UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

FCF / FEA / FSP

Programa de Pós-Graduação Interunidades

em Nutrição Humana Aplicada – PRONUT

**Desenvolvimento e avaliação da aceitação de cereais
matinais e barras de cereais à base de amaranto (*Amaranthus
cruentus* L.).**

Karina Dantas Coelho

Dissertação para obtenção do grau de Mestre

Orientador:

Prof. Dr. José Alfredo Gomes Arêas

SÃO PAULO

2006

Ficha Catalográfica

Elaborada pela Divisão de Biblioteca e
Documentação do Conjunto das Químicas da USP.

Coelho, Karina Dantas

C672d Desenvolvimento e avaliação da aceitação de cereais matinais
e barras de cereais à base de amaranto (*Amaranthus cruentus* L.)
/ Karina Dantas Coelho. -- São Paulo, 2006.
99p.

Dissertação (mestrado) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas
da USP. Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade
da USP. Faculdade de Saúde Pública da USP. Curso Interunidades
em Nutrição Humana Aplicada.

Orientador: Arêas, José Alfredo Gomes

1. Alimentos : Valor nutritivo 2. Nutrição : Ciência dos
alimentos 3. Cereal : Ciência dos alimentos I. T. II. Arêas,
José Alfredo Gomes, orientador.

641.1 CDD

DEDICATÓRIA

**Aos meus pais, pelo apoio e dedicação
incondicionais.**

A paciência é amarga, mas os seus frutos são doces.

(Autor desconhecido)

AGRADECIMENTOS

Ao prof. Dr. José Alfredo Gomes Arêas pela oportunidade, orientação e apoio no desenvolvimento deste trabalho.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pela bolsa de auxílio concedida.

Ao Programa de Pós-Graduação Interunidades em Nutrição Humana Aplicada, pela bolsa de auxílio concedida.

À prof^a Dra. Deborah Helena Markowickz Bastos, pelas orientações, sugestões e auxílio durante o projeto.

À prof^a Dra. Maria Elisabeth Machado Pinto e Silva, pelas orientações e auxílio na realização das análises sensoriais.

À prof^a Dra. Inar Alves de Castro, pelas valiosas sugestões no exame de qualificação.

À prof^a Dra. Elizabeth Aparecida Ferraz da Silva Torres, por disponibilizar os equipamentos do Laboratório de Bromatologia para as análises necessárias.

À minha irmã Caroline, pelo apoio e incentivo.

Às amigas: Áurea, Andrea, Carol Conti, Lílian, Rosana, Simone, Suzana e Vanessa, pelo apoio, incentivo e aprendizado profissional e, principalmente, pessoal.

Às colegas Ana Cristina e Camila, pela ajuda valiosa na execução de delineamentos e análises.

Aos colegas de laboratório: Carol Moron, Fernanda, Karoline, Lílian, Maria Clara, Thais, Renée, Vitor Limeira, pelo aprendizado e convivência.

Aos companheiros de PRONUT: Ana Paula, Geni, Guilherme, Kátia, Milene e Renata, pelo apoio e aprendizado.

Ao funcionário do Departamento de Nutrição José Pereira, pelo auxílio durante a extrusão.

Aos funcionários do Departamento de Nutrição Alessandra, Regilene e José Bezerra, pelo auxílio em vários momentos.

Aos funcionários do PRONUT Elaine, Jorge, Mônica e Tânia, pelo auxílio e orientações.

À empresa Duas Rodas, na pessoa da Sra Jocelyne Fossile, por disponibilizar os aromas para a análise sensorial.

Aos meus amigos que são importantes não só pelo apoio acadêmico-profissional como também no pessoal. Não citarei nomes para não correr o risco de esquecer alguém, mas esses sabem que são muito queridos.

RESUMO

Introdução: O amaranto é um pseudocereal de grande valor nutricional que apresenta quantidade de fibras e proteína superior aos cereais usualmente consumidos. Características como o aproveitamento integral da planta e a sua capacidade de adaptação ao solo despertaram o interesse dos pesquisadores em cultivá-lo no Brasil. **Objetivo:** Desenvolver um processo para obtenção de cereais matinais e barras de cereal à base de amaranto visando a máxima aceitação e mínima perda de nutrientes. **Metodologia:** O cereal matinal foi produzido em extrusora de rosca única com capacidade de produção semi-industrial e as barras de cereal de acordo com técnica dietética apropriada. A modelagem da produção dos cereais matinais foi realizada empregando-se a metodologia de superfície de resposta, as variáveis dependentes (resposta) escolhidas foram razão de expansão máxima (RE) e força de cisalhamento mínima (FC), as variáveis independentes foram umidade da amostra e temperatura da terceira zona de aquecimento da extrusora. **Resultados:** Após dois delineamentos compostos centrais verificou-se que a umidade da amostra não exerceu efeito significativo no produto final, dessa forma a variável independente de importância para o estudo foi a temperatura do processamento. O ponto ótimo para o cereal matinal desenvolvido com a farinha desengordurada foi 15% de umidade e 140° C na terceira zona de aquecimento. Foi elaborado um segundo cereal matinal com o grão integral e esse apresentou as mesmas características de expansão e textura do cereal com farinha desengordurada. Os provadores preferiram a amostra com

farinha desengordurada, que obteve 72% de notas acima do ponto de corte pré-estabelecido (nota 7). Foram confeccionados dois tipos de barra de cereais, ambas com 70% de amaranto, uma apenas com amaranto estourado e outra com uma mistura de amaranto estourado e extrusado. O teor de fibra e proteína nas duas preparações foi superior ao de produtos similares sem amaranto. A barra de cereal somente com amaranto estourado foi preferida por 66% dos provadores, sendo que 77% atribuíram à mesma, notas superiores à de corte. **Conclusão:** A composição nutricional dos produtos desenvolvidos é superior aos similares confeccionados com outros cereais e ambos apresentaram alta aceitabilidade.

Palavras chave: 1) amaranto; 2) extrusão termoplástica; 3) superfície de resposta; 4) cereal matinal; 5) amaranto estourado; 6) barras de cereais.

ABSTRACT

Introduction: Amaranth is a pseudocereal of great nutritional value that exhibits amounts of fiber and protein higher than the usually consumed cereals. The agronomic characteristics and the possibility of utilization of the entire plant drew sufficient interest among plant breeders to produce this grain in Brazil.

Objective: To develop amaranth-based breakfast cereals and cereal bars aimed at the maximal acceptance and minimal loss of nutrients. **Methodology:** The breakfast cereal was produced in a single screw extruder with semi-industrial capacity and the cereal bars in accordance with appropriate dietary technique.

Results: After two central composite designs, it became evident that the independent variable of importance for the study was the temperature. It was observed that the moisture of the sample did not exert any significant effect in the final product within the range studied. Best results were obtained with 15% moisture and 140° C at the third zone. A breakfast cereal developed with the whole grain exhibited the same characteristics of expansion and texture of a product manufactured with the defatted flour. The sensory panel preferred the sample prepared with defatted flour, which obtained 72% of the grades above the pre-established cutting point 7. Two types of cereal bars, both containing 70% of amaranth, one with popped amaranth and another with a mixture of popped and extruded amaranth. The amount of protein and fiber was higher in these products when compared with similar formulations without amaranth. Cereal bars containing only the popped amaranth were preferred by 66% of the panel of whom 77%

assigned grades equal to or higher than the cutting point. **Conclusion:** The nutritional value of the developed products is superior to the similars confectioned with other cereals and they had high acceptability.

Key words: 1) amaranth; 2) thermoplastic extrusion; 3) response surface methodology; 4) breakfast cereal; 5) popped amaranth; 6) cereals bars.

ÍNDICE

	Página
Lista de Tabelas	XIII
Lista de Figuras	XIV
1. Introdução	1
1.1 Amaranto	4
1.2 Extrusão termoplástica	13
1.3 Metodologia de Superfície de Resposta	18
1.4 Textura	20
1.5 Análise sensorial	21
2. Objetivos	22
3. Material e métodos	23
3.1 Material	23
3.1.1 Matéria-prima	23
3.1.2 Farinha de amaranto	23
3.2 Métodos	25
3.2.1 Elaboração de cereal matinal	25
3.2.1.1 Otimização do processo	26
3.2.1.2 Avaliação mecânica dos extrusados	27
3.2.1.2.1 Razão de expansão	27
3.2.1.2.2 Força de cisalhamento completo	27
3.2.1.3 Aromatização	28
3.2.2 Elaboração das barras de cereais	28

3.2.3 Análises de composição centesimal	29
3.2.4 Análise de fibra	29
3.2.5 Análise do perfil de ácidos graxos	30
3.2.6 Análise de cálcio e ferro	31
3.2.7 Análise microbiológica	31
3.3 Análise sensorial	32
3.4 Análise estatística dos resultados	33
3.5 Aspectos éticos	33
4. Resultados e discussão	34
4.1 Caracterização do amaranto	34
4.2 Cereal matinal	37
4.3 Barras de cereais	64
5. Conclusões	71
6. Referências bibliográficas	72
Apêndice I: Termo de consentimento livre e esclarecido	85
Apêndice II: Ficha para avaliação sensorial	87
Anexo: Pareceres favoráveis dos comitês de ética em pesquisa	89

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1: Composição de aminoácidos do amaranto (<i>Amaranthus cruentus</i> L.), trigo, milho e padrão de acordo com a FAO/WHO (g/100g de proteína).	8
Tabela 2: Composição centesimal das amostras de amaranto em base seca (g/100g).	34
Tabela 3: Matriz de planejamento do delineamento.	38
Tabela 4: Resultados da variação da razão de expansão (RE) em função da umidade da amostra, com valores corrigidos, e temperatura do processo de extrusão.	39
Tabela 5: Análise de regressão múltipla para o modelo da variável RE.	41
Tabela 6: Análise de variância para RE do delineamento.	41
Tabela 7: Resultados da força de cisalhamento em função da umidade da amostra e temperatura do processo de extrusão.	43
Tabela 8: Análise de regressão múltipla para o modelo da variável força de cisalhamento.	44
Tabela 9: Análise de variância para força de cisalhamento do delineamento.	44
Tabela 10: Matriz de planejamento do segundo delineamento.	45
Tabela 11: Resultados da variação da razão de expansão em função da umidade da amostra e temperatura do processo de extrusão.	47
Tabela 12: Análise de variância para razão de expansão do segundo	48

delineamento.

Tabela 13: Resultados da variação da força de cisalhamento em função da umidade da amostra e temperatura do processo de extrusão.	50
Tabela14: Análise de variância para força de cisalhamento do segundo delineamento.	51
Tabela 15: Regressão múltipla para ajuste do modelo quadrático para a resposta força de cisalhamento.	51
Tabela16: Resultados obtidos no teste de aceitação para aparência, textura, sabor e aceitação geral realizada por escala hedônica estruturada de 9 pontos	60
Tabela 17: Composição centesimal das barras de cereal em base seca (g/100g).	65
Tabela 18: Comparação entre a composição das barras de cereais à base de amaranto com dois tipos existentes no mercado (porção de 25g)	66
Tabela 19: Análise microbiológica das barras de cereal	68
Tabela 20: Resultados obtidos no teste de aceitação por aparência, textura, sabor e aceitação geral realizado por escala hedônica estruturada de 9 pontos.	69

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1: Corte transversal e longitudinal do grão de amaranto	5
Figura 2: Ilustração da planta de duas espécies de amaranto.	6
Figura 3: Esquema ilustrado de uma extrusora	14
Figura 4: Esquema de desengorduramento do amaranto	24
Figura 5: Superfície de resposta para força de cisalhamento de cereal matinal de amaranto em função da umidade e temperatura.	52
Figura 6: Perfil de ácidos graxos, em valores percentuais, do extrusado de amaranto integral ao longo de três meses.	56
Figura 7: Apresentação das amostras de cereal matinal para degustação.	59
Figura 8: Distribuição percentual dos valores hedônicos atribuídos ao sabor dos cereais matinais.	61
Figura 9: Distribuição percentual dos valores hedônicos da aceitação geral das barras de cereal.	70

1. INTRODUÇÃO

O estado nutricional das populações de países desenvolvidos aponta para um crescente aumento na obesidade e patologias correlacionadas. Isso é um reflexo da profunda mudança nos hábitos alimentares e da redução de atividade física ocorrida nas últimas décadas. Houve um aumento no consumo de alimentos ricos em carboidratos simples, gorduras (principalmente a do tipo saturada), e sódio. Frequentemente, o aporte de vitaminas e minerais, bem como fibras e gorduras mono e poliinsaturadas, é insuficiente nesse novo modelo de comportamento alimentar. Pode-se constatar a adoção dessa “dieta ocidental” tanto em sociedades de alta renda quanto em sociedades menos favorecidas economicamente (CUPPARI, 2002).

O que se observa é a necessidade de novas propostas alimentares e o resgate dos bons hábitos de saúde e alimentação. Atualmente, grande quantidade de dinheiro é destinada aos programas que visam a redução e/ou minimização dos efeitos dessas doenças causadas pelos excessos alimentares e pela baixa atividade física.

A redução dos fatores de risco para doenças cardiovasculares é um dos principais objetivos das pesquisas conduzidas na atualidade, principalmente as que visam à redução dos níveis de colesterol sérico. Além disso, observa-se um aumento na procura por alimentos diferenciados que possam trazer benefícios à saúde, além do sabor ou praticidade de preparo (CZERWINSKI e col., 2004).

Durante a última década, novas tecnologias como a biotecnologia, engenharia genética, processamento de alimentos, inovações de produtos e produção em massa habilitaram os cientistas de alimentos a planejar produtos mais adequados a uma dieta saudável (SHILS e col., 2002). O desafio para a indústria de alimentos é oferecer produtos de baixo custo, grande aceitação e que sejam benéficos à saúde de quem os consome.

As barras de cereais são largamente consumidas por serem consideradas uma alternativa de lanche saudável e prático. O principal atrativo é o aporte de fibras, vitaminas e minerais, mas o que se observa nas diferentes marcas existentes no mercado é uma quantidade mínima de fibras e o uso de gordura vegetal hidrogenada, que sabidamente é fonte de gorduras trans.

Observa-se também uma grande variedade de cereais matinais disponíveis no mercado. A base para esses produtos é o milho, mas ultimamente misturas de cereais têm sido empregadas para melhorar o valor nutricional dos mesmos. O uso da extrusão termoplástica na confecção de cereais matinais cresceu rapidamente (EASTMAN e col., 2001).

