

Universidade de São Paulo
Faculdade de Saúde Pública

**Efeito da extrusão termoplástica nas características
tecnológicas da farinha de amaranto (*Amaranthus
cruentus* L. BRS- Alegria)**

Bruna Menegassi

**Dissertação apresentada ao Programa
de Pós-Graduação em Nutrição em
Saúde Pública da Universidade de
São Paulo para obtenção do título de
Mestre em Nutrição em Saúde
Pública.**

**Orientador: Prof. Dr. José Alfredo
Gomes Arêas**

São Paulo

2009

**Efeito da extrusão termoplástica nas características
tecnológicas da farinha de amaranto (*Amaranthus
cruentus* L. BRS- Alegria)**

Bruna Menegassi

**Dissertação apresentada ao Programa
de Pós-Graduação Nutrição em
Saúde Pública da Universidade de
São Paulo para obtenção do título de
Mestre em Nutrição em Saúde
Pública.**

**Orientador: Prof. Dr. José Alfredo
Gomes Arêas**

São Paulo

2009

É expressamente proibida a comercialização deste documento tanto na sua forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano da dissertação.

DEDICATÓRIA

A todos que acreditam que, apesar de
tudo, ainda vale à pena.

AGRADECIMENTOS

Obrigada:

Deus, pelo dom da vida e da paciência;

Felipe Vieira Moroz, pelo incentivo;

Família amada, pela compreensão;

Prof. Dr. José Alfredo Gomes Arêas, pela confiança;

Professores, funcionários e colegas da FSP-USP,

CERAT-UNESP/Botucatu,

FEA-UNICAMP,

IQ-UNICAMP,

pela constante ajuda e amizade;

Empresa Anaconda Industrial e Agrícola de Cereias S.A.;

FAPESP, pelo apoio financeiro.

Se a vida me agredir, como seguramente fará, então eu vou dizer em que direção há de fazer isso. Farei com que me dê um pontapé para frente.

Stanley Jones

RESUMO

Menegassi, B. Efeito da extrusão termoplástica nas características tecnológicas da farinha de amaranto (*Amaranthus cruentus* L. BRS-Alegria) [dissertação de mestrado]. São Paulo: Faculdade de Saúde Pública da USP; 2009.

Introdução: O amaranto apresenta potencial funcional devido ao seu efeito hipocolesterolemizante e alto valor nutritivo. Sua aplicação na alimentação humana pode ser ampliada pela sua utilização como uma farinha instantânea obtida a partir da extrusão termoplástica e o seu consumo poderá ter impacto na saúde pública, prevenindo doenças cardiovasculares e melhorando o estado nutricional da população. **Objetivo:** Avaliar os efeitos da extrusão termoplástica nas características tecnológicas da farinha de amaranto. **Métodos:** O amaranto foi moído, preparado e extrusado em extrusora de rosca única de acordo com um planejamento fatorial fracionário. As variáveis independentes em estudo foram: tipo de farinha (integral e desengordurada), umidade (15% e 25%), temperatura na terceira zona da extrusora (120°C e 180°C) e rotação da rosca (60% e 90%). **Resultados:** Nas condições do experimento, a variável tipo de farinha apresentou efeitos superiores aos efeitos das variáveis consideradas clássicas da extrusão como temperatura, umidade e rotação da rosca. Obteve-se farinha extrusada com alta solubilidade em água, alto grau de gelatinização, baixa viscosidade e baixa tendência à retrogradação, apresentando potencial para aplicação como um produto instantâneo e não sendo sua qualidade nutricional afetada pela extrusão. O planejamento experimental realizado pode servir como um caminho para a otimização das respostas estudadas.

Descritores: Amaranto, Extrusão termoplástica, Planejamentos fatoriais, Farinha.

ABSTRACT

Menegassi, B. Effect of thermoplastic extrusion on technological characteristics of amaranth flour (*Amaranthus cruentus* L. BRS-Alegria)

Introduction. Amaranth presents great potential as a functional food due to its cholesterol-lowering effect and its high nutritive value. The use of amaranth can be increased through its use as an instant flour produced by the thermoplastic extrusion process. Amaranth consumption can benefit public health by preventing cardiovascular disease and by improving the nutritional status of the population.

Objective. The aim of this work was to evaluate the effect of thermoplastic extrusion on the technological characteristics of amaranth flour. **Methodology.** Amaranth was milled, prepared and extruded in a single-screw laboratory extruder following a fractionated factorial design. The independent variables were: type of flour (whole and defatted), moisture (15% and 25%), third zone barrel temperature (120°C and 180°C) and screw speed (60% and 90%). **Results.** The variable type of flour presented a greater effect than classic extrusion variables such as temperature, moisture and screw speed. Extruded flour with high solubility in water, high degree of gelatinization, low viscosity and low retrogradation tendency was obtained by extrusion and could be used as an instant food product. The nutritive quality of the flour was not affected by extrusion. The factorial experiment conducted in this work can be employed as a way for optimization of the dependent variables studied.

Keywords: Amaranth, Thermoplastic extrusion, Factorial designs, Flour.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	16
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	19
2.1. Amaranto.....	19
2.1.1. Antecedentes	19
2.1.2. Características agronômicas.....	20
2.1.3. Composição e valor nutritivo	21
2.1.4. Produção e consumo	24
2.1.5. Desenvolvimento de novos produtos	25
2.1.6. Efeito hipocolesterolemizante do amaranto	26
2.2. Extrusão termoplástica.....	27
2.2.1. Vantagens e aplicações da extrusão	27
2.2.2. Extrusão do amaranto.....	28
2.3. Planejamento fatorial	31
2.3.1. Princípios básicos do planejamento de experimentos.....	31
2.3.2. Planejamento fatorial fracionado	33
3. OBJETIVOS.....	37
3.1. Objetivo geral.....	37

3.2.	Objetivos específicos	37
4.	METODOLOGIA.....	38
4.1.	Material	38
4.2.	Métodos.....	38
4.2.1.	Produção da farinha crua de amaranto para extrusão.....	38
4.2.2.	Produção das farinhas extrusadas.....	39
4.2.3.	Análises das características tecnológicas dos extrusados	43
4.2.4.	Análises das características tecnológicas das farinhas cruas e extrusadas.....	45
4.3.	Análises estatísticas dos resultados.....	52
4.4.	Aspectos éticos.....	52
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	53
5.1.	Composição centesimal das farinhas	53
5.2.	Análises dos extrusados	56
5.2.1.	Densidade.....	57
5.2.2.	Índice de expansão	63
5.2.3.	Força de cisalhamento.....	68
5.3.	Análise das farinhas de amaranto.....	70
5.3.1.	Índice de solubilidade em água.....	70
5.3.2.	Índice de absorção de água	75

5.3.3. Propriedades viscoamilográficas.....	79
5.3.4. Cor.....	94
5.3.5. Grau de gelatinização.....	99
5.3.6. Granulometria	104
6. CONCLUSÕES.....	107
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	109

ANEXOS

Anexo 1. Análises de amido, amilose e amilopectina das farinhas cruas, integral e desengordurada.....	119
Anexo 2. Análises de amido, amilose e amilopectina das farinhas extrusadas correspondentes aos experimentos 1 e 8.....	120
Anexo 3. Análises de amido, amilose e amilopectina das farinhas extrusadas correspondentes aos experimentos 1r e 8r.....	121
Anexo 4. Efeitos calculados e análise de variância para a força de cisalhamento dos extrusados.....	122
Anexo 5. Efeitos calculados e análise de variância para a quebra de viscosidade das farinhas extrusadas.....	123
Anexo 6. Efeitos calculados e análise de variância para a coordenada de cromaticidade a* das farinhas extrusadas.....	124
Anexo 7. Efeitos calculados e análise de variância para a luminosidade das farinhas extrusadas.....	125

Anexo 8. Efeitos calculados e análise de variância para a diferença de cor das farinhas extrusadas.....	126
CURRÍCULO LATTES	127

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Variáveis do processo de extrusão de alguns estudos realizados com diferentes espécies de amaranto.....	29
Quadro 2. Parâmetros tecnológicos de produtos extrusados de alguns estudos realizados com diferentes espécies de amaranto.....	30

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Coeficientes de contrastes para o planejamento fatorial 2^4	35
Tabela 2. Relações entre os contrastes da meia fração 2^{4-1} e os efeitos do fatorial completo 2^4	36
Tabela 3. Planejamento fatorial 2^{4-1} com resolução IV.....	36
Tabela 4. Matriz do planejamento fatorial 2^{4-1} para a extrusão da farinha de amaranto.....	40
Tabela 5. Programa de extrusão, Extrusion 1, utilizado para as análises de viscosidade.....	48
Tabela 6. Composição centesimal (g/100g) da farinha crua desengordurada (FD) e farinhas extrusadas correspondentes aos experimentos 1 (F1) e 1r (F1r).....	54
Tabela 7. Composição centesimal (g/100g) da farinha crua integral (FI) e farinhas extrusadas correspondentes aos experimentos 8 (F8) e 8r (F8r).....	54
Tabela 8. Propriedades físicas dos extrusados.....	57
Tabela 9. Efeitos calculados para a densidade dos extrusados.....	60
Tabela 10. Análise de variância para a densidade dos extrusados.....	61
Tabela 11. Efeitos calculados para o IE dos extrusados.....	65
Tabela 12. Análise de variância para o IE dos extrusados.....	65
Tabela 13. Propriedades de solubilidade e absorção de água das farinhas de amaranto.....	71
Tabela 14. Efeitos calculados para o ISA das farinhas extrusadas.....	72
Tabela 15. Análise de variância para o ISA das farinhas extrusadas.....	73

Tabela 16. Efeitos calculados para o IAA das farinhas extrusadas.....	77
Tabela 17. Análise de variância para o IAA das farinhas extrusadas.....	78
Tabela 18. Propriedades viscoamilográficas das farinhas de amaranto.....	80
Tabela 19. Efeitos calculados para o PV das farinhas extrusadas.....	84
Tabela 20. Análise de variância para o PV das farinhas extrusadas.....	84
Tabela 21. Efeitos calculados para a VF das farinhas extrusadas.....	88
Tabela 22. Análise de variância para a VF das farinhas extrusadas.....	89
Tabela 23. Efeitos calculados para a TR das farinhas extrusadas.....	92
Tabela 24. Análise de variação para a TR das farinhas extrusadas.....	92
Tabela 25. Parâmetros de cor das farinhas de amaranto.....	94
Tabela 26. Efeitos calculados para a coordenada de cromaticidade b^* das farinhas extrusadas.....	97
Tabela 27. Análise de variância para a coordenada de cromaticidade b^* das farinhas extrusadas.....	98
Tabela 28. Grau de gelatinização das farinhas de amaranto.....	100
Tabela 29. Efeitos calculados para o GG das farinhas extrusadas.....	102
Tabela 30. Análise de variância para o GG das farinhas extrusadas.....	102
Tabela 31. Granulometria da farinha crua de amaranto.....	105
Tabela 32. Distribuição do tamanho de partículas da farinha extrusada de amaranto.....	106

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Extrusora INBRAMAQ, modelo RXPQ Labor 24.....	42
Figura 2. Aspecto geral dos extrusados nos diferentes pontos do planejamento fatorial	56
Figura 3. Gráfico de Pareto para a densidade dos extrusados.....	58
Figura 4. Gráfico de efeitos principais para a densidade dos extrusados.....	59
Figura 5. Gráfico de interações para a densidade dos extrusados.....	61
Figura 6. Gráfico de probabilidade normal para a densidade dos extrusados.....	63
Figura 7. Gráfico de Pareto para o IE dos extrusados.....	64
Figura 8. Gráfico cúbico para os efeitos de interação do IE dos extrusados.....	67
Figura 9. Gráfico de Pareto para a FC dos extrusados.....	69
Figura 10. Gráfico de Pareto para o ISA das farinhas extrusadas.....	72
Figura 11. Gráfico de contorno para o ISA das farinhas extrusadas.....	75
Figura 12. Gráfico de Pareto para o IAA das farinhas extrusadas.....	77
Figura 13. Gráfico de contorno para o IAA das farinhas extrusadas.....	79
Figura 14. Curva de viscosidade típica obtida em RVA (<i>Rapid Visco Analyzer</i>).....	81
Figura 15. Gráfico de viscosidade das farinhas cruas e extrusadas.....	82

Figura 16. Gráfico de Pareto para o PV das farinhas extrusadas.....	83
Figura 17. Gráfico de contorno para o PV das farinhas extrusadas.....	85
Figura 18. Gráfico de Pareto para a QV das farinhas extrusadas.....	86
Figura 19. Gráfico de Pareto para a VF das farinhas extrusadas.....	87
Figura 20. Gráfico cúbico para os efeitos de interação da VF das farinhas extrusadas.....	89
Figura 21. Gráfico de Pareto para a TR das farinhas extrusadas.....	90
Figura 22. Gráfico de Pareto para a coordenada de cromaticidade b^* das farinhas extrusadas.....	97
Figura 23. Gráfico de Pareto para o GG das farinhas extrusadas.....	101
Figura 24. Gráfico de contorno para o GG das farinhas extrusadas.....	103

1. INTRODUÇÃO

Uma gama de alimentos transformados, com o potencial de promover a saúde, surgiu no mercado mundial graças à indústria alimentícia (BELLO, 1995). Acompanhando esta tendência, as empresas brasileiras nos últimos anos expandiram a produção dos alimentos com características funcionais (ATHAYDE, 1999).

Existem várias definições para alimentos funcionais. O Comitê de Alimentos e Nutrição do *Institute of Medicine* (IOM/FNB, 1994) definiu alimentos funcionais como "qualquer alimento ou ingrediente que possa proporcionar um benefício à saúde além dos nutrientes tradicionais que ele contém".

Considerando-se as evidências do efeito hipocolesterolemizante do amaranto, observado em animais de experimentação (DANZ e LUPTON, 1992; CHATURVEDI et al., 1993; QURESHI et al., 1996; GRAJETA, 1999; PLATE e ARÊAS, 2002; CZERWINSKI et al., 2004; MENDONÇA et al., 2009), este grão apresenta um enorme potencial funcional (FERREIRA et al., 2007) sendo que o aumento do seu consumo poderá ter impacto na saúde pública prevenindo doenças cardiovasculares e melhorando o estado nutricional da população.

No Brasil, trabalhos de pesquisa e desenvolvimento resultaram, em 2002, no lançamento de uma variedade de valor agrônômico adaptada ao solo do Cerrado (SPEHAR et al., 2003).

Em se tratando de um alimento que apresenta enorme potencial nutritivo, pesquisas têm sido realizadas no sentido de avaliar o valor biológico da proteína do amaranto extrusado (FERREIRA e ARÊAS, 2004), sua resposta glicêmica e insulinêmica (GUERRA-MATIAS e ARÊAS, 2005), seu efeito redutor de colesterol (DANZ e LUPTON, 1992; CHATURVEDI et al., 1993; QURESHI et al., 1996; GRAJETA, 1999; PLATE e ARÊAS, 2002; CZERWINSKI et al., 2004; MENDONÇA et al., 2009), efeito antioxidante (ANILAKUMAR et al., 2006), antidiabético (KIM et al., 2006), imunoprotetor (HIBI et al., 2003), entre outros, e resultados positivos têm sido obtidos.

Algumas pesquisas (BETSCHART et al., 1981; BRESSANI, 1983) já demonstraram que o cozimento aumenta o valor nutricional do grão de amaranto. O processo de extrusão do grão, o qual se baseia na combinação de altas temperaturas, pressão e fricção (THAKUR e SAXENA, 2000), também resulta em proteína de qualidade nutricional comparável ou mesmo superior à da caseína (MENDOZA e BRESSANI, 1987; FERREIRA e ARÊAS, 2004). Pelo fato de utilizar alta temperatura em curto tempo, as perdas de nutrientes são menores e o cozimento melhora a digestibilidade do produto, devido à desnaturação das proteínas e gelatinização do amido (CEREDA, 2003).

Como consequência, a extrusão permite a produção de uma grande variedade de alimentos pré-cozidos destinados à alimentação humana. Com isso, a aplicação industrial do amaranto pode ser feita sob a forma de uma farinha extrusada a ser utilizada como um produto instantâneo ou em substituição a ingredientes utilizados nos mais diversos produtos alimentícios que necessitam modificação de textura e

consistência, com a vantagem do seu valor nutricional agregado. A literatura a respeito das propriedades tecnológicas da farinha extrusada do amaranto, no entanto, é escassa.

Poucos estudos têm reportado a extrusão da farinha do amaranto isolada ou em combinação com outros grãos e as propriedades tecnológicas da farinha do amaranto brasileiro ainda não são totalmente conhecidas.

Devido ao grande número de variáveis que interferem no processo de extrusão e aos complexos fenômenos que ocorrem durante o processamento, a extrusão da farinha de amaranto foi realizada a partir de um planejamento fatorial, onde as variáveis de interesse, que realmente apresentam influências significativas na resposta, são avaliadas ao mesmo tempo (BARROS-NETO et al., 1995). Um planejamento fatorial não determina valores ótimos em uma única etapa, porém este procedimento indica satisfatoriamente o caminho a ser tomado para que se possa atingir o objetivo proposto.

Este projeto se propôs, utilizando um planejamento fatorial, a desenvolver e caracterizar uma farinha extrusada de amaranto que possa ser incorporada na alimentação humana, tendo em vista seu potencial benéfico à saúde da população.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. AMARANTO

2.1.1. Antecedentes

Nas épocas pré-colombianas, há mais de 500 anos, uma semente conhecida como Huautli (designação utilizada pelo povo mexicano), atualmente conhecido como amaranto, era um dos alimentos básicos na América, quase tão importante como o milho e o feijão (RAMÍREZ, 2007).

O amaranto, a quínoa e o milho eram considerados sagrados pelos Incas, Maias e Astecas. Após a conquista da América, os espanhóis proibiram seu cultivo, já que viam com maus olhos sua utilização em rituais religiosos (BARROS e BUENROSTRO, 1997). O milho e o feijão se converteram em dois dos principais cultivos que alimentam o mundo, ao passo que o amaranto passou à obscuridade. Hoje em dia, o cultivo de amaranto está em franco desenvolvimento, já que estão se redescobrimo suas importantes propriedades (RAMÍREZ, 2007).

2.1.2. Características agronômicas

O amaranto é uma dicotiledônea que compartilha algumas de suas características e propriedades com os cereais e, por isso, é classificado como um pseudo-cereal (APHALO et al., 2004). As sementes têm, em geral, de 1 a 1,5 mm de diâmetro, 0,5 mm de espessura e 0,49 a 0,93 mg de peso, são arredondadas, de coloração bege clara e compreendem uma casca, um embrião e um perisperma (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1984).

As espécies mais estudadas são: *Amaranthus cruentus* (México, África, Caribe, Ásia e América do Sul), *Amaranthus caudatus* (América do Sul), *Amaranthus hypochondriacus* (Índia, México e Estados Unidos) e *Amaranthus tricolor* (China e Índia) (SAUNDERS e BECKER, 1984; BREENE, 1991). Pela semelhança, durante as fases iniciais do desenvolvimento, o amaranto pode confundir-se com espécies de plantas daninhas do mesmo gênero (*Amaranthus hybridus*, *Amaranthus retroflexus*, *Amaranthus viridis* e *Amaranthus spinosus*), as quais estão associadas à expansão agrícola (SPEHAR, 2003).

Trabalhos brasileiros de pesquisa e desenvolvimento, conduzidos pela EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) resultaram, em 2002, no lançamento de uma variedade do *Amaranthus cruentus* adaptada ao solo do Cerrado, a cultivar BRS-Alegria.

O nome Alegria refere-se a um confeito preparado com grãos de amaranto expandidos e embebidos em caramelo, popularmente consumido na Páscoa pelo povo mexicano (TEIXEIRA et al., 2003).

2.1.3. Composição e valor nutritivo

2.1.3.1. Proteína

Uma das características interessantes do grão de amaranto é o seu conteúdo de proteínas, que varia de 12 a 18% (TEUTONICO e KNORR, 1985; SEGURANIETO et al., 1992), sendo a composição de aminoácidos dependente do genótipo e condições de cultivo (GORISTEIN et al., 2002). Apesar da baixa biodisponibilidade das proteínas de origem vegetal, o amaranto apresenta um conteúdo adequado de lisina, triptofano e aminoácidos sulfurados, diferindo de outros cereais que são deficientes em lisina, do milho que é também deficiente em triptofano e do arroz que tem quantidades limitadas de lisina e treonina (BETSCHART et al., 1981).

O grão de amaranto, por não conter glúten, pode ser utilizado por portadores de Doença Celíaca (TOSI et al., 1996; MARCÍLIO et al., 2003; MATUZ et al., 2000). Assim como a soja, o amaranto apresenta as globulinas como sua principal forma de proteína de reserva (GORISTEIN et al., 2002), já o trigo apresenta a fração gliadina, uma prolamina responsável pelas reações alérgicas relacionadas à doença.

2.1.3.2. Carboidratos

A quantidade de amido do amaranto oscila entre 50 e 60%. A maioria das espécies apresenta um amido ceroso, ou seja, rico em amilopectina (quase 95%), o que lhe confere um comportamento especial para utilização como ingrediente alimentar, vista a necessidade de modificação genética do milho, por exemplo, para alcançar essa composição (RAMÍREZ, 2007).

2.1.3.3. Lipídeos

O amaranto contém entre 5 e 8% de lipídeos, sendo que os ácidos graxos presentes em maiores quantidades são o palmítico (19%), o oléico (26%) e o linoléico (47%) (BERGER et al., 2003a).

Apesar do perfil lipídico do grão de amaranto ser semelhante ao de outros cereais, ele apresenta um diferencial por sua fração insaponificada ser rica em esqualeno (BERGANZA et al., 2003), um hidrocarboneto (terpeno) ao qual estão associados diversos benefícios à saúde, entre eles, efeitos hipocolesterolemizantes e anticarcinogênicos (HE et al., 2002).

2.1.3.4. Fibras

O amaranto apresenta um alto conteúdo de fibra alimentar (GUZMÁN-MALDONADO e PAREDES-LÓPEZ, 2000). Contém fibra bruta, composta principalmente por lignina e celulose (PEDERSEN, 1990), e outros componentes de fibra alimentar como hemicelulose, substâncias pécicas, gomas e alguns outros hidratos de carbono.

2.1.3.5. Minerais

O amaranto é considerado uma boa fonte de minerais, com conteúdo variando, dependendo da espécie, de 141 a 241 mg/100g de cálcio, 2,5 a 13,9 mg/100g de ferro, 2,95 a 3,95 mg/100g de zinco, 2,03 a 4,53 mg/100g de manganês e de 478 a 510 mg/100g de fósforo. Estas concentrações representam de 18 a 30% da Ingestão Diária Recomendada (IDR) (BRASIL, 1998) de cálcio, 18 a 99% da IDR de ferro, 20 a 26% da IDR de zinco, 41 a 91% da IDR de manganês e 60 a 64% da IDR de fósforo (FERREIRA e ARÊAS, 2007).

2.1.3.6. Vitaminas

Embora o amaranto seja um pseudo-cereal, sua composição se assemelha à de um cereal verdadeiro, tendo ainda algumas vantagens: maior teor de riboflavina e de ácido ascórbico que os cereais como trigo, cevada, aveia, centeio, arroz e milho (BRESSANI, 1983). Nas variedades de *Amaranthus cruentus* podem ser encontradas de 0,19 a 0,23 mg/100g de riboflavina, 1,17 a 1,45 mg/100g de niacina, até 4,5 mg/100g de ácido ascórbico e de 0,07 a 0,1 mg/100g de tiamina (ASCHERI et al., 2004). Ainda, grandes quantidades de biotina e ácido fólico estão presentes no amaranto (GUZMÁN-MALDONADO e PAREDES-LÓPEZ, 2000).

2.1.4. Produção e consumo

Nas últimas décadas, o cultivo do amaranto tem-se difundido de maneira exponencial em vários países do mundo. A Índia, hoje em dia, é um dos principais países produtores de amaranto e possui o segundo banco de germoplasma do grão, sendo o primeiro localizado nos Estados Unidos (BECERRA, 2000).

O amaranto é consumido como grão ou hortaliça na dieta de australianos, africanos e asiáticos, destacando-se nepaleses e habitantes das regiões montanhosas do norte e sul da Índia (LEHMANN, 1996). Na China, muitos produtos têm sido

desenvolvidos tais como biscoitos, espaguete, vinhos, vinagre, molhos de soja, entre outros (WU et al.; 2000).

