

Universidade de São Paulo
Faculdade de Saúde Pública

Obtenção e caracterização nutricional de *snacks*
de milho (*Zea mays* L.) e linhaça (*Linum*
***usitatissimum* L.)**

Aurea Juliana Bombo

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Saúde Pública para obtenção do
grau de Mestre em Saúde Pública

Área de Concentração: Nutrição
Orientador: Prof. Dr. José Alfredo
Gomes Arêas

São Paulo
2006

Universidade de São Paulo
Faculdade de Saúde Pública

Obtenção e caracterização nutricional de *snacks*
de milho (*Zea mays* L.) e linhaça (*Linum*
***usitatissimum* L.)**

Aurea Juliana Bombo

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Saúde Pública para obtenção do
grau de Mestre em Saúde Pública

Área de Concentração: Nutrição
Orientador: Prof. Dr. José Alfredo
Gomes Arêas

São Paulo
2006

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

DEDICATÓRIA

***Amor de
Mãe
É a você que dedico este trabalho e agradeço ao
Longo apoio e
Incondicional dedicação
Aqui está, muito obrigada!***

***"Cada dificuldade encerra uma vantagem;
cada problema oculta uma solução"***

Autor desconhecido

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. José Alfredo Gomes Arêas, pela oportunidade, crédito, apoio e bons exemplos, ficam aqui, dessa forma, meu reconhecimento e admiração a um professor com intelecto bem além dos limites convencionais que conheço, garra e perseverança em suas causas: além da ciência de qualidade uma delas, por sinal, são seus alunos.

À Profa. Dra. Deborah Helena Markowicz Bastos pelo apoio constante, sugestões valiosas, compreensão, paciência e pronta disponibilidade para a solução de dúvidas durante todo o trabalho.

À Profa. Dra. Inar Alves de Castro pelas sugestões e inúmeras correções que muito enriqueceram esta pesquisa.

À Profa. Dra. Lea Sílvia Sant'Ana: esse momento não existiria sem você... Faltam palavras para expressar minha gratidão à pesquisadora, orientadora (sempre!), professora, amiga. Inesquecível o apoio, incentivo, aprendizado proporcionado e preparo para chegar até aqui. Divido minha alegria por essa concretização contigo!

À Profa. Dra. Maria Elizabeth Machado Pinto e Silva, pelo apoio e ajuda na realização e avaliação dos resultados da análise sensorial, também, pela consideração e leitura do trabalho.

À minha família, pela compreensão e apoio em todos os momentos.

À Flavio Trevisan, amigo, companheiro, profissional, namorado e futuro marido, nessa ocasião, nessa ordem, por dividir e apoiar inúmeras e diversas situações não com perguntas mas sim com muitas palavras de encorajamento, incentivo, respeito e doação.

Às pessoas que constituem meu melhor exemplo de equipe de trabalho (e que funciona na prática), as quais foram imprescindíveis para a concretização desta pesquisa: Ana Carolina Conti e Silva, Ana Carolina Moron Gagliardi, Ana Cristina

Amgarten Tiengo, Andréa Carvalheiro Guerra Matias, Fernanda Granado, José Pereira Silva Filho, Karina Dantas Coelho, Karoline de Macedo Gonçalves Frota, Lillian Carolina Martins de Assis, Maria Clara de Moraes Prata Gaspar, Renée Leão Simbalista, Rosana Ap. Manólio Soares, Simone Mendonça, Suzana Cristina de Toledo Camacho Lima, Thaís de Campos Cardenas, Vanessa Dias Capriles, Vítor Modesto Rosa: obrigada pelos alegres momentos (foram muitos), pela sempre presente ajuda, pelo senso crítico e aguçado em fazer bons trabalhos, pelo carinho e apoio em momentos bons e difíceis, já falei e repito aqui que nem uma outra dissertação com muitas páginas só de agradecimento seria suficiente para expressar o carinho e gratidão que tenho por vocês!

Às amigas Carol Conti, Andrea, Simone, Rosana, Vanessa: paciência, apoio, crédito, companheirismo, além de considerarem tudo que já foi dito vocês merecem ainda um obrigada adicional!

À amiga Karina... PRA você tem uma mensagem: *"A amizade não se busca, não se sonha, não se deseja; ela exerce-se, é uma virtude"*, não dá pra pontuar todas as razões do muito obrigada, você sabe que esses anos não cabem no papel!

À amiga Lillian Marques Pino, pela ajuda e companhia alegres, sempre.

Aos funcionários do departamento de Nutrição: Alessandra, Zé Bezerra, Roseli, Regilene, pela simpatia e pronto-socorro imediato.

Ao Sr, Helder Mendonça da empresa Givaudan, e à Joceleme Fossile, da empresa Duas Rodas, pela disponibilização dos aromas.

Ao Sr. Renato da empresa Indústria de Óleos Vegetais Pазze, pela disponibilização de linhaça para os pré-testes.

À Fundação de amparo à pesquisa do estado de São Paulo - FAPESP, pela bolsa de estudos concedida.

RESUMO

O processo de cozimento por extrusão é uma técnica de grande importância para a indústria de alimentos, empregada na produção de *snacks*, cereais matinais, proteínas texturizadas, etc. Os *snacks* ou salgadinhos com base de milho são designados como alimentos desprovidos de valor nutricional, mas constituem-se hábito de consumo da população, sendo assim, melhorar a qualidade de tais produtos é uma importante medida de Saúde Pública. O presente trabalho teve por objetivo desenvolver um processo para obter um *snack* de milho com adição de linhaça e maior valor nutricional que tenha potencial para intervenções nutricionais em grupo populacional específico ou para consumo geral.

A partir de ensaios prévios foram delineados dois planejamentos compostos centrais (D1 e D2), com 3 variáveis independentes: umidade (U), temperatura do equipamento (T) e adição de linhaça (L). As variáveis-resposta foram razão de expansão (RE) e força para cisalhamento (FC) por estarem diretamente correlacionadas com a aceitabilidade do produto. A regressão para o modelo quadrático do D1 apresentou R^2 (%) de 89 (RE) e 84,4 (FC), mas houve falta de ajuste do modelo ($p < 0,05$). Já para o D2 o R^2 foi 84 (RE) e 70 (FC), o modelo não apresentou falta de ajuste e a regressão foi significativa ($p < 0,05$) somente para RE. Foram significativos os efeitos lineares U e T, quadrático U e interação UT, independentemente de L. Calculando-se as derivadas do modelo preditivo foi encontrado ponto ótimo que reproduziu a expansão máxima. O *snack* ótimo (30% L) apresentou composição (base seca): 14,7% proteína, 0,2% lipídeos, 1,7% cinzas, 4,9% fibras solúveis e 10,3% fibras insolúveis. Na análise sensorial o atributo cor foi rejeitado e sabor, textura e aparência geral foram aceitos. Comparado aos *snacks* de milho convencionais, que contêm menos de 2% de fibras, a adição de linhaça permitiu o uso do atributo "alto teor de fibras", segundo a legislação brasileira, além da maior quantidade protéica obtida.

O presente trabalho está submetido à patente intitulada: Farinha para fabricação de gêneros alimentícios, solução aromatizante livre de gordura vegetal hidrogenada para fabricação de gêneros alimentícios, biscoito tipo "snack" light e de elevado valor nutritivo, e processo para a fabricação do mesmo. 2005. Patente: Privilégio de Inovação nº 0502694-6.

ABSTRACT

Extrusion cooking is a very important process for the food industry, used to manufacture a series of products as expanded snack foods, breakfast cereals, texturized proteins, etc. Corn snacks are nick-named as “junked foods” or are being considered foods with calories and no nutrients. Nevertheless they are largely consumed by the population, and this consumption has grown considerably in the past years, because of that, to improve nutritional value of those products will have a significative impact in population health. The aim of this work was to develop a process to obtain a corn based snack added of flaxseed with high nutritive quality that could be useful in nutritional programs.

After initial experiments, 2 central composite designs (D1 and D2) were modeled, with 3 independent variables: moisture, temperature and flaxseed addition. The dependent (response) variables were: expansion ratio (ER) and shear strength (SS) because they are highly correlated with acceptability. The regression analysis for the quadratic model showed: D1: $R^2 = 89\%$ (ER) and 84% (SS), but the model showed lack of fit; D2: $R^2 = 84\%$ (ER) and 70% (SS), the model didn't show lack of fit and the regression was statistically significant only for ER ($p < 0.05$). The results indicated that linear effects of both moisture and temperature, second order effect of temperature and interaction between moisture and temperature were significant. Flaxseed addition wasn't significant. The derivatives of ER indicated an optimum point that reproduced maximum expansion. The optimum snack (30% flaxseed) has the composition (d.s.b.): 14.7% protein, 0.2% lipids, 1.7% ash, 4.9% soluble fiber and 10.3% insoluble fiber. The sensorial analysis revealed that color was rejected and flavor, texture and general aspect were accepted. Comparing to the traditional corn snacks that have less than 2% of fiber, the corn based flax snack besides the increment in protein can be named “high content of fiber” according to the Brazilian legislation.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	12
2. REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1. EXTRUSÃO TERMOPLÁSTICA	15
2.1.1. Mudanças físico-químicas e nutricionais	18
2.1.2. Melhora da qualidade nutricional	22
2.2. METODOLOGIA DE SUPERFÍCIE DE RESPOSTA	23
2.3. LINHAÇA	25
2.3.1. Lignanas	27
2.4. MILHO	28
2.5. FIBRA ALIMENTAR	29
3. OBJETIVOS	35
4. METODOLOGIA	36
4.1. MATERIAIS	36
4.2. MÉTODOS	36
4.2.1. Extrusão do material	36
4.2.2. Metodologia de Superfície de Reposta	38
4.2.3. Avaliação mecânica dos extrusados	39
4.2.4. Análises físico-químicas	40
4.2.2. Aromatização	42
4.2.5. Análise sensorial	43
4.2.6. Análises estatísticas	43
4.2.7. Aspectos éticos	44
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
5.1. TESTES PRELIMINARES E CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA ..	45
5.2. MODELAGEM DA EXTRUSÃO DO MILHO E DA LINHAÇA	47
5.3. ANÁLISES QUÍMICAS NOS SNACKS DE MILHO E LINHAÇA	62
5.3.1. Composição centesimal	62
5.3.2. Perfil de aminoácidos	70
5.3.3. Vitaminas A e E	74
5.4. ANÁLISE SENSORIAL	75
6. CONCLUSÕES	80
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição centesimal (% em base seca) da torta de linhaça	45
Tabela 2. Regressão múltipla para ajuste do modelo quadrático aos dados de RE de acordo com o quadro 1 (D1L)	49
Tabela 3. Regressão múltipla para ajuste do modelo quadrático aos dados de FC de acordo com o quadro 1 (D1L)	49
Tabela 4. Análise da variância para RE (D1L)	50
Tabela 5. Análise da variância para FC (D1L)	50
Tabela 6. Regressão múltipla para ajuste do modelo quadrático aos dados de RE de acordo com o quadro 2 (D2L)	54
Tabela 7. Regressão múltipla para ajuste do modelo quadrático aos dados de FC de acordo com o quadro 2 (D2L)	54
Tabela 8. Análise da variância para RE (D2L)	55
Tabela 9. Análise da variância para FC (D2L)	55
Tabela 10. Composição centesimal (% em base seca) da farinha antes da extrusão e dos <i>snacks</i> de milho e linhaça	63
Tabela 11. Informação nutricional do biscoito tipo <i>snack</i> à base de milho e linhaça aromatizado com solução aromatizante livre de gordura vegetal hidrogenada	64
Tabela 12. Composição de aminoácidos (em mg/ 100g de alimento) na torta de linhaça, farinha de milho e linhaça antes da extrusão, nos <i>snacks</i> de milho e linhaça, e valor de referência para <i>snacks</i> de milho sabor churrasco	72
Tabela 13. Composição de aminoácidos (mg/g de proteína) na farinha de milho e linhaça antes da extrusão, nos <i>snacks</i> de milho e linhaça, escore químico dos <i>snacks</i> e recomendações de aminoácidos essenciais para crianças pré-escolares da FAO/WHO (1991)	73
Tabela 14. Valores de alfa-tocoferol (mg/100g) e beta-caroteno (mg/100g) em sementes de linhaça, na farinha de milho e linhaça antes da extrusão e nos salgadinhos de milho e linhaça	75
Tabela 15. Representação dos valores médios de aceitação para textura, cor, sabor e aparência geral obtidos durante análise sensorial	76