O consumo de cereais, como o milho e o trigo, é de grande importância para a população mundial por ser a principal fonte de energia e, pelo volume consumido, de proteína. Os cereais constituem uma parte importante na dieta de indivíduos hipercolesterolêmicos, isso se deve ao tratamento dietético que preconiza a redução na ingestão de lipídeos (MAIER e col., 2002).

Um problema encontrado nos produtos que têm como base esses cereais é qualidade protéica, com deficiência de aminoácidos essenciais, e o baixo teor de fibra alimentar. Desse modo, a inserção de alimentos que tenham qualidades como: maior quantidade de fibras, perfil de aminoácidos equilibrado, fonte de vitaminas e minerais se faz necessária. O amaranto, pseudocereal produzido e consumido principalmente na América Central, pode ser considerado excelente base para desenvolvimento de novos produtos alimentícios por apresentar alto valor nutricional e algumas propriedades de alimento funcional (MAIER e col., 2000; CZERWINSKI e col., 2004).

1.1 Amaranto

O amaranto é uma planta originária da América Central e de grande importância na dieta da América pré-Colombiana. (TOSI e col., 2001; GUERRA-MATIAS 2003). O aproveitamento da planta é integral, sendo as folhas consumidas como verdura e as sementes como cereais. Na década de 80 a National Academy of Science (USA) o incluiu entre as 36 culturas mais promissoras para alimentar a humanidade. O potencial do amaranto como fonte de nutrientes é elevado, o que gerou o interesse em alguns países de aproveitá-lo como fonte alimentar (BRESSANI, 1989; CHÁVEZ-JÁUREGUI, 1999).

Estudos arqueológicos conduzidos no Peru, México e Estados Unidos relatam o seu cultivo na região em períodos antes de Cristo. Os incas e astecas reconheciam a importância desse alimento e o incluíram em suas cerimônias religiosas, mas o seu consumo foi proibido pelos colonizadores espanhóis pela associação desse alimento com os rituais pagãos (TEUTONICO e KNORR, 1985; BRESSANI 1989; CHÁVEZ-JÁUREGUI, 1999; CASSAR, 2000).

A capacidade de pipocar do grão de amaranto foi descoberta na capital do Império Asteca há milhares de anos. O vapor produzido preenche os poros dos grânulos de amido, aumentando a temperatura e a pressão. Esse fenômeno gelatiniza os grânulos de amido e rompe o pericarpo, levando a expansão dos poros (LARA e RUALES, 2002).

Por apresentar características e propriedades semelhantes aos cereais é considerado um pseudocereal. O amaranto pertence à classe das dicotiledôneas e família das *amarantáceas*, suas espécies são morfologicamente semelhantes e

têm sementes pequenas e forma lenticular (1 a 1,5 mm de diâmetro e 0,6 a 1,0 mg). A planta ereta pode alcançar 2m de altura. Estudos prévios identificaram mais de 60 espécies da planta, sendo três delas as mais consumidas e estudadas: *Amaranthus cruentus* L., *Amaranthus caudatus* L. e *Amaranthus hypocondriacus* L. (SAUNDERS e BECKER, 1984; BRESSANI, 1989; GUERRA-MATIAS, 2003).

O grão e a planta do amaranto estão representados, respectivamente, pelas Figuras 1 e 2.

Figura 1: Corte transversal e longitudinal do grão de amaranto

Fonte: FAO 2005 in Mendonça 2006.

Figura 2: Ilustração da planta de duas espécies de amaranto.

Amaranthus cruentus L

Amaranthus caudatus L.

O amaranto possui fotossíntese tipo C4, no qual o aproveitamento da luz solar e CO₂ são considerados ótimos. Além disso, as raízes profundas dessa planta favorecem um uso de água mais eficiente, o que permite o cultivo em regiões semi-áridas. Suas principais características são: resistência à seca, ao calor e às pestes; rápido crescimento; habilidade de produzir grande biomassa em espaço reduzido; potencial de uso como forragem (BRESSANI, 1989; FERREIRA, 1999; SPEHAR e col., 2003).

O interesse em cultivar o amaranto ressurgiu pelo seu elevado valor nutricional e vantagens agronômicas. O cultivo comercial do amaranto nos Estados Unidos teve início em 1983 e, a princípio, estava restrito ao mercado de produtos naturais. O elevado custo de produção e a falta de aplicação para o amido e a proteína (separadamente) tornaram inviável a extração do esqualeno,

tocoferóis e tocotrienóis (MENDOZA e BRESSANI, 1987; BAKER e RAYAS-DUARTE, 1998).

Um atrativo do amaranto é o teor de proteína que varia de 14 a 20%. É uma quantidade superior aos cereais, que têm em média 10%. A quantidade e qualidade protéica variam de acordo com a espécie, sendo que *A. caudatus* contém menores quantidades e a espécie *A. cruentus*, as maiores. Podem ocorrer variações mesmo dentro das espécies devido a diferenças genéticas, condições ambientais e práticas de cultivo (BRESSANI, 1989).

Do ponto de vista nutricional a proteína de origem animal é superior à vegetal, principalmente pela alta biodisponibilidade dos aminoácidos. A proteína do amaranto é uma exceção pelo seu excepcional perfil de aminoácidos e por ser rico em lisina, que é a principal deficiência dos demais cereais. A Tabela 1 descreve a comparação entre o perfil de aminoácidos (g/100g de proteína) do amaranto, milho e trigo. A digestibilidade *in vitro* da proteína do amaranto chega a 88% (BRESSANI, 1989; GAMEL e col., 2004).

As globulinas 7S e 11S, que estão presentes na maioria das leguminosas, como a soja, são relatadas na literatura como a possível causa de efeitos nutracêuticos desejáveis. Em particular, diz-se que essas globulinas têm efeito hipocolesterolemizante. As proteínas globulares são as principais frações protéicas de reserva do amaranto, que junto com a albumina, correspondem a 67% da fração protéica do cereal (BRESSANI, 1989; TOSI e col., 2001; SALCEDO-CHÁVEZ, 2002).

O baixo teor de gliadina, menor que 0,01% em algumas variedades, torna-o uma alternativa para pessoas com Doença Celíaca. Em um estudo comparativo

entre aveia, milho e arroz e amaranto, esse apresentou os menores índices de gliadina, que é uma prolamina de baixo peso molecular (GORINSTEIN e col., 1991).

Tabela 1: Composição de aminoácidos do amaranto (*Amaranthus cruentus* L.), trigo, milho e padrão de acordo com a FAO/WHO (g/100g de proteína).

Aminoácido	Amaranto	Trigo	Milho	Padrão
	(a)	(b)	(c)	FAO/WHO
				(d)
Lisina	7,4	2,2	2,8	5,8
Histidina	4,7	2,2	3,1	1,9
Isoleucina	3,1	3,5	3,6	2,8
Leucina	6,0	6,8	12,3	6,6
Cisteína	Nd	2,12	1,8	**
Metionina	3,0	1,8	2,1	2,5**
Fenilalanina	5,3	5,0	4,9	***
Tirosina	4,9	3,0	4,1	6,3***
Treonina	3,9	2,7	3,8	3,4
Triptofano	1,4	1,2	0,7	1,1
Valina	5,4	4,0	5,0	3,5
Glicina	9,9	3,6	4,1	--

(a) BRESSANI e GARCIA-VELA (1990); (b) e (c) USDA; (d) Recomendação para Idade Pré-Escolar por FAO/WHO 1991.

** (Met+Cys) *** (Phe+Tyr)

Nd: dado não disponível

O PER (Protein Efficiency Ratio) é um índice de qualidade da proteína, calculado pela divisão do peso ganho pelo animal pela quantidade de proteína ingerida (DUTRA-DE-OLIVEIRA e MARCHINI, 2000 in MENDONÇA, 2006). O PER de várias espécies de amaranto ficou entre 1,5 e 2,0 (para um valor de 2,5 para a caseína) e, especificamente, para o *A. cruentus*, foi relatado o valor de 2,3. O processamento térmico resulta em aumento do PER, indicando a existência de fatores antinutricionais termolábeis. Foi detectada a presença de taninos, inibidores de tripsina e hemaglutininas no amaranto, mas as quantidades são muito pequenas para explicar a melhora no PER obtida pelo tratamento térmico. (GARCIA e col. 1987; YANEZ e col., 1994).

Observa-se na sua fração lipídica a predominância de ácidos graxos insaturados (mais de 70%), com a presença significativa dos monoinsaturados. A razão entre ácidos graxos saturados e insaturados varia de 0,12 a 0,5 dependendo da espécie. A presença de ácido linoléico varia de 37 a 62%, e a de ácido linolênico, 0,3 a 2% (YÁNEZ e col., 1994; BERGER e col., 2003).

A fração insaponificável do óleo de amaranto, composta pelas vitaminas lipossolúveis, esteróis, esqualeno e pigmentos, responde por 9% do total. Isso se deve em grande parte pela presença do esqualeno, que em seres humanos é um intermediário da síntese de esteróis. A redução do risco de vários tipos de câncer estaria associada ao esqualeno, que também estaria relacionado à redução do colesterol sérico quando associado ou não a tocotrienóis. Além disso, é

amplamente usado na indústria de cosméticos pela sua capacidade de penetração na pele (CHÁVEZ-JÁUREGUI, 1999; HE e col., 2002; GUERRA-MATIAS, 2003).

A quantidade de amido encontrada no amaranto varia entre 48 e 66%, e esse possui baixa temperatura de gelatinização. Relatos da literatura apontam um conteúdo de 5 a 8% de amilose, o que seria uma das explicações para o seu baixo aproveitamento em produtos de panificação. Comparando-se com o milho, trigo e arroz, o amaranto apresentou a menor porcentagem de retrogradação máxima, essa maior resistência pode ser aproveitada para a confecção de produtos congelados ou que necessitem de menores temperaturas de armazenamento (BAKER e RAYAS-DUARTE, 1998). A fração amido do amaranto pode ser utilizada com grande versatilidade na produção de farinhas pré-cozidas por apresentar uma grande variedade de propriedades de hidratação (GONZÁLEZ e col., 2005).

A quantidade de fibra alimentar varia de 9 a 16% , valores superiores ao encontrado no trigo, milho ou aveia. Altas concentrações de cálcio, fósforo, ferro, potássio e zinco são encontrados no grão, bem como nas folhas. As principais vitaminas são as do complexo B e a vitamina E. O baixo teor de fatores antinutricionais faz com que esse grão seja um produto de grande interesse para a formulação de novos produtos alimentícios (BECKER e col., 1981; BETSCHART e col., 1981; TOSI e col. 2001).

PLATE e ARÊAS (2002) comprovaram em estudo em coelhos que, após 21 dias de dieta, houve uma redução de 50% nos níveis de colesterol total e no LDL colesterol no grupo que recebeu extrusado de amaranto e de 18% nos que receberam a dieta padrão com óleo de amaranto substituindo o de girassol. Em

estudos comparativos com a aveia, que sabidamente atua na redução do colesterol, o amaranto apresentou semelhante capacidade com a vantagem de poder ser consumido sem restrições, inclusive por indivíduos celíacos (MAIER e col., 2000; CZERWINSKI e col., 2004). Estes trabalhos sugerem várias hipóteses para justificar esse efeito, como o perfil de aminoácidos de sua proteína, seu teor de fibras totais e solúveis, e proporção de ácidos graxos insaturados. Outros autores indicam que a presença de fitoquímicos ou outras substâncias biologicamente ativas poderiam exercer tal efeito, mas o componente responsável pelo maior impacto nos níveis de colesterol ainda não tinha sido caracterizado (DANZ e LUPTON, 1992; QURESHI e col., 1996; MENDONÇA 2006).

A fração protéica é um possível componente do amaranto responsável por esse efeito e uma das justificativas seria a sua proporção de aminoácidos lisina/arginina, que é muito semelhante ao observado na proteína de soja. O mecanismo pelo qual esta proporção produziria o efeito observado ainda não é claro, mas uma hipótese seria o reconhecimento por enzimas proteolíticas do trato gastrointestinal de mamíferos gerando peptídeos com esta ação biológica. Outro mecanismo seria, pela menor digestibilidade da proteína, a formação de frações não digeríveis que se ligariam aos ácidos biliares e ao colesterol, o que sugeriria uma ação de fibra alimentar (MENDONÇA, 2006).

Em um ensaio com o uso do isolado protéico do amaranto em hamsters em hipercolesterolemia moderada, MENDONÇA (2006) pôde comprovar o efeito benéfico na redução do colesterol plasmático total, VLDL, triglicérides e LDL.

Sendo então o amaranto um alimento com tantas qualidades, a avaliação da viabilidade em se confeccionar produtos tendo-o como base se justifica. A sua

produção em solo brasileiro é viável, conforme trabalho realizado pela EMBRAPA desde 1998. A aceitação de suas diversas preparações é geralmente boa, tratando-se de uma alternativa para, futuramente, substituir ou complementar cereais de menor valor nutricional, largamente usados na indústria alimentícia.

O projeto da EMBRAPA Cerrados para introdução do amaranto como cultivo secundário, em regiões de plantio de soja, está em andamento com a introdução do *Amaranthus cruentus* BRS-Alegria. Esse cultivar teve origem de uma fonte dos Estados Unidos (SPEHAR e col., 1998). O rendimento médio é de 2.359 kg por hectare, sendo colhida 90 dias após o plantio (SPEHAR e col., 2003).

Para a introdução do amaranto no hábito alimentar das diferentes populações, é necessário que sejam criados produtos de consumo habitual de forma a incorporar essa matéria-prima gradativamente na alimentação humana (CHÁVEZ-JÁUREGUI, 1999).

1.2 Extrusão Termoplástica

Extrusão é um processo termomecânico que combina operações unitárias como mistura, o amassamento e a modelagem, com cocção ou não, para ampliar as possibilidades de elaboração de alimentos básicos ou alternativos (ARÊAS, 1992; FERREIRA, 1999). O processo de extrusão é considerado HTST (high-temperature short-time) e é usado principalmente para conferir textura agradável a vários produtos (KIVISTÖ e col., 1986).

A principal função da extrusão, em meados da década de 30, era a fabricação de macarrão e produtos à base de cereais. O aumento no uso do processo ocorreu quando a Adams Company passou a fabricar cereais matinais em extrusores de rosca dupla, com a produção de massas alimentícias (HARPER, 1981).