Nos Estados Unidos, apesar da plantação de amaranto não ter alcançado grandes dimensões, o interesse pelo produto tem aumentado e, junto com o Japão, lideram a vanguarda das investigações científicas, tanto do ponto de vista agrônomo, como do desenvolvimento de novas tecnologias para o uso do grão em novos produtos (BECERRA, 2000).

2.1.5. Desenvolvimento de novos produtos

Devido às vantagens nutricionais do amaranto, diversas pesquisas têm avaliado a incorporação do grão, sob a forma de farinha, em preparações culinárias como substituto da tradicional farinha de trigo, objetivando uma melhor qualidade nutritiva do produto final e também avaliando o impacto dessa substituição em sua estrutura. Dentre essas preparações, destacam-se a elaboração de *cookies* (SINDHUJA et al., 2005; MARCÍLIO et al., 2005), produtos de panificação (TOSI et al., 1996; BURISOVA et al., 2001; AYO, 2001; KOVÁCS et al., 2001; CZUBASZEK, 2002; GAMBUS et al., 2002, CAPRILES et al., 2006; CAPRILES et al., 2008), *snacks* (ILO et al., 1999; CHÁVEZ-JÁUREGUI et al., 2003; GUERRA-MATIAS e ARÊAS, 2005), bebidas instantâneas (MENDOZA e BRESSANI, 1987; ARCILA e MENDOZA, 2006), cereais matinais e barras de cereais (COELHO, 2006), entre outras.

2.1.6. Efeito hipocolesterolemizante do amaranto

Desde há tempo se conhecem os efeitos benéficos do amaranto para a saúde. Estudos têm evidenciado o efeito hipocolesterolemizante do amaranto sob diversas formas (grão integral, moído, estourado, extrusado) (DANZ e LUPTON, 1992; CHATURVEDI et al., 1993; QURESHI et al., 1996; GRAJETA, 1999; PLATE e ARÊAS, 2002; CZERWINSKI et al., 2004; SOARES, 2008; MENDONÇA et al., 2009), no entanto, ainda não está claro qual o componente responsável por esse efeito. Sugere-se um efeito combinado de um ou mais fatores como co-responsáveis pela redução dos níveis de colesterol sérico (FERREIRA et al., 2007).

MENDONÇA et al. (2009) sugerem que a proteína do amaranto seja o principal componente responsável pelo efeito hipocolesterolemizante do grão integral e SOARES (2008) identificou pelo menos um peptídeo que apresenta esse efeito.

Algumas das controvérsias a respeito dos potenciais agentes hipocolesterolemizantes do amaranto devem-se às diferentes espécies estudadas, à preparação e ao processamento do grão, entre outros fatores, bem como ao desenho experimental, incluindo a espécie de animal estudada e a dieta experimental.

2.2. EXTRUSÃO TERMOPLÁSTICA

A extrusão termoplástica é um processo contínuo, no qual a matéria-prima é forçada através de uma matriz ou molde, em condições de mistura e aquecimento, pressão e fricção que levam à gelatinização do amido, à desnaturação de proteínas e à ruptura de pontes de hidrogênio (THAKUR e SAXENA, 2000). Durante o processo de extrusão, ocorre a gelatinização, cozimento, fricção molecular, mistura, esterilização e secagem, reestruturando a matéria-prima a fim de criar novas texturas e formatos (SEBIO, 1996).

Esta técnica é empregada para a produção de uma série de diferentes produtos baseados em matérias-primas protéicas, como a soja, ou ricas em amido, como os cereais em geral (ARÊAS, 1996). Os produtos extrusados servem tanto para consumo direto como análogos, principalmente de carne, ou como matéria-prima a ser incorporada a produtos formulados (HARPER, 1981).

A máquina extrusora é constituída basicamente por alimentador, parafuso ou rosca, cilindro encamisado, matriz e mecanismo de corte (EL-DASH, 1981).

2.2.1. Vantagens e aplicações da extrusão

Como vantagens do processo de extrusão podem ser citadas: versatilidade e alta produtividade, já que uma grande variedade de produtos pode ser produzida em

um sistema básico de extrusão, com uma capacidade de produção maior que outros sistemas de cozimento; baixo custo, pelo fato dos requerimentos de trabalho e espaço por unidade de produção serem menores em relação a outros sistemas de cozimento; variada forma dos produtos; produção de novos alimentos com ingredientes modificados pelo processo e não geração de efluentes (HARPER, 1981). Além disso, MOUQUET (2003) salienta como vantagens da extrusão o fato do processo inativar fatores antinutricionais presentes nos alimentos *in natura* e o fato das altas temperaturas envolvidas promoverem satisfatória qualidade higiênica dos extrusados.

2.2.2. Extrusão do amaranto

Poucos estudos têm reportado a extrusão de amaranto isolado ou em combinação com outros grãos. Tal fato pode estar relacionado ao seu alto conteúdo de lipídeos, o que dificulta a extrusão, já que atuam como lubrificantes, reduzindo o atrito necessário no processo, e também resultam em produtos com baixa expansão.

Algumas características desses estudos, incluindo as variáveis analisadas na extrusão, são mostradas no Quadro 1. Os parâmetros tecnológicos analisados, no entanto (Quadro 2), foram otimizados para a produção de extrusados a serem consumidos como *snacks* ou incorporados em barras de cereais, sendo as variáveis-respostas diferentes das esperadas para uma farinha extrusada (pré-gelatinizada), objeto deste estudo.

Quadro 1. Variáveis do processo de extrusão de alguns estudos realizados com diferentes espécies de amaranto.

Autor e ano	Matéria-prima	U (%)	T (°C)	TC	RR (rpm)	VA	Produto final
Mendoza e Bressani, 1987	<i>A. cruentus</i> e <i>A. caudatus</i> (Peru)	10	146-163	nd	nd	7 kg/minuto	Farinha (p/ bebida instantânea)
Vargas-López et al., 1991	<i>A. hypochondriacus</i> (México)	20-30	50-70	1:1	30-60	nd	Farinha extrusada
Ilo et al., 1999	<i>A. caudatus</i> (Áustria) + arroz	11-16	150-190	nd	58-82	15-35 kg/h	<i>Snacks</i>
Chávez-Jáuregui et al., 2000	<i>A. caudatus</i> (Peru)	10-20	130-170	3,55:1	200	70 g/minuto	<i>Snacks</i>
Plate e Arêas, 2002	<i>A. caudatus</i> (Peru)	13	150	3,55:1	200	70 g/minuto	<i>Snacks</i> (p/ avaliar efeito hipocolesterolemizante)
González et al., 2002a	<i>A. cruentus</i> (Argentina)	12-20	150-200	3:1	173	nd	Farinha pré-cozida
Guerra-Matias e Arêas, 2004	<i>A. cruentus</i> (Brasil)	11,8	20-50	1:1	400	nd	<i>Snacks</i> (p/ avaliar digestibilidade <i>in vitro</i>)
Ferreira e Arêas, 2004	<i>A. caudatus</i> (Peru)	11-24	130-150	3,55:1	200	70 g/minuto	Farinha (p/ avaliar valor biológico da proteína)
Ascheri et al., 2005	<i>A. cruentus</i> (Brasil) + arroz	12-18	126-180	5:1	155	20 g/minuto	Farinha extrusada
Guerra-Matias e Arêas, 2005	<i>A. cruentus</i> (Brasil)	nd	nd	1:1	400	nd	<i>Snacks</i> (p/ avaliar resposta glicêmica)
Coelho, 2006	<i>A. cruentus</i> (Brasil)	10-16	110-150	4:1	210	345 g/minuto	Cereais matinais e barra de cereais
González et al., 2007	<i>A. cruentus</i> (Argentina)	12-20	150-200	3:1	173	nd	Farinha pré-cozida

U: umidade, T: temperatura; TC: taxa de compressão; RR: rotação da rosca; VA: velocidade de alimentação; nd: não disponível.

Quadro 2. Parâmetros tecnológicos de produtos extrusados de alguns estudos realizados com diferentes espécies de amaranto.

Autor e ano	IE	FC	D	ISA	IAA	GG	Cor	V	CC
Mendoza e Bressani, 1987					X				X
Vargas-López et al., 1991		X		X	X				
Ilo et al., 1999	X	X	X					X	
Chávez-Jáuregui et al., 2000	X	X	X						X
Plate e Arêas, 2002									X
González et al., 2002a				X				X	
Guerra-Matias e Arêas, 2004									X
Ferreira e Arêas, 2004									
Ascheri et al., 2005	X		X						X
Guerra-Matias e Arêas, 2005									X
Coelho, 2006	X	X							
González et al., 2007				X	X	X			

IE: índice de expansão; FC: força de cisalhamento; D: densidade; ISA e IAA: índices de solubilidade e absorção de água; GG: grau de gelatinização; V: viscosidade; CC: composição centesimal.

2.3. PLANEJAMENTO FATORIAL

Este tipo de planejamento permite avaliar a relação entre as respostas obtidas (variáveis dependentes) e as condições de processamento da extrusão (variáveis independentes), utilizando um número reduzido de experimentos.

A seguir, os princípios básicos de um planejamento de experimentos são revistos. Esta revisão foi feita principalmente com base no trabalho de BOX et al. (1978), entre outros autores.

2.3.1. Princípios básicos do planejamento de experimentos

Neste ponto, faz-se necessário apresentar algumas definições de termos que serão de uso comum no decorrer do texto.

a) processo: entende-se por processo qualquer conjunto de ações que tenham por objetivo gerar um produto ou resposta. Por exemplo: uma reação química, um determinado processamento, a reação a um determinado medicamento, etc.

b) experimento: é cada uma das combinações dos níveis das variáveis do processo, de acordo com o planejamento experimental utilizado. Exemplo: quando se avalia o rendimento de uma reação, variando tempo e temperatura em dois níveis cada, cada par tempo/temperatura diferente é um experimento.

c) efeito: é a mudança na resposta quando uma variável tem seu valor mudado do nível inferior para o superior. Exemplo: procura-se determinar o efeito da concentração de catalisador sobre a qualidade da resina, quando se alteram as concentrações de catalisador do nível inferior para o superior, de acordo com o planejamento fatorial.

d) parâmetro ou resposta: é a forma de avaliar como o processo reage ao conjunto de alterações impostas a ele. Por exemplo: uma propriedade mecânica, o rendimento, o tempo de vida, etc.

e) fator: qualquer etapa do processo, seja ela quantitativa ou qualitativa, que pode ser alterada é considerada um fator. Exemplos: concentração de carga, temperatura, tempo, etc.

f) nível: em um planejamento é necessário que as alterações dos fatores ocorram em níveis determinados, ou seja, eles devem variar em quantidade e qualidade. Exemplos: concentração de carga 10% ou 50%, temperatura 20°C ou 100°C, etc.

Para se realizar um planejamento fatorial, é necessário que o investigador fixe um número de níveis para cada fator que deseja estudar e, em seguida, realize os experimentos necessários para que todas as combinações entre as variáveis sejam estudadas.

O número de experimentos para um planejamento fatorial é calculado com base no número de variáveis e níveis. Considerando um planejamento com n número de níveis e f número de fatores, a quantidade de experimentos a serem realizados é n^f .

2.3.2. Planejamento fatorial fracionado

É evidente que no método do planejamento fatorial, o número de experimentos pode ser muito elevado, mesmo tratando-se de fatorial de dois níveis, pois isto depende do número de variáveis que serão avaliadas. Entretanto, de maneira geral, as interações de ordem alta (terceira, quarta ou superiores) são pequenas e podem ser confundidas com o desvio padrão dos efeitos. Desta forma, é possível executar um planejamento fatorial parcial sem que seja necessária a determinação de todos os parâmetros de interação. Neste caso, pode-se diminuir o número de experimentos e ainda determinar os efeitos mais importantes (principais e de interações de segunda ordem). Este tipo de planejamento fatorial é chamado de planejamento fatorial fracionado (BOX et al., 1978; LEGRET e DIVET, 1988).

Os efeitos e desvio padrão dos efeitos, neste tipo de fatorial, são calculados da mesma forma que são calculados no planejamento fatorial completo. A vantagem que o planejamento fatorial fracionado apresenta sobre o planejamento fatorial completo é de permitir que se avaliem os efeitos principais e de interações de segunda ordem com um número menor de experimentos. Por outro lado, a desvantagem evidente é que para avaliar os efeitos de interação de ordem superior é

necessário completar o fatorial com experimentos adicionais (BOX et al., 1978; LEGRET e DIVET, 1988).

As aplicações mais significativas do planejamento fatorial fracionado têm se verificado no estudo do comportamento das variáveis em sistemas complexos e na avaliação do comportamento de interferentes em métodos analíticos (BOX et al., 1978; LEGRET e DIVET, 1988).

A Tabela 1 apresenta um exemplo de planejamento fatorial do tipo 2^4 . Uma fração meia pode ser obtida a partir da igualdade $4 = 123$ onde a notação 123 indica a coluna de sinais obtida com a multiplicação das colunas correspondentes aos três primeiros fatores. A literatura costuma apresentar essa relação na forma equivalente $I = 1234$, onde I é denominada geratriz (BARROS-NETO et al., 2003).

Na terminologia estatística, dizemos que o emprego da fração meia confunde o efeito principal com as interações. O valor do contraste calculado é, na verdade, uma estimativa da soma dos efeitos (BARROS-NETO et al., 2003).

O planejamento 2^{4-1} é um exemplo de fatorial fracionário de resolução quatro. Num fatorial de resolução quatro, os efeitos principais não se misturam com as interações de dois fatores, mas estas, por sua vez, misturam-se entre si. A notação empregada para representar a resolução de um planejamento é um índice de Algarismos Romanos, neste caso temos: 2_{IV}^{4-1} (BARROS-NETO et al., 2003).

Para mostrar que o contraste calculado confunde os dois efeitos e estima a sua soma, costuma-se empregar a notação mostrada na Tabela 2.

Tabela 1. Coeficientes de contrastes para o planejamento fatorial 2^4 .

Experimento	Fator a	Fator b	Fator c	Fator d
1	-1	-1	-1	-1
2	-1	-1	-1	+1
3	-1	-1	+1	-1
4	-1	-1	+1	+1
5	-1	+1	-1	-1
6	-1	+1	-1	+1
7	-1	+1	+1	-1
8	-1	+1	+1	+1
9	+1	-1	-1	-1
10	+1	-1	-1	+1
11	+1	-1	+1	-1
12	+1	-1	+1	+1
13	+1	+1	-1	-1
14	+1	+1	-1	+1
15	+1	+1	+1	-1
16	+1	+1	+1	+1

Dessa forma, foi obtido o planejamento fatorial fracionado 2^{4-1} apresentado na Tabela 3, o qual foi utilizado neste trabalho.

Tabela 2. Relações entre os contrastes da meia fração 2^{4-1} e os efeitos do fatorial completo 2^4 .

Relações entre as colunas de sinais	Contrastes da meia fração 2^{4-1} em termos de efeitos do fatorial 2^4
1 = 234	$l_1 = l_{234} \rightarrow 1 + 234$
2 = 134	$l_2 = l_{134} \rightarrow 2 + 134$
3 = 124	$l_3 = l_{124} \rightarrow 3 + 124$
4 = 123	$l_4 = l_{123} \rightarrow 4 + 123$
12 = 34	$l_{12} = l_{34} \rightarrow 12 + 34$
13 = 24	$l_{13} = l_{24} \rightarrow 13 + 24$
14 = 23	$l_{14} = l_{23} \rightarrow 14 + 23$
I = 1234	$l_1 \rightarrow M + 1/2 (1234)$

M é a média de todas as respostas; *l* representa os contrastes.

Tabela 3. Planejamento fatorial 2^{4-1} com resolução IV.

Experimento	Fator a	Fator b	Fator c	Fator d
1	-1	-1	-1	-1
2	-1	-1	+1	+1
3	-1	+1	-1	+1
4	-1	+1	+1	-1
5	+1	-1	-1	+1
6	+1	-1	+1	-1
7	+1	+1	-1	-1
8	+1	+1	+1	+1

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GERAL

Verificar os efeitos da extrusão sobre as características tecnológicas de extrusados e farinhas de amaranto (*Amaranthus cruentus* L. BRS-Alegria).

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Avaliar os efeitos das variáveis independentes (tipo de farinha, umidade, temperatura e rotação) nas respostas: índice de expansão, densidade e força de cisalhamento dos extrusados.

Avaliar os efeitos das mesmas variáveis independentes nas respostas: índices de solubilidade e absorção em água, propriedades viscoamilográficas, cor e grau de gelatinização das farinhas extrusadas de amaranto.

4. METODOLOGIA

4.1. MATERIAL

Foi empregado o *Amaranthus cruentus* L. (variedade BRS – Alegria) cultivado em Planaltina, DF.

4.2. MÉTODOS

4.2.1. Produção da farinha crua de amaranto para extrusão

Após serem limpos, os grãos de amaranto foram moídos em moinho Bühler MLU-202, na empresa Anaconda Industrial e Agrícola de Cereais S.A. (Jaguaré-SP). O produto final foi homogeneizado e denominado farinha crua.

Devido à necessidade de se obter farinha de amaranto desengordurada como uma variável independente a ser incluída no planejamento experimental, uma parte da farinha crua sofreu remoção de sua fração lipídica através de extração a frio com hexano, na proporção 1:5 (m/v).

Após o desengorduramento, a farinha foi colocada em fôrmas forradas com papel filtro, permanecendo em estufa ventilada a 30°C por 48 horas. O material foi revolvido regularmente para garantir a evaporação completa do solvente.

Ambas as farinhas foram acondicionadas em sacos plásticos sob refrigeração em temperatura de 5 a 8°C até o momento da extrusão.

4.2.2. Produção dos extrusados e das farinhas extrusadas

4.2.2.1. Delineamento experimental

No caso deste projeto, foram investigados os efeitos das variáveis: tipo de farinha, umidade, temperatura na 3ª zona da extrusora e rotação da rosca.

O comportamento desses quatro fatores foi investigado em um planejamento fatorial fracionado em dois níveis: mínimo (-1) e máximo (+1), totalizando oito experimentos (Tabela 4). Os experimentos foram realizados com repetição em dois dias diferentes, constituindo dois blocos. Os experimentos foram executados em ordem aleatória com o objetivo de minimizar viés sistemático nas respostas observadas. A seleção das variáveis e de seus níveis foi feita baseando-se nos estudos prévios relacionados nos Quadro 1 e 2, item 2.2.2.

Tabela 4. Matriz do planejamento fatorial 2^{4-1} para a extrusão da farinha de amaranto.

Experimentos	Variáveis codificadas teóricas				Variáveis decodificadas teóricas			
	TF	U	T	R	TF	U (%)	T (°C)	R (%)
1	-1	-1	-1	-1	D	15	120	60
2	-1	-1	+1	+1	D	15	180	90
3	-1	+1	-1	+1	D	25	120	90
4	-1	+1	+1	-1	D	25	180	60
5	+1	-1	-1	+1	I	15	120	90
6	+1	-1	+1	-1	I	15	180	60
7	+1	+1	-1	-1	I	25	120	60
8	+1	+1	+1	+1	I	25	180	90

Não corresponde à ordem aleatorizada; TF = tipo de farinha (D = desengordurada; I = integral); U = umidade; T = temperatura; R = rotação da rosca (100 % da rotação corresponde a 263 rpm).

4.2.2.2. Condicionamento da umidade

As farinhas cruas de amaranto foram acondicionadas, quanto aos diferentes níveis de umidade, em um misturador ERWEKA AR400 (Apparatebau GmbH, Alemanha), conforme os valores estipulados no planejamento experimental. A umidificação foi realizada com água destilada esborrifada sobre a farinha que se encontrava em contínuo revolvimento. A quantidade de água a ser adicionada às amostras foi calculada considerando-se a quantidade de farinha a ser extrusada e a sua umidade inicial. Após essa etapa, as farinhas foram armazenadas em sacos

plásticos à temperatura de 5 a 8°C por 48 horas para garantia de homogeneidade da amostra. Antes do início da extrusão, aguardou-se até que as farinhas atingissem a temperatura ambiente.

4.2.2.3. Extrusão das farinhas

Foi utilizada extrusora de rosca única com capacidade de produção semi-industrial (modelo RXPQ Labor 24, INBRAMAQ - Indústria de Máquinas Ltda., Ribeirão Preto - SP) (Figura 1). O controle da temperatura é feito por termopares e sistema de refrigeração com água e válvulas solenóides. A alimentação da extrusora é conduzida por um silo com dosagem por gravidade. Acoplado à extrusora, existe um painel que controla os parâmetros variáveis da extrusão. Uma interface para computador desenvolvida em ambiente *Windows* pelo software Indusoft, que permite tanto o controle das condições de operação do equipamento como a aquisição dos dados em tempo real, foi desenvolvida no Laboratório de Bioquímica e Propriedades Funcionais de Alimentos da Faculdade de Saúde Pública – USP e foi empregada neste projeto.

Os parâmetros de processamento foram divididos em fixos e variáveis, considerando experiências anteriores do grupo de pesquisa do Laboratório de Bioquímica e Propriedades Funcionais de Alimentos com matérias-primas semelhantes realizadas no equipamento disponível (CHÁVEZ-JÁUREGUI et al., 2000; COELHO, 2006).



Figura 1. Extrusora INBRAMAQ, modelo RXPQ Labor 24.

Os parâmetros fixos foram: camisa helicoidal, rosca curta com alta taxa de compressão 3,5:1, trafiladora: um furo com 3,6 mm de diâmetro, subtrafiladora: furos com 3 mm de diâmetro, temperatura na primeira zona de aquecimento da extrusora: 30°C, temperatura na segunda zona de aquecimento da extrusora: 80°C e velocidade de alimentação: 150 g/minuto.

Os parâmetros variáveis são descritos no item 4.2.2.1, conforme o planejamento experimental.

No início de cada processamento por extrusão foi utilizado quirera de milho para estabilização da máquina, sendo introduzido em seguida um pouco de farinha de

amaranto, com o objetivo de ambientar a extrusora. As farinhas dos experimentos só eram introduzidas na calha de alimentação quando a temperatura e rotação da rosca alcançavam os valores desejados. Houve um descarte do produto gerado inicialmente, sendo apenas aproveitado o material coletado após o processo atingir o equilíbrio, que era verificado pela estabilidade do consumo de energia do equipamento. Ao final do processamento, aferiram-se medidas do índice de expansão e da densidade de uma amostra dos extrusados. Uma parte destes foi recolhida, seca em estufa com circulação de ar a 30°C por 24 horas e analisada em seguida quanto à força de cisalhamento e uma outra parte foi moída e peneirada em peneira de malha de 60 mesh (0,250 mm) para a realização das análises referentes à farinha extrusada.

4.2.3. Análises das características tecnológicas dos extrusados

4.2.3.1. Índice de expansão

O índice de expansão (IE) foi obtido logo após a extrusão e calculado através do quociente entre o diâmetro dos extrusados e o diâmetro do orifício de saída da extrusora, conforme a metodologia proposta por FAUBION e HOSENEY (1982). Para a medida do diâmetro dos extrusados foi utilizado um paquímetro digital (Marca Mitutoyo) e o valor considerado foi obtido pela média aritmética de 30 medidas aleatórias.

4.2.3.2. Densidade

Foi obtida logo após a extrusão e calculada a partir da média de 30 medidas aleatórias de massa, diâmetro e comprimento dos extrusados de acordo com CHÁVEZ-JAUREGUI et al. (2000). Equação 1:

$$\rho = 4M / \pi D^2 L \quad \text{Equação 1}$$

Onde: ρ = densidade do extrusado, M = massa média dos extrusados (mg), D = diâmetro médio dos extrusados (mm), L = comprimento médio dos extrusados (mm).

4.2.3.3. Força de cisalhamento

A medida de força de cisalhamento (FC) foi realizada nos extrusados utilizando-se o equipamento TAXT2i, e o software “Texture Expert” (Stable Micro System, 1999) equipado com cela Warner Bratzler, nas seguintes condições: velocidade pré-teste: 2,0 mm/s; velocidade de teste: 1,0 mm/s; velocidade pós-teste: 5,0 mm/s; distância de ruptura: 1,0 mm/s; distância percorrida: 21 mm. O valor considerado foi obtido pela média aritmética de 30 medidas aleatórias. Esta análise

foi feita no dia seguinte à extrusão e, para isso, uma pequena quantidade de amostra foi mantida em estufa com circulação de ar a 30°C por 24 horas.