1. INTRODUÇÃO

Na década passada, fenômenos como industrialização, urbanização, desenvolvimento econômico e globalização de mercado se intensificaram, acarretando mudanças rápidas nas dietas e estilos de vida, o que resultou em aumento de prevalência das doenças crônicas não-transmissíveis (DNT): obesidade, doenças cardiovasculares, diabetes, câncer (WHO/FAO, 2003; FAO, 2005). Agrava esse quadro o fato que durante muito tempo, no desenvolvimento tecnológico de alimentos, a atenção era centralizada na redução do custo de produção e aceitabilidade sem a preocupação com a qualidade nutricional. Isso gerou uma série de produtos que se tornaram sucessos comerciais, mas que são desequilibrados nutricionalmente (ARÊAS, 1992; ARÊAS, 1996; POLTRONIERI, et al., 2000; HERNANDEZ, 2002).

Constituem-se em um bom exemplo os *snacks*, salgadinhos extrusados expandidos. No geral, tais produtos possuem como base o milho, devido ao seu baixo custo e grande capacidade de expansão em diferentes condições de processamento (HARPER, 1981b). Entretanto, sua proteína é de baixa qualidade, apresentando deficiência em aminoácidos essenciais como a lisina e o triptofano (AGUILERA e KOSIKOWSKI, 1978; CARDOSO-SANTIAGO, 2002). Além disso, este produto possui elevado teor de gordura saturada e ácidos graxos *trans* provenientes de gordura vegetal hidrogenada comumente empregada como veículo no processo de aromatização industrial (TAVELLA et al., 1997; CAPRILES e ARÊAS, 2005).

Sendo assim, *snacks* de milho são freqüentemente mencionados como alimentos desprovidos de qualidade nutricional, recebendo a designação de "calorias vazias". Contudo, a grande quantidade ingerida desse cereal na forma de

snacks, permite extrapolar que o seu consumo pode ser considerado uma importante fonte de proteínas e energia, sendo parte da dieta de muitos indivíduos (ALMEIDA-DOMINGUEZ et al., 1990; ONWULATA et al., 2001; CARDOSO-SANTIAGO, 2002; CHRISTOFIDES et al., 2004). No Brasil, o consumo de *snacks* cresceu quase 100% entre 1990 a 1995, de acordo com dados da Associação Brasileira das Indústrias de Alimentos (ABIA) (POLTRONIERI et al., 2000).

Atualmente, com o aumento da expectativa de vida e a grande cobertura da mídia pelas questões da saúde, os consumidores estão mais interessados nos benefícios potenciais da nutrição para o controle e prevenção das doenças (ARABBI, 2001), e passaram a exigir além de sabor agradável e praticidade, alto valor nutritivo e outros benefícios à saúde em alimentos industrializados (AHMED, 1999).

Os alimentos funcionais constituem um segmento de crescimento rápido na indústria alimentícia, num mercado estimado entre 6 e 60 bilhões de dólares (ARABBI, 2001). Incorporar ingredientes alimentares nutritivos e funcionais em formulações com cereais, por sua vez, mostra-se uma alternativa eficaz para os produtores de alimentos, devido à facilidade para produção, preferência para carboidratos complexos em nossa dieta e grande volume de vendas (AHMED, 1999). Já é observado crescimento na demanda para produtos tipo *snacks* com aromatizantes naturais (CHRISTOFIDES et al., 2004).

Neste cenário, a linhaça é uma semente com grande potencial para a nutrição humana: além de ser uma das mais ricas fontes de ácido - linolênico e de lignanas, ela também possui proteína de alta qualidade e fibras. A demonstração da atividade clínica associada ao seu consumo conduziu o Instituto Nacional do Câncer dos Estados Unidos (NCI) a classificá-la como um dos seis

vegetais para estudo como alimento que reduz o risco de desenvolvimento de câncer (OOMAH, 2001).

Melhorar a qualidade nutricional dos produtos que são hábito de consumo da população é uma importante medida de Saúde Pública (CAPRILES, AREAS, 2005). Assim, o desenvolvimento de *snacks* de milho de melhor valor nutritivo passa a ser uma proposta para melhorar a qualidade desse tipo de produto que representa hábito de consumo, com a possibilidade de veicular nutrientes dos quais a população apresenta deficiência (CARDOSO-SANTIAGO, 2002). Propõe-se então o desenvolvimento de um *snack* à base de milho e linhaça e também verificar se durante o processo de extrusão há perdas dos compostos com qualidade nutricional reconhecida e presentes nesta semente.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. EXTRUSÃO TERMOPLÁSTICA

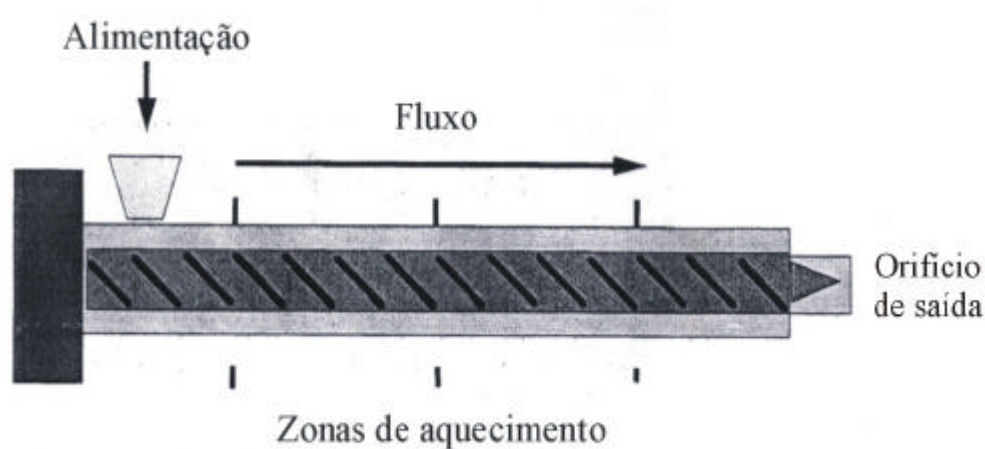
A extrusão para indústria de alimentos teve início em meados do ano de 1930, com um extrusor de rosca dupla adaptado e a produção de massas alimentícias, mas um grande desenvolvimento ocorreu a partir de 1946 quando a Adams Company iniciou a produção de cereais matinais (HARPER, 1981a; ARÊAS, 1992). A partir de 1968, com a utilização da extrusão para a texturização de proteínas vegetais essa tecnologia experimentou novo impulso, colocando-se entre as mais importantes para a indústria de alimentos (ARÊAS, 1996; CARDOSO-SANTIAGO, 2002).

O processo de extrusão foi desenvolvido inicialmente na indústria de materiais plásticos e muitos aspectos, desde a teoria de funcionamento até a configuração da máquina, foram desenvolvidos com esse tipo de material (FAUBION et al., 1982). Sendo assim, extrusão termoplástica é a operação que consiste em modelar um material plástico, forçando-o através de uma matriz. A terminologia termoplástica caracteriza um material capaz de fundir quando aquecido e solidificar novamente quando resfriado (GONÇALVES, 2001).

Como a temperatura atinge até 200°C e o tempo de residência do material é curto (10 a 60 segundos) a extrusão é denominada um processo “High Temperature - Short Time” (HTST) (HARPER, 1988). O aquecimento rápido do alimento a altas temperaturas melhora a digestibilidade e minimiza efeitos prejudiciais, tais como o escurecimento e a produção de sabores e aromas indesejáveis (GONÇALVES, 2001).

O trajeto da farinha a ser extrusada é iniciado em um pré-condicionador, onde pode ser tratada com água e/ou vapor para elevar a umidade até o nível desejado e, posteriormente, conduzida para a seção de alimentação da rosca (figura 1) (HARPER, 1981a).

Figura 1. Esquema ilustrado de um extrusor.



Fonte: (CAMIRE e BELBEZ, 1996; ADAPTADO)

O extrusor consiste basicamente em uma ou duas roscas giratórias firmemente encaixados dentro de um cilindro (figura 1), a (s) qual (is), ao girar, empurra (m) o alimento na direção de uma matriz, comprimindo-o contra as paredes do cilindro, exercendo sobre ele um trabalho de cisalhamento e transformando-o em uma massa uniforme com propriedades viscosas. O alimento absorve calor por dissipação mecânica aplicada à rosca, por aquecimento elétrico ou por camisa de vapor ao redor do cilindro (HARPER, 1981a; FAUBION et al., 1982; HARPER, 1988; ARÊAS, 1996).

Durante a passagem pela extensão da rosca ocorre o cozimento da matéria-prima, transformação que envolve o rompimento e gelatinização dos grânulos de amido, desnaturação e reorientação das moléculas de proteína, e

inúmeras outras reações que podem mudar as propriedades nutricionais, funcionais e organolépticas do produto final (CHEFTEL, 1986; HARPER, 1988; CAMIRE et al., 1990).