O extrusor é dividido em três partes: pré-condicionador, parafuso e orifício de saída. O pré-condicionador é uma câmara atmosférica pressurizada onde o material cru entra e é aquecido e hidratado pelo contato com o vapor de água. No parafuso ocorrem as transformações moleculares, o calor é gerado pela rotação do parafuso e pela transferência de calor das camisas do canhão. A transformação em uma massa viscosa e plástica é resultado da hidratação, desnaturação e movimento (HARPER, 1981; CHÁVEZ-JÁUREGUI, 1999).

Figura 3: Esquema ilustrado de uma extrusora.

Fonte: www.empaquesplasticos.com.mx

A extrusão pode melhorar o aproveitamento dos ingredientes, reduz custos com energia e produz alimentos nutricionalmente balanceados, pelo uso de farinhas com alto valor nutricional, e visualmente apetitosos (KOEPPPE e col., 1987). Esse processo é largamente usado para reestruturar materiais amiláceos e proteínicos para a produção de alimentos texturizados como cereais matinais, snacks, proteína vegetal texturizada e alimentos infantis. As macromoléculas dos ingredientes utilizados têm a estrutura nativa terciária desestruturada pelo aquecimento e trabalho mecânico, formando uma massa viscosa em que as

macromoléculas se agregam, orientando-se na direção do fluxo produzido, e uma rede tridimensional é formada pela interação desses filamentos à saída do extrusor (CHEFTEL, 1986; HARPER, 1986).

As principais vantagens da extrusão são: a possibilidade de produzir grande quantidade e variedade de produtos em um curto período de processamento, processo contínuo, uso de materiais secos, uso de matéria-prima de baixo custo, e possibilidade de uso de material não convencional. Trata-se de um processo tecnológico simples, mas o controle das inúmeras variáveis e da natureza da interação molecular em determinados alimentos, torna o processo bastante complexo (HARPER, 1981; CASSAR, 2000).

Os bipolímeros são reestruturados em um curto período de tempo, em elevada temperatura e alto cisalhamento. A temperatura da zona de cocção deve estar acima de 100° C, para permitir a expansão do produto na saída e a rápida evaporação da água aprisionada na massa. Quanto maior a temperatura do processo, menor é a densidade do produto final (KOEPPPE e col., 1987). A água presente no material não se vaporiza com a pressão elevada, ela forma uma massa fluida que é conduzida ao longo do canhão e na saída, pela queda brusca da pressão, a água evapora e o material se expande e solidifica (ARÊAS, 1996). Os atributos sensoriais dos extrusados dependem de um grande número de variáveis relacionadas à máquina e ao material. As interações entre estas variáveis são tão complexas que diferenciar as influências entre as variáveis individuais nas mudanças das características do produto final é quase impossível. O sabor e aroma dos extrusados aumentam de acordo com o aumento de temperatura no processamento (CHEFTEL, 1986; CHEN e col., 1991).

A extrusão causa o intumescimento e ruptura dos grânulos de amido, bem como a redução da viscosidade. Os extrusados de materiais amiláceos são produtos altamente expandidos, frágeis e facilmente quebradiços, sendo que a maior expansão é inversamente proporcional ao conteúdo de água de partida. As interações entre as moléculas de amilose e amilopectina são do tipo ponte de hidrogênio (entre os grupamentos hidroxila). Ocorrem também interações lipídio-amido, em que os monoacilgliceróis se ligam às partes hidrofóbicas no interior da hélice da amilose (CHEFTEL, 1986; MASON e HOSENEY, 1986; ARÊAS, 1996).

Durante a extrusão ocorre um alto grau de ruptura dos grânulos de amido e a perda quase completa da estrutura cristalina, esses efeitos podem ser explicados pela alta solubilidade, baixa absorção de água, ausência de um pico amilográfico e baixa retrogradação (GONZÁLEZ e col., 2005).

As propriedades desejáveis no produto final podem ser obtidas pela variação das condições da matéria-prima e do processo. É sabido que a adição de ingredientes como lipídios, proteínas, açúcares ou sais alteram consideravelmente as propriedades físico-químicas dos extrusados. As alterações nas propriedades de materiais amiláceos causadas pela adição de lipídios são devidas a formação de complexos amilose-lipídio (BHATNAGAR e HANNA, 1994a).

Estudos mostram que mesmo após extrusão, a qualidade protéica do amaranto permanece e esses produtos são capazes de reduzir o colesterol plasmático em animais de laboratório (CHÁVEZ-JÁUREGUI e col., 2000; PLATE e ARÊAS, 2002).

Em extrusão de farinha de trigo foi observado um aumento no conteúdo de fibra alimentar, sendo que em condições mais severas como elevada temperatura e baixa umidade da amostra ocorre o maior incremento de fibra (KIVISTÖ e col. 1986). O mesmo foi observado para o amaranto, mas com marcada redistribuição das frações solúvel e insolúvel (FERREIRA, 1999).

Os parâmetros de processo importantes para a qualidade do produto incluem umidade de partida da amostra; tempo de residência no extrusor, que é influenciada pela velocidade de alimentação; rotação e configuração da rosca; geometria do orifício de saída; temperatura e pressão. Grande parte do processo de extrusão comercial é baseado em observação empírica, dessa forma existe a necessidade de pesquisa sistemática para o entendimento das relações entre os parâmetros de extrusão e as propriedades do extrusado (CHEN e col., 1991).

1.3 Metodologia de Superfície de Resposta

A metodologia de superfície de resposta (MSR) é uma técnica de otimização baseada no emprego de planejamentos fatoriais, introduzida por BOX na década de 50, sendo usada para a modelagem de processos industriais (BARROS NETO e col., 2003). Ao se usar essa metodologia, podem-se determinar as condições de respostas ótimas para um sistema. Dessa forma, torna-se uma ferramenta muito valiosa para os pesquisadores em planejamentos experimentais (CARDOSO-SANTIAGO, 2002).

Este método estatístico utiliza a modelagem empregando a técnica dos mínimos quadrados para a construção de modelos empíricos, geralmente lineares ou quadráticos, que descrevam o comportamento do processo em estudo com base em ensaios experimentais (BARROS NETO e col. 2003).

Na metodologia existem duas etapas: modelagem e deslocamento. São repetidas quantas vezes forem necessárias para atingir uma região ótima da superfície investigada. A MSR e sua análise são utilizadas para encontrar combinações de valores experimentais que irão gerar um modelo de respostas ótimas as quais podem ser máximas ou mínimas, dependendo da sua natureza. A modelagem normalmente é feita ajustando-se os modelos lineares ou quadráticos a resultados experimentais obtidos a partir de planejamentos fatoriais. O deslocamento se dá sempre ao longo do caminho de máxima inclinação de um determinado modelo, que é a trajetória na qual a resposta varia de forma mais acentuada (CARDOSO-SANTIAGO, 2002; BARROS NETO e col., 2003).

Em se tratando de extrusão, as variáveis consideradas independentes são: umidade do material, temperatura do processamento, velocidade de rotação da rosca, velocidade de alimentação da extrusora, taxa de compressão da rosca, relação comprimento/diâmetro da rosca e diâmetro do orifício de saída. As variáveis dependentes, geralmente associadas ao produto usado, são: razão de expansão da amostra; força de cisalhamento total; parâmetros de análise do perfil da textura – dureza, coesividade, elasticidade e mastigabilidade; aceitabilidade sensorial; perda ou retenção de um nutriente (CHÁVEZ-JÁUREGUI, 1999).

Matematicamente, essas variáveis podem ser representadas por:

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

Onde y é a resposta observada ou variável dependente, f é a função da resposta $x_1, x_2, \dots, x_n$ que são variáveis quantitativas independentes, e E representa o erro aleatório.

1.4 Textura

A elaboração de um produto de qualidade envolve vários aspectos, principalmente em se tratando de alimentos, em que as características nutricionais, sensoriais e a sua aparência são importantes. A textura pode ser definida como resposta primária dos sentidos ao estímulo físico resultante do contato entre o alimento e algumas partes do corpo. Existem testes que são altamente correlacionados com a qualidade e aceitabilidade do produto, e esses são largamente usados na indústria alimentícia como medida de qualidade e inspeção dos produtos (BOURNE, 2002; ZHENG e col., 2006).

De acordo com DeMAN (1989), a textura de um alimento se deve a vários componentes e elementos estruturais arranjados e combinados em uma micro e macroestrutura e às manifestações externas dessa estrutura em termos de fluxo e propriedades mecânicas. O estudo da textura de um alimento é importante para a avaliação de resistência dos produtos sob ação mecânica, determinação das propriedades de fluxo durante o processamento, manuseio e armazenamento e estabelecimento do comportamento estrutural do alimento quando consumido.

1.5 Análise Sensorial

A análise sensorial é uma metodologia utilizada para medir, analisar e interpretar reações às características dos alimentos e seus materiais, e como eles são percebidos pela visão, olfato, gosto, tato e audição (MORAES, 1993).

A palavra “flavor” é utilizada para designar, simultaneamente, sabor, aroma e odor, sendo fundamental na descrição das sensações percebidas durante a ingestão de alimentos. As características sensoriais são determinantes primários na escolha de um alimento (WHITE, 1996).

A análise sensorial teve a sua importância reconhecida nas décadas de 60 e 70, coincidindo com a expansão da indústria alimentícia. A sensação resultante da interação dos sentidos, na análise sensorial, permite a avaliação da qualidade do produto. Normalmente, é usada para verificar a preferência do consumidor, diferença de preferências entre diferentes amostras, seleção de um processo adequado de produção, determinação do grau ou nível de qualidade de um produto e, finalmente, no desenvolvimento de novos produtos (MORAES, 1993; STONE e SIEDEL, 1992; WHITE, 1996).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Desenvolvimento de cereal matinal e barras de cereais à base de amaranto, caracterização nutricional e verificação de sua aceitabilidade.

2.2. Objetivos específicos

2.2.1. Elaboração de uma preparação similar às barras de cereais comerciais empregando-se amaranto.

2.3.2. Modelagem de parâmetros de extrusão para a produção de cereal matinal à base de amaranto.

2.3.3 Caracterização nutricional dos produtos desenvolvidos.

2.3.4. Verificação da aceitabilidade dos produtos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material

3.1.1 Matéria-prima

Foi utilizado o amaranto da espécie *Amaranthus cruentus* L. variedade BRS Alegria, fornecido pela Embrapa Cerrados (Embrapa Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados).

3.1.2 Farinha de amaranto

O grão integral, com umidade inicial de 11%, foi moído em processador de alimentos (modelo Beta – Walita) e, posteriormente, em moinho de martelos (modelo MML – 100 Astecma). A farinha de amaranto foi colocada em recipiente plástico com capacidade para 100 litros. Para cada 10 kg de farinha foram adicionados 50 litros de hexano (PA). A mistura foi agitada por 30 minutos e permaneceu em repouso por 24 horas. Após o período de descanso, a mistura sofreu agitação por 1 hora com o auxílio de uma hélice com haste acoplada a um motor (marca Kohlbach) com velocidade de 1730 rpm. O sobrenadante foi recolhido e recuperado em parte, o restante foi encaminhado como descarte. A farinha desengordurada foi filtrada e vertida em papel filtro, permanecendo em

capela à temperatura ambiente por 48 horas. O material foi revolvido regularmente para garantir a evaporação completa do solvente.

Figura 4: Esquema de desengorduramento do amaranto

3.2 Métodos

3.2.1 Elaboração de cereal matinal

Os cereais matinais de amaranto foram obtidos por meio de extrusão termoplástica em extrusora de rosca única com capacidade de produção semi-industrial, modelo RXPQ Labor 24 (INBRAMAQ – Indústria de Máquinas LTDA, Ribeirão Preto, São Paulo). O equipamento apresenta rosca cônica, paralela, e possui sistema composto por 5 zonas de aquecimento feito por meio de resistências elétricas. No estudo foi utilizada a rosca curta, que necessita apenas das três primeiras zonas de aquecimento. O controle da temperatura é feito por termopares e sistema de refrigeração com água e válvulas solenóides. A alimentação do extrusor é conduzida por um silo com a dosagem por gravidade. Acoplado à extrusora, existe um painel de controle das variáveis: temperatura, rotação da rosca, velocidade da calha, e velocidade de corte.

Para o ajuste de umidade nas farinhas, foi calculada a quantidade de água que deveria ser adicionada ou retirada, de acordo com os pontos determinados pelo delineamento experimental. A adição, seguida de homogeneização manual e estocagem em sacos plásticos sob refrigeração, por 48 horas, foi procedida quando necessário o aumento de umidade. A redução foi realizada por meio de estufa ventilada, onde as amostras permaneceram a 60° durante o tempo necessário, previamente calculado, para se chegar ao valor desejado.

3.2.1.1 Modelagem do processo

A modelagem do processo foi realizada empregando-se a metodologia de superfície de resposta. As variáveis dependentes escolhidas foram: força de cisalhamento e razão expansão. As variáveis independentes foram: umidade da amostra e temperatura do processamento na terceira zona de aquecimento.

Para descrição dos resultados do processo foi utilizada equação polinomial de segunda ordem:

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

y = resposta determinada no produto final (variável dependente)

$B_0, B_1, \dots, B_n$ = constantes

$x_1, \dots, x_n$ = variáveis independentes

E = erro experimental com distribuição normal, média zero e variância δ^2 + resíduos.

3.2.1.2 Avaliação mecânica dos extrusados

3.2.1.2.1 Razão de expansão

Foi obtida pelo quociente entre o diâmetro dos extrusados sem aromatização e o diâmetro do orifício de saída do extrusor. Para a medida do diâmetro dos extrusados foi utilizado um paquímetro Mitutoyo e para cada ponto do delineamento experimental foram efetuadas 30 medidas aleatórias.

3.2.1.2.2 Força para cisalhamento completo

A medida de força para cisalhamento completo foi realizada, nos cereais sem aromatização, utilizando o equipamento TAXT2i e o software “Texture Expert” (Stable Systems, 1999) equipado com cela Universal. Para cada amostra foram feitas 30 medidas.

3.2.1.3 Aromatização

Foi empregada a formulação: 10% açúcar invertido (líquido, 76 a 78 Brix), 4% de aroma em pó (Duas Rodas Brasil), e 0,01% bicarbonato de sódio. O processo foi executado respeitando as seguintes etapas: homogeneização dos ingredientes, aspersão em drageadeira (AIR 400 – Erweka, Heusenstamm, Germany), e aplicação de calor quente por 5 minutos, para preservar a crocância (CAPRILES e AREAS, 2005).

Foram realizados pré-testes com os sabores morango, chocolate e doce de leite, sendo o último o que apresentou melhor resultado.

