88 %					
REGRESSÃO	G. L.	S. Q.	R^2	VALOR F	Prob > F
Linear	3	0,2118	0,2094	1,227	0,3503
Quadrática	3	0,0981	0,0970	0,568	0,6485
Interação	3	0,1261	0,1246	0,730	0,5572
Total da regressão	9	0,4360	0,4310	0,842	0,5972
RESÍDUO	G. L.	S. Q.	Q. M.	VALOR F	Prob > F
Falta de ajuste	5	0,1645	0,0329	0,400	0,8311
Erro puro	5	0,4109	0,0822		
Total do erro	10	0,5754	0,0575		

Anexo 26. Análise de variância do teor de ácido aspártico das farinhas extrusadas através do SAS® (PROC RSREG).

MÉDIA DAS RESPOSTAS = 14,13					
DESVIO PADRÃO = 0,64					
$R^2 = 0,3544$					
C.V.= 4,55 %					
REGRESSÃO	G. L.	S. Q.	R^2	VALOR F	Prob > F
Linear	3	0,5155	0,0806	0,416	0,7452
Quadrática	3	0,5415	0,0847	0,437	0,7313
Interação	3	1,2089	0,1891	0,976	0,4421
Total da regressão	9	2,2659	0,3544	0,610	0,7652
RESÍDUO	G. L.	S. Q.	Q. M.	VALOR F	Prob > F
Falta de ajuste	5	1,1972	0,2394	0,408	0,8259
Erro puro	5	2,9311	0,5862		
Total do erro	10	4,1283	0,4128		

Anexo 27. Análise de variância do teor de treonina das farinhas extrusadas através do SAS® (PROC RSREG).

MÉDIA DAS RESPOSTAS = 4,59					
DESVIO PADRÃO = 0,23					
$R^2 = 0,2001$					
C.V.= 4,91 %					
REGRESSÃO	G. L.	S. Q.	R^2	VALOR F	Prob > F
Linear	3	0,0156	0,0246	0,103	0,9566
Quadrática	3	0,0289	0,0454	0,189	0,9014
Interação	3	0,0826	0,1301	0,542	0,6642
Total da regressão	9	0,1271	0,2001	0,278	0,9664
RESÍDUO	G. L.	S. Q.	Q. M.	VALOR F	Prob > F
Falta de ajuste	5	0,1992	0,0398	0,645	0,6787
Erro puro	5	0,3087	0,0617		
Total do erro	10	0,5079	0,0508		

Anexo 28. Análise de variância do teor de serina das farinhas extrusadas através do SAS® (PROC RSREG).

MÉDIA DAS RESPOSTAS = 6,57					
DESVIO PADRÃO = 0,18					
$R^2 = 0,6329$					
C.V.= 2,72 %					
REGRESSÃO	G. L.	S. Q.	R^2	VALOR F	Prob > F
Linear	3	0,1709	0,1966	1,785	0,2134
Quadrática	3	0,2516	0,2895	2,629	0,1078
Interação	3	0,1276	0,1468	1,333	0,3179
Total da regressão	9	0,5501	0,6329	1,916	0,1627
RESÍDUO	G. L.	S. Q.	Q. M.	VALOR F	Prob > F
Falta de ajuste	5	0,0443	0,0088	0,161	0,9667
Erro puro	5	0,2748	0,0550		
Total do erro	10	0,0319	0,0319		

Anexo 29. Análise de variância do teor de ácido glutâmico das farinhas extrusadas através do SAS® (PROC RSREG).

MÉDIA DAS RESPOSTAS = 20,8					
DESVIO PADRÃO = 0,97					
$R^2 = 0,3766$					
C.V.= 4,7 %					
REGRESSÃO	G. L.	S. Q.	R^2	VALOR F	Prob > F
Linear	3	1,9292	0,1281	0,685	0,5814
Quadrática	3	0,9656	0,0641	0,343	0,7951
Interação	3	2,7778	0,1844	0,986	0,4380
Total da regressão	9	5,6726	0,3766	0,671	0,7197
RESÍDUO	G. L.	S. Q.	Q. M.	VALOR F	Prob > F
Falta de ajuste	5	0,9869	0,1974	0,117	0,9827
Erro puro	5	8,4029	1,6806		
Total do erro	10	9,3898	0,9390		

Anexo 30. Análise de variância do teor de prolina das farinhas extrusadas através do SAS® (PROC RSREG).

MÉDIA DAS RESPOSTAS = 5,91					
DESVIO PADRÃO = 0,56					
$R^2 = 0,6615$					
C.V.= 9,73 %					
REGRESSÃO	G. L.	S. Q.	R^2	VALOR F	Prob > F
Linear	3	2,4870	0,2545	2,506	0,1185
Quadrática	3	3,3131	0,3390	3,338	0,0643
Interação	3	0,6654	0,0681	0,670	0,5893
Total da regressão	9	6,4655	0,6615	2,171	0,1215
RESÍDUO	G. L.	S. Q.	Q. M.	VALOR F	Prob > F
Falta de ajuste	5	2,6804	0,5361	4,269	0,0686
Erro puro	5	0,6279	0,1256		
Total do erro	10	3,3083	0,3308		

Anexo 31. Análise de variância do teor de glicina das farinhas extrusadas através do SAS® (PROC RSREG).