Nessa etapa o alimento é trabalhado em alta temperatura (120-200°C) e pressão (acima de 25 mPa) (proporcionada pela geometria do parafuso e pela resistência ao fluxo dada pela matriz) e curto espaço de tempo (1 a 2 minutos), sendo que não há evaporação da água dentro do extrusor devido à alta pressão desenvolvida. Em muitos casos essa operação ocorre em níveis baixos de umidade, menor que 30% (para materiais com predominância amilácea); para materiais exclusivamente protéicos, como carnes, a extrusão é conduzida sob teores de umidade mais altos, de 40 a 80%. Quando a massa passa através da matriz, pela diferença entre a pressão ambiente e a pressão do canhão a água superaquecida evapora instantaneamente, provocando a expansão do produto, o resfriamento do material e a formação de uma rede supramolecular constituída pelos biopolímeros presentes orientados na direção do fluxo, criando a estrutura que confere ao produto textura característica (FAUBION et al., 1982; CHEFTEL, 1986; HARPER, 1988; ARÉAS, 1996; CARDOSO-SANTIAGO, 2002).

A rápida aceitação da extrusão como um importante método de processamento de alimentos resulta de suas vantagens, entre elas: alta produtividade, alta qualidade dos produtos (com o emprego de alta temperatura e tempo curto a degradação de nutrientes é reduzida e a inibição de fatores antinutricionais é eficiente), proteção ambiental (não produz resíduos e não gera problemas de poluição do meio ambiente) e baixo custo (HARPER, 1981a; CONTI, e ARÉAS, 2001); seus principais produtos são *snacks*, cereais matinais, massas alimentícias, proteínas texturizadas, análogos de carne, farinhas pré-

gelatinizadas, massas pré-cozidas e rações animais (HARPER, 1981a; GONÇALVES, 2001).

Uma das características mais importantes do processo de extrusão é a sua versatilidade, pois, a princípio, qualquer matéria-prima pode ser extrusada, mudando-se parâmetros e condições operacionais de uma máquina somente. Todavia, na prática, faz-se necessário o uso de materiais que tenham a capacidade de se solidificar ao sair da extrusora, mantendo a estrutura desejada. Ingredientes variados, como cereais, leguminosas e subprodutos animais, resultam em produtos com características físico-químicas e texturais diferentes. O processo de extrusão apresenta a desvantagem de, eventualmente, ocasionar alterações em sabor e cor não desejados em alguns produtos submetidos ao processo. Entretanto, na maioria das vezes as alterações de sabor e cor introduzidas pelo processamento aumentam a aceitabilidade dos produtos obtidos (MATSON, 1982; CHEFTEL, 1986; CAMIRE et al., 1990; ARÊAS, 1992; CARDOSO-SANTIAGO, 2002).

2.1.1. Mudanças físico-químicas e nutricionais

As mudanças físicas resultantes do processamento são determinantes para a aceitabilidade do produto final, e, para *snacks* são características importantes: expansão, dureza, crocância e densidade. É esperada uma estrutura expandida na maioria dos *snacks* o que pode ser medido e quantificado por vários métodos (CHRISTOFIDES et al., 2004).

A formação de produtos expandidos com forma e textura desejáveis depende de inúmeros fatores. Os mais importantes são a gelatinização adequada do amido e o desenvolvimento de zonas de alta pressão próximas à matriz, para

causar rápida evaporação da água e formação de uma estrutura celular forte (CAMIRE et al., 1990).

É freqüentemente observado que o conteúdo de amilose e amilopectina exerce efeito significativo na expansão da massa, sendo que altos teores de amilopectina proporcionam melhor expansão, em contrapartida, valores altos de amilose são prejudiciais (MERCIER e FEILLET, 1975; CAMIRE et al., 1990).

O teor de umidade do material que será extrusado afeta significativamente a expansão e foi considerada a variável mais importante do processo, em produtos amiláceos quanto menor a umidade, maior a expansão (MERCIER e FEILET, 1975; GOMEZ e AGUILERA, 1984; CHEN et al., 1991; ARÊAS, 1996).

2.1.1.1. Amido

A aplicação de calor úmido em grãos de cereais e tubérculos induz modificações físico-químicas nos grânulos de amido que levam a: mudanças reológicas e texturais e aumento da digestibilidade e disponibilidade como fonte de energia (CHEFTEL, 1986; CAMIRE et al., 1990).

A extrusão, dependendo das condições de processamento e das misturas entre os ingredientes alimentares, causa intumescimento e ruptura dos grânulos de amido, solubilidade em água fria, viscosidade reduzida e liberação parcial ou completa da amilose e da amilopectina. Embora seja difícil conhecer precisamente as várias combinações de temperatura, umidade, cisalhamento e tempo de residência os quais trazem diferentes graus de gelatinização de amido em diferentes misturas de alimentos, a gelatinização completa do amido é geralmente adquirida em temperaturas maiores ou iguais a 120°C, percentual de

umidade de 20 a 30% ou mesmo em umidades mais baixas (10-20%) sob alto cisalhamento e temperatura alcançadas durante extrusão. Tais condições do processamento também permitem a hidrólise da amilose e amilopectina em maltodextrinas (HARPER 1981a; CHEFTEL, 1986; HARPER, 1988; CAMIRE et al., 1990).

Várias pesquisas foram desenvolvidas para entender as mudanças ocorridas no amido durante o cozimento por extrusão, entre elas:

MERCIER e FEILLET (1975), utilizando como matéria-prima amidos de cereais como milho, trigo, arroz e semolina de milho concluíram que após o processo de extrusão o amido foi solubilizado sem nenhuma formação de maltodextrina. Também, a quantidade de amido solúvel em água depende da temperatura de extrusão (relação direta), do conteúdo de umidade do amido antes do processo (relação inversa) e da proporção amilose/amilopectina. Com incremento de amilose, decresce a quantidade de amido solúvel.

Utilizando *grits* de milho, GOMEZ e AGUILERA (1983) verificaram aumento da dextrinização com a diminuição da umidade do material. Os mesmos autores em 1984 apresentaram um esquema sobre a degradação do amido, expressando que o estado de degradação é contínuo, na seqüência: cru - gelatinizado - dextrinizado. Em umidades abaixo de 20% o termo que melhor descreve o estado do amido após extrusão é "dextrinizado". O termo "gelatinizado" pode ser aplicado quando o teor de umidade do material extrusado está entre 28 e 29%.

2.1.1.2. Proteína

A principal mudança físico-química que ocorre com a proteína durante a extrusão é a melhora da digestibilidade devido à desnaturação, pela aplicação de

calor úmido e cisalhamento, e a inativação de inibidores de enzimas. São fatores que interferem na digestibilidade da proteína durante a extrusão: aumento da temperatura, aplicação de calor anterior ao processamento, origem da proteína (proteínas animais apresentam maior digestibilidade que as vegetais), velocidade de rotação da rosca (com aumento da velocidade o cisalhamento é maior, o que favorece a desnaturação) (CAMIRE et al., 1990).

A principal mudança química é a ocorrência da reação de Maillard acarretando diminuição da disponibilidade de lisina, mas essa perda é observada somente quando cereais são submetidos a condições severas de temperatura (maior que 180°C) ou forças de cisalhamento (maiores que 100 rpm) sob baixos teores de umidade (% de umidade menor ou igual a 15), especialmente na presença de açúcares redutores (CHEFTEL, 1986).

A natureza da proteína a ser extrusada também influencia a extensão da perda de lisina. Quantitativamente, mais lisina é perdida quando a proteína é de origem animal, entretanto, como a lisina é o aminoácido limitante em cereais, sua perda apresenta grande significância (CAMIRE et al., 1990).

2.1.1.3. Lipídeo

Altas taxas de lipídeos prejudicam a expansão, contudo, a maioria dos cereais contém menos de 7% imediatamente após a extrusão. Todavia, lipídeo presente em pequenas quantidades (até 5%) facilita a extrusão e melhora a textura. O valor nutricional dos lipídeos pode ser afetado durante a extrusão como um resultado de oxidação, hidrogenação, isomerização ou polimerização. Foi observado que a formação de isômeros trans ocorreu em taxas muito baixas, não

mostrando importância nutricional (CHEFTEL, 1986; HARPER, 1988; CAMIRE et al., 1990).

É possível a inativação de enzimas hidrolíticas com o processo de extrusão. Altas temperaturas reduzem a atividades das lipases e o nível de umidade, diminuindo, portanto, os fatores que propiciam a formação de ácidos graxos livres, mas a textura porosa dos alimentos expandidos favorece a oxidação (CHEFTEL, 1986; CAMIRE et al., 1990).

2.1.2. Melhora da qualidade nutricional

A indústria de alimentos tem desenvolvido por vários processos produtos com atributos nutricionais adicionais. Entre as técnicas, a extrusão tem sido amplamente utilizada devido a sua simplicidade e baixo custo e tem contribuído para agregar valor a produtos como tecidos descartados (pulmão bovino) e grãos não convencionais: amaranto (*Amaranthus caudatus* L.) e grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.). Geralmente, esses gêneros alimentícios apresentam desvantagens sensoriais, mas, por extrusão, podem ser incorporados à nutrição humana (CARDOSO-SANTIAGO et al., 2001; CARDOSO-SANTIAGO, ARÊAS, 2001; CHÁVEZ-JÁUREGUI et al., 2000).

A partir da extrusão do pulmão bovino misturado com grão de bico e/ou milho obtiveram-se salgadinhos com qualidade nutricional superior aos convencionais em termos de ferro e proteína. Uma porção de 30g do *snack* assim produzido, oferecida três vezes por semana, supriu 30% das recomendações diárias de ferro para crianças. Estudo de intervenção realizado em creches de uma região carente de Teresina, Piauí, revelou que o uso dos *snacks* extinguiu quase completamente a prevalência de anemia inicialmente observada e melhorou os

índices antropométricos em relação a uma creche controle (CARDOSO-SANTIAGO et al., 2001; MOREIRA- ARAÚJO et al., 2002).

AHMED (1999) avaliou a qualidade físico-química, estrutural e sensorial de um *snack* a base de milho e semente de linhaça, misturada nas proporções de 5, 10 e 20%. Os conteúdos de fibra, lipídeo e proteína aumentaram nos extrusados devido à adição das sementes. A avaliação sensorial com 15 membros mostrou que as notas diminuíram proporcionalmente ao aumento da concentração de linhaça, mas mantiveram-se aceitáveis pelos avaliadores; o autor conclui que uma otimização nas condições de extrusão melhoraria a aceitabilidade do produto, e ressalta a necessidade de avaliação nutricional do alimento.