3.2.2 Elaboração das barras de cereais

Foram elaboradas no Laboratório de Técnica Dietética do Departamento de Nutrição da Faculdade de Saúde Pública. O amaranto, grão cru com 11% de umidade, usado para a confecção das barras de cereais foi estourado pelo contato do grão em superfície aquecida a 90°C por 10 a 15 segundos. Os outros ingredientes previamente selecionados, que não contêm glúten, foram: arroz expandido, frutas desidratadas, açúcar invertido (líquido, 76 a 78 Brix) e solução de amido modificado, pré-gelatinizado, (Patente: Privilégio de Inovação nº 0502694-6). O processo de confecção das barras de cereais consistiu em pesar e medir, respectivamente, os sólidos e líquidos nas quantidades desejadas. Os sólidos foram misturados e posteriormente dissolvidos na solução de amido com açúcar invertido. A massa resultante foi alocada em fôrma retangular de assar

bolos, onde foi amassada e moldada para que tivesse a forma característica do produto. As assadeiras foram levadas ao forno, onde permaneceram por 15 minutos (200°C). As barras de cereal foram cortadas logo que saíram do forno, antes que esfriassem completamente.

3.2.3 Análises de composição centesimal

A umidade das amostras foi quantificada por dessecação a 105° C até peso constante (925.09), em triplicata. O resíduo mineral fixo (RMF), por incineração em mufla a 550° C (923.03). A partir das amostras dessecadas foram realizadas as análises de proteína pelo método de micro-Kjedhal para determinação de nitrogênio total (960.52) e lipídios por extração contínua em aparelho tipo soxhlet (920.39C), (AOAC, 1997).

O amido total foi determinado por hidrólise enzimática (GOÑI e col., 1997), com determinação de glicose livre pelo método GOD/POD (BERGMEYER e BERNET, 1974).

3.2.4 Análise de fibra

A análise de fibra alimentar foi realizada de acordo com metodologia oficial de PROSKY e colaboradores, reconhecida pela AOAC (1988).

3.2.5 Análise do perfil de ácidos graxos

Foram realizadas nos extrusado com o grão integral, por meio de extração a frio com o uso dos solventes metanol e clorofórmio de acordo com BLIGH e DYER (1978). Os lipídios no extrato foram saponificados previamente e esterificados com o uso de BF_3 (MORRISON e SMITH 1964). Posteriormente foram separados por cromatografia gasosa, em equipamento “Chrompack” CP9002 acoplado a um computador equipado com o software Maestro I, versão 2.3. Foi utilizado como padrão o Lipid Standard SIGMA – Fatty acid methyl ester mixtures 47885, para identificação dos picos. As condições cromatográficas foram as seguintes: coluna capilar de sílica fundida CIOLA-WAX, com 20m de comprimento e 0,32mm de diâmetro interno; gás de arraste: hidrogênio a 2,0 mL/min; injetor “splitter” a 270°C, com razão de “split” de 1:35; detector FID a 300°C; programação da coluna: temperatura inicial de 60°C, com elevação de 3,5°C/min até 240°C. O volume injetado de cada extrato no cromatógrafo foi de 1µL e a identificação ocorreu por comparação do tempo de retenção corrigido entre ésteres metílicos dos ácidos graxos das amostras e padrões.

3.2.6 Análise de cálcio e ferro

A análise de cálcio, no grão cru, foi realizada por meio de oxidação do material orgânico pela digestão nitroperclórica, diluição com solução de óxido de lantânio e quantificação por espectrofotômetro de absorção atômica com lâmpadas de cátodo oco.

O ferro, no grão cru, foi determinado diretamente em extrato nítrico-perclórico por espectrofotometria de absorção atômica com lâmpada de cátodo oco. As duas análises foram encaminhadas ao laboratório do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ)/USP.

3.2.7 Análise microbiológica

Amostras das barras de cereais foram encaminhadas ao Laboratório de Bromatologia e Microbiologia de Alimentos da Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP) onde foram realizadas análises microbiológicas para garantir a qualidade dos produtos desenvolvidos. As análises realizadas foram: contagem de bactérias mesófilas por contagem padrão em placa (PCA) com incubação a 35° por 48 horas, coliformes em meio Lauril por técnica de número mais provável, e a incubação por cinco dias em temperatura ambiente, meio PCA, para verificar se cresceriam bolores e leveduras.

3.2.8. Análise instrumental de textura

Foi usado o teste de força de cisalhamento para os cereais matinais e para as barras de cereal. Foi usado texturômetro TAXT2i de Stable Microsystem, com emprego de cela universal, e condições adaptadas aos materiais disponíveis, e software “Texture Expert” (Stable Systems 1999).

3.3 Análise sensorial

Foram recrutados cerca de 50 provadores, entre alunos e funcionários da Faculdade de Saúde Pública, não treinados, para a realização de teste de aceitabilidade nos produtos desenvolvidos que apresentaram maior potencial, empregando-se uma escala hedônica de 9 pontos (1= desgostei muitíssimo, 5 = indiferente, 9 = gostei muitíssimo), de acordo com MORAES (1993). Apêndice II.

3.4 Análise estatística dos resultados

A otimização pela MSR empregou regressão linear múltipla considerando-se a análise de variância dos modelos de regressão empregados, a figura tridimensional de superfície de resposta foi gerada a partir dos coeficientes significativamente diferentes de 0 ($p < 0,05$). Análise de variância e teste de comparação de médias (Tukey, t-student) foram empregados na comparação dos diferentes tratamentos. Essas e as demais análises estatísticas dos resultados foram feitas com auxílio dos programas estatísticos ORIGIN 6.0 (Microcal, Inc-Northampton-MA-USA) e do software Chemomatrix (Laboratório de Química Quântica e Quimiometria, UNICAMP).

3.5 Aspectos éticos

O trabalho foi submetido aos Comitês de Ética em Pesquisa da Faculdade de Saúde Pública e da Faculdade de Ciências Farmacêuticas (Anexo I). Os participantes selecionados para degustação dos produtos, com fins de análise sensorial, assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido (Apêndice I) onde confirmaram que foram esclarecidos quanto aos objetivos da pesquisa, bem como riscos e benefícios.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização do amaranto

Foram realizadas análises químicas do amaranto cru, estourado, da farinha desengordurada e do extrusado, sendo todas em triplicata. A Tabela 2 descreve os resultados das análises feitas a partir das amostras dessecadas. As condições de extrusão do amaranto analisado foram 15% de umidade e 140° C de temperatura.

Tabela 2: Composição centesimal das amostras de amaranto em base seca (g/100g).

Composição	Amostra			
	Cru	Estourado	Farinha desengordurada	Extrusado
Proteína	13,7 ± 0,29	14,6 ± 0,39	16,0 ± 0,20	15,3 ± 0,31
Lipídeos	7,60 ± 0,06	5,28 ± 0,40	1,99 ± 0,08	0,75 ± 0,07
Amido total	65,8 ± 1,56	65,1 ± 2,67	69,8 ± 3,40	70,0 ± 2,98
Fibra solúvel	0,47 ± 1,32	0,82 ± 1,40	0,67 ± 1,60	0,71 ± 1,45
Fibra insolúvel	9,48 ± 0,76	10,1 ± 0,68	11,4 ± 0,78	12,4 ± 0,80
RMF*	3,41 ± 0,02	3,52 ± 0,27	2,07 ± 0,40	1,92 ± 0,46

* resíduo mineral fixo

De acordo com a Resolução RDC nº 360 (BRASIL, 2003) o fator de conversão para proteína vegetal é 5,75 e esse deve ser utilizado na ausência de outros fatores não estabelecidos, o que não se aplica ao presente estudo. O fator de conversão usado foi 5,85, que é o valor de referência de acordo com o perfil de aminoácidos do amaranto (MENDONÇA, 2006).

Os resultados das análises de cálcio e ferro correspondem à amostra do grão integral, e são, em média, 176 mg/100g e 3,9 mg/100g, respectivamente. Os valores encontrados estão de acordo com a literatura e comprova a superioridade do grão em relação aos cereais largamente consumidos na atualidade. O consumo de leite é indicado pela quantidade de cálcio, em média 240mg/100ml, e ainda tem como vantagem a elevada biodisponibilidade desse mineral. Em um estudo prévio, com o amaranto, foi comprovada a boa biodisponibilidade desse mineral (BECKER e col., 1981; TEUTONICO e KNORR, 1985; FERREIRA 1999).

As comparações na composição foram feitas entre o grão cru e estourado e entre a farinha desengordurada e o extrusado, isso porque não faria sentido comparar amostras integrais com outras cujo nutriente (lipídio) foi propositalmente removido. Observa-se diferença significativa entre o conteúdo de proteína, lipídios nas amostras grão cru e grão estourado ($p < 0,05$). Basicamente ocorreu a redução de lipídios e concentração de proteína, dado que vai contra as observações de GAMEL (2006) que não observou a mesma redução. O teor de fibra alimentar das amostras do estudo está um pouco abaixo da média relatada, que é de 13%.

A Portaria nº 27, Regulamento Técnico Referente à Informação Nutricional Complementar (BRASIL, 1998), estabelece que um alimento pronto para o consumo pode ser considerado FONTE DE FIBRA ALIMENTAR contendo no

mínimo 3 g de fibras/100g e pode ser considerado ALTO TEOR DE FIBRA ALIMENTAR contendo no mínimo 6g de fibras/100g. Desse modo, o amaranto em suas diferentes preparações pode ser considerado um alimento com ALTO TEOR DE FIBRA ALIMENTAR, por apresentar, em média, valores superiores a 9 g/100g de sólidos.

A extrusão não alterou significativamente o conteúdo protéico, fibra alimentar, minerais ou amido, sendo que o elevado desvio-padrão da análise desse último componente pode ter interferido. Estudos prévios indicam que a extrusão causa perda mínima de aminoácidos, sendo que a lisina não é significativamente afetada quando as temperaturas são mantidas abaixo de 160° (CHÁVEZ-JÁUREGUI, 1999). Ao extrusar uma farinha com a mistura de quinoa e arroz, ASCHERI e colaboradores (2001) verificaram que a melhor forma de preservar a lisina é uma farinha com umidade em torno de 15% e temperatura de extrusão abaixo de 180°.

A redução de lipídios livres no extrusado pode ser explicada pela interação lipídio-amido. A molécula de amido possui uma estrutura tridimensional formada por ligações repetidas de glicose, sendo que na parte interna da molécula estão as ligações de carácter apolar. Os lipídios se complexam na parte interna das hélices e são removidos apenas com solventes de alta polaridade como o metanol (ARÊAS, 1996).

4.2 Cereal matinal

As condições de extrusão do amaranto foram estabelecidas de acordo com parâmetros obtidos em estudos anteriores (CHÁVEZ-JÁUREGUI, 1999) e observações de condições empregadas em outros materiais amiláceos no equipamento disponível. O delineamento realizado foi o composto central rotacional, em cinco níveis incluindo o ponto central, duas variações positivas e negativas de 1 e $\sqrt{2}$ níveis de variação escolhidas. Foram realizados onze ensaios, com três repetições no ponto central, que foi mantido em 13% de umidade e temperatura 130° C na terceira zona de aquecimento. O intervalo entre as variáveis foi de 3% para a umidade e 20°C para a temperatura. As condições de extrusão que permaneceram fixas foram:

Rosca curta com taxa de compressão 4:1.

Camisa helicoidal.

Temperaturas das zonas de aquecimento: 30° C e 80° C.

Trafila: um furo com 3,54 mm de diâmetro.

Subtrafila: furos com 2,78 mm de diâmetro.

Input de energia: 7 a 12 A.

Velocidade de rotação da rosca: 80% (210 rpm).

Velocidade de alimentação: 345g/min.

Tabela 3: Matriz de planejamento do delineamento.

Ensaio*	X ₁ **	X ₂ ***	U (%)	T (°C)
1	0	$-\sqrt{2}$	13	101,8
2	1	-1	16	110
3	-1	-1	10	110
4	$-\sqrt{2}$	0	8,76	130
5	$\sqrt{2}$	0	17,24	130
6	-1	1	10	150
7	1	1	16	150
8	0	$\sqrt{2}$	13	158,28
9	0	0	13	130
10	0	0	13	130
11	0	0	13	130

* não corresponde à ordem de aleatorização.

** umidade

***temperatura

A umidade da amostra, em cada ensaio, nem sempre coincide com o valor previamente planejado e para os cálculos e análises estatísticas foram considerados os valores reais, e o uso dos seus valores corrigidos na matriz de planejamento. Já está estabelecido na literatura que amostras com umidade inferior a 11% prejudicam o processo de extrusão e, no caso da máquina usada, temperaturas acima de 200° C dificilmente são atingidas.

Os valores de umidade dos pontos $-\sqrt{2}$ e -1 estão abaixo de 11% e isso poderia prejudicar a extrusão. Dessa forma esses dois pontos foram mantidos um pouco acima do planejado. A Tabela 4 descreve a resposta para a razão de expansão (RE) com os valores de umidade e temperatura corrigidos, sendo esse último verificado no painel de controle da máquina durante a passagem de cada ponto.

Tabela 4: Resultados da variação da razão de expansão (RE) em função da umidade da amostra, com valores corrigidos, e temperatura do processo de extrusão.

Ensaio*	X ₁ **	X ₂ ***	U (%)	T (°C)	RE
1	0	-1,4141	13	101,8	1,79 ± 0,93
2	1	-1	16	110	1,51 ± 0,93
3	-0,6	-1	10	110	1,35 ± 1,37
4	-1,02	-0,32	8,76	130	1,94 ± 0,70
5	1,97	0	17,24	130	2,01 ± 0,65
6	-0,6	1	10	150	1,67 ± 0,65
7	1	1	16	150	1,85 ± 0,89
8	0	1,4141	13	158,28	1,74 ± 1,01
9	0	-0,25	13	130	1,96 ± 0,40
10	0	0	13	130	2,00 ± 0,40
11	0	0	13	130	1,76 ± 0,55

* não corresponde à ordem de aleatorização.

** umidade

*** temperatura

A avaliação dos extrusados foi feita por meio da razão de expansão (RE), que é a razão entre o diâmetro extrusado e o do orifício de saída da extrusora (trafila). Essa medida foi escolhida como variável resposta por ser uma medida de fácil obtenção e por ser altamente correlacionada com a aceitação do produto final (CHÁVEZ-JÁUREGUI, 1999). Quando a umidade de partida da amostra é elevada, o produto expande menos pela dificuldade em vaporizar a água no curto tempo de processamento e o extrusado tem uma textura mais macia que tende a endurecer no período de armazenamento (KOEPPPE e col., 1987). A umidade ideal para extrusão de materiais amiláceos é em torno de 14%.