MÉDIA DAS RESPOSTAS = 4,75					
DESVIO PADRÃO = 0,29					
$R^2 = 0,2958$					
C.V.= 6,03 %					
REGRESSÃO	G. L.	S. Q.	R^2	VALOR F	Prob > F
Linear	3	0,0634	0,0544	0,257	0,8544
Quadrática	3	0,0252	0,0216	0,102	0,9568
Interação	3	0,2562	0,2198	1,040	0,4164
Total da regressão	9	0,3448	0,2958	0,467	0,8666
RESÍDUO	G. L.	S. Q.	Q. M.	VALOR F	Prob > F
Falta de ajuste	5	0,2288	0,0458	0,0386	0,8400
Erro puro	5	0,5923	0,1185		
Total do erro	10	0,8211	0,0821		

Anexo 32. Análise de variância do teor de alanina das farinhas
extrusadas através do SAS® (PROC RSREG).

MÉDIA DAS RESPOSTAS = 4,99					
DESVIO PADRÃO = 0,19					
$R^2 = 0,5004$					
C.V. = 3,7 %					
REGRESSÃO	G. L.	S. Q.	R^2	VALOR F	Prob > F
Linear	3	0,0752	0,1080	0,721	0,5620
Quadrática	3	0,1004	0,1443	0,963	0,4476
Interação	3	0,1726	0,2481	1,655	0,2388
Total da regressão	9	0,3482	0,5004	1,113	0,4317
RESÍDUO	G. L.	S. Q.	Q. M.	VALOR F	Prob > F
Falta de ajuste	5	0,0501	0,0100	0,169	0,9635
Erro puro	5	0,2976	0,0595		
Total do erro	10	0,3477	0,0348		

Anexo 33. Análise de variância do teor de cistina das farinhas
extrusadas através do SAS® (PROC RSREG).

MÉDIA DAS RESPOSTAS = 0,93					
DESVIO PADRÃO = 0,82					
$R^2 = 0,7273$					
C.V. = 88,2 %					
REGRESSÃO	G. L.	S. Q.	R^2	VALOR F	Prob > F
Linear	3	6,3459	0,2563	3,133	0,0743
Quadrática	3	1,0861	0,0439	0,536	0,6680
Interação	3	10,5740	0,4271	5,220	0,0200
Total da regressão	9	18,0060	0,7273	2,963	0,0529
RESÍDUO	G. L.	S. Q.	Q. M.	VALOR F	Prob > F
Falta de ajuste	5	6,6789	1,3358	91,387	0,0001*
Erro puro	5	0,0731	0,0146		
Total do erro	10	6,7520	0,6752		

Anexo 34. Análise de variância do teor de valina das farinhas extrusadas através do SAS® (PROC RSREG).

MÉDIA DAS RESPOSTAS = 5,06					
DESVIO PADRÃO = 0,28					
$R^2 = 0,5989$					
C.V. = 5,58 %					
REGRESSÃO	G. L.	S. Q.	R^2	VALOR F	Prob > F
Linear	3	0,5532	0,2788	2,317	0,1374
Quadrática	3	0,0697	0,0351	0,292	0,8304
Interação	3	0,5655	0,2850	2,369	0,1319
Total da regressão	9	1,1884	0,5989	1,659	0,2206
RESÍDUO	G. L.	S. Q.	Q. M.	VALOR F	Prob > F
Falta de ajuste	5	0,3278	0,0656	0,701	0,6472
Erro puro	5	0,4679	0,0936		
Total do erro	10	0,7957	0,0796		

Anexo 35. Análise de variância do teor de lisina disponível das farinhas extrusadas através do SAS® (PROC RSREG).

MÉDIA DAS RESPOSTAS = 1,92					
DESVIO PADRÃO = 0,47					
$R^2 = 0,4865$					
C.V. = 24,7 %					
REGRESSÃO	G. L.	S. Q.	R^2	VALOR F	Prob > F
Linear	3	1,0017	0,2275	1,477	0,2794
Quadrática	3	0,5526	0,1255	0,815	0,5145
Interação	3	0,5877	0,1335	0,867	0,4900
Total da regressão	9	2,1420	0,4865	1,053	0,4646
RESÍDUO	G. L.	S. Q.	Q. M.	VALOR F	Prob > F
Falta de ajuste	5	1,5814	0,3163	2,328	0,1876
Erro puro	5	0,6793	0,1358		
Total do erro	10	2,2607	0,2261		

Anexo 36. Análise de variância da digestibilidade *in vitro* das farinhas extrusadas através do SAS® (PROC RSREG).

MÉDIA DAS RESPOSTAS = 77,7					
DESVIO PADRÃO = 2,4					
$R^2 = 0,7373$					
C.V.= 3,1 %					
REGRESSÃO	G. L.	S. Q.	R^2	VALOR F	Prob > F
Linear	3	72,246	0,3225	4,093	0,0390
Quadrática	3	72,893	0,3254	4,130	0,0381
Interação	3	20,030	0,0894	1,135	0,3814
Total da regressão	9	165,169	0,7373	3,119	0,0455
RESÍDUO	G. L.	S. Q.	Q. M.	VALOR F	Prob > F
Falta de ajuste	5	44,325	8,8651	3,054	0,1229
Erro puro	5	14,513	2,9026		
Total do erro	10	58,838	5,8838		

Anexo 37. Análise de variância da digestibilidade *in vitro* das farinhas extrusadas através do SAS® (PROC GLM).

MÉDIA DAS RESPOSTAS = 77,7				
DESVIO PADRÃO = 2,6				
$R^2 = 0,4953$				
C.V.= 3,3 %				
CAUSA DE VARIAÇÃO	G. L.	S. Q.	Q. M.	VALOR F
Modelo	2	110,97	55,49	8,34
Erro	17	113,03	6,65	
Total corrigido	19	224,00		
Prob > F = 0,0030				

PARÂMETRO	Estimativa	Erro padrão da estimativa	Prob > T
Intercepto	78,93	0,73735537	0,0001
X ₁	- 2,12	0,69773064	0,0075
X ₁ * X ₁	- 1,84	0,67299974	0,0140