2.2. METODOLOGIA DE SUPERFÍCIE DE RESPOSTA

Dentre os métodos empregados para planejamentos experimentais, a Metodologia de Superfície de Resposta (MSR) é uma ferramenta de grande valia para pesquisadores devido a sua capacidade de determinar condições de respostas ótimas para um sistema. Introduzida por G.E.P. BOX na década de 50, a MSR é um processo para otimização que consiste de uma combinação de técnicas estatísticas que permitem a construção de modelos empíricos para a verificação de um conjunto de variáveis independentes numa ou mais variáveis dependentes. 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, empregando um número mínimo de experimentos (CARDOSO-SANTIAGO, 2002; BARROS NETO et al., 2003).

Os atributos sensoriais dos extrusados dependem de um grande número de variáveis relacionadas à máquina e ao material. As interações entre essas variáveis são tão complexas que diferenciar a influência entre cada uma delas na

mudança das características do produto final é quase impossível. Devido à maioria dos processos comerciais de extrusão ser baseada em observações empíricas a necessidade de uma pesquisa sistemática das relações entre parâmetros de extrusão, composição do material e propriedades dos extrusados é essencial (CHEFTEL, 1986; CHEN et al., 1991).

Normalmente são tratadas como variáveis independentes na extrusão de um alimento todas aquelas que podem ser manipuladas durante o processamento, tais como: umidade do material, temperatura do processamento, velocidade de rotação da rosca, velocidade de alimentação da extrusora, taxa de compressão e relação comprimento/diâmetro da rosca e diâmetro do orifício de saída. As variáveis dependentes são aquelas verificadas no produto e que podem ser mensuradas sendo, em produtos extrusados, as mais comuns: razão de expansão da amostra, força de cisalhamento total, elasticidade, coesividade, dureza, aceitabilidade, entre outros (HARPER, 1981a; MENDONÇA, 1997; CARDOSO-SANTIAGO, 2002).

A MSR consiste das etapas de modelagem e deslocamento, que são repetidas tantas vezes quantas forem necessárias, com o objetivo de atingir uma região ótima da superfície investigada. A modelagem normalmente é feita ajustando-se modelos simples (em geral, lineares ou quadráticos) à respostas obtidas com planejamentos fatoriais ampliados. 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 pronunciada (BARROS-NETO et al., 2003).

Matematicamente tem-se a função linear $y=f(x)$ caracterizada por $y = \beta_0 + \beta_1x$, onde: y é a variável dependente, isto é, a resposta; x é a variável independente ou preditora; f é a função que descreve o relacionamento funcional

entre y e x ; β_0 e β_1 são os parâmetros do modelo matemático, para o qual valores numéricos descrevem uma função linear na qual a reta correspondente é um lugar geométrico exato que satisfaz a lei de formação. Do ponto de vista estatístico a função que descreve a relação entre y e x é acrescida de um erro aleatório (BARROS-NETO et al., 2003; RODRIGUES e IEMMA, 2005).

Na extrusão de materiais amiláceos o uso da MSR tem mostrado elevado potencial e tecnologia relativamente simples apesar de exigir um controle sistemático das variáveis estudadas. Tal fato se deve à complexidade na composição das matérias-primas, assim como no grande número de variáveis envolvidas (CARDOSO-SANTIAGO, 2002).

O teor de umidade do material que será extrusado afeta significativamente a expansão e a força de quebra dos extrusados e é considerada a variável mais importante do processo (CHEN et al., 1991; MENDONÇA, 1997).

2.3. LINHAÇA

A linhaça é uma semente oleaginosa, proveniente da planta linho (*Linum usitatissimum* L.). O maior produtor e exportador mundial é o Canadá, que detém cerca de 40% da produção mundial (OOMAH, 2001). A maior porcentagem do cultivo comercial não é destinada para alimentação; a demanda mundial para a linhaça é dominada pelos usos industriais do óleo, amplamente utilizado na pintura (OOMAH, MAZZA, 1993; DAVIDSON, 1999; OOMAH, 2001).

No Brasil, o principal cultivo de linhaça é mantido em Guarani das Missões (RS). Lavouras de linho já foram cultivadas no Brasil para a extração de fibras para uso têxtil (linho), chegando a ocupar, na década de 60, uma área de 50 mil hectares. Hoje, porém, a área cultivada não passa de 650 hectares, e tem como finalidade as sementes e não mais as fibras atualmente importadas (ANÔNIMO).

O consumo da linhaça em várias formas como um ingrediente alimentar e por suas propriedades medicinais acontece há cerca de 5000 anos (OOMAH, 2001). Na atualidade, a linhaça é amplamente investigada e classificada como alimento funcional, principal fonte vegetal de ácido graxo α -linolênico - ômega-3 (52% do total de ácidos graxos) e de compostos fenólicos conhecidos como lignanas (PAYNE, 2000; OOMAH, 2001; RAFTER, 2002; SIMBALISTA et al., 2003); é também uma rica fonte de fibras alimentares com boa proporção entre solúvel (auxilia na diminuição do colesterol sanguíneo) e insolúvel (apresenta efeito laxativo) (AHMED, 1999; PAYNE, 2000).

As sementes de linhaça contêm de 22 a 26% de proteína (DAUN et al., 2003; SIMBALISTA et al., 2003); nas variedades mais produzidas no Canadá os valores de proteína estão muito próximos a 36%. A composição de aminoácidos da linhaça é comparável à da soja (ambas apresentam altas taxas de ácido aspártico, glutamina, leucina e arginina) (OOMAH e MAZZA, 1993), caracterizando uma proteína completa (AHMED, 1999), e com efeitos sobre as funções imunológicas do organismo (OOMAH, 2001).

Pelo fato de ser rica em ácidos graxos poliinsaturados, é eficaz na redução do risco de doenças cardiovasculares. Estudos em nutrição humana têm confirmado que as fibras presentes na linhaça exercem efeito hipocolesterolemizante e ajudam a modular a resposta glicêmica (AHMED, 1999; OOMAH, 2001).

Os fatores antinutricionais presentes na linhaça são os glicosídeos cianogênicos (linustatina, neolinustatina e linamarina), mas a dosagem encontrada nas sementes é baixa (OOMAH et al., 1992) e a exposição ao cianeto em resposta a doses de 60g de linhaça (tradicionalmente doses de 10g são as mais empregadas em ensaios clínicos) não são prejudiciais a indivíduos saudáveis. Além disso, o

tratamento térmico em produtos de panificação enriquecidos com linhaça elimina os compostos cianogênicos (CUNNANE et al., 1993; LAMPE et al., 1994), uma vez que são instáveis e sensíveis ao aumento de temperatura.

2.3.1. Lignanas

As lignanas são fitoestrógenos (compostos difenólicos que estruturalmente se assemelham ao estrogênio) de contínuo interesse, devido a suas propriedades anticarcinogênicas, estrogênica e antiestrogênica, antioxidante e de inibição da enzima aromatase (NESBITT et al., 1999; MEAGHER et al., 1999).

São encontradas em muitos cereais e grãos, mas a linhaça é a maior fonte deste fitoestrógeno, pois contém de 75 a 800 vezes mais lignanas que os outros alimentos (PAYNE, 2000; RAFTER, 2002; THOMPSON, 2003).

As lignanas presentes em vegetais, secoisolariciresinol e matairesinol, são convertidas em enterolactona e enterodiol por ação bacteriana no trato intestinal (PAYNE, 2000; RAFTER, 2002; ROWLAND et al., 2003). As lignanas enterolactona e enterodiol foram descobertas inicialmente em 1983, em urina humana (SETCHELL et al., 1983, citado por MEAGHER et al., 1999). O aumento do consumo de linhaça resulta em maior produção e excreção urinária de lignanas, observada em mulheres na pré-menopausa que consumiram dietas enriquecidas com farinha de linhaça (LAMPE et al., 1994) e o mesmo ocorreu com o processamento das sementes, na forma de *muffins* e pães (NESBITT et al., 1999)

Pesquisas têm sugerido benefícios à saúde relacionados à ação das lignanas: diminuição dos sintomas que ocorrem após a menopausa; inibição do crescimento de tumores estimulados por aumento do estrogênio, explicado pelo fato de que as lignanas exercem um efeito antiestrogênico ao se ligarem aos receptores do estrogênio (RAFTER, 2002). Enterolactona e enterodiol inibiram o

crescimento de células de câncer de mama em cerca de 18 a 20% (PAYNE, 2000). As lignanas mostraram reduzir tanto o tamanho de tumor mamário quanto o número de tumores em ratos com carcinogênese induzida (SERRAINO, THOMPSON, 1992; THOMPSON et al., 1996; YAN et al., 1998), mas são ainda necessários dados epidemiológicos para provar a hipótese que as lignanas enterodiol e enterolactona exercem atividades anticarcinogênicas em seres humanos (RAFTER, 2002).

2.4. MILHO

O milho (*Zea mays*, L) é cultivado na maioria dos países, o que o torna o segundo cereal mais importante em termos da produção mundial, sendo superado apenas pelo trigo (CARDOSO-SANTIAGO, 2002). O Brasil ocupou a posição de quarto maior produtor mundial no ano agrícola 04/05 e de maior produtor da América Latina. Estados Unidos, China e União Européia foram os três maiores produtores mundiais. O mercado brasileiro experimentou um aumento de produtividade que não se repetia desde a colheita de 2000, quando iniciaram as exportações de milho e o país deixou de ser importador (AGRIANUAL, 2006).

A transformação do milho em diversos derivados possibilita o uso deste cereal como uma excelente matéria-prima para a indústria de alimentos. Do milho obtêm-se aproximadamente noventa derivados diferentes, entre eles: *grits*, fubá, canjica, óleo, amido, amilose, amilopectina, zeína e fibras. Uma das principais aplicações industriais do milho é o emprego do grão degerminado e moído para a produção de *snacks* e cereais matinais dada a alta capacidade de expansão do milho quando submetido ao processo de extrusão, entretanto sua proteína é de baixa qualidade, pois apresenta como aminoácidos limitantes lisina e triptofano (GONÇALVES, 2001; CARDOSO-SANTIAGO, 2002).

Os *grits* são obtidos por moagem a seco, que consiste em padronização da umidade da matéria-prima e passagem através de um magneto para a remoção de partículas metálicas; posteriormente, partículas leves são retiradas por aspiração e o material é conduzido para uma mesa de gravidade para encerrar a etapa de limpeza. O germe é removido, restando apenas o endosperma que recebe a denominação *grits*, o qual é moído em diferentes granulações de acordo com a finalidade industrial (GONÇALVES, 2001).

2.5. FIBRA ALIMENTAR

O consumo de alimentos de origem vegetal para o tratamento da obstipação intestinal já era usado por Hipócrates, no entanto a fibra, nutriente responsável por esse efeito laxativo, só ganhou expressão nos estudos relacionados à nutrição humana no final do século XX (MENDONÇA, 1997; CARUSO, 1998).