A regressão ajustada ao modelo quadrático está descrita na tabela 5 e o único coeficiente válido foi o b_0 ($p < 0,001$). Ao verificar a significância estatística da regressão por meio de um teste F observa-se um $F_{\text{calculado}}$ (0,0405) menor que o valor tabelado para $F_{2,8 \text{ } 95\%}$ (4,46), o que indica uma regressão não significativa.

Tabela 5: Análise de regressão múltipla para o modelo da variável RE.

Fonte de variação	Coefficiente	Erro	t-estimativa	Nível de significância
b_0^*	1,87279	0,13268	14,11534	<0,0001
x_1^{**}	0,05007	0,12639	0,39615	0,70833
x_2^{***}	0,05958	0,08417	0,70785	0,51066
x_1x_1	-0,00491	0,09931	-0,04946	0,96247
x_2x_2	-0,12897	0,10459	-1,23309	0,27235
x_1x_2	0,05232	0,14332	0,36502	0,73003

* constante; ** umidade; *** temperatura

Tabela 6. Análise da variância para RE do delineamento.

Fonte de variação	Soma quadrática	Graus de liberdade	Média quadrática	F calculado
Regressão	0,0556	2	0,0278	0,0405
Resíduos	5,4949	8	0,6869	
Falta de ajuste	3,5278	3	1,1759	2,9889
Erro puro	1,9672	5	0,3934	
Total	5,5506	10		
Variância explicada (%)	1,0022			
Variância explicável (%)	64,5591			
Significância da regressão: $0,0405 < F_{2, 8, 95\%} (4,46) \therefore$ regressão não significativa				
Verificando falta de ajuste: $2,9889 < F_{3, 5, 95\%} (5,41) \therefore$ não há falta de ajuste				

A razão entre a média quadrática da falta de ajuste (MQ_{faj}) e a média quadrática devida ao erro puro (MQ_{ep}) pode ser submetida a um teste F para verificar se o modelo está ou não bem ajustado às observações, valores acima do tabelado para os respectivos graus de liberdade indicam falta de ajuste (BARROS-NETO e col., 2003). Ao verificar o ajuste do modelo para o delineamento observa-se que não há falta de ajuste, pois o valor calculado é inferior ao valor tabelado. Mesmo assim, a variância explicada pela regressão e a variância explicada não foram significativas. Uma possível explicação seria que a faixa de variação coberta pelos fatores estudados tenha sido pequena demais, fazendo com que o efeito sobre a resposta ficasse mascarado pela extensão do erro experimental.

O modelo não tem falta de ajuste, mas isso não foi suficiente para que o mesmo apresentasse um valor de R^2 significativo. A variância explicada pela regressão, o R^2 , é o coeficiente de determinação do modelo. É uma medida de verificar se a curva ou reta estimada pela regressão passa ou não pelos pontos observados no experimento. O valor máximo de R^2 é 100% e só ocorrerá se não houver resíduo algum e, portanto, toda a variação em torno da média for explicada pela regressão (BARROS-NETO e col., 2003).

Os resultados da resposta força de cisalhamento do delineamento estão descritos na Tabela 7.

Tabela 7: Resultados da força de cisalhamento (FC) em função da umidade da amostra, com valores corrigidos na matriz de planejamento, e temperatura do processo de extrusão.

Ensaio*	X ₁	X ₂	U (%)	T (°C)	FC (N)
1	0	-1,4141	13	101,8	18,8 ± 4,12
2	1	-1	16	110	13,6 ± 2,47
3	-0,6	-1	10	110	18,7 ± 4,74
4	-1,02	-0,32	8,76	130	26,0 ± 8,26
5	1,97	0	17,24	130	33,1 ± 6,98
6	-0,6	1	10	150	24,1 ± 8,07
7	1	1	16	150	26,9 ± 6,72
8	0	-1,65	13	158,28	24,2 ± 5,97
9	0	-0,25	13	130	28,1 ± 7,14
10	0	0	13	130	32,8 ± 7,78
11	0	0	13	130	18,8 ± 5,27

* não corresponde à ordem de aleatorização.

Os valores de máxima expansão e menor força de cisalhamento não coincidiram no mesmo ponto do delineamento. Ao verificar a significância estatística da regressão por meio de um teste F observa-se um $F_{\text{calculado}}$ (0,9908) menor que o valor tabelado para $F_{2,8 \text{ } 95\%}$ (4,46), o que indica uma regressão não significativa.

Tabela 8: Análise de regressão múltipla para o modelo da variável força de cisalhamento.

Fonte de variação	Coeficiente	Erro	t-estimativa	Nível de significância
b_0^*	25,73194	3,22161	7,9873	$p < 0,0001$
x_1^{**}	0,03097	3,06891	0,01009	0,99234
x_2^{***}	2,94824	2,04376	1,44256	0,20873
x_1x_1	1,31424	2,41133	0,54503	0,60915
x_2x_2	-3,32932	2,53958	-1,31097	0,24685
x_1x_2	2,72101	3,48004	0,78189	0,46967

* constante; ** umidade; *** temperatura

Tabela 9: Análise da variância para força de cisalhamento do delineamento.

Fonte de variação	Soma quadrática	Graus de liberdade	Média quadrática	F calculado
Regressão	75,3235	2	37,6617	0,9908
Resíduos	304,1025	8	38,0128	
Falta de ajuste	88,8985	3	29,6328	0,6885
Erro puro	215,2041	5	43,0408	
Total	379,4260	10		
Variância explicada (%)	19,8519			
Variância explicável (%)	43,2817			
Significância da regressão: $0,9908 < F_{2,8, 95\%} (4,46)$ – regressão não significativa				
Verificando falta de ajuste: $0,6885 < F_{95\%} (5,41)$ – não há falta de ajuste				

Como os resultados do primeiro delineamento não foram satisfatórios, decidiu-se realizar um segundo planejamento no qual o ponto central foi estabelecido em 15% de umidade e 140° C de temperatura, que já tinham sido adotados em ensaios prévios e apresentaram melhores resultados. Os intervalos entre os níveis de umidade foram aumentados para 5% e o intervalo da temperatura, mantido 20°C, e o número de repetições no ponto central subiu de três para seis, para que o erro puro fosse estimado com maior número de graus de liberdade.

Tabela 10: Matriz de planejamento do segundo delineamento.

Ensaio*	X ₁	X ₂	U (%)	T (°C)
1	-1	-1	10	120
2	-1	1	10	160
3	1	-1	20	120
4	1	1	20	160
5	$\sqrt{2}$	0	22	140
6	$-\sqrt{2}$	0	8	140
7	0	$\sqrt{2}$	15	168
8	0	$-\sqrt{2}$	15	112
9	0	0	15	140
10	0	0	15	140
11	0	0	15	140
12	0	0	15	140
13	0	0	15	140
14	0	0	15	140

* não corresponde à ordem de aleatorização.

Os valores de umidade para os níveis -1 e $-\sqrt{2}$, 10 e 8%, respectivamente, eram inadequados para a extrusão e poderiam inclusive danificar o equipamento, mas mesmo assim eles foram mantidos para que se obtivessem valores extremos e, conseqüentemente, a maior diferença possível entre as respostas.

A estrutura porosa dos produtos extrusados é obtida pela formação de um gel coloidal à uma alta temperatura e pressão no extrusor. Quando o produto atinge o orifício de saída, pela diferença de pressão, a água superaquecida vaporiza. Estudos empíricos demonstraram que o conteúdo de água e a temperatura da extrusão são as mais importantes variáveis que afetam a expansão (MILLER, 1985).

Os valores de máxima expansão (Tabela 11), mais uma vez, não coincidiram com os de força de cisalhamento mínima (Tabela 13). A primeira foi observada nas repetições do ponto central, ao passo que o cisalhamento diminuiu à medida que a temperatura aumentava, exceção feita ao ensaio nº 8, onde a fragilidade dos extrusados era nítida.

Tabela 11: Resultados da variação da razão de expansão (RE) em função da umidade da amostra, com valores corrigidos, e temperatura do processo de extrusão.

Ensaio*	x ₁	x ₂	RE
1	-0,2	1,4141	2,27 ± 0,32
2	0,8	1	2,23 ± 0,39
3	-1,09	1	2,92 ± 0,43
4	1,2	0	2,23 ± 0,30
5	-1,09	-0,6	2,34 ± 0,31
6	0,8	-1	2,04 ± 0,34
7	-0,2	-1,4141	2,84 ± 0,32
8	-1,44	0,25	0,96 ± 0,35
9	-0,2	0	3,27 ± 0,30
10	-0,2	0	3,25 ± 0,35
11	-0,2	0	3,24 ± 0,42
12	-0,2	0	3,32 ± 0,35
13	-0,2	0	3,31 ± 0,33
14	-0,2	0	3,32 ± 0,30

* não corresponde à ordem de aleatorização

Tabela 12: Análise da variância para razão de expansão (RE) do segundo delineamento.

Fonte de variação	Soma quadrática	Graus de liberdade	Média quadrática	F calculado
Regressão	4,8187	5	0,9637	5,3140
Resíduos	1,4509	8	0,1814	
Falta de ajuste	1,4443	3	0,4814	367,5107
Erro puro	0,0065	5	0,0013	
Total	6,2696	13		
Variância explicada (%)	76,8586			
Variância explicável (%)	99,8955			
Significância da regressão: $5,31 > F_{5,8, 95\%} (3,69)$ – regressão significativa				
Verificando falta de ajuste: $367,51 > F_{3,5, 95\%} (5,41)$ – há falta de ajuste				

Ao verificar a significância estatística da regressão para a razão de expansão, descrita na Tabela 12, conclui-se que a mesma é significativa (R^2 76,9%) e as melhores respostas estão no ponto central. Mesmo assim não é possível considerar os resultados encontrados porque o modelo apresenta grande falta de ajuste (F calculado muito superior ao tabelado). A regressão foi desconsiderada porque inicialmente, é necessário realizar o teste da falta de ajuste, para verificar se a equação de segundo grau gerada é adequada para descrever as respostas obtidas (RODRIGUES e IEMMA, 2005).

Após dois delineamentos, e todos os ensaios e testes anteriores, nas tentativas de encontrar extremos de variação para as duas variáveis

independentes, pode-se concluir que a umidade não exerce influência na resposta, isto é, a qualidade dos extrusados não está diretamente relacionada com a umidade de partida da amostra, no equipamento estudado. Estudos preliminares indicaram que a força de cisalhamento do extrusado e a umidade da amostra são diretamente proporcionais. Convém ressaltar que essa observação é válida para as condições atuais do equipamento utilizado e para a matéria-prima em questão (amaranto), isso porque a umidade da amostra influenciou os resultados em outro equipamento, utilizado anteriormente por outros pesquisadores, e continua influenciando quando utilizadas outras matérias-primas (CHÁVEZ-JÁUREGUI, 1999; CARDOSO-SANTIAGO, 2002).

O mesmo não ocorre para a força de cisalhamento, variância descrita na Tabela 14, a regressão é estatisticamente significativa ($p < 0,05$), e o valor de F calculado (5,74) é maior que o valor tabelado para os respectivos graus de liberdade e nível de confiança escolhidos. O modelo também não apresentou falta de ajuste, pois o valor calculado de F_{faj} (3,90) é menor que o valor de $F_{3, 5, 95\%}$ (5,41).

A maior parte dos estudos com extrusão utiliza diferentes combinações de umidade da amostra e temperatura de processamento para obter produtos com características distintas. Condições de baixa umidade e elevada temperatura contribuem para a maior degradação do amido e formação de dextrinas, conferindo ao extrusado um sabor mais adocicado (GOMEZ e AGUILERA, 1983).

Tabela 13: Resultados da variação da força de cisalhamento (FC) em função da umidade da amostra, com valores corrigidos, e temperatura do processo de extrusão.

Ensaio*	x ₁	x ₂	FC (N)
1	-0,2	1,4141	18,8 ± 5,74
2	0,8	1	18,5 ± 4,99
3	-1,09	1	17,5 ± 5,21
4	1,2	0	16,7 ± 4,41
5	-1,09	-0,6	18,5 ± 5,70
6	0,8	-1	20,6 ± 6,45
7	-0,2	-1,4141	18,9 ± 5,49
8	-1,44	0,25	8,12 ± 4,55
9	-0,2	0	24,3 ± 4,44
10	-0,2	0	21,7 ± 4,92
11	-0,2	0	20,6 ± 4,84
12	-0,2	0	23,2 ± 6,14
13	-0,2	0	22,6 ± 7,18
14	-0,2	0	20,1 ± 5,16

* não corresponde à ordem de aleatorização.

Tabela 14: Análise da variância para força de cisalhamento (FC) do segundo delineamento.

Fonte de variação	Soma quadrática	Graus de liberdade	Média quadrática	F calculado
Regressão	154,5328	5	30,9066	5,7447
Resíduos	43,0400	8	5,380	
Falta de ajuste	30,1426	3	10,0475	3,8952
Erro puro	12,8974	5	2,5795	
Total	197,5727	13		
Variância explicada (%)	78,2156			
Variância explicável (%)	93,4721			
Significância da regressão: $5,74 > F_{5,8, 95\%} (3,69)$ – regressão significativa				
Verificando falta de ajuste: $3,90 < F_{3,5, 95\%} (5,41)$ – não há falta de ajuste				

Tabela 15: Regressão múltipla para ajuste do modelo quadrático para a resposta força de cisalhamento (FC).

Coeficiente	Valor	Erro	Valor t	Prob> t
y	22,61	0,96	23,49	<0,0001
x ₁	0,89	0,91	0,98	0,37
x ₂	-0,35	0,87	-0,40	0,700
x ₁ x ₁	-1,16	0,88083	-1,31488	0,22499
x ₂ x ₂	-4,76581	0,99654	-4,78237	0,00139
x ₁ x ₂	-0,55404	1,36878	-0,40477	0,69625

A Tabela 15 descreve os coeficientes gerados pela regressão e seus respectivos níveis de significância. Foi observado o efeito quadrático significativo da temperatura, que gerou a equação do modelo: $y = 22,60974 - 4,76581x_2^2$. A superfície de resposta, ilustrada na Figura 5, utilizando essa equação, mostra a região de máxima resposta em vermelho.