4.2.4. Análises das características tecnológicas das farinhas cruas e extrusadas

4.2.4.1. Composição centesimal

A umidade das farinhas foi quantificada por dessecação a 105 °C até peso constante (925.09); cinzas, por incineração a 550 °C em mufla (923.03); proteínas pelo método de micro-Kjeldahl para determinação do nitrogênio total (960.52) e lipídeos por extração contínua em aparelho Soxhlet (920.39C), (AOAC, 1997). Para o cálculo do teor de proteínas, o fator de conversão usado foi $N \times 5,85$, que é mais acurado para a proteína do amaranto que o fator geral 6,25 (BERGHOFER e SHOENLECHNER, 2002). Fibra alimentar foi determinada através do método enzimático-gravimétrico para determinação de fibra solúvel e insolúvel de acordo com PROSKY et al. (1988). Amido total foi quantificado através de hidrólise enzimática de acordo com RICKARD e BEHN (1987) e o teor de açúcares dosado segundo SOMOGY (1945) e NELSON (1944). O teor de amilose total foi determinado de acordo com a metodologia ISO 6647 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1987). As análises de amido e de amilose foram realizadas pelo Centro de Raízes e Amidos Tropicais CERAT/UNESP-Botucatu (Anexos 1, 2 e 3). Considerou-se o valor de amilopectina

igual ao valor obtido da subtração: total de amido menos amilose. Todas as análises supracitadas foram realizadas em triplicata.

4.2.4.2. Índice de absorção de água

O índice de absorção de água (IAA) foi determinado segundo a metodologia de ANDERSON et al. (1969). Em um tubo de centrífuga, previamente tarado, foram colocados aproximadamente 2,5 g de amostra peneirada (60 mesh) e 30 ml de água destilada a 28°C. Os tubos permaneceram em agitação mecânica a 28°C por 30 minutos e, em seguida, foram centrifugados (Sigma 3-18K, Alemanha) a 3000 rpm por 10 minutos. Do líquido sobrenadante, 10 ml foram pipetados cuidadosamente em cadinho de porcelana previamente tarado e levados a estufa a 105°C por 8 horas. Após esse período, o material foi resfriado em dissecador e pesado em balança analítica. A diferença do peso (em gramas) foi multiplicada por 3, sendo o valor obtido o resíduo da evaporação. O líquido restante no tubo de centrífuga foi cuidadosamente descartado, o gel remanescente (resíduo de centrifugação) pesado e o IAA calculado conforme a Equação 2:

$$IAA = PRC / PA - PRE$$

Equação 2

Onde: IAA = índice de absorção de água (g gel/g de matéria seca), PRC = peso do resíduo da centrifugação (g), PA = peso da amostra (g) (base seca), PRE = peso do resíduo da evaporação (g).

4.2.4.3. Índice de solubilidade em água

O índice de solubilidade em água foi determinado segundo a metodologia de ANDERSON et al. (1969) e calculado pela relação entre o peso do resíduo da evaporação e o peso seco da amostra, conforme a Equação 3:

$$ISA = (PRE / PA) * 100$$

Equação 3

Onde: ISA = índice de solubilidade em água (%), PA = peso da amostra (g) (base seca), PRE = peso do resíduo da evaporação (g).

4.2.4.4. Propriedades viscoamilográficas

Para a avaliação das propriedades viscoamilográficas das amostras foi utilizado o *Rapid Visco Analyser* (RVA), série 4 (*Newport Scientific*, Austrália). Utilizou-se uma concentração de 3,05 g de farinha/ 25 ml de água destilada, corrigida para a base de 14% de umidade (NEWPORT SCIENTIFIC, 1998). Foi utilizada a programação *Extrusion 1* (sem álcool) do software *Thermocline for Windows* versão 2.2, para todas as farinhas. A programação utilizada está apresentada na Tabela 5. A viscosidade foi expressa nas unidades do aparelho, ou seja, *Rapid Visco Units* (RVU). Esta análise foi realizada no Departamento de Tecnologia de Alimentos da Faculdade de Engenharia de Alimentos – FEA/UNICAMP.

Tabela 5. Programa de extrusão, *Extrusion 1* utilizado para as análises de viscosidade.

Tempo	Parâmetro	Valor
00:00:00	Temperatura	50°C
00:00:00	Velocidade de rotação	960rpm
00:00:00	Velocidade de rotação	160rpm
00:01:00	Temperatura	50°C
00:04:45	Temperatura	95°C
00:07:15	Temperatura	95°C
00:11:00	Temperatura	50°C

Foram analisadas as seguintes propriedades viscoamilográficas: pico de viscosidade (PV), quebra de viscosidade (QV, diferença entre o pico de viscosidade e o menor valor de viscosidade após o pico), tendência à retrogradação (TR, diferença entre a viscosidade final e o menor valor de viscosidade após o pico) e viscosidade final (VF).

4.2.4.5. Cor

A cor das farinhas foi avaliada em triplicata, através do sistema CIE L*a*b* em aparelho Color Quest XE (Hunter Lab, Estados Unidos da América). Foram estabelecidos os parâmetros: ângulo de observação 10° e iluminante padrão D65, que corresponde à luz natural do dia. Os resultados foram expressos em valores L*, a* e b* (BIBLE & SINGHA, 1993), onde os valores de L* (luminosidade ou brilho) variam do preto (0) ao branco (100), os valores de a* variam do verde (-60) ao vermelho (+60) e os valores de b* variam do azul (-60) ao amarelo (+60). Os resultados obtidos foram também apresentados em termos de diferença de cor (DCO) (MINOLTA, 1993). Para tal, foi utilizada a Equação 4:

$$DCO = [\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}]^{1/2}$$

Equação 4

Onde: $\Delta L^* = L_o$ (luminosidade farinha crua) - L_e (luminosidade farinha extrusada); $\Delta a^* = a_o$ (valor de a^* da farinha crua) - a_e (valor de a^* da farinha extrusada); $\Delta b^* = b_o$ (valor de b^* da farinha crua) - b_e (valor de b^* da farinha extrusada).

4.2.4.6. Grau de gelatinização

Determinou-se o grau de gelatinização das farinhas extrusadas pelo método de CHIANG e JOHNSON (1977a, 1977b). Tratou-se uma amostra (A) com NaOH para total gelatinização, sendo a outra amostra (B) apenas dispersa em água. Ambas foram digeridas com glucoamilase a 40°C, durante 40 minutos, inativando-se a enzima, e logo a seguir com TCA a 25%. Determinou-se o grau de hidrólise, medindo os açúcares redutores (expressos como glicose) por reação com ortotoluidina. As leituras de absorvância ocorreram a 630 nm e a porcentagem de gelatinização foi calculada de acordo com a Equação 5:

$$GG = (B - k) / (A - k) \times 100 \quad \text{Equação 5}$$

Onde: GG = grau de gelatinização da amostra (%), A = absorvância de uma amostra de farinha com amido totalmente gelatinizado, B = absorvância de uma amostra com amido parcialmente gelatinizado (amostras de farinha pré-gelatinizadas

por extrusão), k = absorvância de 1% de uma amostra intacta digerida em 30 minutos, constante para cada variedade ou tratamento.

4.2.4.7. Granulometria

Foi realizada análise de granulometria apenas da farinha crua integral sendo que para isso foi utilizado um equipamento de agitação ERWEKA AR400 (Apparatebau GmbH, Alemanha) com um conjunto de cinco tamises (Tyler 20, 35, 60, 80 e 100). Cem gramas de farinha foram colocadas no tamis superior da pilha de tamises e o conjunto foi agitado sob velocidade constante durante vinte minutos. Ao final desse tempo, a quantidade da farinha retida em cada um dos tamises foi pesada em balança analítica.

Para análise da granulometria das farinhas extrusadas utilizou-se um equipamento granulométrico a laser (Mastersizer, Malvern, Inglaterra). Essa análise foi realizada somente com o objetivo de verificar e padronizar a granulometria que seria utilizada nas análises físico-químicas, já que muitas das propriedades analisadas das farinhas podem sofrer variação dependendo do tamanho de suas partículas. A técnica consiste no espalhamento da luz (laser de comprimento de onda de 488 nm) pelas partículas da amostra, sendo o tamanho inversamente proporcional ao desvio do ângulo da luz espalhada. Esta análise foi realizada no Instituto de Química – IQ/UNICAMP.

Apenas uma farinha extrusada foi escolhida e analisada, já que todas as farinhas foram igualmente peneiradas em peneira com abertura de 0,150 mm. Quando sobrava farinha na parte superior da peneira, a mesma era novamente moída até a sua completa passagem pela abertura da peneira.

4.3. ANÁLISES ESTATÍSTICAS DOS RESULTADOS

Para verificação da significância dos efeitos principais e das interações entre os fatores foi realizada análise de variância (ANOVA). Para verificar diferenças entre a composição centesimal da farinha crua e extrusada foi realizado teste de comparação de médias (Tukey, t-student pareado). As diferenças foram consideradas significativas quando $p < 0,05$.

Todas as análises estatísticas foram realizadas com auxílio dos *softwares* *Minitab* versão 15 e *Statistica* versão 7.1.

4.4. ASPECTOS ÉTICOS

Este trabalho não envolveu experimentação com seres humanos ou animais de laboratório, já que foi totalmente voltado para a modificação de uma matéria-prima alimentar e sua avaliação físico-química.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. COMPOSIÇÃO CENTESIMAL DAS FARINHAS

A Tabela 6 apresenta a comparação da composição centesimal da farinha crua desengordurada (FD) com a farinha extrusada correspondente ao experimento 1 (F1) e sua repetição 1r (F1r); a Tabela 7 apresenta a comparação da composição centesimal da farinha crua integral (FI) com a farinha extrusada correspondente ao experimento 8 (F8) e sua repetição 8r (F8r). Estes experimentos (1 e 8) representam, respectivamente, as condições mais brandas (FD com 15% de umidade, 120 °C de temperatura e 60% da rotação da rosca) e mais severas (FI com 25% de umidade, 180 °C de temperatura e 90% da rotação da rosca) do planejamento fatorial. A análise de composição centesimal foi realizada somente como um controle.

As FD e FI apresentaram de umidade 10,5% e 11,4% e as F1, F1r, F8 e F8r, 8,0%, 7,2%, 9,9% e 9,8%, respectivamente. Os resultados obtidos para a farinha integral, neste estudo, estão de acordo com valores reportados pela literatura: proteína, em torno de 15g/100g, considerando o fator de conversão de 5,85 (YÁNEZ et al., 1994; BERGHOFER e SHOENLECHNER, 2002; AMAYA-FARFAN et al., 2005; COELHO, 2006) e lipídeos, em torno de 7g/100g (AMAYA-FARFAN et al., 2005; CAPRILES et al., 2006; COELHO, 2006). Amido, fibras e cinzas também apresentaram valores semelhantes aos reportados por CAPRILES et al. (2006) e MENDONÇA (2009) para essa mesma variedade estudada.

Tabela 6. Composição centesimal (g/100g) da farinha crua desengordurada (FD) e farinhas extrusadas correspondentes aos experimentos 1 (F1) e 1r (F1r).

Composição	FD	F1	F1r
Proteína	13,3 (1,27) ^a	12,8 (0,23) ^a	13,0 (0,22) ^a
Lipídeo	1,0 (0,01) ^a	0,3 (0,10) ^b	0,5 (0,04) ^b
Amido total	69,6 (0,42) ^a	70,0 (0,02) ^a	69,2 (0,08) ^a
Amilose	0,5 (0,03) ^a	0,7 (0,04) ^b	0,7 (0,02) ^b
Amilopectina	69,1	69,4	68,6
Fibra total	13,8	14,2	14,0
Solúvel	2,1 (0,68) ^a	2,4 (0,66) ^a	3,2 (0,42) ^a
Insolúvel	11,7 (1,09) ^a	11,8 (1,15) ^a	10,9 (1,35) ^a
Cinzas	3,0 (0,06) ^a	3,0 (0,03) ^a	2,9 (0,08) ^a

Média de 3 determinações (desvio-padrão); a,b Teste-t pareado entre FD e F1 e, FD e F1r, sendo que letras diferentes na mesma linha indicam médias estatisticamente diferentes entre si ($p < 0,05$); No experimento F1 utilizou-se farinha desengordurada com 15% de umidade, 120 °C de temperatura e 60% da rotação da rosca; F1r é a repetição dessa extrusão. Valores expressos em base seca.

Tabela 7. Composição centesimal (g/100g) da farinha crua integral (FI) e farinhas extrusadas correspondentes aos experimentos 8 (F8) e 8r (F8r).

Composição	FI	F8	F8r
Proteína	12,8 (0,14) ^a	11,6 (0,94) ^a	12,8 (0,05) ^a
Lipídeo	6,0 (0,06) ^a	3,3 (0,02) ^b	3,2 (0,07) ^b
Amido total	69,1 (0,06) ^a	70,3 (0,19) ^b	69,1 (0,01) ^a
Amilose	0,3 (0,10) ^a	0,6 (0,02) ^b	0,5 (0,08) ^b
Amilopectina	68,8	69,7	68,6
Fibra total	13,0	13,2	11,2
Solúvel	1,9 (0,65) ^a	2,1 (0,50) ^a	2,9 (0,96) ^a
Insolúvel	11,0 (0,98) ^a	11,1 (1,45) ^a	8,2 (1,07) ^b
Cinzas	2,9 (0,09) ^a	2,9 (0,11) ^a	3,0 (0,10) ^a

Média de 3 determinações (desvio-padrão); a,b Teste-t pareado entre FI e F8 e, FI e F8r, sendo que letras diferentes na mesma linha indicam médias estatisticamente diferentes entre si ($p < 0,05$). No experimento F8 utilizou-se farinha integral com 25% de umidade, 180 °C de temperatura e 90% da rotação da rosca; F8r é a repetição dessa extrusão. Valores expressos em base seca.

Os teores da fração amilose encontradas neste estudo foram inferiores aos reportados por HUAIXIANG e CORKE (1999) e JIAN e KUHN (1999) para a espécie de *Amaranthus cruentus* L. (4,2 % e 7,8 % de amilose, respectivamente) e esta diferença pode ser devida ao genótipo utilizado, época de plantio, tipo de solo, condições climáticas, etc.

O processo de extrusão não afetou quantitativamente o teor de proteínas, amido, fibras e cinzas das farinhas, independente das condições empregadas. Qualitativamente, alguns trabalhos já mostraram que o processamento do grão melhora as características nutricionais das proteínas do amaranto. MENDOZA e BRESSANI (1987) e FERREIRA e ARÊAS (2004), ao avaliarem a qualidade protéica do amaranto, confirmaram esses resultados a partir do processo de extrusão para as espécies *Amaranthus cruentus* (Guatemala) e *Amaranthus caudatus* (Peru), respectivamente. Como o material extrusado é uma mistura complexa, pode haver muitos componentes que, mesmo sob condições severas, não são afetados pela extrusão e permanecem como uma fase particulada na mistura (MITCHELL e ARÊAS, 1992).

Houve redução do teor de lipídeos em ambas as farinhas (FI e FD) e isto se deve ao próprio processo de extrusão, devido à formação de interações moleculares envolvendo os lipídeos. Segundo CAMIRE et al. (1990), há uma certa dificuldade de extração de lipídeos a partir de produtos extrusados, já que durante a extrusão as moléculas de lipídeos podem se ligar a outros componentes do alimento como proteínas e carboidratos, dificultando a sua extração na análise.

5.2. ANÁLISES DOS EXTRUSADOS

A Figura 2 ilustra o aspecto geral dos extrusados resultantes da primeira extrusão. A Tabela 8 apresenta os resultados das análises efetuadas nos extrusados.









Variáveis da extrusão			Temperatura			
			120°C		180°C	
			Rotação da rosca			
Umidade			60% (158 rpm)	90% (237 rpm)	60% (158 rpm)	90% (237 rpm)
Tipo de farinha	I	15%		Experimento 5 	Experimento 6 	
		25%	Experimento 7 			Experimento 8 
	D	15%	Experimento 1 			Experimento 2 
		25%		Experimento 3 	Experimento 4 	

Figura 2. Aspecto geral dos extrusados nos diferentes pontos do planeamento fatorial. I: Integral; D: Desengordurada.

5.2.1. Densidade

Tabela 8. Propriedades físicas dos extrusados.

Experimentos	Densidade (mg/mm ³)	Índice de Expansão	Força de cisalhamento (N)
1*	0,20(0,03)**	2,02 (0,20)	17 (5,34)
1r	0,19 (0,03)	2,27 (0,16)	19 (6,73)
2	0,20 (0,03)	2,11 (0,13)	20 (7,08)
2r	0,17 (0,01)	2,21 (0,20)	19 (6,12)
3	0,23 (0,03)	1,57 (0,16)	12 (3,71)
3r	0,20 (0,03)	1,68 (0,17)	14 (4,80)
4	0,21 (0,04)	1,73 (0,17)	15 (4,80)
4r	0,19 (0,03)	1,73 (0,16)	16 (4,95)
5	0,34 (0,05)	1,66 (0,13)	28 (8,18)
5r	0,21 (0,03)	2,13 (0,15)	17 (5,46)
6	0,46 (0,12)	1,44 (0,16)	22 (5,02)
6r	0,23 (0,10)	1,44 (0,17)	10 (5,48)
7	0,46 (0,07)	1,64 (0,16)	31 (14,38)
7r	0,34 (0,07)	1,94 (0,18)	22 (8,49)
8	0,32 (0,06)	1,80 (0,16)	21 (6,71)
8r	0,25 (0,04)	1,89 (0,26)	18 (6,04)

*A numeração não corresponde à ordem aleatorizada; ** média de 30 determinações (desvio-padrão); r: repetição.

O gráfico de Pareto para os valores de densidade é mostrado na Figura 3. O gráfico de Pareto é uma ferramenta que visa facilitar a visualização de uma situação, dispondo as informações partindo dos valores mais altos para os mais baixos. O intuito é visualizar, de maneira mais rápida, quais são os fatores que têm maior efeito

sobre a resposta em questão (WERKEMA, 1995). A seguir, são apresentados os valores absolutos dos efeitos de cada variável e de suas interações em forma de barras horizontais.

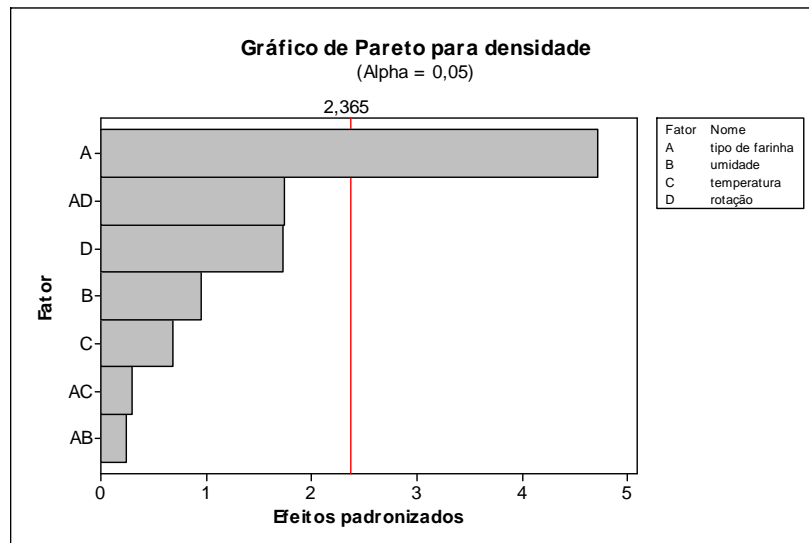


Figura 3. Gráfico de Pareto para a densidade dos extrusados.

A Figura 4 mostra o gráfico de efeitos principais, onde são apresentados os valores médios de densidade nos pontos mínimo e máximo de cada uma das variáveis estudadas. Desta forma, observa-se que, quanto maior a inclinação da reta de determinada variável, maior é a influência da mesma no resultado da análise. Quando a reta tende a ficar na posição horizontal, significa que, independente da variação no valor desta variável, o resultado tende a manter-se constante.

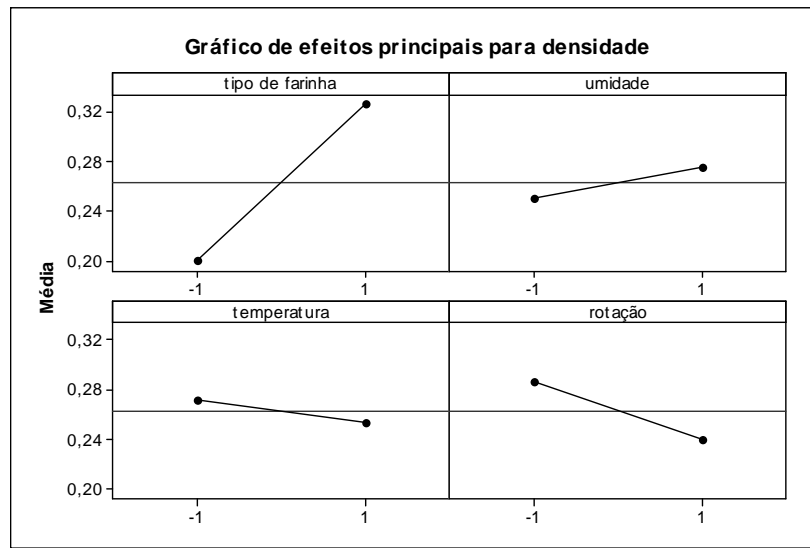


Figura 4. Gráfico de efeitos principais para a densidade dos extrusados.

Foram avaliados também os efeitos das possíveis interações entre as variáveis em questão. Observando-se a Tabela 9, nota-se que os valores dos efeitos das interações são muito pequenos. Isto mostra que não existem interações que possam causar efeitos estatisticamente significativos nos valores de densidade. Esta característica de não interação é mostrada nos gráficos apresentados na Figura 5. Quando as linhas do gráfico de interação são paralelas ou tendem ao paralelismo, isto indica a não existência de interação, ou seja, o efeito da variável é praticamente o mesmo nos dois níveis estudados.

Foi realizada uma análise de variância (Tabela 10) para se verificar a significância estatística dos efeitos determinados e verificou-se que apenas o tipo de farinha (TF) exerceu efeito significativo na densidade em um intervalo de confiança de 95%. O efeito do “bloco”, apesar de não ser desejado, também se mostrou

significativo, indicando que o resultado foi afetado pelo fato dos dados terem sido coletados em dias diferentes ou que há efeitos perturbadores do processo.

Para concluir o teste, o gráfico de probabilidade normal para os dados de densidade é mostrado na Figura 6 (para todas as outras respostas, os respectivos gráficos de probabilidade normal não são apresentados). Partindo do ponto que o erro tem distribuição normal, os pontos correspondentes aos valores centrais devem se localizar aproximadamente sobre a reta e os pontos distantes representam os fatores que têm significância estatística.

Tabela 9. Efeitos calculados para a densidade dos extrusados.

Fator	Efeito	Erro padrão
Média	0,2628	0,0134
Bloco	-0,0786	0,0267
Tipo de farinha (TF)	0,1262	0,0267
Umidade (U)	0,0256	0,0267
Temperatura (T)	-0,0184	0,0267
Rotação (R)	-0,0461	0,0267
TF x U	0,0064	0,0267
TF x T	-0,0077	0,0267
TF x R	-0,0466	0,0267

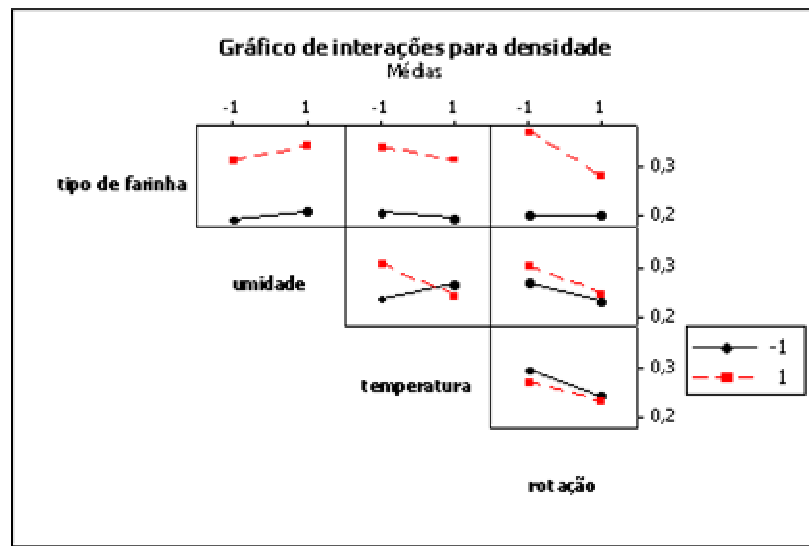


Figura 5. Gráfico de interações para a densidade dos extrusados.