Dietas ricas em fibras alimentares promovem efeitos benéficos para a saúde do homem. As fibras solúveis aumentam o tempo de trânsito intestinal, diminuem a velocidade de esvaziamento gástrico e reduzem a glicemia pós-prandial e o colesterol sérico; são altamente fermentáveis, contribuindo para a produção de ácidos graxos de cadeia curta (fonte de energia para os colonócitos) no intestino grosso. As fibras insolúveis, por outro lado, diminuem o tempo de trânsito intestinal, aumentam o volume fecal e reduzem a absorção de glicose (QIAN e DING, 1996; FAO, 1997; SOUTHGATE, 1992; GREGORIO et al., 2001; DUST et al., 2004).

Estabelecer uma definição para fibra alimentar tem sido, historicamente, um balanço entre conhecimentos de nutrição e capacidade de métodos analíticos. Enquanto as definições baseadas em fisiologia definem com exatidão o componente, cientistas e órgãos reguladores seguem a tendência de confiar que os

procedimentos analíticos atendem à definição com eficácia. O resultado atual é uma série de incongruências entre teoria e prática levando à confusão e complexidade com respeito aos componentes da fibra alimentar (AACC, 2001; DE VRIES e RADER, 2005). Uma variedade de definições para fibra alimentar existe em todo o mundo, e há uma falta de consenso entre vários grupos internacionais e organizações a respeito do assunto (DE VRIES e RADER, 2005).

O termo fibra alimentar foi proposto por HIPSLEY em 1953, com referência a carboidratos e componentes associados na dieta que são resistentes à digestão. Essa terminologia elevou o status deste componente da dieta humana sobre o comumente empregado “fibra bruta” derivado da nutrição animal. Em 1972 TROWELL et al. definiram fibra alimentar como sendo “os componentes da parede celular dos vegetais que resistem à digestão pelas enzimas das secreções digestivas humanas, incluindo a celulose, hemicelulose, pectina e lignina”. Em 1976 os autores modificaram essa definição incluindo componentes não digeríveis que não fazem parte da parede celular: gomas, mucilagens e polissacarídeos de reserva. A definição de TROWELL et al. serviu bem às pesquisas em saúde e comunidade regulatória (órgãos reguladores) por mais de 30 anos (SOUTHGATE, 1992; AACC, 2000; DE VRIES e RADER, 2005; JONES et al., 2006).

Com uma definição vigente, cientistas criaram o método enzimático-gravimétrico para análise em um workshop da Association of Official Analytical Chemists - AOAC. O método apresenta acurácia por simular o comportamento digestivo humano, pode ser aplicado a todos os alimentos e, após estudos de validação em todo o mundo, ocorreu a adoção em 1985 pela AOAC como método oficial (DE VRIES e RADER, 2005).

Para certificar o consenso acerca da definição de TROWELL et al., foi realizada uma pesquisa pela AOAC em 1992 com 150 profissionais em 30 países e verificado que:

- 78% dos pesquisadores responderam que o termo “fibra alimentar” deve ser preservado, com 70% corroborando uma definição fisiológica/química e 65% concordando especificamente com a definição de TROWELL et al.

- 59% acreditaram que oligossacarídeos que são resistentes à digestão deveriam estar incluídos na quantificação da fibra alimentar.

Por causa da ênfase na resistência à digestão, outra entrevista foi conduzida de 1993 a 1994 com respeito a essa questão:

- 80% concordaram com a inclusão no termo fibra alimentar do amido resistente, isto é, a porção do amido que não é digerido no intestino delgado mas parcial ou completamente fermentado no intestino grosso;

- 65% citaram a inclusão de oligossacarídeos não digeríveis (grau de polimerização maior ou igual a 3) na definição de fibra (AACC, 2000; DE VRIES e RADER, 2005).

A pesquisa intensa que se seguiu ao consenso da definição e validação da metodologia permitiu questionamentos tanto da definição quanto da metodologia para fibra alimentar. Pesquisadores reconheceram efeitos adicionais para a saúde com o consumo de fibra e descobriram componentes alimentares que exibiam comportamento de fibra, mas que não estavam explicitamente incluídos na definição ou que eram quantificados usando uma metodologia em particular. Em 1988 a AACC (American Association of Cereal Chemists) estabeleceu um comitê científico para estudar a definição de fibra alimentar. A definição recomendada, a qual foi aceita em 2000 é a seguinte: “Fibra alimentar é a parte comestível de plantas ou carboidratos análogos que são resistentes à digestão e absorção no

intestino delgado com fermentação completa ou parcial no intestino grosso. Fibra alimentar inclui polissacarídeos, oligossacarídeos, lignina, e substâncias vegetais associadas. Fibra alimentar promove efeitos fisiológicos benéficos incluindo laxativo e/ou atenuação colesterol sanguíneo e/ou atenuação glicemia”.

A definição incorpora todos os aspectos da definição de Trowell et al. e elementos que refletem o conhecimento adquirido nesses 30 anos, incluindo amido resistente definido por ENGLYST et al. em 1992 (AACC, 2000).

Em 2000 a Divisão de Alimentos e Nutrição do Instituto de Medicina (Institute of Medicine - IOM) da Academia Nacional norte americana formou também um painel de discussão que propôs 2 definições para englobar os carboidratos não digeríveis atuais e os que serão investigados no futuro. Em 2002 surgiu o termo “fibra funcional”, sendo assim, “fibra alimentar consiste de carboidratos não digeríveis e lignina que são intrínsecos e intactos em plantas; fibra funcional consiste de carboidratos não digeríveis isolados adicionados aos alimentos que exercem efeitos fisiológicos benéficos em humanos. Fibra total é a soma de fibra alimentar e fibra funcional” (DE VRIES e RADER, 2005; JONES et al., 2006).

As fibras que caracterizam o termo “fibra funcional” são manufaturadas sinteticamente ou de ocorrência natural, isoladas ou extraídas empregando-se etapas físicas, químicas, enzimáticas ou aquosas; amido resistente manufaturado ou oligossacarídeos isolados estão incluídos nessa definição (DE VRIES e RADER, 2005).

Em 2004 o Comitê de Nutrição e alimentos para fins especiais do Codex publicou uma discussão que inclui propostas para definição de fibra alimentar e avaliação dos métodos de análise. A proposta é a que segue, os conteúdos em colchetes estão ainda em discussão:

“Fibra alimentar significa polímeros de carboidratos com um grau de polimerização maior que 3 [ou10], os quais não são nem digeridos nem absorvidos no intestino delgado. Fibra alimentar consiste de um ou mais: polímeros de carboidrato comestíveis ocorrendo naturalmente no alimento como consumido, ou polímeros de carboidratos os quais podem ser obtidos do material sem processamento por meios físicos, enzimáticos ou químicos, ou de polímeros de carboidratos sintéticos. Fibra alimentar geralmente tem propriedades tais como: diminuição do trânsito intestinal e aumento do volume fecal, estimulação da fermentação colônica, redução do colesterol total ou frações LDL ou redução das taxas de glicose pós-prandial ou das taxas de insulina. Material considerado como fibra alimentar deve ter pelo menos uma dessas propriedades” (DE VRIES e RADER, 2005).

Essas três novas definições têm gerado considerável discussão, e cada uma tem qualidades e limitações com relação à metodologia analítica, dados para tabelas de composição de alimentos e regulamentações para rotulagem nutricional. Um dos pontos que mais necessita de esclarecimento é a respeito dos efeitos fisiológicos da fibra. Não há consenso sobre um efeito benéfico específico ou qual a combinação de efeitos devem ser encontrados em uma substância para que seja possível considerá-la fibra alimentar, ou, no caso da definição da IOM, fibra funcional (DE VRIES, RADER, 2005).

Espera-se que uma definição atualizada e mais precisa resulte em aumento de pesquisa e melhor compreensão das relações dieta-doença e como tal processo é afetado pelo componente fibra da dieta. A maior necessidade atual parece ser o desenvolvimento de protocolos para identificar e monitorar efeitos fisiológicos específicos como: o laxativo, atenuação das concentrações de glicose e de colesterol. Outros efeitos benéficos possíveis também precisam ser

explorados e, quando identificados, precisarão de protocolo padronizado também. Em adição, deveriam ser investigados meios de medir, por exemplo, viscosidade e fermentabilidade, para averiguar a relação entre ações *in vitro* e *in vivo* do componente fibra e identificar mais claramente se há uma relação entre esses atributos da fibra e o estado de saúde (DE VRIES e RADER, 2005; JONES et al., 2006).

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GERAL

Desenvolver um processo para obtenção de um *snack* de milho com maior valor nutricional que tenha potencial para intervenção nutricional em grupo populacional específico ou para consumo geral.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Modelar parâmetros do processo de extrusão para obter *snacks* de milho e linhaça, tendo como variáveis-resposta características de textura correlacionadas com aceitabilidade do produto;

- Avaliar o efeito das condições de extrusão sobre o teor de fibras, proteínas e vitaminas presentes, relativamente à farinha;

- Caracterizar nutricionalmente o produto obtido e avaliar sua aceitabilidade.

4. METODOLOGIA

4.1. MATERIAIS

4.1.1. Milho

O milho foi adquirido na forma de grits, cereal degerminado e moído, da empresa Chikão Comercial Ltda, São Paulo - SP. O material acondicionado em embalagens plásticas permaneceu armazenado em local seco e arejado até preparo para extrusão.

4.1.2. Linhaça

Foi utilizada torta de linhaça, que é o resíduo obtido após extração do óleo por prensagem a frio, com teor lipídico residual de 9 a 16% (dependente do número de prensagens), fornecida pela Indústria de óleos vegetais Pазze Ltda, Panambi - RS em fevereiro de 2005 e estocada sob refrigeração até o momento do uso.

4.2. MÉTODOS

4.2.1. Extrusão do material

Para extrusão do material foi utilizada extrusora de laboratório com rosca única (RXPO Labor 24, INBRAMAQ, Ribeirão Preto), no Laboratório de Bioquímica e Propriedades Funcionais de Alimentos, da Faculdade de Saúde Pública (FSP)-USP. O equipamento apresenta rosca cônica, paralela, e possui sistema composto por 6 zonas de aquecimento, as primeiras cinco zonas aquecem

através de resistências elétricas independentes, na sexta zona (local de saída do material) o aquecimento é realizado manualmente com um bico de Bunsen por 5 minutos momento antes do início do processo. 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 há um painel informatizado para controle das variáveis temperatura, rotação da rosca e velocidade de alimentação e de corte. As condições de extrusão variaram de acordo com as variáveis independentes estabelecidas para cada experimento.