Figura 5: Superfície de resposta para força de cisalhamento (FC) de cereal matinal de amaranto em função da umidade e temperatura do segundo delineamento.

Os pontos ótimos do modelo foram identificados ao derivar a equação do modelo para as variáveis independentes:

$$\partial \hat{y} / \partial x_1 = 0$$

$$\partial \hat{y} / \partial x_2 = -9,53 x_2$$

A função não assume valores máximos ou mínimos para a variável umidade da amostra (x_1) e, ao igualar a segunda equação a zero, temos que x_2 é igual a zero e o ponto máximo da curva é o central da temperatura, fato que pode ser observado no gráfico.

O elevado desvio-padrão para a resposta força de cisalhamento, em todos os delineamentos, indica que produtos extrusados não são homogêneos e isso pode ser um reflexo da instabilidade do equipamento. Outra possibilidade também poderia ser a instabilidade do texturômetro, o que é menos provável.

Desde o início do projeto, estava previsto o desengorduramento do amaranto para a extrusão porque o teor de lipídeos é inversamente proporcional à expansão do produto. As moléculas de lipídeos são incorporadas às hélices de amilose, impedindo a retrogradação do amido, e quando os mesmos superam a capacidade das hélices em incorporá-los, o resultado final é prejudicado (ARÊAS, 1996). Teores elevados de lipídeos tendem a enfraquecer a massa, prejudicam a expansão, reduzem a força do extrusado e aumentam a plasticidade; em contrapartida, níveis baixos (aproximadamente 5%) facilitam uma extrusão

constante e melhoram a textura (HARPER,1981; CHEFTEL, 1986). GARCIA e colaboradores (1987) verificaram que o desengorduramento do amaranto não altera a qualidade protéica, mas a sua digestibilidade aumentou significativamente, sugerindo um efeito no balanço de aminoácidos absorvidos.

É sabido que extrusores de rosca dupla (twin-screw extruder) suportam uma maior quantidade de lipídeos, mas o equipamento disponível para este trabalho tem rosca única e, teoricamente, os resultados não seriam satisfatórios. O grão de amaranto apresenta, em média, um conteúdo de 7% de lipídios, e por isso o desengorduramento foi necessário.

Ao final dos trabalhos com a extrusora, era comum colocar pequena quantidade de amaranto integral (em grão) para facilitar a limpeza, pois o excesso de gordura “expulsava” os restos de amaranto da rosca. Ao colocar uma quantidade maior de grão na extrusora e esperar que a mesma estabilizasse pôde-se observar um produto com características próximas daquele confeccionado com a farinha desengordurada. A resposta do grão integral extrusado foi surpreendente, o produto final apresentou expansão semelhante aos feitos com farinha desengordurada. Em um teste de comparação de médias entre os melhores resultados de expansão, dos delineamentos anteriores, verificou-se que não existe diferença estatística entre os valores encontrados e a razão de expansão média para o grão integral foi de 3,08. Ao comparar as médias para força de cisalhamento do extrusado integral e desengordurado, observou-se diferença estatística entre os mesmos ($p < 0,05$) – média de FC 29N para o grão integral. ILO e BERGHOFER (1999) encontraram valores de cisalhamento do extrusado com variação de 13 a 59 N.

Na extração de lipídeos dos extrusados de amaranto integral, em Soxhlet com solvente éter de petróleo, verificou-se que o conteúdo antes e após a extrusão era, respectivamente, de 6,7 e 4,5 (g/100g de matéria seca). Substituindo o solvente anterior por metanol, o resultado obtido foi de 6,7 e 6,5 (g/100g de matéria seca), para antes e após a extrusão, respectivamente, concluindo-se que não ocorrem perdas significativas no conteúdo lipídico na máquina.

Em extrusados de grão puro foi verificada a presença de gordura na trafa. A gordura causa redução na dissipação de energia mecânica e tende a proteger a gelatinização dos grânulos de amido. O aumento na velocidade de rotação aumenta o cisalhamento e induz a quebra das moléculas de amido e a redução da elasticidade do material fundido. Para a gordura ser incorporada ao extrusado, são necessárias configurações apropriadas que proveriam um maior cisalhamento para a quebra dos grânulos de amido e maior período de residência para o extrusado absorver os lipídios (ILO e BERGHOFER, 1999).

Para verificar a estabilidade do extrusado com grão integral, foi conduzido um ensaio de vida de prateleira nos tempos: 0, 30 60 e 90 dias após a extrusão. O parâmetro escolhido foi o perfil de ácidos graxos das amostras.

Os principais ácidos graxos encontrados no extrusado de amaranto foram: oléico (C18:1), gama linolênico (C18:3), α linolênico (C18:3) e cis 11 eicosenóico (C20:1). A Figura 6 ilustra os ácidos graxos e suas respectivas concentrações ao longo do ensaio de prateleira. De acordo com a literatura, o perfil de ácidos graxos no grão sem processamento é, em média, 38% de linoléico, 33% de oléico, 20%

de palmítico, 4% de esteárico e 1% linolênico (LEÓN-CAMACHO e GARCÍA-GONZALEZ, 2001).

Figura 6: Perfil de ácidos graxos, em valores percentuais, do extrusado de amaranto integral ao longo de três meses.

Legenda: (T0) imediatamente após a extrusão, (T1) um mês após a extrusão, (T2) dois meses após a extrusão, (T3) três meses após a extrusão.

Ácidos graxos: (A) oléico, (B) gama linolênico, (C) linolênico, (D) cis 11 eicosenóico.

Observa-se que o ácido oléico (A) tem a sua concentração aumentada ao longo dos três meses, ao contrário do eicosenóico (D) que apresenta alta concentração no início do período de acompanhamento e drástica redução. O ácido gama linolênico (B) se manteve praticamente estável durante o período, o mesmo pode-se dizer do ácido linolênico (C). Não foram detectados ácidos graxos saturados.

Uma explicação para essa pequena variação do perfil de ácidos graxos no extrusado de amaranto integral ao longo do tempo seria a formação de complexos

amilose-lipídio, que aumentam a vida de prateleira dos produtos (BHATNAGAR e HANNA, 1994a). A razão de expansão, solubilidade em água e as propriedades lipídio-amido nos extrusados são significativamente afetadas pela presença de ácido esteárico, que não foi detectado no período de acompanhamento. A faixa de temperatura durante a extrusão que favorece a máxima formação do complexo amilose-lipídio é de 110 a 140 ° C. A formação máxima desse complexo ocorre em materiais com 70% de amilose, quantidade muito superior à encontrada no amaranto. A adição de lipídios reduz drasticamente a razão de expansão dos extrusados (BHATNAGAR e HANNA, 1994b). No presente trabalho, a manutenção dos lipídios principais (em torno de 7%) não prejudicou a expansão dos produtos extrusados.

As condições de extrusão do grão foram 11% de umidade e a temperatura igual ao ponto central do segundo delineamento, 140° C. Após a otimização do cereal matinal com farinha desengordurada em uma extrusora semi-industrial, foi necessária a confecção de grandes quantidades, para análise sensorial, em um equipamento de escala industrial. Os extrusados com farinha desengordurada apresentaram características semelhantes aos confeccionados no equipamento semi-industrial. Os cereais de grão integral apresentaram menor expansão no equipamento industrial.

Algumas características desejáveis para um cereal matinal são crocância, baixa absorção de leite e formato agradável. Dessa forma, o produto final era em forma de pequenas esferas, semelhantes a uma marca de grande aceitação no mercado.

Com os cereais prontos, o melhor ponto do delineamento com a farinha desengordurada e com o grão integral, foi conduzido um teste de bancada para verificar a absorção de leite. Foi usada uma amostra de cereal matinal comercial, líder de mercado, denominado B, para servir como parâmetro. Foram colocados 30 g de cada amostra (cereal B, cereal com farinha desengordurada com e sem aroma, cereal com grão integral com e sem aroma) em 125ml de leite frio. As amostras foram pesadas antes e após 10 minutos de imersão no leite. Verificou-se que todas as amostras dobraram os seus pesos iniciais, sem diferença estatística entre as mesmas ($p>0,05$).

Foi realizado um teste de força de cisalhamento com as amostras após a imersão no leite para verificar o quanto elas amoleceram. O cereal matinal B e o com grão integral com aroma apresentaram valores muito próximos e sem diferença estatística ($p>0,05$), respectivamente, 6,5 N ($\pm 5,8$) e 7,4 N ($\pm 5,4$), fato explicado pelo alto desvio padrão de ambos. O resultado encontrado no cereal matinal B indica que um produto extrusado, para ser um sucesso comercial, não precisa necessariamente ser homogêneo. A amostra com farinha desengordurada, com aroma, apresentou maior força de cisalhamento, 12,7 N ($\pm 6,2$), mas na degustação os provadores indicaram essa última como sendo a mais crocante. Não foi observada diferença estatística para a absorção de leite entre as amostras com e sem aroma.

Para a análise sensorial foi aplicado um teste de aceitação por escala hedônica no Laboratório de Técnica Dietética da Faculdade de Saúde Pública, onde os provadores foram convidados a degustar as duas amostras, com farinha

desengordurada e com o grão integral, e opinar quanto à aparência, textura e sabor usando uma escala numérica de 1 (desgostei muitíssimo) a 9 (gostei muitíssimo). Ao final eles indicaram qual das amostras seria a preferida. A apresentação da mesa para degustação está ilustrada na Figura 7.

Figura 7: Apresentação das amostras de cereal matinal para degustação.

Foi estipulada a nota de corte 7 como indicadora da aceitabilidade adequada do produto. O aroma escolhido foi o de doce de leite para as duas amostras. O cereal à base de farinha desengordurada obteve a preferência de 96% dos provadores. Vinte e seis provadores incluíram comentários sendo que 77% desses reclamaram do sabor amargo, principalmente da amostra feita com o grão integral.

Na verdade os provadores que reclamaram do sabor identificaram o mesmo problema nas duas amostras, mas indicaram que naquela à base de farinha desengordurada a sensação era mais suave. A Tabela 16 descreve as médias de cada atributo das diferentes amostras e a Figura 8, a distribuição das porcentagens das notas.

Tabela 16: Resultados obtidos no teste de aceitação para aparência, textura, sabor e aceitação geral realizado por escala hedônica estruturada de nove pontos.

	Aparência	Textura	Sabor	Geral
Farinha	7,46 ± 1,26 ^a	7,65 ± 0,97 ^a	6,98 ± 1,53 ^c	7,00 ± 1,17 ^a
desengordurada				
Grão integral	6,17 ± 1,64 ^b	5,98 ± 1,97 ^b	4,33 ± 1,89 ^d	5,04 ± 1,65 ^d
Letras diferentes indicam diferença estatisticamente significativa (p<0,05) – teste T.				

Figura 8: Distribuição percentual dos valores hedônicos atribuídos ao sabor dos cereais matinais.

O cereal matinal à base de farinha desengordurada apresentou 72% de notas iguais ou superiores ao ponto de corte pré-estabelecido. Pôde-se concluir que um cereal matinal à base de amaranto, além do valor nutricional superior, apresenta grande aceitação. Outra possibilidade é a combinação do amaranto com outros cereais para melhorar o sabor e a qualidade nutricional.

A extrusão é um ótimo recurso para o aproveitamento do amaranto, seja no preparo de produtos para consumo direto (como snacks ou cereais matinais) como no aproveitamento de alguma característica reológica que possa ser empregada como ingrediente em outras preparações. A solubilidade do amaranto extrusado em água é maior do que a observada em outros extrusados à base de cereais do tipo cerosos. GONZÁLEZ e colaboradores (2005) sugerem que o endosperma do amaranto é menos resistente do que esses e propuseram que a solubilidade em

água fosse indicador direto do grau de cocção em cereais extrusados pela relação com o grau de ruptura da estrutura granular. Os extrusados apresentaram alta solubilidade e baixa absorção de água, a formação de amido resistente nos extrusados foi baixíssima, característica vantajosa para produtos que devem ser armazenados sob refrigeração.

MENDOZA e BRESSANI (1987) usaram o extrusado de amaranto integral para produzir uma bebida instantânea com leite em pó e açúcar. O extrusado de amaranto (*Amaranthus cruentus*) apresentou uma digestibilidade protéica em torno de 77% e 0,39g /g N de lisina biodisponível. O processo de extrusão foi muito benéfico no sentido de melhorar a qualidade protéica. Os fatores antinutricionais foram desativados, talvez pela alta temperatura. Em um extrusado a partir da combinação de amaranto com farinha de milho rica em proteína (80:20), a digestibilidade protéica foi de 85,4% e a perda de lisina durante o processo foi insignificante (KOEPE e col. 1987).

Infelizmente, por enquanto, não é possível usar o grão integral na confecção de cereais matinais porque mesmo com as suas características tecnológicas semelhantes ao do extrusado com farinha desengordurada, o produto não é aceito pelo seu gosto amargo. O uso do amaranto integral na extrusão representaria uma economia de tempo e solventes, sem falar na proteção ambiental uma vez que nem sempre é possível recuperar o solvente usado na sua totalidade. ILO e BERGHOFER (1999) também constataram essa inviabilidade em produzir um extrusado somente com o grão do amaranto devido ao seu elevado teor de lipídios, isso porque a gordura exerce um poderoso efeito lubrificante na extrusão e reduz a expansão do produto, fato não observado nas condições

estudadas no presente trabalho. Os autores sugeriram que o mesmo fosse desengordurado ou combinado com um outro cereal, como o arroz, para promover a melhora nas características do produto final.

Não houve qualquer restrição quanto à formação de textura para o grão integral, apenas a acentuação de um sabor amargo.

O gosto amargo, relatado em literatura, em pseudocereais pode ser causado pela presença de saponinas. É sabido que a quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) e o amaranto da espécie *Amaranthus caudatus* L. contêm, respectivamente, em maior e menor quantidade esses compostos, mas não existem relatos na literatura de quantidades significativas dos mesmos na espécie de amaranto utilizada (*Amaranthus cruentus* L.) (DUARTE-CORREA e col., 1986; JUNKUSZLU e col., 1998). Outros compostos que poderiam ser os responsáveis pelo gosto amargo são os taninos, mas esses também são encontrados em valores muito reduzidos na espécie utilizada (LORENZ e WRIGHT, 1984).

Sugere-se um estudo mais detalhado desses compostos em trabalhos futuros bem como os de todos os possíveis fatores antinutricionais no amaranto brasileiro. Uma outra possibilidade seria o estudo da formação de algum produto secundário durante a extrusão e que poderia ser responsável pelo gosto amargo.