Tabela 10. Análise de variância para a densidade dos extrusados.

Fonte de variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F	P
Bloco	0,0247	1	0,0247	8,6468	0,0217
Tipo de farinha (TF)	0,0637	1	0,0637	22,3194	0,0021
Umidade (U)	0,0026	1	0,0026	0,9166	0,3703
Temperatura (T)	0,0013	1	0,0013	0,4719	0,5142
Rotação (R)	0,0085	1	0,0085	2,9750	0,1282
TF x U	0,0002	1	0,0002	0,0574	0,8175
TF x T	0,0002	1	0,0002	0,0836	0,7808
TF x R	0,0087	1	0,0087	3,0367	0,1249
Erro	0,0200	7	0,0029		
Total	0,1299	15			

$R^2 = 84,62\%$

Podemos concluir que, substituindo a farinha desengordurada pela integral, a densidade dos extrusados aumenta, independentemente das outras variáveis. Esta constatação pode ser verificada através dos valores obtidos para a densidade, mostrados na Tabela 8. As médias de densidade obtidas para os experimentos em que se utilizaram farinha desengordurada e integral foram, respectivamente 0,20 e 0,33 mg/mm³, mostrando esse efeito positivo. Neste ponto, faz-se necessário lembrar que altos valores de densidade em produtos extrusados não são desejados, principalmente se serão consumidos como “*snacks*”, isso porque a densidade está relacionada indiretamente com a expansão desses produtos (ILO et al., 1999).

O efeito dos lipídeos da matéria-prima nos extrusados é bem documentado na literatura. Óleos e gorduras possuem ação lubrificante que reduz a dissipação de energia mecânica e tende a proteger a dispersão do grânulo de amido durante a extrusão. Isso reduz a quantidade de amido gelatinizado na massa e previne a expansão de extrusados (GUY, 2000).

Os resultados obtidos para a resposta densidade mostram que, nas condições do experimento, a variável tipo de farinha apresentou efeitos muito superiores aos efeitos das variáveis consideradas clássicas da extrusão: temperatura, umidade e rotação da rosca.

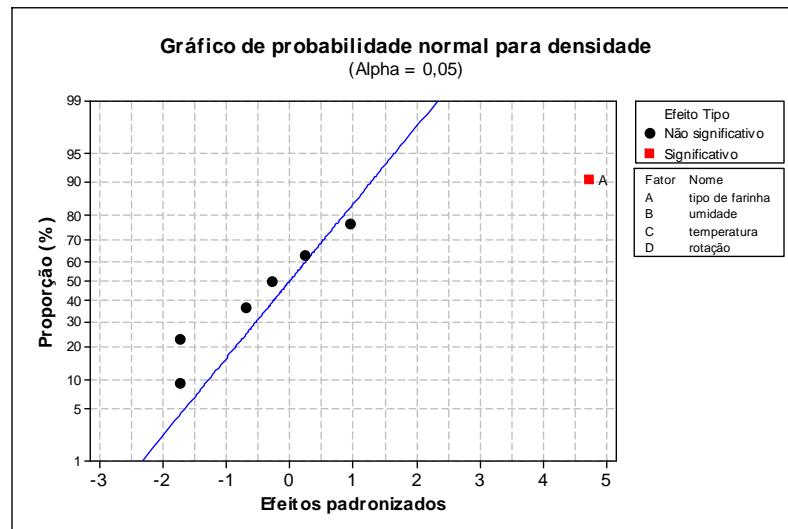


Figura 6. Gráfico de probabilidade normal para a densidade dos extrusados.

5.2.2. Índice de expansão

O índice de expansão (IE) provavelmente seja a característica física mais importante de produtos extrusados. Por meio deste índice pode-se, em uma primeira observação, prever o quão drástico ou leve foi o processo de extrusão (ASCHEI et al., 2005). Muitos autores relatam que a dificuldade de produzir produtos expandidos com farinha de amaranto isolada, é devida ao seu alto conteúdo de lipídeos e, por isso, a maioria dos estudos que envolvem a extrusão de amaranto foi realizada com a farinha do amaranto desengordurada ou com a adição de amidos e de farinhas de outros cereais, com a finalidade de melhorar as propriedades de expansão, dentre outras.

Os valores observados neste estudo para este índice variaram de 1,57 a 2,27 para os experimentos realizados com farinha desengordurada e de 1,43 a 1,89 para os experimentos realizados com farinha integral, mostrando que, apesar dos baixos valores obtidos, foi possível a extrusão de farinha de amaranto integral.

A Figura 7 apresenta o gráfico de Pareto para o índice de expansão dos extrusados. Os valores dos efeitos calculados para o IE são apresentados na Tabela 11. Foi realizada uma análise de variância para se verificar a significância estatística dos efeitos calculados (Tabela 12).

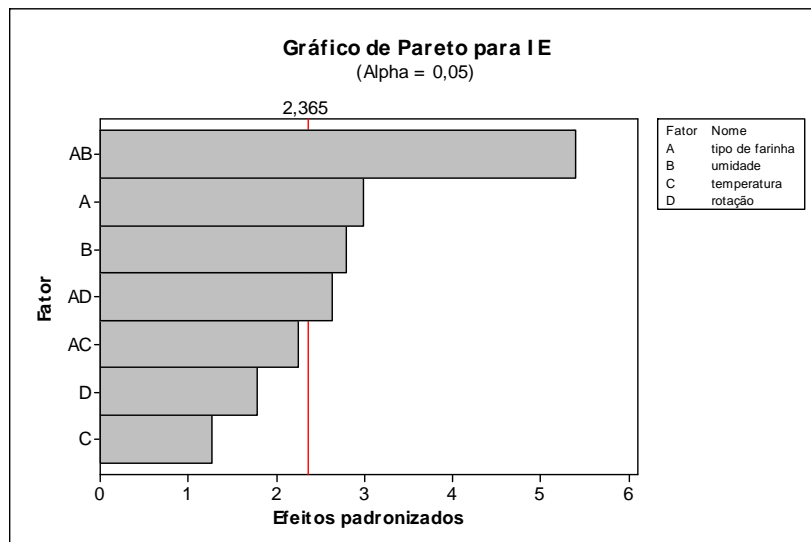


Figura 7. Gráfico de Pareto para o IE dos extrusados.

Tabela 11. Efeitos calculados para o IE dos extrusados.

Fator	Efeito	Erro padrão
Média	1,8288	0,0290
Bloco	0,1658	0,0580
Tipo de farinha (TF)	-0,1736	0,0580
Umidade (U)	-0,1617	0,0580
Temperatura (T)	-0,0733	0,0580
Rotação (R)	0,1035	0,0580
TF x U	0,3128	0,0580
TF x T	-0,1304	0,0580
TF x R	0,1532	0,0580

Tabela 12. Análise de variância para o IE dos extrusados.

Fonte de variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F	P
Bloco	0,1100	1	0,1100	8,1781	0,0243
Tipo de farinha (TF)	0,1205	1	0,1205	8,9631	0,0201
Umidade (U)	0,1046	1	0,1046	7,7786	0,0269
Temperatura (T)	0,0215	1	0,0215	1,5962	0,2469
Rotação (R)	0,0429	1	0,0429	3,1884	0,1173
TF x U	0,3913	1	0,3913	29,1036	0,0010
TF x T	0,0680	1	0,0680	5,0567	0,0593
TF x R	0,0938	1	0,0938	6,9778	0,0333
Erro	0,0941	7	0,0134		
Total	1,0466	15			

$R^2 = 91,01\%$

A partir desta análise, foi possível observar que as interações TF x U e TF x R contribuíram positivamente para o IE, ao passo que os efeitos principais TF e U contribuíram negativamente ($p < 0,05$). Apesar do efeito da interação TF x T apresentar um valor $p = 0,059$, foram considerados para a discussão apenas os valores de “p” significativos em um intervalo de confiança de 95%. O efeito do “bloco”, apesar de não ser desejado, também se mostrou significativo.

A existência de efeitos de interações significativos indica que os efeitos principais devem ser interpretados conjuntamente. Existem várias formas de interpretar tais interações, entre elas o gráfico de interações já mostrado para a resposta densidade, por exemplo, mas neste caso adotaremos uma interpretação geométrica dos efeitos, que é mais didática e ainda fornece os valores das médias da resposta em questão.

É interessante notar que apesar da interação TF x R ser significativa, o efeito da R sozinha não teve significância ($p > 0,05$). Podemos entender o que ocorre examinando o gráfico cúbico das respostas, mostrado na Figura 8. Observamos que fixando o tipo de farinha no menor nível e aumentando o nível da umidade ocorre redução do IE, ao passo que, fixando o tipo de farinha no maior nível e aumentando-se o nível da umidade ocorre aumento do IE, evidenciando o efeito da interação TF x U. Esse mesmo raciocínio pode ser feito para observar a interação TF x R. Uma possível conclusão é que, para alcançar os maiores IE, devemos explorar melhor a região onde empregaram-se a farinha e a umidade em seus menores níveis e a rotação em seu maior nível, ou seja, a farinha desengordurada, 15% de umidade e 90% da rotação.

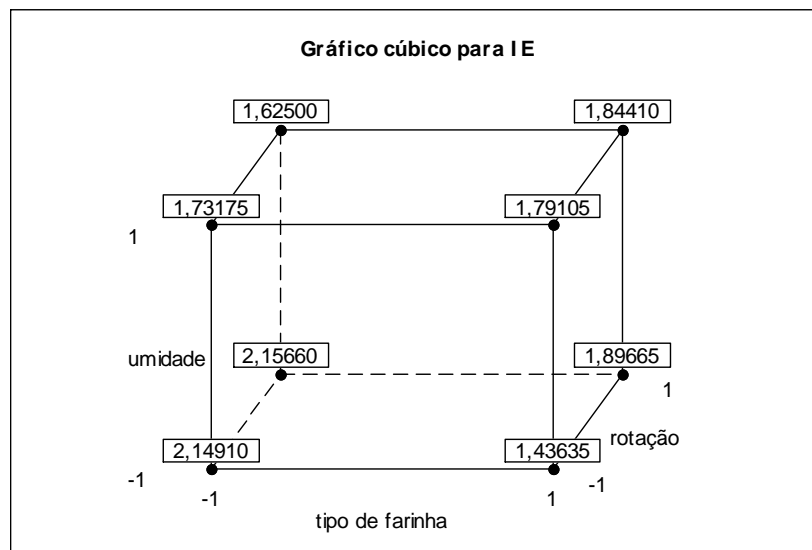


Figura 8. Gráfico cúbico para os efeitos de interação do IE dos extrusados.

O efeito negativo do teor de lipídeos da matéria-prima na expansão de extrusados é bem documentado na literatura e os dados obtidos neste estudo corroboram essa constatação. A presença de lipídeos em baixas concentrações, no entanto, pode ser importante para a formação de interações lipídeo-proteína, as quais são responsáveis por uma maior estabilidade da estrutura do extrusado (MITCHELL e ARÊAS, 1992).

O efeito negativo da umidade na expansão foi observado também por outros autores (ILO et al., 1999; CHÁVEZ-JÁUREGUI et al., 2000). Segundo DING et al. (2005), a água tem efeito inverso sobre a expansão agindo como um plastificante para materiais amiláceos, reduzindo sua viscosidade e a dissipação da energia mecânica na extrusora e, assim, o produto fica mais denso e o crescimento de bolhas é comprimido.

Outras considerações a respeito da expansão de extrusados de amaranto estão relacionadas à proporção amilose/amilopectina do amido desse grão. Segundo GUY (2000), o alto peso molecular da amilopectina (10^8 Daltons) seria responsável pela baixa expansão de produtos extrusados e, portanto, devido ao alto conteúdo desse polímero no amido de amaranto, os extrusados obtidos a partir de sua farinha resultariam em baixas expansões. Além disso, o baixo conteúdo em amilose limita a formação de complexos amilose-lipídeo e, quando o alto conteúdo de lipídeos supera a capacidade das hélices de amilose em incorporá-lo, o resultado final é prejudicado (ARÊAS, 1996).

5.2.3. Força de cisalhamento

Os valores observados para a força de cisalhamento (FC) dos extrusados variaram de 10 a 31N. COELHO (2006) observou valores entre 14 e 33N para essa mesma resposta utilizando apenas farinha desengordurada de amaranto no processo de extrusão.

Menor resistência à ruptura pode ser atribuída principalmente à evaporação instantânea da água superaquecida antes da solidificação da estrutura, o que confere ao produto uma característica mais porosa e expandida. Já a maior resistência pode ser atribuída à baixa pressão interna na extrusora e, conseqüentemente, a uma lenta evaporação da água do produto na saída da matriz, permitindo uma solidificação da estrutura antes que ocorra um grau adequado de expansão (SEBIO, 1996).

A Figura 9 apresenta o gráfico de Pareto para a força de cisalhamento.

Os valores dos efeitos calculados para a FC e a análise de variância são mostrados no Anexo 4.

Através das análises dos resultados obtidos para a FC, concluiu-se que nenhuma variável exerceu efeito significativo nesta resposta. Podemos concluir que nenhum coeficiente diferiu significativamente de zero. Dentro da variabilidade observada nas medidas, o material não apresentou variação na força de cisalhamento em relação às variáveis independentes, no intervalo estudado.

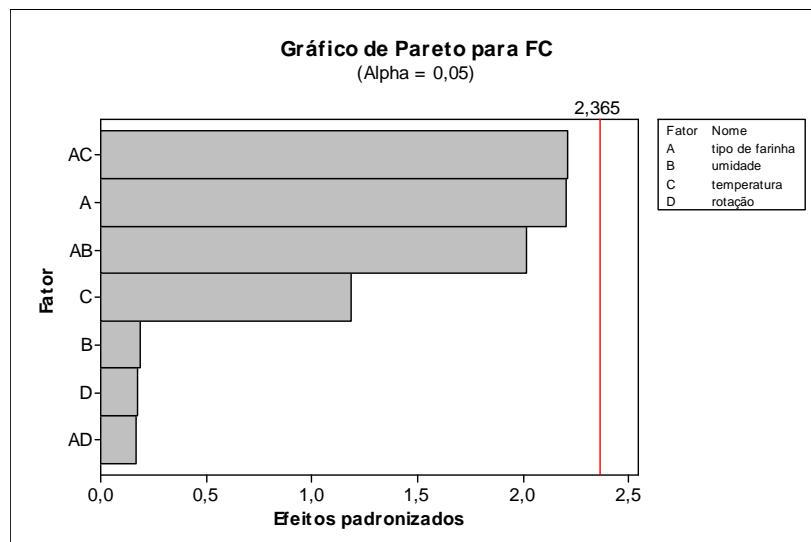


Figura 9. Gráfico de Pareto para a FC dos extrusados.

5.3. ANÁLISE DAS FARINHAS DE AMARANTO

5.3.1. Índice de solubilidade em água

A Tabela 13 apresenta os resultados obtidos para os índices de solubilidade em água (ISA) e de absorção de água (IAA) das farinhas extrusadas.

O ISA está relacionado à quantidade de sólidos solúveis em uma amostra seca e é um parâmetro que reflete o grau de degradação do amido, ou seja, a somatória dos efeitos de gelatinização, dextrinização e conseqüente solubilização (COLONNA et al., 1984). Os valores observados neste estudo para esse índice variaram de 39,2 a 59,9% e foram até quatro vezes maiores que os valores observados para as farinhas cruas. Estes resultados são superiores aos reportados por ASCHERI et al. (2004) e VARGAS-LÓPEZ et al. (1991).

A Figura 10 apresenta o gráfico de Pareto para o ISA. Os valores dos efeitos calculados são apresentados na Tabela 14. Foi realizada uma análise de variância para se verificar a significância estatística dos efeitos calculados (Tabela 15). De acordo com essa análise, comprovou-se que apenas a umidade exerceu efeito significativo no ISA ($p < 0,05$). Assim, elevando-se o nível da umidade, o ISA diminui independentemente das outras variáveis.

Tabela 13. Índices de solubilidade em água (ISA) e de absorção de água (IAA) das farinhas de amaranto.

Experimento	ISA (%)	IAA (g gel/g de matéria secal)
1*	56,3 (0,29)**	3,5 (0,03)
1r	57,6 (2,03)	4,2 (0,14)
2	59,4 (0,50)	4,9 (0,06)
2r	59,3 (0,71)	3,9 (0,15)
3	41,9 (0,33)	3,2 (0,19)
3r	50,8 (2,65)	4,3 (0,18)
4	50,3 (0,36)	3,9 (0,06)
4r	45,4 (3,14)	3,9 (0,68)
5	54,8 (0,80)	4,2 (0,21)
5r	53,6 (1,19)	3,7 (0,08)
6	60,0 (0,77)	6,8 (0,13)
6r	54,6 (0,71)	6,2 (0,47)
7	39,2 (0,52)	3,4 (0,04)
7r	50,0 (0,97)	3,6 (0,06)
8	48,8 (0,87)	5,6 (0,17)
8r	54,1 (1,31)	3,8 (0,10)
FI	14,8 (0,05)	3,0 (0,02)
FD	15,4 (0,06)	3,3 (0,07)

*A numeração não corresponde à ordem aleatorizada; ** média de três determinações (desvio-padrão); ISA: Índice de Solubilidade em Água; IAA: Índice de Absorção de Água; FI: Farinha Integral (crua); FD: Farinha desengordurada (crua); r: repetição.

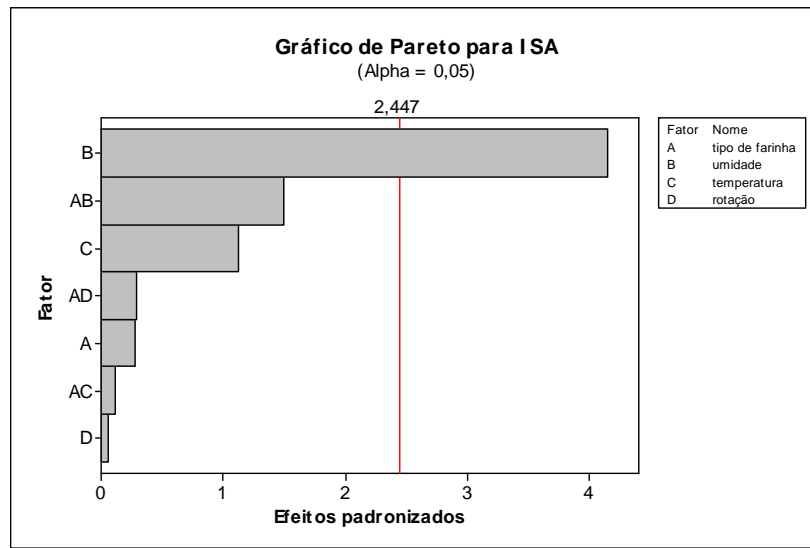


Figura 10. Gráfico de Pareto para o ISA das farinhas extrusadas.

Tabela 14. Efeitos calculados para o ISA das farinhas extrusadas.

Fator	Efeito	Erro padrão
Média	52,2600	1,0584
Bloco	1,8400	2,1168
Tipo de farinha (TF)	-0,7300	2,1168
Umidade (U)	-9,3925	2,1168
Temperatura (T)	3,4625	2,1168
Rotação (R)	1,1650	2,1168
TF x U	1,6575	2,1168
TF x T	1,4925	2,1168
TF x R	0,7150	2,1168

Tabela 15. Análise de variância para o ISA.

Fonte de variação	Soma dos Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado Médio	F	P
Bloco	13,5424	1	13,5424	0,7556	0,4135
Tipo de farinha (TF)	2,1316	1	2,1316	0,1189	0,7403
Umidade (U)	352,8762	1	352,8762	19,6881	0,0030
Temperatura (T)	47,9556	1	47,9556	2,6756	0,1459
Rotação (R)	5,4289	1	5,4289	0,3029	0,5992
TF x U	10,9892	1	10,9892	0,6131	0,4593
TF x T	8,9102	1	8,9102	0,4971	0,5035
TF x R	2,0449	1	2,0449	0,1141	0,7454
Erro	125,4633	7	17,9233		
Total	569,3424	15			

$R^2 = 77,96 \%$

Em geral, o ISA aumenta com o aumento da temperatura e da rotação da rosca e diminui com o aumento da umidade, devido ao fato que alta energia mecânica e térmica favorecem a dextrinização do amido. O efeito negativo da umidade encontrado neste estudo para a farinha de amaranto já foi reportado por outros autores, para cereais (KIRBY et al., 1988), tuberosas (LEONEL et al., 2006; MENEGASSI et al., 2007), pseudo-cereais como a quínoa (DOGAN e KARWE, 2003) e leguminosas (DELLA VALLE et al., 1994).

Provavelmente, a maior umidade proporciona um efeito plasticizante na mistura dentro da rosca, reduzindo o atrito e o cisalhamento e, conseqüentemente, a formação de compostos mais solúveis, já que, de acordo com COLONNA et al.

(1984), o aumento do ISA de amostras extrusadas deve estar relacionado à liberação de componentes de baixo peso molecular do amido.

GONZÁLEZ et al. (2002a) obtiveram valores de solubilidade de farinha de amaranto extrusada maiores que valores obtidos para outros cereais cerosos (GONZÁLEZ et al., 2000) e sugeriram que a estrutura do endosperma do amaranto é mais fraca que a destes outros cereais concluindo que, em geral, alta solubilidade de farinha de amaranto é obtida quando esta é submetida ao processo de extrusão termoplástica.

Altos valores de ISA foram observados em menores níveis de umidade. Dessa forma, com o objetivo de elaborar produtos, a partir da extrusão de farinha de amaranto, que necessitem de altos índices de solubilidade em água como sopas, por exemplo, a umidade deve ser uma variável monitorada e mantida em níveis mais baixos, no caso 15%.

Também se faz importante notar que, como o tipo de farinha não interferiu no ISA (Figura 11), não é necessária a etapa de desengorduramento da farinha, o que resulta em menos gastos com solvente, além de manter a fração lipídica rica em nutrientes e manter vitaminas lipossolúveis e esqualeno (que poderiam ser eliminados com essa etapa).

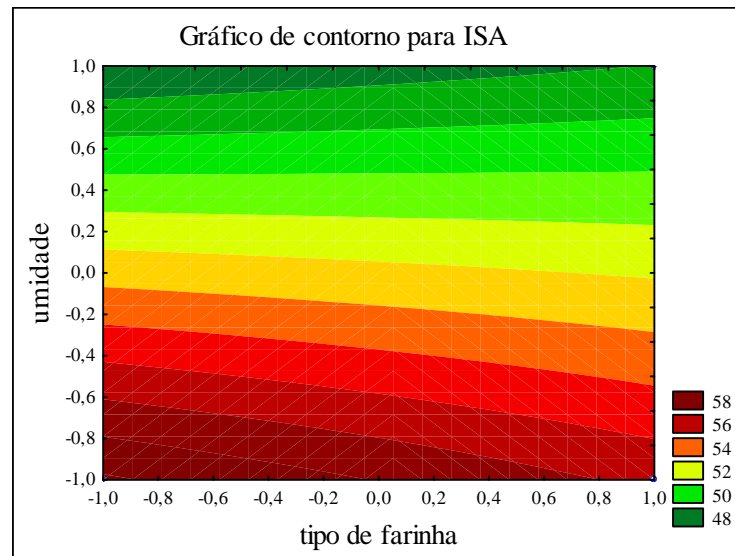


Figura 11. Gráfico de contorno para o ISA das farinhas extrusadas.

5.3.2. Índice de absorção de água

O índice de absorção de água (IAA) está relacionado com a viscosidade de pasta a frio, porque somente os grânulos de amido danificados absorvem água à temperatura ambiente e se incham, resultando num incremento da viscosidade. Depois que os grânulos de amido alcançam um máximo de absorção, o IAA decresce com o começo da dextrinização (LINKO et al., 1980).

Os valores observados neste estudo para esse índice variaram de 3,2 a 6,8 g de gel/g de matéria seca. Esses resultados foram superiores aos observados por

VARGAS-LÓPEZ et al. (1991) com farinha de amaranto sob condições alcalinas e mostraram-se semelhantes ao valor observado por ASCHERI et al. (2004).