Figura 2. Extrusora de laboratório RXPQ Labor 24



4.2.1.1. Ajuste de umidade

Para ajuste de umidade nas farinhas foi adicionada a quantidade de água necessária de acordo com os pontos determinados pelo delineamento experimental, seguido de homogeneização manual e estocagem em sacos plásticos sob refrigeração, por 48 horas, para equilíbrio da umidade desejada.

4.2.2. Metodologia de Superfície de Resposta (MSR)

A modelagem do processo foi realizada por MSR e baseando-se em trabalhos anteriores (CARDOSO-SANTIAGO, 2002; CHÁVEZ-JÁUREGUI et al., 2000; BATISTUTI et al., 1991;). Foram escolhidas como variáveis independentes do processo, para o presente trabalho: umidade da amostra, temperatura da região central da extrusora (3ª zona de aquecimento) e adição de linhaça.

As variáveis dependentes estudadas foram razão de expansão e força de cisalhamento, por estarem diretamente correlacionadas com a aceitabilidade do produto (CHINNASWAMY e HANNA, 1988; BATISTUTI et al., 1991).

Para descrição do processo foi empregada uma equação polinomial, obtida através de análise de regressão múltipla do efeito das variáveis independentes nas variáveis resposta (exemplo geral de um polinômio quadrático):

$$= b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + \dots + b_{nn}x_n^2 + b_{1n}x_1 x_2x_n + E$$

Onde:

: estimativa da resposta determinada no produto final

b_0, b_1, \dots, b_n : coeficientes da regressão

x_1, x_2, \dots, x_n : variáveis independentes consideradas

E: erro experimental com distribuição normal, média zero e variância σ^2

Para todos os delineamentos os experimentos foram executados em ordem crescente de temperatura, para maior estabilidade do equipamento, e a umidade e quantia de linhaça correspondente foram sorteadas, para obter ordem de execução parcialmente aleatória. No ajuste de umidade nem sempre foi possível obter o valor exato requerido no planejamento, o cuidado tomado então foi o de codificar nas matrizes dos cálculos da regressão os valores reais desta variável.

4.2.3. Avaliação mecânica dos extrusados

4.2.3.1. 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 *snacks* foi utilizado um paquímetro Mitutoyo e para cada ponto do delineamento experimental foram efetuadas 15 medidas aleatórias.

4.2.3.2. Força para cisalhamento completo

A medida de força para cisalhamento completo foi realizada nos *snacks* sem aromatização utilizando o equipamento TAXT2i, e o software "Texture Expert" (Stable Systems, 1999) equipado com cela Warner Bratzler, nas seguintes condições: velocidade pré-teste: 2,0mm/s; velocidade de teste: 1,0mm/s; velocidade pós-teste: 5,0mm/s; distância de ruptura: 1,0mm; distância percorrida: 15mm. Este instrumento mede atributos de textura característicos de maciez à primeira mordida ao registrar a força necessária para cortar e/ou

deformar a amostra em teste. Foram empregados salgadinhos com 3 cm e, para cada amostra foram feitas 30 medidas.

4.2.4. Análises físico-químicas

Foram realizadas análises físico-químicas em triplicata nas amostras de torta de linhaça, farinha de milho e linhaça, na proporção 70:30 (m/m) antes da extrusão e no *snack* resultante, sem aroma. As análises de composição centesimal seguiram a metodologia da AOAC - ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (1984):

Umidade: dessecação em estufa a 105°C até peso constante;

Lípidos: utilizado extrator de Soxhlet e uso do solvente éter de petróleo;

Cinzas: calcinação em mufla a 550°C por 12 horas;

A porcentagem de nitrogênio foi obtida pelo método de Micro-Kjedahl e utilizado o fator de conversão para proteína de 5,75, obtido pelo perfil de aminoácidos das 3 amostras (AOAC, 1990).

A determinação de fibra total, solúvel e insolúvel seguiu método enzimático-gravimétrico de PROSKY et al., 1988. Esse método está baseado na determinação do peso do resíduo resultante da eliminação do amido e da proteína, através da hidrólise enzimática, e posterior precipitação das fibras solúveis na presença de etanol a 98%.

Para determinação do amido total a amostra foi submetida à hidrólise total do amido (GONI et al., 1997) e posterior determinação de glicose livre pelo método GOD/POD/ABTS (BERGMEYER e BERNET, 1974).

4.2.1.2. Determinação de aminoácidos

Os aminoácidos foram determinados em auto-analisador por cromatografia de troca-iônica. As amostras foram hidrolisadas com HCl, cisteína e metionina convertidos em ácido cistéico e sulfato de metionina, respectivamente, após a oxidação com ácido perfórmico (AOAC, 2000). Neste método o triptofano é destruído na etapa de hidrólise ácida, por essa razão, para sua análise, a proteína foi hidrolisada em meio alcalino sob vácuo com NaOH 4,2M. Após ajuste de pH e clarificação, o triptofano foi separado por cromatografia de troca iônica e reação pós-coluna com nihidrina e calculado por comparação com uma curva-padrão (AOAC, 1988).

A análise do perfil de aminoácidos foi realizada pelo LABTEC - Mogiana Alimentos, Campinas-SP.

4.2.1.3. Vitaminas A e E

Vitamina A foi determinada como β -caroteno e vitamina E na forma de α -tocoferol, através de cromatografia líquida de alta eficiência. As condições de análise foram testadas com base nos trabalhos de KURILICH, JUVIK, 1999 e PRATES et al., 2006.

Para preparo da curva-padrão a concentração real foi aferida de acordo com a Lei de Lambert-Beer, utilizando-se os coeficientes de absorvidade molar para cada composto. A extração foi realizada com saponificação a 60°C em uma solução 11% m/v em KOH, em etanol absoluto 55% v/v, com adição de ácido ascórbico e posterior lavagem com hexano para retirada da fração não saponificável.

O volume final foi medido e utilizado para a injeção uma alíquota de 20 μL . Foi empregado o cromatógrafo Shimadzu e os detectores: UV-Vis, PDA Shimadzu SPD-M 10A VP e fluorescência: Merck Hitachi L7480. Coluna de sílica de fase intermediária luna (phenomenex), de 5 μm , 100 Å, com as dimensões: 250x4,6 mm; fase-móvel contendo hexano e isopropanol 99:1, v/v, com fluxo de 1 mL/min e corrida de 20 min.

No detector por fluorescência foi empregado comprimento de excitação de 295nm e emissão de 325nm para o alfa-tocoferol, e, para o beta-caroteno, a detecção foi efetuada em 450nm com detector UV-vis.

Todas as operações descritas foram realizadas na ausência de luz.

4.2.2. Aromatização

Após a otimização foi eleito o produto ótimo com relação a parâmetros de textura, o qual foi adicionado de diferentes aromas para posterior realização de análise sensorial.

Para aromatização foi empregada a formulação: 10% de óleo de canola, 4% de aroma em pó (Givaudan Brasil), e 2% de cloreto de sódio micronizado (Norsal - Norte Salineira SA Ind. e Com.), e executadas as seguintes etapas: homogeneização dos ingredientes, aspensão em drageadera (AIR 400 - Erweka, Heusenstamm, Germany), e aplicação de calor quente por 5 minutos, para preservar crocância (CAPRILES e AREAS, 2005).

Foram testados informalmente os sabores queijo, cebola, pizza e churrasco, sendo o último o que mostrou melhor resultado. A escolha do sabor churrasco também foi resultante do apelo por um aroma que combinasse com a coloração escura do *snack*.

4.2.3. Análise sensorial

O grau de aceitação do *snack* de milho e linhaça aromatizado com sabor churrasco foi avaliado por meio de teste afetivo laboratorial com uso de uma escala hedônica estruturada de 9 pontos (STONE, SIDEL, 1993) e a participação de 41 provadores não treinados, recrutados em função de interesse e disponibilidade, no Laboratório de Técnica Dietética da FSP/USP. Nesse teste os provadores atribuem valor numérico para descrever o quanto gostaram ou desgostaram do salgadinho, em uma escala que varia de desgostei muitíssimo (1 ponto) a gostei muitíssimo (9 pontos).

No recrutamento foi revelado aos provadores o fato de se objetivar a obtenção de um produto com maior valor nutritivo e posteriormente apresentado uma amostra de 15 g do *snack* acondicionada em pratos de fundo claro em cabine individual e sob luz branca. Os provadores foram orientados para que expressassem na ficha de avaliação (apêndice 1) o grau de gostar ou desgostar das amostras para a textura, cor, sabor e aparência geral, além de responder sobre a intenção de compra e efetuar comentários de forma livre.

2.2.6. Análises estatísticas

Para modelagem do processo de extrusão foi utilizada regressão linear múltipla, adotando-se como válidos, após realização do teste "t de student" os coeficientes significativamente diferentes de 0 ($p < 0,05$) e a equação resultante foi empregada para a geração das superfícies de resposta obtidas. Essa análise foi efetivada com o auxílio dos *softwares* Origin (6,0 - Microcal Software Inc, MA, USA, 2000) e Chemomatrix (Prof. Dr. Roy E. Bruns, Laboratório de Química

Quântica e Quimiometria, UNICAMP, *download* disponível no *site*: <http://www.chemomatrix.iqm.unicamp.br/>).

Para verificar diferenças entre as médias da composição centesimal das amostras antes e após extrusão foi realizado análise da variância, e teste “t de student” quando necessário.

4.2.7. Aspectos éticos

Os integrantes desta pesquisa (alunos e funcionários da FSP/USP) foram convidados a conhecer o trabalho, e aqueles que aceitaram participar da análise sensorial na qualidade de provadores, assinaram um termo de consentimento (apêndice 2), aprovado pelo Comitê de Ética da mesma instituição (anexo 1).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. TESTES PRELIMINARES E CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA

Foram testados dois lotes de torta de linhaça, com teor lipídico de 16,89% para o primeiro lote e de 9,00% para o segundo. O material difere quanto ao número de prensagens para extração do óleo, no lote nº 2 o teor lipídico é menor uma vez que o material sofreu uma prensagem adicional.

A composição centesimal encontrada (% em base seca) para a torta de linhaça do 2º lote está ilustrada na Tabela 1.

Tabela 1. Composição centesimal (% em base seca) da torta de linhaça*.

	Torta de linhaça lote 2
Umidade	7,85 (0,31)
Proteínas	32,81 (0,44)
Lipídeos	9,00 (0,22)
Cinzas	5,56 (0,18)
Fibra insolúvel	41,37 (1,96)
Fibra solúvel	16,45 (2,05)

*média (desvio-padrão)

Pode-se verificar nesta tabela a confirmação dos benefícios nutricionais da linhaça descritos por outros autores (OOMAH, MAZZA, 1993; MAZZA, 1998; SIMBALISTA et al., 2003), tratando-se de um alimento com alto teor de fibras solúveis e insolúveis e de proteína.