4.3 Barras de cereais

As barras de cereais à base de amaranto seriam uma alternativa aos indivíduos com doença celíaca, pois em sua formulação não estão presentes fontes de glúten. O formato final do produto implica em uma mistura de sólidos e líquidos, até que se obtenha a consistência desejada. Dentre os sólidos foi estabelecida a seguinte proporção inicial: 50% de amaranto, 30% de arroz crispies e 20% de frutas cristalizadas.

Foram testadas soluções que poderiam conferir consistência e agregar os sólidos, tais como o xarope de glicose, a pectina e solução de amido modificado, sendo esse último o que apresentou melhor resultado. Em um teste para se obter 500g de produto final, foi mantida a proporção de 1/3 de solução de amido e 2/3 de sólidos.

A primeira formulação, com 50% de amaranto, apresentou composição muito semelhante às encontradas no mercado, com a vantagem da não adição do ingrediente gordura vegetal hidrogenada.

Na tentativa de melhorar a composição das barras de cereal decidiu-se aumentar a porcentagem do amaranto. Entretanto, pela dificuldade em se obter grande quantidade de amaranto estourado, foi também incluído o extrusado de amaranto na formulação. Pelos resultados da análise sensorial do cereal matinal, com a baixa aceitação do extrusado com o grão integral, decidiu-se acrescentar apenas o extrusado com farinha desengordurada. As condições de extrusão foram a do ponto 2 do segundo delineamento (10% de umidade e 160° C de temperatura) pelo tamanho e facilidade em incorporá-lo aos demais sólidos. Além

disso, em análise sensorial piloto, com número menor de provadores, foi constatada a necessidade de acrescentar um ingrediente que conferisse sabor doce ao produto.

Ao final foram elaborados dois tipos de barra de cereais. Os ingredientes da barra denominada “pipoca” foram: 70% de amaranto estourado, 15% de arroz crispies, 15% de frutas desidratadas, solução de amido e açúcar invertido. A barra denominada “pipoca + extrusado” tem formulação semelhante à “pipoca”, com 70% de amaranto, sendo que dentro desse valor, 20% era extrusado. A Tabela 17 descreve a composição centesimal das duas formulações.

Tabela 17: Composição centesimal das barras de cereais em base seca (g/100g).

Composição	Pipoca	Pipoca+ extrusado
Proteína	11,1 ± 0,11	11,9 ± 0,11
Lipídeos	3,98 ± 0,08	3,43 ± 0,25
Amido total	73,9 ± 1,09	70,8 ± 1,21
Fibra solúvel	0,88 ± 0,26	0,84 ± 0,34
Fibra insolúvel	6,30 ± 0,40	6,60 ± 0,04
RMF*	1,54 ± 0,00	1,64 ± 0,02
Umidade	6,92 ± 0,03	7,06 ± 0,07

* resíduo mineral fixo

Observa-se uma composição semelhante entre as duas formulações, sem diferença estatística. As vantagens do uso do amaranto estourado são inúmeras, como o sabor adocicado e odor semelhante ao da pipoca de milho (GAMEL e col.,

2004). QURESH (1996) verificou que o amaranto estourado reduziu o colesterol total em galinhas, a redução do LDL chegou a 70%.

De acordo com a Portaria nº 27 (BRASIL, 1998) as barras de cereais elaboradas podem incluir em seu rótulo o atributo ALTO TEOR DE FIBRA por apresentarem a quantidade mínima (6g/100g de sólidos) necessária.

A Tabela 18 descreve a comparação entre a composição das barras de amaranto e outras existentes no mercado, denominadas E e F. Pode-se observar a superioridade na qualidade nutricional das barras de amaranto em relação ao conteúdo de proteína de fibra alimentar.

Tabela 18: Comparação entre a composição das barras de cereais à base de amaranto com dois tipos de barras de cereais existentes no mercado (porção de 25g).

Composição	Pipoca	Pipoca+ extrusado	E	F (light)
Proteína	2,6	2,8	1,0	1
Lipídeos	0,9	0,8	2	0,5
Amido total	17	16	20	16
Fibra total	1,8	1,9	<1	1

LARA e RUALES (2002) verificaram que ocorre uma pequena redução no conteúdo de lisina durante o processo de pipocar os grãos de amaranto (12

segundos a 180° C), mas essa foi compensada pelo aumento na digestibilidade protéica. A redução no valor real da proteína pode ser de 13% para o *Amaranthus cruentus*, e, uma das causas pode ser a reação de Maillard (GAMEL e col., 2004). Acredita-se que isso não tenha ocorrido durante o processo no presente trabalho, isso porque a temperatura e tempo para pipocar o grão foram inferiores aos dos estudos acima.

A perda da qualidade protéica é devida ao decréscimo do aminoácido essencial lisina (em média 19%). O PER do amaranto estourado é inferior ao da farinha crua, essa última apresentou valor muito próximo da caseína. O amaranto estourado reduziu em 50% os níveis de triglicerídeos de animais em estudo (GAMEL e col., 2004). Foi observada a gelatinização completa do amido, sem retrogradação (LARA e RUALES, 2002). Uma fragmentação extensiva nas moléculas do amido ocorre em produtos pipocados (estourados), quando comparados aos extrusados (HOLM, BJÖRCK e ELIASSON, 1998).

Antes da análise sensorial, as amostras foram encaminhadas ao laboratório de Microbiologia e Bromatologia de Alimentos da Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP) onde foram realizadas análises microbiológicas para garantir a qualidade do produto uma vez que a solução de amido poderia propiciar o crescimento de bolores e leveduras. Os resultados, descritos na Tabela 19, indicam que não houve crescimento de nenhum dos tipos de microrganismos estudados.

Tabela 19: Análise microbiológica das barras de cereais.

Amostra	Coliformes totais (NMP)	<i>E. coli</i> (NMP)	Bactérias mesófilas (ufc/g)	Bolores e leveduras (ufc/g)
Pipoca	<0,3	<0,3	<10	<10
Pipoca + extrusado	<0,3	<0,3	<10	<10

De acordo com a Resolução RDC nº 12 (BRASIL 2001), que regula os padrões microbiológicos para alimentos, para que um produto tenha condições sanitárias satisfatórias a contagem de microorganismos deve estar abaixo do estabelecido. O máximo aceitável para bactérias mesófilas é de 30 unidades formadoras de colônia (UFC) em cada grama de alimento, o mesmo valor se aplica para bolores e leveduras. O máximo permitido para coliformes é um número mais provável (NMP) de 5.10^2 . As barras de cereais oferecidas estavam em condições satisfatórias (eram seguras).

Para a análise sensorial foi aplicado um teste de aceitação por escala hedônica no Laboratório de Técnica Dietética da Faculdade de Saúde Pública, onde os provadores foram convidados a degustar as duas amostras e opinar quanto à aparência, textura e sabor usando uma escala numérica de 1 (desgostei muitíssimo) a 9 (gostei muitíssimo). Ao final eles indicaram qual das amostras foi a preferida.

Foi estipulada a nota de corte 7 para indicar a aceitabilidade adequada do produto. A barra denominada “pipoca” obteve a preferência de 66% dos provadores. Vinte e oito deles incluíram comentários sendo que 60% reclamaram do aspecto quebradiço da barra de cereais “pipoca + extrusado” e 15% gostariam que as amostras fossem mais doces. A Tabela 20 descreve as médias de cada atributo das diferentes amostras.

Tabela 20: Resultados obtidos no teste de aceitação para aparência, textura, sabor e aceitação geral realizado por escala hedônica estruturada de nove pontos.

	Aparência	Textura	Sabor	Geral
Pipoca	6,79 ± 1,44 ^a	7,17 ± 1,32 ^a	7,11 ± 1,32 ^a	7,11 ± 1,17 ^a
Pipoca + extrusado	5,89 ± 1,75 ^b	6,55 ± 1,70 ^a	6,97 ± 1,49 ^a	6,72 ± 1,33 ^a
Letras diferentes indicam diferença estatisticamente significativa (p<0,05) – teste T.				

A amostra “pipoca” obteve 77% das notas acima do ponto de corte, indicando que o produto foi aceito (p<0,05) e a amostra “pipoca+extrusado” obteve 65% das notas acima desse valor, um desempenho que poderia ser melhorado com o aumento da solução de amido nessa formulação para que a mesma apresentasse um aspecto melhor. A distribuição hedônica da aceitação geral está descrita na Figura 9.

Figura 9: Distribuição percentual dos valores hedônicos da aceitação geral das barras cereais.

Grande parte dos provadores também participou da degustação dos cereais matinais e, ao final e de modo informal, elogiaram as barras por mascarar o gosto amargo do amaranto. Não foram observados comentários dessa natureza para as barras de cereais.

Pode-se concluir que a produção de barras de cereais à base de amaranto é viável e promove uma melhora na qualidade nutricional desse produto. O potencial de consumo das duas preparações é elevado.

5. CONCLUSÕES

O processo de obtenção dos cereais matinais foi adequado, mas não foi possível otimizar as duas variáveis dependentes (razão de expansão e força de cisalhamento) simultaneamente.

A umidade de partida da amostra não exerceu influência na faixa de variação estudada.

Os processamentos não prejudicaram a qualidade nutricional do amaranto.

Os produtos desenvolvidos apresentam grande potencial de consumo e melhor qualidade (composição) nutricional do que os seus similares existentes no mercado.

Sugere-se a investigação dos possíveis fatores antinutricionais no amaranto brasileiro, bem como dos compostos que poderiam causar o gosto amargo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARÊAS, J.A.G. Interações moleculares do amido durante o processo de extrusão. **Bol SBCTA**, 30(1): 28-30, 1996.

ARÊAS, J.A.G. Extrusion of food proteins. **Crit Rev Food Sci Nutr**, 32: 365-92, 1992.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS -AOAC. **Official Methods of Analysis**. 16° ed. Washington; 1997.

ASCHERI, J.L.R.; MATHIAS, S.V.L.; NASCIMENTO, R.E.; SPEHAR, C.R. Harina instantánea mixta de quinoa integral (*Chenopodium quinoa* Willd) y harina de arroz: efecto de las condiciones de extrusión en la composición centesimal, aminoácidos y minerales. **Alimentaria**, 3: 81-87, 2001.

BAKER, L.A.; RAYAS-DUARTE, P. Retrogradation of amaranth starch at different storage temperatures and effects of salt and sugars. **Cereal Chem**, 75(3): 308-314, 1998.

BARROS-NETO, B.; SACARMINIO, I.S.; BRUNS, R.E. **Como fazer experimentos** – pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria. Campinas, 2ª ed, Editora Unicamp, 2003.

BECKER, R.; WHEELER, E.L; LORENZ, K.; STAFFORD, O.K.; BETSCHART, A.A.; SAUNDERS, R.M. A compositional study of amaranth grain. **J Food Sci**, 46: 1175-1180, 1981.

BERGER, A.; MONNARD, I.; DIONISI, F.; GUMY, D.; HAYES, K.C.; LAMBELET, P. Cholesterol-lowering properties of amaranth flakes, crude and refined oils in hamsters. **Food Chem**, 81: 119-124, 2003.

BERGMEYER, M.V.; BERNET, E. **Methods of enzymatic analysis**. 2º ed. New York: Academic Press, p. 1204-1212, 1974

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. **J Food Sci**, 46: 1181-1187, 1981.

BHATNAGAR, S.; HANNA, M.A. Extrusion processing conditions for amylose-lipid complexing. **Cereal Chem**, 71 (6): 587-593, 1994.a

BHATNAGAR, S.; HANNA, M.A. Amylose-lipid complex formation during single-screw extrusion of various corn starches. **Cereal Chem**, 71 (6): 582-587, 1994.b

BLIGH, E.G.; DYER, W.J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Can J Physiol**, 37 (8):911-918, 1959.

BOURNE, M. **Food texture and viscosity**, concept and measuremnt. 2nd ed. Academic Press, p. 107-187, 2002.

BRASIL. **Portaria nº 27**, 13 de janeiro de 1998. Regulamento técnico referente a informação nutricional complementar. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br>

BRASIL. **Resolução – RDC nº 12**, 02 de janeiro de 2001. Regulamento técnico referente aos padrões microbiológicos para alimentos. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br>

BRASIL. **Resolução – RDC nº 360**, 23 de dezembro de 2003. Regulamento técnico sobre rotulagem nutricional de alimentos embalados. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br>

BRESSANI, R. The proteins of grain amaranth. **Food Rev Intern**, 5(1): 13-38, 1989.

CAPRILES, V.D.; ARÊAS, J.A.G. Desenvolvimento de salgadinhos com teores reduzidos de gordura saturada e ácidos graxos trans. **Cienc Tecnol Aliment**, 25(2): 363-369, 2005.

CARDOSO-SANTIAGO, R.A. **Desenho de alimento extrusado para intervenção nutricional a base de milho (*Zea mayz* L.) e pulmão bovino**. Tese de doutorado – Faculdade de Saúde Pública, São Paulo, 2002.

CARDOSO-SANTIAGO, R.A.; ARÊAS, J.A.G. Nutritional evaluation of snacks obtained from chickpea and bovine lung blends. **Food Chem**, 74:35-40, 2001.

CASSAR, R. **Efeito da adição de glutamato monossódico e inosinato dissódico no sabor e textura de extrusados à base de grão-de-bico, pulmão bovino e amaranto**. Dissertação de mestrado – Faculdade de Saúde Pública, São Paulo, 2000.

CHÁVEZ-JÁUREGUI, R.N.; CARDOSO-SANTIAGO, R.A.; SILVA, M.E.M.P.; ARÊAS, J.A.G. Acceptability of snacks produced by extrusion of amaranth and blends of chickpea and bovine lung. **Int J Food Sci Technol**, 38:795-798, 2003.

CHÁVEZ-JÁUREGUI, R.N.; SILVA, M.E.M.P.; ARÊAS, J.A.G. Extrusion cooking process for amaranth (*Amaranthus caudatus* L.). **J Food Sci**, 65(6): 1009-1015, 2000.

CHÁVEZ-JÁUREGUI, R.N. **Produção e avaliação sensorial de alimento expandido pela extrusão termoplástica de amaranto**. Tese de doutorado – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, São Paulo, 1999.

CHEFTEL, J.C. Nutritional effects of extrusion-cooking. **Food Chem**, 20: 263-283, 1986.

CHEN, J.; SERAFIN, F.L.; PANDYA, R.N.; DAUN, H. Effects of extrusion conditions on sensory properties of corn meal extrudates. **J Food Sci**, 56(1): 84-89, 1991.