Embora o IAA seja, evidentemente, uma propriedade da amilopectina (TESTER e MORRISON, 1990), e o amaranto contenha grandes quantidades dessa fração do amido, o pequeno tamanho do grânulo de amido e a alta temperatura empregada podem ter impossibilitado resultados mais satisfatórios devido ao rompimento da estrutura do grânulo de amido ocasionado pela extrusão.

A Figura 12 apresenta o gráfico de Pareto para o IAA das farinhas extrusadas. Os valores dos efeitos calculados são mostrados na Tabela 16.

Foi realizada uma análise de variância para se verificar a significância estatística dos efeitos calculados (Tabela 17). De acordo com essa análise, comprovou-se que apenas a temperatura exerceu efeito significativo no IAA em um intervalo de confiança de 95%. O aumento de 120 °C para 180°C de temperatura no processo levou a um aumento significativo do IAA. Nas condições do experimento, as faixas de variação da umidade, da rotação da rosca e do tipo de farinha não influenciaram este índice.

O aumento do IAA com o aumento da temperatura também foi observado por MENDOZA e BRESSANI (1987), VARGAS-LÓPEZ et al. (1991), DELLA VALLE et al. (1994), DOGAN e KARWE (2003) e TORRES et al. (2005) e, provavelmente, reflete a ocorrência de gelatinização dos grânulos de amido e o aumento de sua capacidade em absorver água.

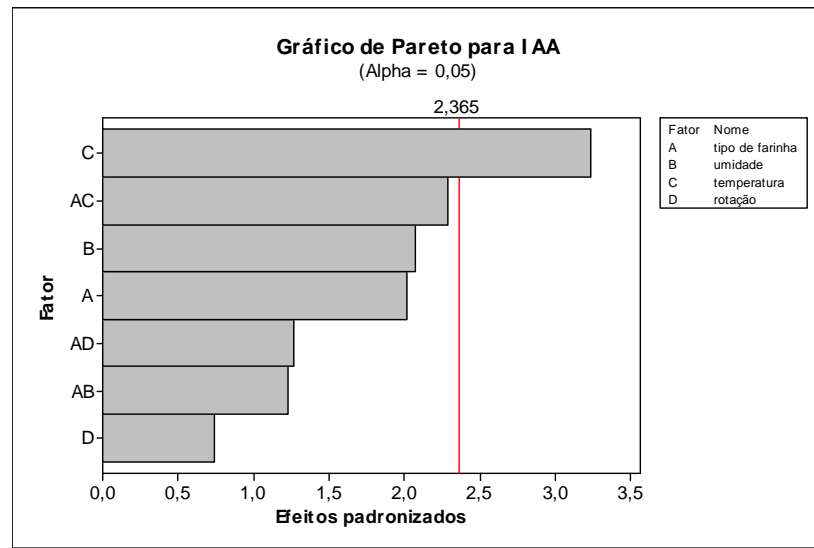


Figura 12. Gráfico de Pareto para IAA das farinhas extrusadas.

Tabela 16. Efeitos calculados para o IAA das farinhas extrusadas.

Fator	Efeito	Erro padrão
Média	4,3075	0,1693
Bloco	-0,2525	0,3387
Tipo de farinha (TF)	0,6825	0,3387
Umidade (U)	-0,7025	0,3387
Temperatura (T)	1,0975	0,3387
Rotação (R)	-0,2525	0,3387
TF x U	-0,4150	0,3387
TF x T	0,7750	0,3387
TF x R	-0,4300	0,3387

Tabela 17. Análise de variância para o IAA.

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado Médio	F	P
Bloco	0,2550	1	0,2550	0,5558	0,4802
Tipo de farinha (TF)	1,8632	1	1,8632	4,0606	0,0837
Umidade (U)	1,9740	1	1,9740	4,3021	0,0767
Temperatura (T)	4,8180	1	4,8180	10,5001	0,0142
Rotação (R)	0,2550	1	0,2550	0,5558	0,4802
TF x U	0,6889	1	0,6889	1,5014	0,2601
TF x T	2,4025	1	2,4025	5,2359	0,0560
TF x R	0,7396	1	0,7396	1,6118	0,2448
Erro	3,2120	7	0,4589		
Total	16,2083	15			

$R^2 = 80,18 \%$

O IAA é uma propriedade indicativa das possibilidades de utilização das farinhas extrusadas. Alta capacidade de absorção de água é desejável para o preparo de sopas, mingaus e pudins instantâneos (TORRES et al., 2005) e essa seria, provavelmente uma indicação de uso da farinha de amaranto.

Assim como o ocorrido para o ISA, o tipo de farinha não interferiu no IAA (Figura 13), podendo-se eliminar a etapa de desengorduramento da mesma quando o objetivo da extrusão for somente a obtenção de farinha com alta absorção de água. Nessa figura, pode-se observar que houve tendência da interação TF x T influenciar o IAA, no entanto essa interação não foi significativa.

É importante notar que as propriedades físicas dos extrusados, em sua maioria, foram afetadas pelo tipo de farinha, não ocorrendo o mesmo para as propriedades de absorção e solubilidade em água. Isso indica que, dentro da faixa de variação estudada, dependendo do objetivo do estudo (produção de extrusados ou de farinhas extrusadas), considerações diferentes a respeito da extrusão de farinha integral de amaranto devem ser feitas, dada à observação da possibilidade da extrusão dessa farinha, apesar do seu alto conteúdo de lipídeos.

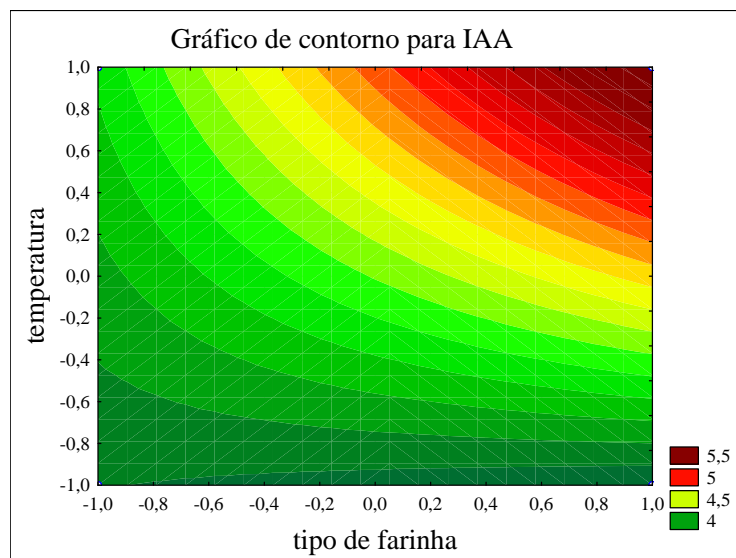


Figura 13. Gráfico de contorno para o IAA das farinhas extrusadas.

5.3.3. Propriedades viscoamilográficas

A Tabela 18 mostra as propriedades viscoamilográficas das farinhas.

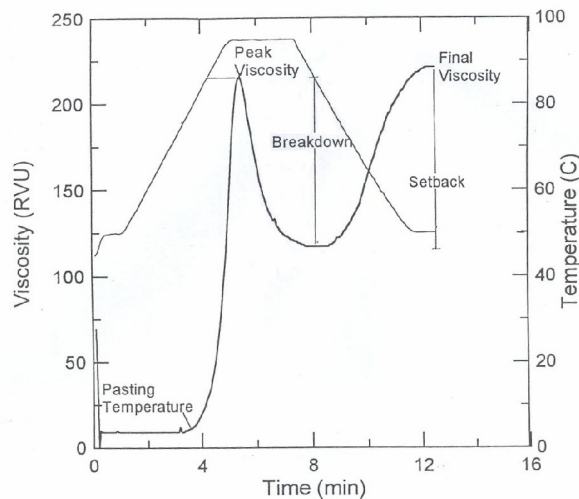
Tabela 18. Propriedades viscoamilográficas das farinhas de amaranto.

Experimento	Pico de viscosidade (RVU)	Quebra de viscosidade (RVU)	Viscosidade final (RVU)	Tendência à retrogradação (RVU)
1*	5,5 (0,30)**	3,5 (1,12)	3,1 (1,35)	1,1 (0,06)
1r	6,0 (0,06)	2,5 (0,06)	4,7 (0,18)	1,2 (0,06)
2	3,6 (0,35)	3,0 (0,41)	2,4 (1,12)	1,8 (0,35)
2r	5,0 (0,18)	0,5 (0,11)	5,3 (0,71)	0,9 (0,42)
3	10,5 (0,89)	2,4 (0,23)	9,8 (0,77)	1,8 (0,11)
3r	8,3 (1,47)	3,7 (0,35)	5,7 (0,88)	1,1 (0,23)
4	9,1 (0,85)	1,4 (0,35)	9,1 (0,43)	1,4 (0,15)
4r	9,6 (0,35)	3,0 (0,30)	8,1 (0,06)	1,5 (0,33)
5	2,1 (1,06)	1,8 (0,53)	2,0 (0,59)	1,7 (0,06)
5r	2,6 (0,88)	1,6 (0,83)	2,0 (0,06)	1,00 (0,11)
6	6,3 (0,56)	1,4 (0,30)	6,8 (3,30)	1,9 (0,59)
6r	8,3 (1,02)	1,8 (0,43)	7,6 (1,02)	1,2 (0,42)
7	1,5 (0,06)	0,7 (0,30)	2,6 (0,64)	1,9 (0,42)
7r	9,4 (0,77)	2,4 (1,00)	8,3 (0,30)	1,3 (0,06)
8	2,3 (0,12)	5,8 (0,47)	-0,8 (0,59)	2,7 (0,23)
8r	3,1 (0,12)	3,1 (1,48)	0,9 (1,70)	2,9 (0,12)
FI	94,3 (2,83)	34,4 (0,59)	70,6 (3,25)	10,8 (1,00)
FD	120,5 (0,06)	36,0 (0,41)	95,0 (0,35)	10,6 (0,71)

*A numeração não corresponde à ordem aleatorizada; ** média de três determinações (desvio-padrão); r: repetição.

Estas características determinam as propriedades funcionais das matérias amiláceas e suas diversas aplicações industriais (SEBIO, 1996). Uma curva típica de viscosidade obtida em RVA (*Rapid Visco Analyzer*) é mostrada na Figura 14. A viscosidade de pasta do amido, avaliada em RVA, parece ser determinada por dois

fatores: o grau de inchamento dos grânulos e a resistência desses grânulos à dissolução pelo calor ou a fragmentação pela agitação mecânica (FRANCO et al., 2001). O valor da viscosidade inicial se eleva com a prévia gelatinização da amostra e decresce quando os grânulos de amido se rompem e são despolimerizados durante a cocção (NEWPORT SCIENTIFIC, 1998).



**Figura 14. Curva de viscosidade típica de RVA (*Rapid Visco Analyzer*)
Fonte: *Newport Scientific*, 1998.**

O pico de viscosidade (PV) ocorre após o início do aquecimento e antes do início do resfriamento da suspensão e é um parâmetro que mede a resistência do grânulo de amido ao colapso resultante da temperatura e do atrito mecânico. Durante o ciclo de aquecimento até 95°C, ocorre o intumescimento e a gelatinização dos grânulos de amido, atingindo o pico máximo nesta etapa. Se os tratamentos não

forem tão severos, parte dos grânulos de amido conserva sua estrutura, apresentando um pico no perfil amilográfico (GUHA et al., 1998). Entretanto, no processo de extrusão, condições severas podem destruir a estrutura cristalina dos grânulos de amido resultando em ausência de pico, como ocorrido neste trabalho.

Devido à ausência do PV, os outros parâmetros de viscosidade também se mostraram bastante reduzidos (Figura 15).

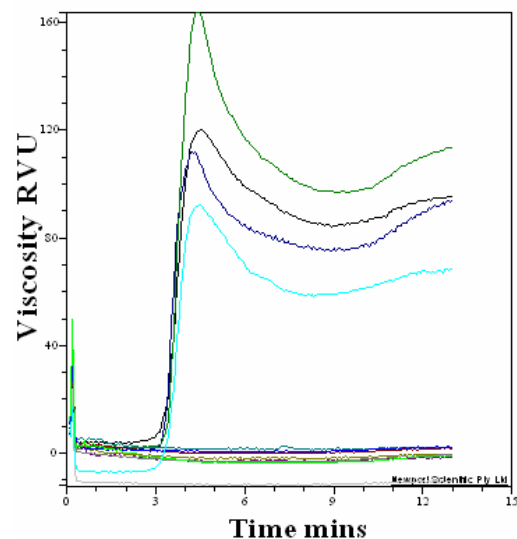


Figura 15. Gráfico de viscosidade das farinhas cruas (com picos) e extrusadas (sem picos).

O PV das farinhas extrusadas variou de 1,5 a 10,5 RVU e essa variação indica diferentes graus de gelatinização e destruição da estrutura cristalina dos grânulos entre os tratamentos efetuados e, se comparados com os picos das farinhas cruas

(94,3 e 120,5 RVU para as farinhas integral e desengordurada, respectivamente), indicam que, em geral, houve quase que total destruição dos grânulos de amido.

A Figura 16 apresenta o gráfico de Pareto para o PV das farinhas extrusadas. Os valores dos efeitos calculados são mostrados na Tabela 19.

A análise de variância realizada mostrou que apenas o TF e a interação TF x U afetaram significativamente ($p < 0,05$) o pico de viscosidade (Tabela 20). Devido à presença dessa interação, o efeito do TF não deve ser interpretado isoladamente.

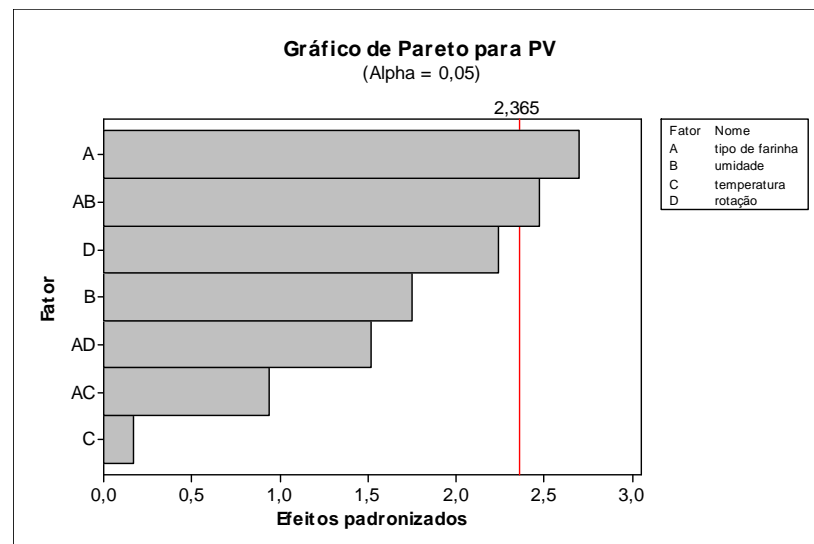


Figura 16. Gráfico de Pareto para o PV das farinhas extrusadas.

Tabela 19. Efeitos calculados para o PV das farinhas extrusadas.

Fator	Efeito	Erro padrão
Média	5,8131	0,5107
Bloco	1,4088	1,0215
Tipo de farinha (TF)	-2,7563	1,0215
Umidade (U)	1,7938	1,0215
Temperatura (T)	0,1762	1,0215
Rotação (R)	-2,2888	1,0215
TF x U	-2,5288	1,0215
TF x T	0,9588	1,0215
TF x R	-1,5513	1,0215

Tabela 20. Análise de variância para o PV.

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado Médio	F	P
Bloco	7,9383	1	7,9383	1,9019	0,2103
Tipo de farinha (TF)	30,3877	1	30,3877	7,2806	0,0307
Umidade (U)	12,8702	1	12,8702	3,0836	0,1225
Temperatura (T)	0,1243	1	0,1243	0,0298	0,8679
Rotação (R)	20,9535	1	20,9535	5,0203	0,0600
TF x U	25,5783	1	25,5783	6,1283	0,0425
TF x T	3,6768	1	3,6768	0,8809	0,3792
TF x R	9,6255	1	9,6255	2,3062	0,1727
Erro	29,2164	7	4,1738		
Total	140,3709	15			

$R^2 = 79,19 \%$

Esta interação indica que os experimentos em que se utilizaram farinha desengordurada, condicionada a umidade de 25%, apresentaram os maiores picos de viscosidade (Figura 17) dentre todos os experimentos realizados. No entanto, tais picos não devem ser considerados relevantes tendo em vista os valores de PV apresentados pelas farinhas cruas.

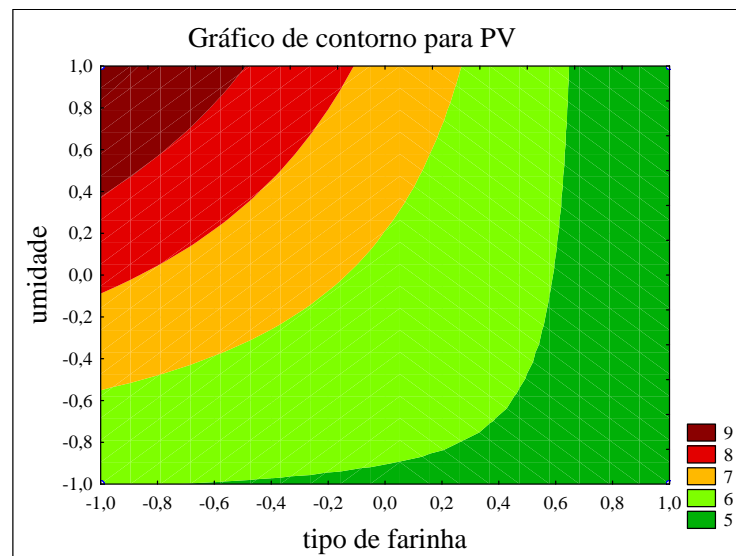


Figura 17. Gráfico de contorno para o PV.

A Figura 18 apresenta o gráfico de Pareto para a quebra de viscosidade (QV) das farinhas extrusadas.

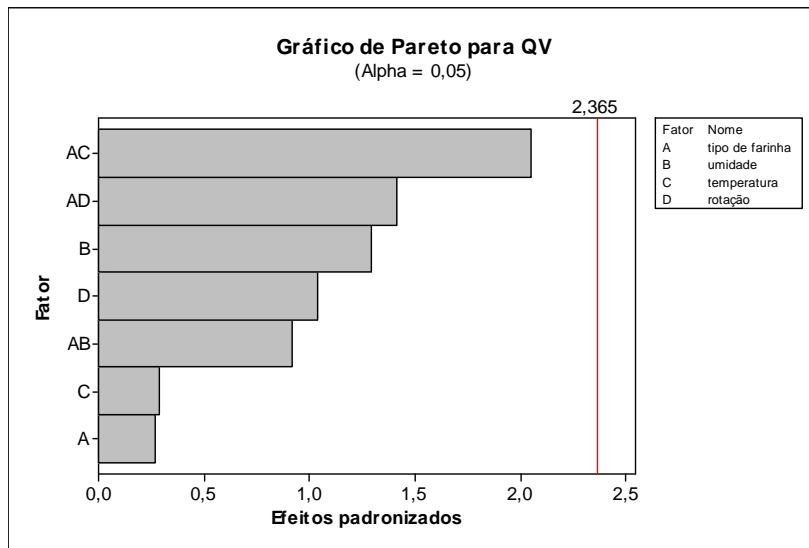


Figura 18. Gráfico de Pareto para QV das farinhas extrusadas.

A QV representa a diferença entre o pico de viscosidade e o menor valor de viscosidade após o pico no perfil amilográfico. Através dessa propriedade, é possível avaliar a estabilidade da pasta em altas temperaturas, sob agitação mecânica.

Os valores dos efeitos calculados para a QV e a análise de variância correspondente são mostradas no Anexo 5. Através das análises dos resultados obtidos para a QV, concluiu-se que nenhuma variável exerceu efeito significativo ($p < 0,05$) nessa resposta. Podemos concluir que nenhum coeficiente diferiu significativamente de zero. Dentro da variabilidade observada nas medidas, o material não apresentou variação na QV em relação às variáveis independentes, no intervalo estudado.

A Figura 19 apresenta o gráfico de Pareto para a viscosidade final (VF) das farinhas extrusadas.

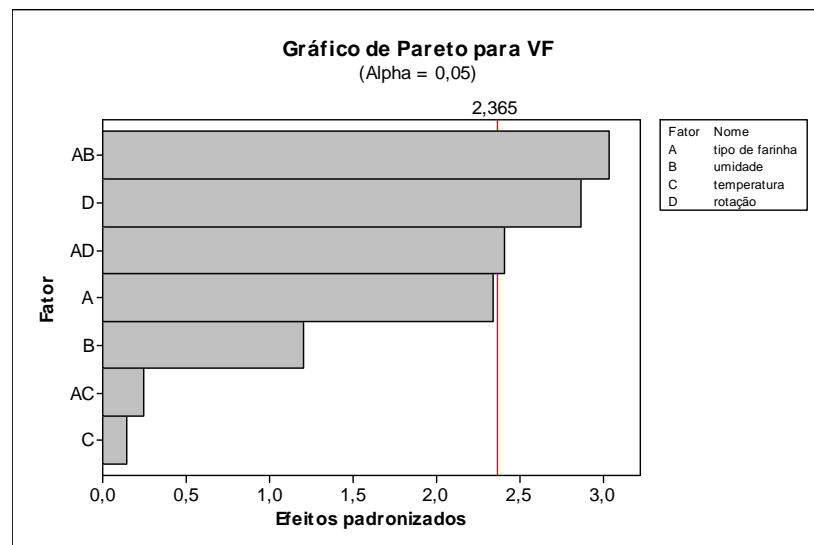


Figura 19. Gráfico de Pareto para a VF das farinhas extrusadas.

A VF é uma característica que, em produtos extrusados, vai depender das modificações que ocorrem nas estruturas do grânulo de amido e das moléculas durante o processo. Neste trabalho, a VF das farinhas extrusadas variou de -0,8 a 9,8 RVU, valores bastante inferiores aos observados para as farinhas cruas.

Os valores dos efeitos calculados para a VF são apresentados na Tabela 21.

Tabela 21. Efeitos calculados para a VF das farinhas extrusadas.

Fator	Efeito	Erro padrão
Média	4,8494	0,5049
Bloco	0,9488	1,0098
Tipo de farinha (TF)	-2,3663	1,0098
Umidade (U)	1,2188	1,0098
Temperatura (T)	0,1438	1,0098
Rotação (R)	-2,8963	1,0098
TF x U	-3,0713	1,0098
TF x T	-0,2513	1,0098
TF x R	-2,4363	1,0098

Foi realizada uma análise de variância para se verificar a significância estatística dos efeitos calculados (Tabela 22). De acordo com essa análise, comprovou-se que o maior efeito foi o da interação TF x U, seguido dos efeitos da rotação e da interação TF x R ($p < 0,05$). Como há efeitos de interação significativos, o efeito principal da rotação não deve ser interpretado isoladamente.

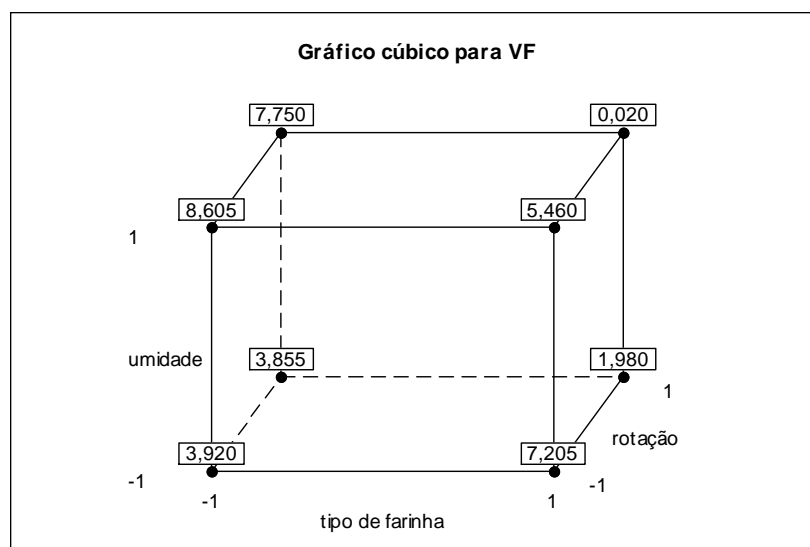
A Figura 20 mostra a interpretação dos efeitos de interação ocorridos para a resposta VF.