Como uma etapa inicial da investigação foram estabelecidas as condições de extrusão somente para o milho, sendo que o ponto de máxima expansão

encontrado para esse material foi em 13,6% umidade e 127,2°C de temperatura, o qual resultou em razão de expansão igual a 4,52.

Para otimizar a extrusão da mistura de milho e linhaça foram realizados ensaios prévios com a farinha do primeiro lote, e submetidos à extrusão materiais contendo 20 e 25% de umidade e 15, 20 e 25% de torta de linhaça. A extrusão de matérias-primas com teor significativo de proteína e fibra requer valores de umidade maiores quando comparado ao processo de alimentos com base exclusivamente amilácea (HARPER, 1981b; ARÊAS, 1992), por essa razão foi escolhida uma faixa de variação de umidade mais alta que as condições ótimas obtidas com o milho somente.

Durante o processamento o material foi bem conduzido, com facilidade operacional, mas os extrusados resultantes apresentaram expansão e textura inadequadas para o produto, atribuído ao teor elevado de lipídeos na matéria-prima empregada. 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). Tal ensaio mostrou que podem ser adicionados níveis de linhaça de até 25% sem prejuízos de funcionamento do equipamento, mas o elevado teor de gordura e de umidade foi prejudicial à expansão, sendo necessários pequenos ajustes na matéria-prima empregada, optando-se então pelo uso da torta de linhaça do lote nº 2 nos delineamentos subseqüentes.

5.2. MODELAGEM DA EXTRUSÃO DO MILHO E LINHAÇA

Partindo-se das observações iniciais foi delineado um planejamento composto central (D1L) sendo as variáveis independentes: umidade (ponto central 20% e distância 5), temperatura da zona 3 (ponto central 110°C e distância 20) e adição de linhaça (ponto central 20 e distância 5), ilustrado no Quadro 1. As demais condições (com exceção da velocidade de alimentação) de extrusão foram fixas e iguais às empregadas para otimização somente para o milho:

- Velocidade de rotação da rosca: 90% (236 rpm);
- Temperaturas, zona 1: 30°C e zona 2: 70°C;
- Rosca curta, com taxa de compressão 4:1;
- Camisa: helicoidal;
- Trafila: um furo com diâmetro de 3,5 mm;
- Sub-trafila: furos com diâmetro de 2,7mm;
- Input de energia: 7-12A;
- Velocidade de alimentação para milho somente: 415g/min e para milho e linhaça igual a 270g/min, indicando um tempo de residência no canhão do extrusor maior para o segundo material.

Quadro 1. Delineamento experimental (D1L), razão de expansão (RE) e força de cisalhamento (FC) obtidos em função da umidade da amostra (U), temperatura de extrusão (T) e adição de linhaça (L).

Ensaio*	x ₁ U-20/5	U(%)	x ₂ T-110/20	T(°C)	x ₃ L-20/5	L(%)	y ₁ RE**	y ₂ FC (N)**
1	-1	15	-1	90	-1	15	1,99 (0,14)	156,3 (44,69)
2	-1	15	1	130	1	25	3,68 (0,23)	50,05 (14,46)
3	1	25	-1	90	1	25	1,71 (0,13)	92,10 (19,17)
4	1	25	1	130	-1	15	2,17 (0,19)	100,28 (28,53)
5	0	20	0	110	0	20	3,56 (0,19)	28,92 (3,69)
6	0	20	0	110	0	20	3,59 (0,27)	30,75 (4,18)
7	-1	15	-1	90	1	25	3,09 (0,29)	29,06 (11,62)
8	-1	15	1	130	-1	15	3,89 (0,19)	30,54 (5,04)
9	1	25	-1	90	-1	15	1,96 (0,18)	149,48 (38,70)
10	1	25	1	130	1	25	2,80 (0,34)	81,37 (22,68)
11	0	20	0	110	0	20	3,67 (0,20)	31,99 (5,98)
12	√3	28,4	0	110	0	20	1,84 (0,28)	53,26 (17,27)
13	-√3	11,6	0	110	0	20	2,75 (0,44)	30,64 (19,03)
14	0	20	√3	143,6	0	20	4,19 (0,26)	36,28 (7,58)
15	0	20	-√3	76,4	0	20	1,91 (0,10)	131,39 (37,23)
16	0	20	0	110	√3	28,4	2,16 (0,12)	68,82 (17,33)
17	0	20	0	110	-√3	11,6	3,59 (0,43)	67,44 (11,32)

*não corresponde à ordem aleatorizada

**média (desvio-padrão)

Tabela 2. Regressão múltipla para ajuste do modelo quadrático aos dados de RE de acordo com o quadro 1 (D1L).

Coeficiente	Valor	Erro	Valor t	Prob > t
b_0	3,69	0,23	16,10	<0,01
x_1	-0,50	0,12	-4,25	0,01
x_2	0,58	0,15	3,95	0,01
x_3	0,11	0,13	0,84	0,43
x_1^2	0,67	0,15	-4,50	0,01
x_2^2	-0,25	0,14	-1,76	0,12
x_3^2	0,02	0,19	0,13	0,90
x_1x_2	-0,12	0,16	-0,78	0,46
x_1x_3	-0,02	0,14	-0,16	0,88
x_2x_3	-0,05	0,15	-0,36	0,73

Tabela 3. Regressão múltipla para ajuste do modelo quadrático aos dados de FC de acordo com o quadro 1 (D1L)

Coeficiente	Valor	Erro	Valor t	Prob > t
b_0	31,94	15,72	2,03	0,08
x_1	16,79	8,03	2,09	0,07
x_2	-20,51	10,05	-2,04	0,08
x_3	-22,01	9,06	-2,43	0,04
x_1^2	14,29	10,20	1,40	0,20
x_2^2	20,08	9,88	2,03	0,08
x_3^2	7,71	13,02	0,59	0,57
x_1x_2	7,58	10,92	0,69	0,51
x_1x_3	3,02	9,71	0,31	0,76
x_2x_3	23,15	10,35	2,24	0,06

Tabela 4. Análise da variância para RE (D1L)

FONTE DE VARIÇÃO	SOMA QUADRÁTICA	GRAUS DE LIBERDADE	MÉDIA QUADRÁTICA	F calculado
REGRESSÃO	10,318	9	1,146	6,35
RESÍDUOS	1,263	7	0,180	
FALTA DE AJUSTE	1,256	5	0,251	77,71
ERRO PURO	0,006	2	0,003	
TOTAL	11,581	16		

VARIÂNCIA EXPLICADA (%) 89,1

VARIÂNCIA EXPLICÁVEL (%) 99,9

Verificando falta de ajuste: $77,71 > F_{5, 2, 95\%} (19,30)$ \therefore há falta de ajuste

Significância da regressão: $6,35 > F_{9, 7, 95\%} (3,68)$ \therefore regressão significativa

Tabela 5. Análise da variância para FC (D1L)

FONTE DE VARIÇÃO	SOMA QUADRÁTICA	GRAUS DE LIBERDADE	MÉDIA QUADRÁTICA	F calculado
REGRESSÃO	25591,92	9	2843,54	4,21
RESÍDUOS	4727,88	7	675,41	
FALTA DE AJUSTE	4723,11	5	944,62	396,02
ERRO PURO	4,77	2	2,38	
TOTAL	30319,80	16		

VARIÂNCIA EXPLICADA (%) 84,4

VARIÂNCIA EXPLICÁVEL (%) 99,9

Verificando falta de ajuste: $396,02 > F_{5, 2, 95\%} (19,30)$ \therefore há falta de ajuste

Significância da regressão: $4,21 > F_{9, 7, 95\%} (3,68)$ \therefore regressão significativa

Observou-se no primeiro delineamento (D1L) que a maior resposta para razão de expansão (4,19) está próxima do ponto central (ensaio nº 14), mas não coincidiu com o menor cisalhamento, observado no ponto experimental nº5.

As Tabelas 2 e 3 mostram os coeficientes obtidos com a análise de regressão linear para o ajuste do modelo quadrático para as três variáveis independentes das respostas RE e FC, respectivamente. Os coeficientes do modelo com nível de significância de $p < 0,05$ encontram-se destacados em negrito. As Tabelas 4 e 5 mostram a análise de variância dos resultados obtidos.

O teste F para significância estatística da regressão considera como valor calculado de F a razão entre as médias quadráticas da regressão e dos resíduos. Quando o experimento fornece repetições é possível obter uma estimativa do erro aleatório, e através dela julgar se o modelo escolhido (linear, quadrático, etc) é uma boa representação das observações, ou se é preciso modificá-lo. É demonstrado que a soma quadrática residual deixada pelo modelo, para a qual se deseja o menor valor, pode ser decomposta em duas partes: uma causada pelos erros aleatórios (denominado erro puro), e a outra devida à falta de ajuste. Esta segunda parcela pode ser reduzida aperfeiçoando-se o modelo, a primeira não. Para se julgar a falta de ajuste de um modelo é realizado também um teste F com os respectivos graus de liberdade das médias quadráticas da falta de ajuste e do erro puro (BARROS-NETO et al., 2003).

Inicialmente, realiza-se o teste da falta de ajuste, para verificar se a equação de segundo grau gerada é adequada para descrever as respostas obtidas. Somente com ajuste de modelo prossegue-se para testar a significância estatística da regressão (RODRIGUES e IEMMA, 2005).

Verificando-se a significância estatística da regressão tem-se que para RE o valor de F calculado (6,35) é maior que o valor tabelado para $F_{9, 7, 95\%}$ (3,68),

indicando que a regressão para RE foi significativa, mas há falta de ajuste do modelo, portanto a regressão não foi aceita, conseqüentemente os coeficientes gerados pela regressão não são válidos. A falta de ajuste é ainda mais evidente para a resposta FC, o valor de F calculado (396,02) é muito maior que o valor tabelado de F para os respectivos graus de liberdade e intervalo de confiança escolhido, como ilustrado na Tabela 5.

Obteve-se para RE um R^2 de 89,1%, e para FC 84,4%. Com a estimativa numérica do erro aleatório é possível calcular a porcentagem máxima de variância explicável pela regressão, e é com esse novo número que R^2 deve ser comparado, no lugar de 100% (BARROS-NETO et al., 2003).

Por meio de testes informais no laboratório foi verificado que alguns pontos resultaram em produtos com boa aparência, textura e agradáveis ao paladar: 5, 6 (20% U, 110°C, 20% de linhaça), 7 (15%U, 90°C e 25% de linhaça) e 8 (15%U, 130°C, 15% de linhaça).