CUPPARI, L. **Nutrição clínica no adulto**, guias de medicina ambulatorial e hospitalar. 1ª ed., Manole. São Paulo, 2002.

CZERWINSKI, J.; BARTNIKOWSKA, E.; LEONTOWICZ, H.; LANGE, E.; LEONTOWICZ, M.; KATRICH, E.; TRAKHTENBERG, S.; GORINSTEIN, S. Oat (*Avena sativa* L.) and amaranth (*Amaranthus hypochondriacus* L.) meals positively affect plasma lipid profile in rats fed cholesterol-containing diets. **J Nutr Biochem**, 15: 622-629, 2004.

DANZ, R.A.; LUPTON, J.R. Physiological effects of dietary amaranth (*Amaranthus cruentus*) on rats. **Cereal Food World**; 37(7): 489-494, 1992.

DEMAN, J.M. **Principles of food chemistry**. 3ed. Aspen Publishers Inc, Maryland EUA, 1989.

DUARTE-CORREIA, A.; JOKL, L.; CARLSSON, R. Chemical constituents, *in vitro* protein digestibility, and presence of antinutritional substances in amaranth grains. **Arch Latinoam Nutr**, 36 (2): 319-326, 1986.

EASTMAN, J.; ORTHOEFER, F.; SOLORIO, S. Using extrusion to create breakfast cereal products. **Cereal Food World**, 46 (10): 468-471, 2001.

FERREIRA, T.A.P.C. **Avaliação nutricional do amaranto extrusado em diferentes condições de umidade**. Tese de doutorado – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, São Paulo, 1999.

GAMEL, T.H.; LINSSEN, J.P.; ALINK, G.M.; MOSALLEN, A.S.; SHEKIB, L.A. Nutritional study of raw and popped seed proteins of *Amaranthus caudatus* L and *Amaranthus cruentus* L. **J Sci Food Agri**, 84: 1153-1158, 2004.

GAMEL, T.H.; LINSSEN, J.P.; MESALLAM, A.S.; DAMIR, A.A.; SHEKIB, L.A. Effect of seed treatments on the chemical composition of two amaranth species: oil, sugars, fibres, minerals and vitamins. **J Sci Food Agri**, 86: 82-89, 2006.

GARCIA, L.A.; ALFARO, M.A.; BRESSANI, R. Digestibility and protein quality of raw and heat-processed defatted and nondefatted flour prepared with three amaranth species. **J Agri Food Chem**, 35: 604-607, 1987.

GOMEZ, M.H.; AGUILERA, J.M. Changes in the starch fraction during extrusion-cooking of corn. **J Food Sci**, 48: 378-381, 1983.

GOÑI, I.; GARCIA-ALONSO, A.; SAURA-CALIXTO, F. A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. **Nutr Res**, 17(3): 427-437, 1997.

GONZÁLEZ, R.; CARRARA, C.; TOSI, E.; AÑÓN, M.C.; PILOSOF, A. Amaranth starch-rich fraction properties modified by extrusion and fluidized bed. *Swiss Soc Food Sci Technol* 1-8, 2005.

GORINSTEIN, S.; NUE, I.A.; ARRUDA, P. Alcohol-soluble and total proteins from amaranth seeds and their comparison with other cereals. **J Agri Food Chem**, 33: 848-850, 1991.

GUERRA-MATIAS, A.C. **Digestibilidade *in vitro* e resposta glicêmica de snacks de amaranto (*Amaranthus cruentus* L.)**. Dissertação de mestrado – Faculdade de Saúde Pública, São Paulo, 2003.

HARPER, J.M. Extrusion texturization of foods. **Food Technol**, 40(3):70-76, 1986.

HARPER, J.M. **Extrusion of foods**. Volume I. CRC Press, Florida, United States, 1981.

HE, H.P.; CAI, Y.; SUN, M.; CORKE, H. Extration and purification of squalene from *Amaranthus* grain. **J Agric Food Chem**, 50:368-372, 2002.

HOLM, J.; BJÖRCK, I.; ELIASSON, A.C. Effects of thermal processing of wheat on starch. I. Physico-chemical and functional properties. **J Cereal Sci**, 8: 249-260, 1998.

JUNKUSZLU, M.; OLESZEK, W.; JURZYSTA, M.; PIANCENTE, S.; PIZZA, C. Triterphenoid saponins from the seeds of *Amaranthus cruentus*. **Phytochem**, 49(1): 195-198, 1998.

KIVISTÖ, B.; ANDERSSON, H.; CEDERBLAD, G.; SANDBERG, A.S.; SANDSTRÖM, B. Extrusion cooking of a high-fibre cereal product. **Brit J Nut**, 55: 255-260, 1986

KOEPPE, S.J.; HARRIS, P.L.; HANNA, M.A.; RUPNOW, J.H.; WALKER, C.E.; CUPPETT, S.L. Physical properties and some nutritional characteristics of an extrusion product with defatted amaranth seeds and defatted maize gluten meal (80:20 ratio). **Cereal Chem**, 64 (4): 332-336, 1987.

LARA, N.; RUALES, J. Popping of amaranth grain (*Amaranthus caudatus* L) and its effect on the functional, nutritional and sensory properties. **J Sci Food Agri**, 82:797-805, 2002.

LÉON-CAMACHO, M.; GARCÍA-GONZÁLEZ, D.L.; APARICIO, R. A detailed and comprehensive study of amaranth (*Amaranthus cruentus* L.) oil fatty profile. **Eur Food Res Technol**, 213: 349-355, 2001.

LORENZ, K.; WRIGHT, B. Phytate and tannin content of amaranth. **Food Chem**, 14: 27-34, 1984.

MAIER, S.M.; TURNER, N.D.; LUPTON, J.R. Serum lipids in hypercholesterolemic men and women consuming oat bran and amaranth products. **Cereal Chem**, 77(3): 297-302, 2000.

MASON, W.R.; Hosney RC. Factors affecting the viscosity of extrusion-cooked wheat starch. **Cereal Chem**, 63(5): 436-441, 1986.

MENDONÇA, S. **Efeito hipocolesterolemizante da proteína de amaranto (*Amarantus cruentus* L.) em hamsters.** Tese de doutorado – Faculdade de Saúde Pública, São Paulo, 2006.

MENDOZA, C.M.; BRESSANI, R. Nutritional and functional characteristics of extrusion-cooked amaranth flour. **Cereal Chem**, 64(4): 218-222, 1987.

MILLER, R.C. Low moisture extrusion: effects of cooking moisture on product characteristics. **J Food Sci**, 50: 249-253, 1985.

MORAES, M.A.C. **Métodos para avaliação sensorial dos alimentos.** 8ª ed. Campinas-SP: Unicamp, 1993.

MORRISON, W.R.; SMITH, L.M. Preparation of fatty acid methyl esters and dimethylacetals from lipids with boron fluoride-methanol. **J Lip Res**, 5: 600-608, 1964.

PLATE, A.Y.A.; ARÊAS, J.A.G. Cholesterol-lowering effect of extruded amaranth (*Amaranthus caudatus* L.) in hypercholesterolemic rabbits. **Food Chem**, 76: 1-6, 2002.

PROSKY, L.; ASP, N. G.; SCHWEIZER, T.; DEVRIES, J.W.; FURDA, I. Determination of insoluble, soluble and total dietary fiber in foods and foods products: interlaboratory study. **J AOAC Int**, 71(5): 1017-1023, 1988.

QURESHI, A.A.; LEHMANN, J.W.; PETERSON, D.M. Amaranth and its oil inhibit cholesterol biosynthesis in 6-week-old female chickens. **J Nutr**, 126: 1972-1978, 1996.

SALCEDO-CHÁVEZ, B.; OSUNA-CASTRO, J.A.; GUEVARA-LARA, F.; DOMINGUEZ-DOMINGUEZ, J.; PAREDES-LÓPEZ, O. Optimization of the isoelectric precipitation method to obtain protein isolates from amaranth (*Amaranthus cruentus*) seeds. **J Agric Food Chem**, 50:6515-6520, 2002.

SASAKI, T.; MATSUKI, J. Effect of wheat starch structure on swelling power. **Cereal Chem**, 75(4): 525-529, 1998.

SAUNDERS, R.M.; BECKER, R. Amaranthus: a potential food and feed resource. In: Pomeranz Y. **Advances in cereal science and technology**. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, vol 6, 1984.

SHILS, M.E.; OLSON, J.A.; SHIKE, M.; ROSS, A.C. **Tratado de nutrição moderna na saúde e na doença**. 9ª ed. São Paulo: Manole, 2002.

SPEHAR, C.R.; SANTOS, R.L.B.; JACOBSEN, S.E. Andean grain crop introduction to the Brazilian Savannah. In: **Proceedings of the International conference on sustainable agriculture on tropical and subtropical highlands with special reference to Latin America**. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa-Solos/INT/UFRJ/Karlsruhe Universitat, 1998.

STONE, H.; SIDEL, J. L. **Sensory evaluation practices**. 2 ed. San Diego: Academic Press, 336p., 1992.

TEUTONICO, R.A. KNORR, D. Amaranth: composition, properties, and applications of a rediscovered food crop. **Food Technol**, 39: 49-58, 1985.

TOSI, E.A.; RE, E.; LUCERO, H.; MASCIARELLI, R. Dietary fiber obtained from amaranth (*Amaranthus cruentus*) grain by differential milling. **Food Chem**, 73: 441-443, 2001.

USDA National Nutrient Database for Standard Reference, Release 18 (2005), disponível online: <http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/search/>

WHITE, B. Flavor perception: from basic research to industrial applications. **Trends Food Sci Technol**, Amsterdam, 7:386-389, 1996.

YÁNEZ, E.; ZACARÍAS, I.; GRANGER, D.; VÁSQUEZ, M.; ÉSTEVEZ, A.M.
Caracterización química y nutricional del amaranto (*Amaranthus cruentus*). **Arch Latinoam Nutr**, 44(1): 57-62, 1994.

ZHENG, C.; SUN, D.W.; ZHENG, L. Recent applications of image texture for evaluation of food qualities – a review. **Trends Food Sci Technol** 17: 113-128, 2006.

**APÊNDICE I: TERMO DE
CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO.**

USP

FACULDADE DE SAÚDE PÚBLICA

Departamento de Nutrição

Av. Dr. Arnaldo, 715 – CEP 01246-904 – São Paulo, SP – Brasil

Laboratório de Bioquímica e Propriedades Funcionais dos Alimentos

Fone (11) 3066-7765 / Fax (11) 3066-7705

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Eu, _____, aceito participar, voluntariamente, da pesquisa **Desenvolvimento e avaliação da aceitação de cereais matinais e barras de cereal à base de amaranto (*Amaranthus cruentus* L.)**, na qualidade de provador. O trabalho é conduzido pela aluna de mestrado Karina Dantas Coelho e está sob responsabilidade do Prof. Dr. José Alfredo Gomes Arêas, docente da Faculdade de Saúde Pública.

Ao consentir a minha participação, irei provar um produto feito com amaranto, que é um cereal consumido em alguns países da América Latina.

Fui informado que o objetivo da pesquisa é a elaboração de um produto com alto valor nutricional, e que a minha participação consiste em opinar quanto à aparência, textura e sabor do produto.

Estou ciente que os pesquisadores estarão disponíveis para responder a quaisquer dúvidas sobre a pesquisa. Fui informado que esta pesquisa não envolve riscos à minha saúde, que posso retirar a qualquer momento o meu consentimento e que tenho a garantia do sigilo acerca da minha participação.

São Paulo, ____ de _____ de 2006

Pesquisadores:

Karina Dantas Coelho

kdantas@usp.br

3066-7765

Prof. Dr. José Alfredo Gomes Arêas

jagareas@usp.br

APÊNDICE II: FICHA PARA AVALIAÇÃO SENSORIAL

Nome: _____ Idade: _____

Prove as seguintes amostras e avalie cada uma delas usando a escala abaixo para descrever o quanto você gostou ou desgostou das seguintes características dos produtos.

Código	Aparência	Textura	Sabor	Geral

1. Desgostei muitíssimo
2. Desgostei muito
3. Desgostei regularmente
4. Desgostei ligeiramente
5. Indiferente
6. Gostei ligeiramente
7. Gostei regularmente
8. Gostei muito
9. Gostei muitíssimo

Comentários (opcional): _____

Qual das amostras você prefere? _____

**ANEXO: PARECERES FAVORÁVEIS DOS
COMITÊS DE ÉTICA EM PESQUISA DA FSP E
DA FCF**

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Faculdade de Ciências Farmacêuticas
Comitê de Ética em Pesquisa - CEP

Ofício CEP nº 077/2005

São Paulo, 07 de junho de 2005.

Ilmo(a). Sr(a).
Karina Dantas Coelho

Vimos informar que o Comitê de Ética em Pesquisa da FCF/USP, em reunião realizada em 23 de maio de 2005, **APROVOU** o projeto "Avaliação da aceitação de produto funcional a base de Amarantho (*Amaranthus cruentus* L.)" (Protocolo nº 300) apresentado por Vossa Senhoria.

Lembramos que após a execução de 50% do cronograma do projeto, deverá ser apresentado um relatório parcial, de acordo com o Artigo 18 – item C, da Portaria FCF-111/97.

Atenciosamente,

Prof.ª. Dr.ª. Valentina Porta
Coordenadora do Comitê de Ética
em Pesquisa da FCF/USP

Orientador: Prof. José Alfredo Gomes Áreas
PRONUT

Universidade de São Paulo
Faculdade de Saúde Pública
COMITÊ DE ÉTICA – COEP

Av. Dr. Arnaldo, 715 – CEP 01246-904 – São Paulo – Brasil
Telefones: (55-11) 3066- 7779 – fone/fax (55-11) 3064 -7314 – e-mail: mdgracas@usp.br

Of.COEP/138/04

02 de setembro de 2004

Pelo presente, informo que o Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo-COEP, **analisou e aprovou**, de acordo com os requisitos da Resolução CNS/196/96, o Protocolo de Pesquisa n.º 1148, intitulado: “AVALIAÇÃO DA ACEITAÇÃO DE PRODUTO FUNCIONAL A BASE DE AMARANTO (*Amaranthus Cruentus L.*)”, apresentado pela pesquisadora Karina Dantas Coelho.

Atenciosamente,

Eunice Aparecida Bianchi Galati
Professora Doutora
Coordenadora do Comitê de Ética em Pesquisa da FSP-COEP