Nas condições de mais alta umidade e de rotação e com a farinha integral, a VF foi muito baixa, indicando rompimento das estruturas moleculares do amido, causando perda da capacidade de recristalização e diminuindo a viscosidade no resfriamento.

Tabela 22. Análise de variância para a VF.

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F	P
Bloco	3,6005	1	3,6005	0,8827	0,3787
Tipo de farinha (TF)	22,3966	1	22,3966	5,4908	0,0516
Umidade (U)	5,9414	1	5,9414	1,4566	0,2667
Temperatura (T)	0,0827	1	0,0827	0,0203	0,8908
Rotação (R)	33,5531	1	33,5531	8,2260	0,0241
TF x U	37,7303	1	37,7303	9,2501	0,0188
TF x T	0,2525	1	0,2525	0,0619	0,8107
TF x R	23,7413	1	23,7413	5,8205	0,0466
Erro	28,5524	7	4,0789		
Total	155,8507	15			

$R^2 = 81,68 \%$

**Figura 20. Gráfico cúbico para os efeitos de interação da VF.**

Baixa viscosidade e alta solubilidade em água, por exemplo, é uma característica requerida para o preparo de bebidas instantâneas e sopas prontas.

A Figura 21 apresenta o gráfico de Pareto para a tendência à retrogradação (TR) das farinhas extrusadas. A TR mede a diferença entre a viscosidade final e o menor valor de viscosidade após o pico. Essa propriedade permite avaliar o comportamento da pasta após o resfriamento.

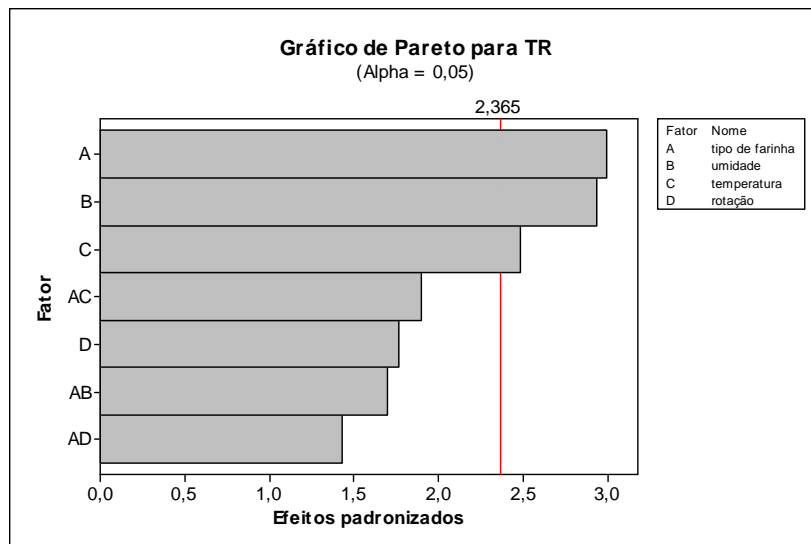


Figura 21. Gráfico de Pareto para a TR das farinhas extrusadas.

A retrogradação é um fenômeno decorrente da reaproximação das moléculas de amido (principalmente amilose) e, devido à redução de temperatura durante o resfriamento do gel, há formação de pontes de hidrogênio intermoleculares,

formação de zonas cristalinas e expulsão da água existente entre as moléculas (sinérese) (CIACCO e CRUZ, 1982).

A retrogradação é responsável pelo encolhimento, sinérese e endurecimento de géis de amido conservados por determinado período, principalmente à temperatura de refrigeração. Esses efeitos são mais evidenciados quando o gel é congelado e descongelado por várias vezes. Em alimentos como pães, molhos, pudins, por exemplo, a ocorrência da retrogradação é indesejável e deve ser evitada. O aumento da firmeza em pães durante o armazenamento é atribuído quase que exclusivamente à retrogradação do amido. Em pastas ou géis, é comum o aparecimento, devido à retrogradação, de uma película superficial que compromete a qualidade destes produtos. Em molhos, a insolubilização do amido pela retrogradação causa uma separação de fases indesejável neste tipo de alimento (CIACCO e CRUZ, 1982).

Os valores dos efeitos das variáveis independentes sobre a resposta tendência à retrogradação são apresentados na Tabela 23. Foi realizada uma análise de variância para se verificar a significância estatística dos efeitos calculados (Tabela 24). De acordo com essa análise, mostrou-se que o tipo de farinha, a umidade e a temperatura exerceram efeitos significativos ($p < 0,05$) e positivos sobre a tendência a retrogradação.

Tabela 23. Efeitos calculados para TR das farinhas extrusadas.

Fator	Efeitos	Erro padrão
Média	1,5806	0,0798
Bloco	-0,3963	0,1596
Tipo de farinha (TF)	0,4788	0,1596
Umidade (U)	0,4688	0,1596
Temperatura (T)	0,3963	0,1596
Rotação (R)	0,2813	0,1596
TF x U	0,2713	0,1596
TF x T	0,3038	0,1596
TF x R	0,2288	0,1596

Tabela 24. Análise de variação para TR.

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F	P
Bloco	0,6281	1	0,6281	6,1644	0,0420
Tipo de farinha (TF)	0,9168	1	0,9168	8,9985	0,0199
Umidade (U)	0,8789	1	0,8789	8,6265	0,0218
Temperatura (T)	0,6281	1	0,6281	6,1644	0,0420
Rotação (R)	0,3164	1	0,3164	3,1055	0,1214
TF x U	0,2943	1	0,2943	2,8886	0,1330
TF x T	0,3691	1	0,3691	3,6223	0,0987
TF x R	0,2093	1	0,2093	2,0543	0,1949
Erro	0,7132	7	0,1019		
Total	4,9541	15			

$R^2 = 85,60 \%$

Os resultados mostram que as variáveis umidade, temperatura e tipo de farinha, em seus níveis máximos, dentro da faixa de variação estudada, resultaram em aumento da TR, independentemente umas das outras. Apesar dos efeitos positivos dessas variáveis, a TR foi o parâmetro do perfil amilográfico que menos variou entre os experimentos (0,9 a 2,9 RVU) e teve a menor diferença em relação às farinhas cruas (10,8 e 10,6 RVU para farinha integral e desengordurada, respectivamente).

Segundo RAGAE e ABDEL-AAL (2006), baixos valores de TR indicam baixa tendência à retrogradação e sinérese, e os resultados, portanto, mostram-se satisfatórios. A fim de se minimizar ainda mais a TR das farinhas extrusadas, as regiões onde as condições de umidade e temperatura foram menores (dentro da faixa de variação estudada), além do emprego da farinha desengordurada devem ser exploradas. Nessas condições, a aplicação das farinhas extrusadas em produtos de panificação, além de produtos que requerem refrigeração e/ou congelamento, pode ter resultados bastante benéficos.

A característica cerosa do amido de amaranto também parece ter contribuído para a baixa TR das farinhas (cruas e extrusadas), já que a amilose, o principal componente responsável pela retrogradação (CIACCO e CRUZ, 1982), está presente em quantidades bastante reduzidas no amaranto.

5.3.4. Cor

Os resultados obtidos para os parâmetros de cor são mostrados na Tabela 25.

Tabela 25. Parâmetros de cor das farinhas de amaranto.

Experimentos	L*	a*	b*	ΔE
1*	59,5 (0,92) **	8,0 (0,42)	23,7 (0,77)	25,2 (1,23)
1r	69,6 (0,29)	5,0 (0,09)	19,1 (0,31)	13,8 (0,41)
2	69,6 (0,33)	4,8 (0,10)	20,1 (0,24)	14,2 (0,42)
2r	67,8 (0,23)	5,5 (0,05)	19,4 (0,07)	15,6 (0,22)
3	64,0 (0,11)	6,4 (0,18)	22,0 (0,58)	20,3 (0,37)
3r	66,9 (0,46)	5,7 (0,19)	19,9 (0,44)	16,6 (0,63)
4	66,1 (0,32)	6,0 (0,07)	22,4 (0,13)	18,6 (0,31)
4r	73,1 (0,03)	4,3 (0,02)	18,9 (0,15)	10,7 (0,11)
5	64,8 (0,14)	5,8 (0,02)	22,7 (0,05)	17,4 (0,14)
5r	68,8 (0,46)	4,6 (0,11)	20,5 (0,24)	12,7 (0,53)
6	67,5 (0,15)	5,4 (0,01)	23,1 (0,08)	15,3 (0,17)
6r	63,5 (0,11)	6,8 (0,05)	23,2 (0,18)	19,0 (0,13)
7	65,2 (0,15)	5,6 (0,03)	22,5 (0,15)	16,9 (0,20)
7r	68,8 (0,09)	4,4 (0,06)	21,5 (0,11)	13,1 (0,09)
8	67,9 (0,01)	5,2 (0,02)	22,3 (0,13)	14,4 (0,07)
8r	58,7 (0,26)	8,01 (0,04)	24,7 (0,25)	24,2 (0,28)
FI	79,9 (0,02)	2,1 (0,02)	14,9 (0,07)	n.a.
FD	81,4 (0,24)	1,9 (0,05)	12,6 (0,19)	n.a.

*A numeração não corresponde à ordem aleatorizada; ** média de 4 determinações (desvio-padrão); L*: luminosidade; a*: oposição verde/vermelho; b*: oposição azul/amarelo; ΔE : variação de cor; FI: Farinha Integral (crua); FD: Farinha desengordurada (crua); n.a.: não se aplica.

A cor é um importante atributo para a indústria alimentícia. Consumidores frequentemente decidem suas escolhas baseados em características de aparência dos produtos, entre elas, a cor. Muitas vezes, a cor e o sabor estão diretamente relacionados. Como por exemplo, para muitos cereais matinais a cor mais escura provavelmente pode estar relacionada ao sabor de queimado. Processos como a extrusão podem afetar a cor de produtos e, por isso, este parâmetro também deve ser monitorado (HUNTER LAB).

Há muitas reações que levam à mudança de cor no processo de extrusão, sendo as mais comuns as reações de escurecimento do tipo não-enzimático e a degradação de pigmentos. Durante a extrusão, o componente L^* diminui, enquanto os componentes a^* e b^* aumentam (ILO et al., 1999).

Através das análises dos resultados obtidos para cor, concluiu-se que apenas o componente b^* da cor foi afetado pelas variáveis estudadas. Dentro da variabilidade observada, o material não apresentou variação nos outros parâmetros de cor (coordenada de cromaticidade a^* , luminosidade e diferença de cor) em relação às variáveis independentes, dentro das faixas de variação estudadas. As tabelas de efeitos e de análise de variância para esses parâmetros podem ser visualizadas nos Anexos 6, 7 e 8. Algumas hipóteses foram levantadas para explicar essa afirmação, entre elas: não houve variabilidade suficiente das medidas entre os experimentos para que efeitos significativos fossem obtidos; a variabilidade entre os blocos foi muito grande a ponto de não permitir efeitos significativos; outras variáveis independentes, que não as estudadas, influenciaram os parâmetros de cor.

A coordenada de cromaticidade b^* variou de 18,9 a 25,2 para as farinhas extrusadas e apresentou valores pouco superiores aos observados para as farinhas cruas (14,9 e 12,6 para as farinhas integral e desengordurada, respectivamente). Esta coordenada, que representa o índice de amarelo e vai do azul (-60) até o amarelo (+60), indicou forte presença desta última cor em todas as farinhas, principalmente nas extrusadas.

A Figura 22 apresenta o gráfico de Pareto para a coordenada de cromaticidade b^* da cor. Os valores dos efeitos das variáveis independentes sobre a coordenada de cromaticidade b^* das farinhas extrusadas são apresentados na Tabela 26.

Foi realizada uma análise de variância para se verificar a significância estatística dos efeitos calculados (Tabela 27). De acordo com essa análise, comprovou-se que apenas o tipo de farinha (TF) exerceu efeito significativo ($p < 0,05$) sobre o componente b^* da cor, significando que a troca da farinha desengordurada pela farinha integral foi um fator importante que contribuiu para a cor mais amarela das farinhas.

Apesar da ausência de efeitos significativos nos outros parâmetros de cor analisados, algumas considerações foram feitas.

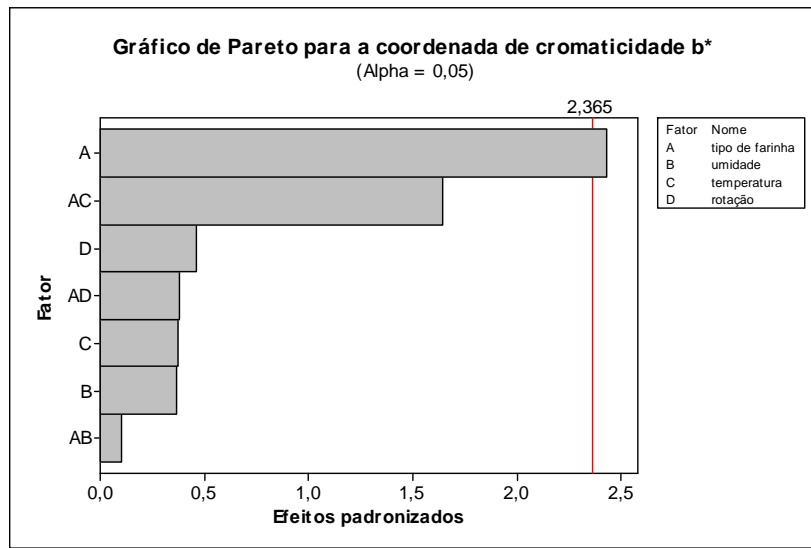


Figura 22. Gráfico de Pareto para a coordenada de cromaticidade b* das farinhas extrusadas.

Tabela 26. Efeitos calculados para a coordenada de cromaticidade b* das farinhas extrusadas.

Fator	Efeito	Erro padrão
Média	21,6213	0,3848
Bloco	-1,4250	0,7696
Tipo de farinha (TF)	1,8750	0,7696
Umidade (U)	0,2850	0,7696
Temperatura (T)	0,2875	0,7696
Rotação (R)	-0,3575	0,7696
TF x U	0,0775	0,7696
TF x T	1,2650	0,7696
TF x R	0,2950	0,7696

Tabela 27. Análise de variância para a coordenada de cromaticidade b* da cor.

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado Médio	F	P
Bloco	8,1225	1	8,1225	3,4287	0,1065
Tipo de farinha (TF)	14,0625	1	14,0625	5,9361	0,0450
Umidade (U)	0,3249	1	0,3249	0,1371	0,7221
Temperatura (T)	0,3306	1	0,3306	0,1396	0,7198
Rotação (R)	0,5112	1	0,5112	0,2158	0,6564
TF x U	0,0240	1	0,0240	0,0101	0,9226
TF x T	6,4009	1	6,4009	2,7020	0,1442
TF x R	0,3481	1	0,3481	0,1469	0,7129
Erro	16,5828	7	2,3690		
Total					
$R^2 = 64,50 \%$					

O componente L* variou de 58,7 a 73,1 indicando menor luminosidade das farinhas extrusadas quando comparadas às farinhas cruas (79,9 e 81,4 para as farinhas integral e desengordurada, respectivamente). No Anexo 7, são apresentados os efeitos negativos do tipo de farinha, umidade e rotação no componente L* das farinhas extrusadas que, apesar de não significativos, comprovam que as condições drásticas da extrusão favorecem o escurecimento do produto final.

A coordenada de cromaticidade a* das farinhas extrusadas variou de 4,3 a 8,1 e apresentou valores superiores aos observados para as farinhas cruas (2,1 e 1,9 para as farinhas integral e desengordurada, respectivamente). Considerando que esse componente de cor varia de verde (-60) ao vermelho (+60), pode-se dizer que ocorreu pequena tendência para o vermelho entre as farinhas extrusadas.

Os cálculos realizados para os parâmetros ΔL^* , Δa^* e Δb^* , que medem a diferença de cor entre as farinhas extrusadas e as farinhas cruas, reforçam os resultados discutidos anteriormente. Valores negativos obtidos para ΔL^* indicam que as farinhas extrusadas são mais escuras que as cruas e valores positivos obtidos para Δa^* e Δb^* indicam que as farinhas extrusadas são, respectivamente, mais “vermelhas” e mais “amarelas” que as farinhas cruas (valores não mostrados).

5.3.5. Grau de gelatinização

A Tabela 28 apresenta os resultados obtidos para a análise do grau de gelatinização (GG) das farinhas extrusadas, os quais variaram de 87,6% a 98,9% e indicam que grande parte do amido foi gelatinizada no processo de extrusão.

A Figura 23 apresenta o gráfico de Pareto para os valores de grau de gelatinização (GG).

O aquecimento de suspensões de amido na presença de água causa uma transição irreversível, denominada gelatinização, onde há perda total das zonas cristalinas e da propriedade de birrefringência (LEONEL et al., 2001).

Durante o processo de extrusão, esse fenômeno ocorre com as farinhas de amaranto, devido à sua composição predominantemente amilácea e, sua intensidade depende de uma série de fatores como a temperatura, componentes da matéria-prima

(umidade, proporção amilose/amilopectina, proteínas, lipídeos), velocidade de rotação da rosca, tamanho de partícula, entre outros (LAI e KOKINI, 1991).

Tabela 28. Grau de gelatinização das farinhas de amaranto extrusadas.

Experimento	GG (%)
1*	92,0 (0,96)
1r	90,1 (1,19)
2	92,2 (2,11)
2r	90,9 (0,08)
3	96,5 (0,71)
3r	95,1 (1,85)
4	98,3 (0,96)
4r	97,4 (2,99)
5	87,6 (3,06)
5r	90,0 (0,07)
6	94,8 (1,61)
6r	92,6 (2,18)
7	93,7 (1,49)
7r	94,6 (1,62)
8	98,0 (0,19)
8r	98,9 (0,37)

*A numeração não corresponde à ordem aleatorizada; ** média de três determinações (desvio-padrão); r: repetição.

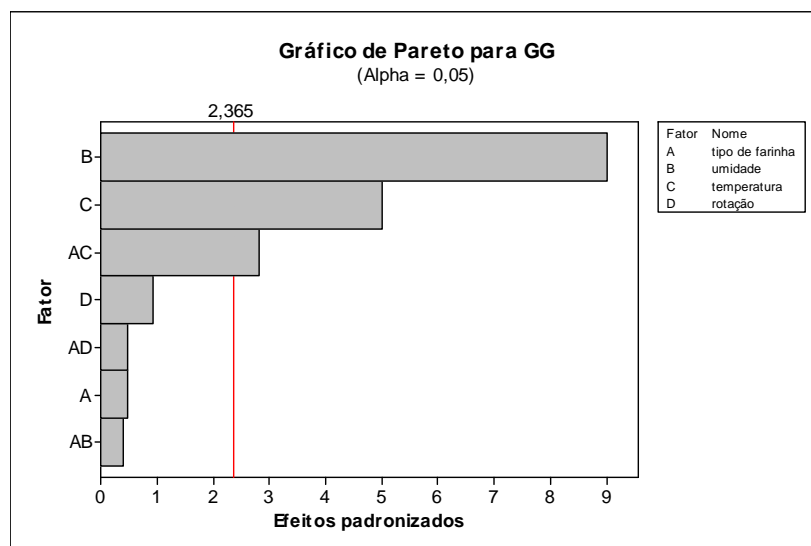


Figura 23. Gráfico de Pareto para o GG das farinhas extrusadas.

Os valores dos efeitos calculados das variáveis independentes sobre a resposta GG são apresentados na Tabela 29.

Foi realizada uma análise de variância para se verificar a significância estatística dos efeitos calculados (Tabela 30). De acordo com essa análise, comprovou-se que a umidade, a temperatura e a interação TF x T exerceram efeitos significativos ($p < 0,05$) e positivos sobre o GG.

Como a interação TF x T foi significativa, devemos considerar as variáveis em conjunto. Como mostrado na Figura 24, o maior valor de GG foi obtido utilizando-se a farinha integral e o nível máximo de temperatura, dentro da faixa de variação estudada.

Tabela 29. Efeitos calculados para o GG das farinhas extrusadas.

Fator	Efeito	Erro padrão
Média	93,9225	0,2948
Bloco	-0,4425	0,5895
Tipo de farinha (TF)	-0,2975	0,5895
Umidade (U)	5,3200	0,5895
Temperatura (T)	2,9650	0,5895
Rotação (R)	-0,5675	0,5895
TF x U	-0,2575	0,5895
TF x T	1,6425	0,5895
TF x R	0,3000	0,5895

Tabela 30. Análise de variância para o GG das farinhas extrusadas.

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado Médio	F	P
Bloco	0,7832	1	0,7832	0,5634	0,4774
Tipo de farinha (TF)	0,3540	1	0,3540	0,2546	0,6293
Umidade (U)	113,2096	1	113,2096	81,4301	0,0000
Temperatura (T)	35,1649	1	35,1649	25,2936	0,0015
Rotação (R)	1,2882	1	1,2882	0,9266	0,3678
TF x U	0,2652	1	0,2652	0,1908	0,6754
TF x T	10,7912	1	10,7912	7,7620	0,0271
TF x R	0,3600	1	0,3600	0,2589	0,6265
Erro	9,7319	7	1,3903		
Total	171,9483	15			

$R^2 = 94,34 \%$

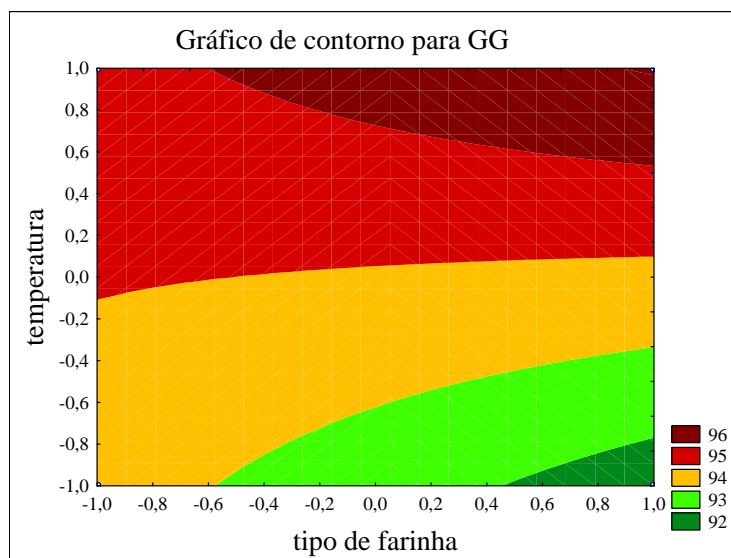


Figura 24. Gráfico de contorno para o GG das farinhas extrusadas.

A maior quantidade de lipídeos, juntamente com a alta temperatura, concorre para a formação de uma massa densa que, geralmente, resulta em cozimento acentuado, menor dispersão das partículas da massa e conseqüente maior gelatinização.

De acordo com a literatura, observa-se que não há um consenso sobre as variáveis que afetam o grau de gelatinização. LAI e KOKINI (1991), em um trabalho de revisão sobre as mudanças físico-químicas e propriedades reológicas do amido durante a extrusão, relataram que diversos estudos têm mostrado forte influência da interação T x U, além de efeitos importantes da temperatura, umidade e rotação da rosca, independentes de outras variáveis, sobre a resposta grau de gelatinização. CAI e DIOSADY (1993) propuseram um modelo para gelatinização e verificaram que a temperatura e rotação da rosca foram responsáveis pela gelatinização de amido de

trigo em extrusora dupla-rosca. CHIANG e JOHNSON (1977) observaram efeito positivo da rotação da rosca e concluíram que, apesar do aumento da velocidade da rosca reduzir o tempo de residência do material no interior da extrusora, um aumento da gelatinização foi observado em estudo realizado com farinha de trigo, independentemente da faixa de temperatura e umidade utilizadas.

Considerando tais resultados, mais estudos são necessários para investigar efeitos e interações de variáveis independentes no grau de gelatinização de farinhas extrusadas, já que esta é uma importante propriedade requerida para a sua incorporação em produtos instantâneos, que não necessitam de cozimento adicional.

5.3.6. Granulometria

O resultado obtido para a granulometria da farinha crua reflete o tipo de moagem a que os grãos foram submetidos (três etapas de quebra e três de redução). Para a extrusão, o tamanho das partículas é um fator importante. As partículas pequenas são mais rapidamente fundidas e a massa resultante, de viscosidade baixa, não é transportada apropriadamente através da rosca de extrusão, podendo causar até a queima do material no interior da extrusora (ASCHERI et al., 2005).

Observações conflitantes sobre a influência do tamanho das partículas da farinha a ser extrusada nas características físico-químicas dos extrusados têm sido observadas.

Há relatos na literatura de que partículas maiores resultam em menor índice de expansão devido, entre outros fatores, à incompleta gelatinização do amido (MOHAMED, 1990; GARBER et al., 1997; DESRUMAUX et al., 1998), no entanto, esse parâmetro também pode ser influenciado por diferentes condições do processo de extrusão, além das características próprias de composição de cada matéria-prima.

A Tabela 31 apresenta a distribuição granulométrica da farinha crua integral de amaranto. A elevada heterogeneidade do tamanho das partículas, bem como a grande porcentagem (cerca de 78%) de partículas com tamanho de 0,250 mm ou menor, também pode explicar diferenças no comportamento da farinha que levaram a variações nas respostas, objetos deste estudo.

Tabela 31. Granulometria da farinha crua integral de amaranto.

Tyler	Abertura (mm)	% retida
20	0,850	1,65
35	0,420	20,53
60	0,250	26,35
80	0,177	38,72
100	0,150	4,04
Fundo	-	8,70

A análise de granulometria de uma amostra de farinha extrusada foi realizada somente com o objetivo de verificar e padronizar a granulometria que seria utilizada

nas análises físico-químicas, já que muitas das propriedades analisadas das farinhas podem sofrer variação dependendo do tamanho de suas partículas.

A Tabela 32 apresenta o resultado da análise de tamanho de partículas de uma amostra de farinha extrusada.

O diâmetro médio das partículas é dado pelo parâmetro D (v, 0.5), que foi igual a 123,94 μm . A partir do parâmetro D (v, 0.9), observamos que 90% da amostra apresentou tamanho inferior a 267,67 μm . Para efeito de comparação, farinhas de trigo comerciais devem apresentar 98% de partículas menores que 250 μm (BRASIL, 1999). Todas as farinhas, portanto, apresentaram tamanho homogêneo e adequado de partículas para as análises realizadas.

Tabela 32. Distribuição do tamanho de partículas de uma amostra de farinha extrusada de amaranto.

D (v, 0.1) μm	D [4,3] μm	D (v, 0.5) μm	D (v, 0.9) μm
24,71 (0,71)*	135,53 (1,02)	123,94 (0,76)	262,67 (3,18)

*média de 10 determinações (desvio-padrão). D (v, 0.1): é o tamanho de partículas na qual 10% da amostra está abaixo deste; D [4,3]: é o diâmetro médio volumétrico; D (v, 0.5): é o tamanho de partículas na qual 50% da amostra é menor e 50% é maior do que este; D (v, 0.9): é o tamanho de partículas na qual 90% da amostra está abaixo deste.

5. CONCLUSÕES

O planejamento fatorial fracionado utilizado neste trabalho permitiu identificar, dentro das variáveis estudadas, aquelas que mais influenciaram as respostas de interesse e pode servir como um caminho para a futura otimização das respostas estudadas.

Nas condições do experimento, a variável tipo de farinha apresentou efeitos, muitas vezes, superiores aos efeitos das variáveis consideradas clássicas da extrusão: temperatura, umidade e rotação da rosca.

A blocagem realizada para os experimentos contribuiu para a investigação do erro experimental e também para controlar e avaliar os efeitos da variabilidade produzida pelos fatores perturbadores do processo. No entanto, efeitos significativos de bloco foram observados para algumas respostas sugerindo que outras variáveis, não estudadas, como variáveis ambientais (umidade relativa do ar, temperatura ambiente), podem ter afetado o processo de extrusão e, conseqüentemente, as respostas analisadas.

A faixa de variação escolhida das variáveis independentes mostrou-se adequada para a verificação de efeitos significativos nas respostas analisadas. Dessas respostas, apenas a força de cisalhamento dos extrusados, quebra de viscosidade, coordenada de cromaticidade a^* da cor, luminosidade e diferença de cor das farinhas extrusadas não sofreram nenhum efeito significativo dentro da faixa de variação.

De todas as respostas analisadas, o índice de solubilidade em água e o índice de absorção de água foram as únicas que não foram afetadas pela variável tipo de farinha, indicando que a necessidade de desengorduramento da matéria-prima dependerá da resposta a ser avaliada. Diferentemente, todas as outras respostas sofreram grande influência do tipo de farinha, verificada principalmente pelas interações envolvendo essa variável.

A partir do processo de extrusão, foi possível a obtenção de uma farinha extrusada com alta solubilidade em água, alto grau de gelatinização, baixa viscosidade e baixa retrogradação, apresentando potencial para aplicação como um produto instantâneo ou como um ingrediente alimentício, com a vantagem do valor nutricional e funcional agregado das farinhas de amaranto.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMAYA-FARFAN, J.; MARCÍLIO, R.; SPEHAR, C.R. Deveria o Brasil investir em novos grãos para a sua alimentação. A proposta do amaranto (*Amaranthus sp*). **Segurança Alimentar e Nutricional**, Campinas, v.12, n.1, p.47-56, 2005.
- ANDERSON, R.A.; CONWAY, V.F.P.; GRIFFIN, E.L. Gelatinization of corn grits by roll-and extrusion cooking. **Cereal Science Today**, v.14, n.1, p.4-7, 1969.
- ANILAKUMAR, K.; KHANUM, F.; SANTHANAM, K. Amelioration of Hexachlorocyclohexane-Induced Oxidative Stress by Amaranth Leaves in Rats. **Plant Foods for Human Nutrition**, v.61, n.4, p.169-173, 2006.
- APHALO, P.; CASTELLANI, O.F.; MARTINEZ, E.N.; AÑÓN, M.C. Surface physicochemical properties of Globulin-P amaranth protein. **Journal Agricultural and Food Chemistry**, v.52, p.616-622, 2004.
- ARCILA, N.; MENDOZA, Y. Elaboración de una bebida instantánea a base de semillas de amaranto (*Amaranthus cruentus*) y su uso potencial en la alimentación humana. **Revista de la Facultad de Agronomía Universidad del Zulia**, v.23, p.110-119, 2006.
- ARÊAS, J.A.G. Interações moleculares do amido durante o processo de extrusão. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.30, n.1, p.28-30, 1996.
- ASCHERI, J.L.R. Extrusión de harina mixta de amaranto integral y arroz: Parte 1. Caracterización físico-química. **Alimentaria**. Madrid, v.42, n.367, p.74-83, 2005.
- ASCHERI, J.L.R.; CARVALHO, C.W.P.; SPEHAR, C.R. Extrusão do amaranto no desenvolvimento de produtos: caracterização físico-química. **Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento**, Rio de Janeiro, 2004.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC. **Official Methods of Analysis**. 16° ed, Washington, 1997.
- ATHAYDE, A. Food ingredients: Brasil antecipa as tendências em matérias-primas. **Revista de Engenharia de Alimentos**, n.23, p.28-30, 1999.
- AYO, J.A. The effect of amaranth grain flour on the quality of bread. **International Journal of Food Properties**, v.4, n.2, p.341-351, 2001.

- BARROS, C.; M. BUENROSTRO. **Amaranto, fuente maravillosa de sabor y salud**. Grijalbo, México, 1997.
- BARROS-NETO, B.; SACARMÍNIO, I.S.; BRUNS, R.E. **Como fazer experimentos. Pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**. 2. ed. Campinas: Ed. UNICAMP, 2003. 401p.
- BARROS-NETO, B.; SCARMÍNIO, I.S.; BRUNS, R.E. **Planejamento e Otimização de Experimentos**. 1. ed. Campinas: Ed. UNICAMP, 1995. 299p.
- BECERRA, R. El Amaranto: nuevas tecnologías para un antiguo cultivo. CONABIO. **Biodiversitas**. n.30, p.1-6, 2000. Disponível em: <<http://biodiversidad.gob.mx>>. Acesso em: 15 jun. 2008.
- BELLO, J. Los alimentos funcionales o nutraceuticos. Nueva gama de productos en la industria alimentaria. **Alimentaria**, n.265, p.25-30, 1995.
- BERGANZA, B.E.; MORAN, A.W.; RODRÍGUEZ, G.M.; COTO, N.M.; MARIO SANTAMARÍA, M.; BRESSANI, R. Effect of variety and location on the total fat, fatty acids and squalene content of amaranth. **Plant Foods For Human Nutrition**, v.58, n.3, p.1-6, 2003.
- BERGER, A.; GREMAUD, R.; BAUMGARTNER, M.; REIN, D.; MONNARD, I.; KRATKY, E.; GEIGER, W.; BURRI, J.; DIONISI, F.; ALLAN, M.; LAMBELET, P. Cholesterol-lowering properties of amaranth grain and oil in hamsters. **International Journal for Vitamin and Nutrition Research**, v.73, n.1, p.39-49, 2003a.
- BERGHOFER, E.; SCHOENLECHNER, R. Grain Amaranth. In: BELTON, P.S.; TAYLOR, J.R.N. **Pseudocereals and less common cereals: grain properties and utilization potential**. Springer, 2002, cap 7.
- BETSCHART, A.A.; IRVING, D.W.; SHEPHERD, A.D.; SAUNDERS, R.M. *Amaranthus Cruentus*: Milling characteristics, distribution of nutrients within seed components, and the effects of temperature on nutritional quality. **Journal of Food Science**, v.46, p.1181-1187, 1981.
- BIBLE, B.B.; SINGHA, S. Canopy position influences CIELAB coordinates of peach color. **HortScience**, v.28, n.10, p.992-993, 1993.
- BOX, G. P. G.; HUNTER, W. G.; HUNTER, J. S. **Statistics for Experimenters: An Introduction to Design, Data Analysis and Model Building**. New York: Wiley, 1978. 653p.
- BRASIL. Portaria n.27, de 13 de janeiro de 1998. Regulamento Técnico referente à Informação nutricional complementar. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 16 jan, 1998, Seção 1, pt1.

- BRESSANI, R. Calidad proteínica de la semilla de amaranto cruda y procesada. In: El amaranto y su potencial. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, Guatemala, n.3. 1983.
- BURISOVA, A; DODOK, S; SKROVANKOVA, S; SERULOVA, D. The influence of substitution of wheat flour by amaranth flour on fermentative gas production and quality of bread. **Rostlinna Vyroba**, v.47, n.5, p.276-279, 2001.
- CAI, W.; DIOSADY, LL. Model for gelatinization of wheat starch in a twin-screw extruder. **Journal of Food Science**, v.58, n.4, p.872-877, 1993.
- CAMIRE, M.E.; CAMIRE, A.; KRUMHAR, K. Chemical and nutritional changes in foods during extrusion. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.29, p.35-57, 1990.
- CAPRILES, V.D.; ALMEIDA, E.L.; FERREIRA, R.E.; ARÊAS, J.A.G.; STEEL, C.J.; CHANG, Y.K. Physical and sensory properties of regular and reduced-fat pound cakes with added amaranth flour. **Cereal Chemistry**, v. 85, p. 614-618, 2008.
- CAPRILES, V.D.; COELHO, K.D.; MATIAS, A.C.G.; ARÊAS, J.A.G. Efeito da adição de amaranto na composição e na aceitabilidade do biscoito tipo cookie e do pão de fôrma. **Alimentos e Nutrição**, v.17, n.3, p.269-274, jul./set., 2006.
- CEREDA, M.P.; VILPOUX, O.; FRANCO,C.M.L. Uso de amido e seus derivados na produção de salgadinhos extrusados (*snacks*). In: CEREDA, M.P.; VILPOUX, O. **Tecnologias, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas latinoamericanas**. Ed. Campinas: Fundação Cargill, 2003. cap 6.
- CHATURVEDI, A.; SAROJINI, G; DEVI, N. L. Hypocholesterolemic effect of amaranth seed (*Amaranthus esculantus*). **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 44, n.1, p.63-70, 1993.
- CHÁVEZ-JÁUREGUI, R.N.; CARDOSO-SANTIAGO, R.A.; PINTO E SILVA, M.E.M.; ARÊAS, J.A.G. Acceptability of snacks produced by the extrusion of amaranth and blends of chickpea and bovine lung. **International Journal of Food Science and Technology**, v.38, p.795-798, 2003.
- CHÁVEZ-JÁUREGUI, R.N.; PINTO E SILVA, M.E.M.; ARÊAS, J.A.G. Extrusion cooking process for amaranth (*Amaranthus caudatus* L.). **Journal of Food Science**, v.65, n.6, p.1009-1015, 2000.
- CHIANG, B.Y.; JONHSON, J. A measurement of total and gelatinized starch by glucoamylase and o-toluidine reagent. **Cereal Chemistry**, v.54, n.3, p.429-435, 1977a.

- CHIANG, B.Y.; JONHSON, J. Gelatinization of starch in extruded products. **Cereal Chemistry**, v.54, n.3, p.436-443, 1977b.
- CIACCO, C. F.; CRUZ, R. **Fabricação de amido e sua utilização**. São Paulo: Secretaria da Indústria e Comércio. Ciência e Tecnologia, 1982.
- COELHO, K.D. **Desenvolvimento e avaliação da aceitação de cereais matinais e barras de cereais à base de amaranto (*Amaranthus cruentus* L.)**. 2006. 89p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- COLONNA, P. et al. Extrusion cooking and drum drying of wheat starch. I. Physical and macromolecular modifications. **Cereal Chemistry**, v.61, n.6, p.538-543, 1984.
- CZERWINSKI, J.; BARTNIKOWSKA, E.; LEONTOWICZ, H.; LANGE, E.; LEONTOWCZ, M.; KATRICH, E.; TRAKHTENBERG, S.; GORINSTEIN, S. Oat (*Avena sativa* L.) and amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) meals positively affect plasma lipid profile in rats fed cholesterol-containing diets. **The Journal of nutritional biochemistry**, v.15, n.10, p.622-629, 2004.
- CZUBASZEK, A. The influence of ground amaranth seeds addition on the baking value of commercial wheat flour. **Zywnosc**, v.9, n.3, p.101-111, 2002.
- DANZ, R.A.; LUPTON, J.R. Physiological effects of dietary amaranth (*Amaranthus cruentus*) on rats. **Cereal Foods World**, v.37, n.7, p.515-591, 1992.
- DELLA VALLE, G.; OULLIEN, L.; GEUGUEN, J. Relationships between processing conditions and starch and protein modifications during extrusion cooking of pea flour. **Journal of the Science Food and Agriculture**, v.64, p.509-517, 1994.
- DESRUMAUX, A.; BOUVIER, J.M.; BURRI, J. Corn grits particle size and distribution effects on the characteristics of expanded extrudates. **Journal of Food Science**, v.63, n.5, 1998.
- DING, Q.; AINSWORTH, P.; TUCKER, G.; MARSON, H. The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice-based expanded snacks. **Journal of Food Engineering**, v.66, p.283-289, 2005.
- DOGAN, H.; KARWE, M.V. Physicochemical properties of quinoa extrudates. **Food Science and Technology International**, v.9, p.101-114, 2003.
- EL-DASH, A.A. Application and control of thermoplastic extrusion of cereals for food and industrial uses. In: POMERANZ, Y.; MUNCH, L. **Cereals a**

- renewable resource: theory and practice.** Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1981. cap 10.
- FAUBION, J.M.; HOSENEY, R.C. High temperature and short time. Extrusion-cooking of wheat starch and flour type on extrudate properties. **Cereal Chemistry**, v.59, n.6, p.529-533, 1982.
- FERREIRA, T. A. P. C.; MATIAS, A. C. G.; ARÊAS, J. A. G. Nutritional and functional characteristics of Amaranth (*Amaranthus spp.*). **Nutrire: Revista da Sociedade Brasileira de Alimentação e Nutrição**, v.32, n.2, p.91-116, ago. 2007.
- FERREIRA, T.A.P.C.; ARÊAS, J.A.G. Protein biological value of extruded, raw and toasted amaranth grain. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.34, n.1, p.53-59, 2004.
- GAMBUS, H; GAMBUS, F; SABAT, R. The research on quality improvement of gluten free bread by amaranthus flour addition. **Zywnosc**, v.9, n.2, p.99-112, 2002.
- GARBER, B.W.; HSIEH, F.; HUFF, H.E. Influence of particle size on the twin-screw extrusion of corn meal. **Cereal Chemistry**, v.74, n.5, p.656-661, 1997.
- GONZÁLEZ, R.; CARRARA, C.; TOSI, E.; AÑÓN, M.C.; PILOSOF, A. Amaranth starch-rich fraction properties modified by extrusion and fluidized bed heating. **Food Science and Technology**, v.40, p.136-143, 2007.
- GONZÁLEZ, R.J.; TORRES, R.L.; DE GREEF, D.M., TOSI, E.; RE, E. Effects of popping and extrusion processes on some hydration properties of amaranth. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v.19, n.4, p.391-395, 2002a.
- GORINSTEIN, S.; PAWELZIK, E. DELGADO-LICON E. HARUENKIT R.; WEISZ M.; TRAKHTENBERG, S. Characterization of pseudocereal and cereal protein by protein and amino acid analyses. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.82, p.886-891, 2002.
- GRAJETA, H. Effect of amaranth and oat bran on blood serum and liver lipids in rats depending on the kind of dietary fats. **Nahrung**, v.43, n.2, p.114-117, 1999.
- GUALBERTO, D.; BERGMAN, C.; KAZEMZADEH, M.; WEBER, C. Effect of extrusion processing on the soluble and insoluble fiber and phytic acid contents of cereal brans. **Plant Foods for Human Nutrition**, v.51, p.187-198, 1997.
- GUERRA-MATIAS, A.C.; ARÊAS, J.A.G. Cinética de hidrólise do amido de produto extrusado (snack) a base de amaranto (*Amaranthus cruentus* L.) para pacientes celíacos. **Nutrire**, v.27, n.1, p.43-54, 2004.

- GUERRA-MATIAS, A.C.; ARÊAS, J.A.G. Glycemic and insulinemic responses in women consuming extruded amaranth (*Amaranthus cruentus* L). **Nutrition Research**, v.25, p.815-822, 2005.
- GUHA, M.; ALI, S.Z.; BHATTACHARYA, S. Effect of barrel temperature and screw speed on rapid viscoanalyzer pasting behaviour of rice extruded. **International Journal of food science**, v.33, p.259-266, 1998.
- GUY, R. Raw materials for extrusion cooking. In: GUY, R. **Extrusion cooking**. Boca Raton: Woodhead Publishing Limited, 2001a. cap 2.
- GUZMÁN-MALDONADO, S.H.; PAREDES-LÓPEZ, O. Productos funcionales de plantas autóctonas de Latinoamérica: amaranto, quínoa, judías y plantas medicinales. In: MAZZA, G. **Alimentos funcionales: aspectos bioquímicos y de procesado**. Zaragoza: Acribia, 2000. cap 9.
- HARPER, J.M. **Extrusion of foods**. Boca Raton: CRC Press, 1981. 212p.
- HE, H.P.; CAI, V.; SUN, M. CORKE, H. Extraction and purification of squalene from *Amaranthus* grain. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.50, p.368-372, 2002.
- HIBI, M.; HACHIMURA, S.; HASHIZUME, S.; OBATA, T.; KAMINOGAWA, S. Amaranth grain inhibits antigen-specific IgE production through augmentation of the IFN- γ response in vivo and in vitro. **Cytotechnology**, v.43, p.33-40, 2003.
- HUAIXIANG, W.; CORKE, H. Genetic diversity in physical properties of starch from a world collection of *Amaranthus*. **Cereal Chemistry**, v.76, n.6, p.877-883, 1999.
- HUNTER LAB. Color measurement of cereal and cereal products. Hunter Lab, Reston, VA. Disponível em: <http://www.hunterlab.com/pdf/A5Cereal.pdf>. Acesso em: 02 ago. 2008.
- ILO, S.; LIU, Y.; BERGHOFER, E. Extrusion cooking of rice flour and amaranth blends. **Food Science and Technology**, v.32, p.79-88, 1999.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Norme internationale: Riz détermination de la teneur en amylose**. Suisse, 1987, 5p. (ISO 6647).
- IOM/NAS. Institute of Medicine/National Academy of Sciences. **Opportunities in the Nutrition and Food Sciences**. Ed P.R. THOMAS, P.R.; Earl, R. National Academy Press, Washington, D.C. 1994.

- JIAN, Y.Q.; KUHN, M. Characterization of *Amaranthus cruentus* and *Chenopodium quinoa* starch. **Starch/Staerke**, v.51, p.116-120, 1999.
- KIM, H. K.; GHANG, Y. J.; HEO, H. J.; CHO, H.Y.; HONG, B.; SHIN, D. H. Hypocholesterolemic effect of Amaranth Squalene (*Amaranth esculantus*) in rats fed a high cholesterol diet. **Nutraceuticals and Food**, v.8, n.1, p.13-18, 2003.
- KIRBY, A.R; OLLET, A.L.; PARKER, R.; SMITH, A.C. An experimental study of screw configuration effects in the twin-screw extrusion cooking of maize grits. **Journal of Food Engineering**, v.8, p.247-272, 1988.
- KOVÁCS, ET; MARAZ-SZABO, L; VARGA, J. Examination of the protein-emulsifier-carbohydrate interactions in amaranth based pasta products. **Acta Alimentaria**, v.30, n.2, p.173-187, 2002.
- LAI, L.S.; KOKINI, J.L. Physicochemical changes and rheological properties of starch during extrusion. (A review). **Biotechnology Progress**, v.7, n.3, p.251-266, 1991.
- LEGRET, M.; DIVET, L. Application of Factorial -designs in Optimization of the Determination of Lead by Electrothermal atomization. **Analysis**, v.16, p.97-106, 1988.
- LEHMANN, J.W. Case history of grain amaranth as na alternative crop. **Cereal Foods World**, v.41, n.5, p.399-403, 1996.
- LEONEL, M.; CEREDA, M.P.; VILPOUX, O.F; SARMENTO, S.B.S. **Propriedades do amido**. Campinas: Fundação Cargill, v.1, 2001.
- LEONEL, M.; MISCHAN, M.M.; PINHO, S.Z.; IATAURO, R.A.; FILHO, J.D. Efeitos de parâmetros de extrusão nas propriedades físicas de produtos expandidos de Inhame. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.26, n.2, p.459-464, 2006.
- LINKO, Y. Y.; VUORINEN, H.; OLKKU, J.; LINKO, P. The effect of HTST on retention of cereal alfa-amylase activity and enzymatic hydrolysis of barley starch. In: LINKO,P.; LARINKARI, J. (Ed.). **Food Processing Engineering**. London: Elsevier Applied Science Publishers, 1980. v. 2, p. 210-223.
- MARCÍLIO, R., AMAYA-FARFAN, J.; CIACCO, C.F.; SPEHAR, C.R. Fracionamento do grão de *Amaranthus cruentus* brasileiro por moagem e suas características composicionais. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.23, n.3, p.511-516, 2003.

- MARCÍLIO, R., AMAYA-FARFAN, J.; SILVA, M.A.A.P. Avaliação de farinha de amaranto na elaboração de biscoito sem glúten do tipo cookie. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.28, n.2, p.175-181, 2005.
- MATUZ, J.; POKA, R.; BOLDIZSAR, I.; SZERDAHELYI, E.; HAJOS, G. Structure and potential allergenic character of cereal proteins. II Potencial allergens in cereal samples. **Cereal Research Communications**, v.28, p.433-442, 2000.
- MENDONÇA, S. **Efeito hipocolesterolemizante da proteína de amaranto (*Amaranthus cruentus* BRS-Alegria) em hamsters**. 2006. 234p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- MENDONÇA, S.; SALDIVA, P.H.; CRUZ, R.J.; ARÊAS, J.A.G. Amaranth protein presents cholesterol-lowering effects. **Food Chemistry**, v.116, n.3, p.738-742, 2009.
- MENDOZA, C.M.; BRESSANI, R. Nutritional and functional characteristics of extrusion-cooked amaranth flour. **Cereal Chemistry**, v.64, n.4, p.218-222, 1987.
- MENEGASSI, B.; LEONEL, M.; MISCHAN, M.M.; PINHO, S.Z. Extrusão de farinha de mandioca-salsa: efeito da temperatura, rotação e umidade nas características físicas dos extrusados. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.10, n.4, p.252-258, 2007.
- MINOLTA. **Precise color communication: color control from feeling to instrumentation**. Osaka: Minolta Camera Co. Ltd., 1993, 49p.
- MITCHELL, J.R.; ARÊAS, J.A.G. Structural changes in biopolymers during extrusion. In: KOKINI, J.L.; HO, C.T.; KARWE, M.V. (Eds.). **Food Extrusion Science and Technology**. New York: Marcel Dekker, 1992. cap 2.
- MOHAMED, S. Factors affecting extrusion characteristics of expanded starch-based products. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.14, p.437-452, 1990.
- MOUQUET, A., SALVIGNOL, B., VAN HOAN, N., MONVOIS, J., TRÈCHE, S. Ability of a "very low-cost extruder" to produce instant infant flours at a small scale in Vietnam. **Food Chemistry**, v. 82, p.249-255, 2003.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Amaranth: Modern prospects for an ancient crop**. Washington: National Academy Press, 1984.
- NELSON, N. A fotometric adaptation of Somogyi method for the determination of glucose. **Journal of Biological Chemistry**, v. 153, p.375-80, 1944.

- NEWPORT SCIENTIFIC. **Operation manual for series 4: instructions manual**. Warriewood, 1998. 123p.
- PEDERSEN, B.; KNUDSEN, K.E.B.; EGGUM, B.O. The nutritive value of amaranth grain (*Amaranthus caudatus*). III. Energy and fibre of raw and processed grain. **Plant Foods for Human Nutrition**, v.40, p.61-64, 1990.
- PLATE, A.Y.A.; ARÊAS, J.A.G. Cholesterol-lowering effect of extruded amaranth (*Amaranthus caudatus* L.) in hypercholesterolemic rabbits. **Food Chemistry**, v.76, p.1-6, 2002.
- PROSKY, L.; ASP, N.; SCHWISER, T.; DEVRIES, J.; FURNAS, I. Determination of insoluble, soluble and total dietary fiber in foods and foods products: interlaboratory study. **Journal of Association Official of Analist Chemistry**, v.71, n.5, p.1017-1023, 1988.
- QURESHI, A.A.; LEHMANN, J.W.; PETERSON, D.M. Amaranth and its oil inhibit cholesterol biosynthesis in 6-week-old-female ckichen. **Journal of Nutrition**, v.126, n.8, p.1972-1978, 1996.
- RAGAEI, S.; ABDEL-AAL, E.S.M. Pasting properties in selected cereals and quality of their food products. **Food Chemistry**, v.95, p.9-18, 2006.
- RAMÍREZ, R.C. **Monografía de la Cadena de Amaranto**. Secretaría de Desarrollo Rural Del Estado de Puebla. México, 2007. Disponível em <http://www.sdr.gob.mx/beta1/contenidos/CadenasAgropecuarias>.
- RICKARD, J. E.; BEHN, K.R. Evaluation of acid and enzyme hydrolytic methods for determination of cassava starch. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 41, p.373-379, 1987.
- SAUNDERS, R.M.; BECKER, R. Amaranth: a potencial food and feed recourse. **Advances in Cereal Science and Technology**, v.6, p.357-396, 1984.
- SEBIO, L. **Efeito de alguns Parâmetros Operacionais de Extrusão nas Propriedades Físico-químicas da farinha de inhame (*Dioscorea rotundata*)**. Campinas - S.P., 1996. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.
- SEGURA-NIETO, M.; VAZQUEZ-SANCHEZ, N.; RUBIOVELAZQUEZ, H.; OLGUIN-MARTINEZ, L.E.; RODRIGUEZ-NESTER, C.E.; HERRERA-ESTRELLA, L. Characterization of amaranth (*A .hypochondriacus* L.) seed proteins. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.40, n.9, p.1553-1558, 1992.

- SINDHUJA, A.; SUDHA, M.L.; RAHIM, A. Effect of incorporation of amaranth flour on the quality of cookies. **European Food Research and Technology**, v.221, p.597-601, 2005.
- SOARES, R.A.M. **Identificação de peptídeos hipocolesterolemizantes do isolado protéico do grão de amaranto (*Amaranthus cruentus* L. BRS-Alegria)**. 2008. 117p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- SOMOGY, M. Determination of blood sugar. **Journal of Biological Chemistry**, v.160, p.69-73, 1945.
- SPEHAR, C.R.; TEIXEIRA, D.L.; CABEZAS, W.A.R.L.; ERASMO, E.A.L. Amaranto BRS Alegria: alternativa para diversificar os sistemas de produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, n.5, p.659-663, 2003.
- TEIXEIRA, D.L.; SPEHAR, C.R.; SOUZA, L.A.C. Caracterização agrônômica de amaranto para cultivo na entressafra no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, n.1, p.45-51, jan. 2003.
- TESTER, R.F.; MORRISON, W.R. Swelling and gelatinization of cereal starches. I. Effects of amylopectin, amylose, and lipids. **Cereal Chemistry**, v.67, n.6, p.551-557, 1990.
- TEUTONICO, R.A.; KNORR, D. Amaranth: composition, properties and applications of a rediscovered food crop. **Food Technology**, v.39, n.4, p.49-60, 1985.
- THAKUR, S.; SAXENA, D.C. Formulation of extruded snack food (gum based cereal-pulse blend): optimization of ingredients levels using response surface methodology. **Food Science and Technology**, v.33, p.354-361, 2000.
- TORRES, L.L.G.; EL-DASH, A.A.; CARVALHO, C.W.P.; ASCHERI, J.L.R.; GERMANI, R.; MIGUEZ, M. Efeito da umidade e da temperatura no processamento de farinha de banana verde (*Musa acuminata*, GRUPO AAA) por extrusão termoplástica. **Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos**, Curitiba, v.23, n.2, p.273-290, 2005.
- TOSI, E.A.; CIAPPINI, M.C.; MASCIARELLI, R. Utilización de la harina integral de amaranto (*Amaranthus cruentus*) en la fabricación de galletas para celíacos. **Alimentaria**, n.269, p.49-51, 1996.
- VARGAS-LÓPEZ, J.M.; PAREDES-LÓPEZ, O.; RAMIREZ-WONG, B. Physicochemical properties of extrusion-cooked amaranth under alkaline conditions. **Cereal Chemistry**, v.68, n.6, p.610-613, 1991.

WERKEMA, M.C.C. **Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos**. Belo Horizonte: UFMG, 1995. 404p.

WU, H.; SUN, M.; YUE, S.; SUN, H.; CAI, Y.; HUANG, R.; BRENNER, D.; CORKE, H. Field evaluation of an *Amaranthus* genetic resource collection in China. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v.47, n.1, p.43-53, 2000.

YÁNEZ, E.; ZACARÍAS, I.; GRANGER, D.; VÁSQUEZ, M.; ESTÉVEZ, A.M. Caracterización química y nutricional del amaranto (*Amaranthus cruentus*). **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v.44, n.1, p.57-69, 1994.

ANEXO 1

CERTIFICADO DE ANÁLISES n° 068/08-2

Cliente: Prof. José Alfredo	Telefone: (45) 3284-7878
Amostras: Farinha de Amaranto	FAX:
Solicitante: Bruna Mcnegassi	Recebida em: 02/06/08
Cidade:	Prestação: 347

ANÁLISES

Amostra: Farinha integral	Recebida em: 10/07/08		
ANÁLISE	RESULTADOS EM %		
Amido	69,12%	69,03%	69,15%
Amilose	0,34%	0,54%	0,48%
amilpectina	99,66%	99,46%	99,52%

Amostra: Farinha desengordurada	Recebida em: 10/07/08		
ANÁLISE	RESULTADOS EM %		
Amido	69,79%	69,81%	69,08%
Amilose	0,67%	0,66%	0,61%
amilpectina	99,33%	99,34%	99,39%

OBS: Os resultados são referentes somente à amostra recebida e analisada!

Botucatu, 01 de Setembro de 2008

Analista: Luiz Henrique Urbano
CRQ IV: 04459518

FL. 1 de 1



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Botucatu

CERTIFICADO DE ANÁLISES n° 068/08-1

Cliente: Prof. José Alfredo	Telefonic: (45) 3284-7878
Amostras: Farinha de Amaranato	FAX:
Solicitante: Bruna Menegassi	Recebida em: 02/06/08
Cidade:	Prestação: 347

ANÁLISES

Amostra: F1	Recebida em: 10/07/08		
ANÁLISE	RESULTADOS EM %		
Amido	70,04%	70,00%	70,02%
Amilose	0,98%	0,95%	0,91%
amilopectina	99,02%	99,05%	99,09%

Amostra: F8	Recebida em: 10/07/08		
ANÁLISE	RESULTADOS EM %		
Amido	70,38%	70,39%	70,06%
Amilose	0,86%	0,90%	0,88%
amilopectina	99,14%	99,10%	99,12%

OBS: Os resultados são referentes somente à amostra recebida e analisada!

Botucatu, 01 de Setembro de 2008

Analista: Luiz Henrique Urbano
CRQ IV: 04459518

FL. 1 de 1

CERAT - Centro de Raízes e Amidos Tropicais
Rua José Barbosa de Barros, 1780 - CEP 18610-307 - Botucatu-SP - Brasil
Tel.: (14) 3811-7158 / (14) 3811-7230 - FAX: (14) 3815-9050 - <http://www.cerat.unesp.br>
e-mail: seccerat@fca.unesp.br

ANEXO 3

CERTIFICADO DE ANÁLISES n° 068/08-3

Cliente: Prof. José Alfredo	Telefone: (45) 3284-7878
Amostras: Farinha de Amarantho	FAX:
Solicitante: Bruna Menegassi	Recebida em: 02/06/08
Cidade:	Prestação: 347

ANÁLISES

Amostra: F1r	Recebida em: 10/07/08		
ANÁLISE	RESULTADOS EM %		
Amido	69,33%	69,18%	69,23%
Amilose	0,95%	0,97%	0,93%
amilopectina	99,05%	99,03%	99,07%

Amostra: F8r	Recebida em: 10/07/08		
ANÁLISE	RESULTADOS EM %		
Amido	69,09%	69,09%	69,07%
Amilose	0,72%	0,81%	0,88%
amilopectina	99,28%	99,19%	99,12%

OBS: Os resultados são referentes somente à amostra recebida e analisada!

Botucatu, 01 de Setembro de 2008

Analista: Luiz Henrique Urbano
CRQ IV: 04459518

FL. 1 de 1

Efeitos calculados para a força de cisalhamento dos extrusados.

Fator	Efeito	Erro padrão
Média	18,7206	1,0195
Bloco	-3,6889	2,0390
Tipo de farinha (TF)	4,4931	2,0390
Umidade (U)	-0,3872	2,0390
Temperatura (T)	-2,4125	2,0390
Rotação (R)	-0,3561	2,0390
TF x U	4,1198	2,0390
TF x T	-4,5096	2,0390
TF x R	0,3423	2,0390

Análise de variância para a força de cisalhamento dos extrusados.

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado Médio	F	P
Bloco	54,4316	1	54,4316	3,2729	0,1134
Tipo de farinha (TF)	80,7522	1	80,7522	4,8556	0,0634
Umidade (U)	0,5998	1	0,5998	0,0361	0,8548
Temperatura (T)	23,2809	1	23,2809	1,3999	0,2754
Rotação (R)	0,5073	1	0,5073	0,0305	0,8663
TF x U	67,8898	1	67,8898	4,0821	0,0831
TF x T	81,3446	1	81,3446	4,8912	0,0626
TF x R	0,4686	1	0,4686	0,0282	0,8714
Erro	116,4163	7	16,6309		
Total	425,6911	15			

$R^2 = 72,65\%$

ANEXO 5

Efeitos calculados para a quebra de viscosidade das farinhas extrusadas.

Fator	Efeito	Erro padrão
Média	2,4194	0,3065
Bloco	-0,1888	0,6130
Tipo de farinha (TF)	-0,1638	0,6130
Umidade (U)	0,7938	0,6130
Temperatura (T)	0,1763	0,6130
Rotação (R)	0,6388	0,6130
TF x U	0,5613	0,6130
TF x T	1,2588	0,6130
TF x R	0,8663	0,6130

Análise de variância para a quebra de viscosidade das farinhas extrusadas.

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado Médio	F	P
Bloco	0,1425	1	0,1425	0,0948	0,7671
Tipo de farinha (TF)	0,1073	1	0,1073	0,0713	0,7971
Umidade (U)	2,5202	1	2,5202	1,6764	0,2365
Temperatura (T)	0,1243	1	0,1243	0,0827	0,7821
Rotação (R)	1,6320	1	1,6320	1,0856	0,3321
TF x U	1,2600	1	1,2600	0,8382	0,3904
TF x T	6,3378	1	6,3378	4,2160	0,0791
TF x R	3,0016	1	3,0016	1,9967	0,2005
Erro	10,5229	7	1,5033		
Total	25,6485	15			

$R^2 = 58,97 \%$

ANEXO 6

Efeitos calculados para a coordenada de cromaticidade a* das farinhas extrusadas.

Fator	Efeito	Erro padrão
Média	5,7313	0,3355
Bloco	-0,3350	0,6710
Tipo de farinha (TF)	0,0150	0,6710
Umidade (U)	-0,0225	0,6710
Temperatura (T)	0,0450	0,6710
Rotação (R)	0,0575	0,6710
TF x U	0,2000	0,6710
TF x T	1,1925	0,6710
TF x R	0,3100	0,6710

Análise de variância para a coordenada de cromaticidade a* das farinhas extrusadas.

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F	P
Bloco	0,4489	1	0,4489	0,2493	0,6329
Tipo de farinha (TF)	0,0009	1	0,0009	0,0005	0,9828
Umidade (U)	0,0020	1	0,0020	0,0011	0,9742
Temperatura (T)	0,0081	1	0,0081	0,0045	0,9484
Rotação (R)	0,0132	1	0,0132	0,0073	0,9341
TF x U	0,1600	1	0,1600	0,0888	0,7743
TF x T	5,6882	1	5,6882	3,1584	0,1188
TF x R	0,3844	1	0,3844	0,2134	0,6581
Erro	12,6070	7	1,8010		
Total	19,3128	15			

$R^2 = 34,72 \%$

ANEXO 7

Efeitos calculados para a luminosidade das farinhas extrusadas.

Fator	Efeito	Erro padrão
Média	66,3319	1,0962
Bloco	1,5163	2,1925
Tipo de farinha (TF)	-1,4538	2,1925
Umidade (U)	-0,1013	2,1925
Temperatura (T)	0,8513	2,1925
Rotação (R)	-0,5913	2,1925
TF x U	-0,9788	2,19,25
TF x T	-3,2963	2,1925
TF x R	-0,5838	2,1925

Análise de variância para a luminosidade das farinhas extrusadas.

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado Médio	F	P
Bloco	9,1961	1	9,1961	0,4783	0,5115
Tipo de farinha (TF)	8,4536	1	8,4536	0,4397	0,5285
Umidade (U)	0,0410	1	0,0410	0,0021	0,9645
Temperatura (T)	2,8985	1	2,8985	0,1507	0,7094
Rotação (R)	1,3983	1	1,3983	0,0727	0,7952
TF x U	3,8318	1	3,8318	0,1993	0,6688
TF x T	43,4611	1	43,4611	2,2604	0,1764
TF x R	1,3631	1	1,3631	0,0709	0,7977
Erro	134,5915	7	19,2274		
Total	205,2348	15			

$R^2 = 34,42 \%$

ANEXO 8

Efeitos calculados para a diferença de cor das farinhas extrusadas.

Fator	Efeito	Erro padrão
Média	21,7181	0,4474
Bloco	-1,6188	0,8947
Tipo de farinha (TF)	1,6813	0,8947
Umidade (U)	0,0913	0,8947
Temperatura (T)	0,0938	0,8947
Rotação (R)	-0,5513	0,8947
TF x U	0,2713	0,8947
TF x T	1,4588	0,8947
TF x R	0,4887	0,8947

Análise de variância para a diferença de cor das farinhas extrusadas.

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado Médio	F	P
Bloco	10,4814	1	10,4814	3,2732	0,1133
Tipo de farinha (TF)	11,3064	1	11,3064	3,5308	0,1023
Umidade (U)	0,0333	1	0,0333	0,0104	0,9216
Temperatura (T)	0,0352	1	0,0352	0,0110	0,9195
Rotação (R)	1,2155	1	1,2155	0,3796	0,5573
TF x U	0,2943	1	0,2943	0,0919	0,7706
TF x T	8,5118	1	8,5118	2,6581	0,1470
TF x R	0,9555	1	0,9555	0,2984	0,6019
Erro	22,4156	7	3,2022		
Total	55,2490	15			

$R^2 = 59,43 \%$



José Alfredo Gomes Arêas
Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq - Nível 1C

Graduação em Farmácia e Bioquímica pela Universidade de São Paulo (1973). Mestrado em Ciências dos Alimentos pela Universidade de São Paulo (1979). Doutorado em Food Science, University of Nottingham, Inglaterra (1983). Pós-doutorado junto ao Biomembrane Unit, Dep. of Biochemistry, University of Oxford, Inglaterra (1990-1993). Vice-Presidente da SBCTA (2004-2005). Atualmente é Professor Titular da Universidade de São Paulo junto ao Dep. de Nutrição da Faculdade de Saúde Pública. Coordenador da área de Alimentos da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) de 2001 a 2008. Tem experiência na área de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Nutrição e Saúde Pública, com ênfase em Alimentos e Saúde, Propriedades Funcionais de Alimentos e Alimentos Funcionais, atuando principalmente nos seguintes temas: alimentos funcionais, alimentos não convencionais, alimentos especiais, intervenções nutricionais, processamento de alimentos e valor nutritivo, ressonância magnética nuclear aplicada a alimentos, extrusão.
(Texto informado pelo autor)

Última atualização do currículo em 27/03/2009
Endereço para acessar este CV:
<http://lattes.cnpq.br/5885518243058121>



Links para
Outras Bases:
Diretório de grupos de
pesquisa
SciELO - artigos em
texto completo

Dados pessoais	
Nome	José Alfredo Gomes Arêas
Nome em citações bibliográficas	Arêas, J.A.G.
Sexo	Masculino
Endereço profissional	Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública, Departamento de Nutrição. Av. Dr. Arnaldo, 715 Cetiqueta César 01246-904 - São Paulo, SP - Brasil Telefone: (11) 8526748 Fax: (11) 8526748 URL da Homepage: http://www.nutricao.fsp.usp.br/funcionais

Formação acadêmica/Titulação	
1986	Livre-docência. Universidade de São Paulo, USP, Brasil. <i>Título:</i> Interrelação entre estrutura e textura de isolados proteicos de pulmão bovino. <i>Ano de obtenção:</i> 1986. <i>Palavras-chave:</i> Propriedades Funcionais; Interação lipíde-proteína; Extrusão termoplástica; Espectroscopia de Alimentos; Atividade de água; Proteínas alimentares. <i>Grande área:</i> Ciências Agrárias / <i>Área:</i> Ciência e Tecnologia de Alimentos / <i>Subárea:</i> Tecnologia de Alimentos / <i>Especialidade:</i> Aproveitamento de Subprodutos. <i>Grande área:</i> Ciências Agrárias / <i>Área:</i> Ciência e Tecnologia de Alimentos / <i>Subárea:</i> Tecnologia de Alimentos / <i>Especialidade:</i> Tecnologia de Produtos de Origem Animal. <i>Grande área:</i> Ciências Agrárias / <i>Área:</i> Ciência e Tecnologia de Alimentos / <i>Subárea:</i> Ciência de Alimentos / <i>Especialidade:</i> Propriedades Funcionais de Alimentos. <i>Sectores de atividade:</i> Nutrição e alimentação; Produção animal, inclusive serviços veterinários; Fabricação de Equipamentos de Instrumentação médico-hospitalares, instrumentos de precisão e ópticos, equipamentos para automação industrial, cronômetros e relógios.
1990 - 1993	Pós-Doutorado University of Oxford. <i>Bolsista do(a):</i> Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, ... <i>Grande área:</i> Ciências Biológicas / <i>Área:</i> Biofísica / <i>Subárea:</i> Biofísica Molecular. <i>Grande área:</i> Ciências Agrárias / <i>Área:</i> Ciência e Tecnologia de Alimentos / <i>Subárea:</i> Ciência de Alimentos / <i>Especialidade:</i> Propriedades Funcionais de Alimentos. <i>Grande área:</i> Ciências Agrárias / <i>Área:</i> Ciência e Tecnologia de Alimentos / <i>Subárea:</i> Ciência de Alimentos / <i>Especialidade:</i> Química, Física, Físico-Química e Bioquímica dos Alim. e das Mat-Primas Alimentares.
1980 - 1983	Doutorado em Food Science. University of Nottingham, NOTTINGHAM, Inglaterra. <i>Título:</i> Influence of Lipid-protein Interactions on Characteristics of Extruded Offal Protein. <i>Ano de Obtenção:</i> 1983. <i>Orientador:</i> Raïston A. Lavrie. <i>Bolsista do(a):</i> Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, ... <i>Palavras-chave:</i> Food Protein; Extrusion of Protein; Recovery of Abattoir; Functional Properties; Novel Products; Protein Upgrade. <i>Grande área:</i> Ciências Agrárias / <i>Área:</i> Ciência e Tecnologia de Alimentos / <i>Subárea:</i> Tecnologia de Alimentos /



Bruna Menegassi

É aluna de Mestrado do Programa de Nutrição em Saúde Pública da FSP-USP, atuando na linha de pesquisa: "Criação e caracterização da estrutura dos alimentos". Possui graduação em Nutrição pela Universidade Estadual Paulista - UNESP (2006). Tem experiências na área de Nutrição, com ênfase em Ciência dos alimentos, atuando principalmente nos seguintes temas: desenvolvimento de novos produtos, alimentos funcionais, propriedades físico-químicas de alimentos e planejamento de experimentos.
(Texto informado pelo autor)

Última atualização do currículo em 29/01/2009
Endereço para acessar este CV:
<http://lattes.cnpq.br/8793906838622404>



Links para
Outras Bases:
Diretório de grupos de
pesquisa
SciELO - artigos em
texto completo

Dados pessoais

Nome Bruna Menegassi
Nome em citações bibliográficas MENEGASSI, B., MENEGASSI, B
Sexo Feminino

Formação acadêmica/Titulação

- 2007** Mestrado em Nutrição em Saúde Pública, Universidade de São Paulo, USP, Brasil.
Título: Efeito da extrusão nas características tecnológicas da farinha de amaranto (*Amaranthus cruentus* L. BRS-Alegria). *Orientador:* José Alfredo Gomes Arêas.
Bolsista do(a): Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo.
Palavras-chave: Extrusão termoplástica; Amaranto; alimentos funcionais; farinha; farinha instantânea.
- 2002 - 2006** Graduação em Nutrição, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP, Brasil.
- 1998 - 2000** Ensino Médico (2º grau), Fundação Instituto Tecnológico de Osasco.

Formação complementar

- 2008 - 2008** Oxygen radical absorption capacity. (Carga horária: 4h). Faculdade de Saúde Pública - USP.
- 2008 - 2008** A textura no desenvolvimento de alimentos. (Carga horária: 24h). Instituto de Tecnologia de Alimentos.
- 2007 - 2007** Aprender e empreender. (Carga horária: 24h). Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas de São Paulo.
- 2006 - 2006** I Curso de Ingresso à Liga do Câncer da Faculdade. (Carga horária: 4h). Faculdade de Medicina de Botucatu.
- 2006 - 2006** Procedimentos Administrativos em Vigilância Sanitária. (Carga horária: 6h). Vigilância Sanitária.
- 2006 - 2006** Gerenciamento de Unidades de Alimentação e Nutrição. (Carga horária: 9h). Congresso Brasileiro de Nutrição.
- 2005 - 2005** Extensão universitária em Participação Em Comissão Organizadora Jornada Instituto de Biociências Unesp Botucatu.
- 2005 - 2005** Extensão universitária em Normalização Para Referências Bibliográficas de Do. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP, Brasil.
- 2005 - 2005** Curso de Atualização Em Diabetes Mellitus Para Pro. (Carga horária: 16h). Sociedade Brasileira de Diabetes.
- 2005 - 2005** Clínica do Sabor Coulis de Framboesa. (Carga horária: 3h). Instituto de Biociências Unesp Botucatu.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.
This page will not be added after purchasing Win2PDF.