Com o intuito de maior incremento em linhaça e para investigar uma região que se demonstrou satisfatória no D1L, as alterações efetuadas para o segundo delineamento, mostrado no Quadro 2, foram deslocar o ponto central da adição de linhaça (25% e distância de 5) e da umidade (15% e distância igual a 4) e aumentar o número de repetições no ponto central a fim de se obter uma estimativa do erro puro com número maior de graus de liberdade.

Quadro 2. Delineamento experimental (D2L), razão de expansão (RE) e força de cisalhamento (FC) obtidos em função da umidade (U) da amostra, temperatura de extrusão (T) e adição de linhaça (L)

Ensaio*	x ₁ U-15/4	U(%)	x ₂ T-110/20	T(°C)	x ₃ L-25/5	L(%)	y ₁ RE**	y ₂ FC (N)**
1	-1	11	-1	90	-1	20	2,85 (0,20)	20,54 (11,02)
2	-1	11	1	130	1	30	1,52 (0,08)	117,22 (26,77)
3	1	19	-1	90	1	30	3,02 (0,16)	22,02 (5,24)
4	1	19	1	130	-1	20	3,10 (0,11)	26,10 (5,83)
5	0	15	0	110	0	25	3,11 (0,33)	23,07 (5,44)
6	0	15	0	110	0	25	3,23 (0,37)	98,04 (26,56)
7	-1	11	-1	90	1	30	***	***
8	-1	11	1	130	-1	20	1,43 (0,06)	138,17 (26,93)
9	1	19	-1	90	-1	20	2,73 (0,17)	20,10 (8,08)
10	1	19	1	130	1	30	2,38 (0,16)	91,54 (20,96)
11	0	15	0	110	0	25	2,62 (0,22)	28,96 (6,19)
12	0	15	0	110	0	25	3,01 (0,21)	30,38 (6,33)
13	0	15	0	110	0	25	2,17 (0,15)	101,52 (28,89)
14	√3	21,7	0	110	0	25	2,24 (0,12)	73,50 (25,88)
15	-√3	8,3	0	110	0	25	1,52 (0,07)	121,23 (29,27)
16	0	15	√3	143,6	0	25	1,77 (0,13)	165,14 (34,52)
17	0	15	-√3	76,4	0	25	3,64 (0,27)	31,11 (10,89)
18	0	15	0	110	√3	31,7	2,52 (0,12)	111,04 (27,27)
19	0	15	0	110	-√3	18,3	3,98 (0,23)	33,56 (6,07)

*não corresponde à ordem aleatorizada; **média±desvio-padrão

***não obtenção de resposta, o equipamento parou devido condições drásticas de processamento e ponto foi excluído da análise de regressão

Ao executar o D2L, a máquina parou ao passar o material do ponto nº 7 (11%U, 90°C e 30% linhaça), pois são condições extremas de funcionamento, o mesmo foi desconsiderado da matriz de planejamento e dos cálculos da análise de regressão uma vez que não foi obtida resposta.

Tabela 6. Regressão múltipla para ajuste do modelo quadrático aos dados de RE de acordo com o quadro 2 (D2L).

Coeficiente	Valor	Erro	Valor t	Prob > t
b₀	2,94	0,16	18,25	<0,01
x₁	0,69	0,19	3,51	0,01
x₂	-0,58	0,15	-3,90	0,01
x₃	-0,28	0,14	-1,91	0,09
x₁²	-0,52	0,14	-3,62	0,01
x₂²	-0,30	0,23	-1,32	0,22
x₃²	0,15	0,20	0,77	0,46
x₁x₂	0,56	0,22	2,50	0,03
x₁x₃	-0,19	0,20	-0,97	0,36
x₂x₃	0,14	0,20	0,69	0,51

Tabela 7. Regressão múltipla para ajuste do modelo quadrático aos dados de FC de acordo com o quadro 2 (D2L).

Coeficiente	Valor	Erro	Valor t	Prob > t
b₀	50,46	13,93	3,62	0,01
x₁	-22,86	16,96	-1,35	0,21
x₂	41,91	12,90	3,25	0,01
x₃	14,04	12,56	1,12	0,30
x₁²	15,87	12,50	1,27	0,24
x₂²	-0,66	19,64	-0,03	0,97
x₃²	16,00	17,26	0,93	0,38
x₁x₂	-25,90	19,40	-1,33	0,22
x₁x₃	10,56	17,18	0,61	0,55
x₂x₃	3,45	17,50	0,20	0,85

Tabela 8. Análise da variância para RE (D2L)

FONTE DE VARIÇÃO	SOMA QUADRÁTICA	GRAUS DE LIBERDADE	MÉDIA QUADRÁTICA	F calculado
REGRESSÃO	7,661	9	0,851	4,662
RESÍDUOS	1,460	8	0,182	
FALTA DE AJUSTE	0,809	5	0,162	0,746
ERRO PURO	0,651	3	0,217	
TOTAL	9,122	17		

VARIÂNCIA EXPLICADA (%) 83,99

VARIÂNCIA EXPLICÁVEL (%) 92,86

Verificando falta de ajuste: $0,746 < F_{5, 3, 95\%} (9,01)$ ∴ não há falta de ajuste

Significância da regressão: $4,66 > F_{9, 8, 95\%} (3,39)$ ∴ regressão significativa

Tabela 9. Análise da variância para FC (D2L)

FONTE DE VARIÇÃO	SOMA QUADRÁTICA	GRAUS DE LIBERDADE	MÉDIA QUADRÁTICA	F calculado
REGRESSÃO	27981,550	9	3109,062	2,078
RESÍDUOS	11971,500	8	1496,438	
FALTA DE AJUSTE	7049,025	5	1409,805	0,86
ERRO PURO	4922,475	3	1640,825	
TOTAL	39953,050	17		

VARIÂNCIA EXPLICADA (%) 70,04

VARIÂNCIA EXPLICÁVEL (%) 87,68

Verificando falta de ajuste: $0,86 < F_{5, 3, 95\%} (9,01)$ ∴ não há falta de ajuste

Significância da regressão: $2,078 < F_{9, 8, 95\%} (3,39)$ ∴ regressão não significativa

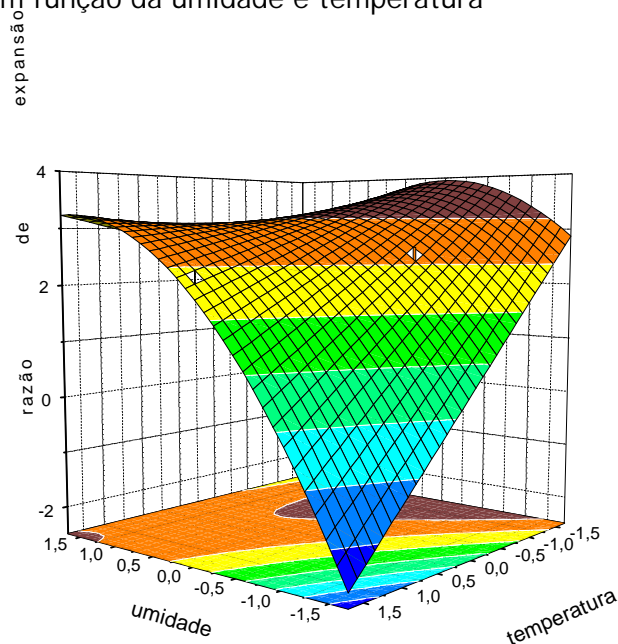
Significância da regressão: $2,078 < F_{9, 8, 90\%} (2,56)$ ∴ regressão não significativa

Para a variável RE a regressão foi significativa, sendo aceita a equação do modelo: $y = 2,94 + 0,69x_1 - 0,58x_2 - 0,52x_1^2 + 0,56x_1x_2$. Os efeitos significativos foram os lineares da umidade e da temperatura, o quadrático da umidade e o de interação umidade e temperatura, que geraram a superfície de resposta ilustrada na Figura 2.

No D2L o R^2 (84%) diminuiu em relação ao delineamento 1 e não houve falta de ajuste. Houve aumento no erro puro e conseqüentemente a variância explicável pela regressão é menor. Tal fato foi ocasionado pela variação ocorrida nas repetições dos pontos centrais (a RE variou de 2,17 a 3,23) e reflete a influência da instabilidade do equipamento no resultado.

Esse modelo mostrou que a razão de expansão em *snacks* de milho e linhaça depende da umidade do material e da temperatura do equipamento, entretanto a adição de linhaça não exerceu efeito significativo. Essas conclusões são válidas e explicam o processo apenas para a faixa de variação estudada e para as condições empregadas (tipo de material e equipamento) não sendo possível realizar previsões para outras condições. Na construção de modelos empíricos a extrapolação é uma atividade muito arriscada (HARPER, 1981a; BARROS-NETO et al., 2003).

Figura 2. Superfície de resposta para razão de expansão de *snacks* de milho e linhaça em função da umidade e temperatura



Ao se derivar a equação do modelo para as duas variáveis independentes foi possível identificar o ponto máximo da expansão:

$$\frac{\partial \hat{y}}{\partial x_1} = 0,69 - 1,04x_1 + 0,56x_2$$

$$\frac{\partial \hat{y}}{\partial x_2} = -0,58 + 0,56x_1$$

Igualando-se as duas equações a zero e resolvendo o sistema de equações, tem-se que x_1 igual a 1,03 e x_2 igual a +0,68, decodificando em 19,12% umidade e 123,6°C de temperatura.

A variância explicável do cisalhamento é ainda menor e reflete também, além da instabilidade do extrusor, o alto desvio de medidas efetuadas no texturômetro. Para FC a regressão não foi significativa com intervalos de

confiança de 95% e 90%, não sendo possível otimizar simultaneamente FC e RE na faixa de variação estudada.

Para escolha final do *snack* ótimo foi realizado experimento comprobatório ilustrado no Quadro 3, e testadas as condições ótimas, com 25 e 30% de linhaça, além de outros dois pontos considerados satisfatórios no delineamento 1 (D1L).

Quadro 3. Condições testadas para confirmação do ponto ótimo.

Condições da extrusão	Razão de expansão*	Razão expansão do modelo**
15% U, 76,4°C, 25% linhaça	3,05 (0,15)	3,91
15% U, 90°C, 25% linhaça	3,37 (0,15)	3,52
19,1% U, 95°C, 30% linhaça	3,39 (0,11)	3,11
19,1% U, 123°C, 25% linhaça	3,93 (0,08)	3,10
19,1% U, 123°C, 30% linhaça	3,75 (0,10)	3,10

*média (desvio-padrão)

** valores de expansão estimadas pelo modelo

O ponto ótimo confirmou a maior razão de expansão, de $3,93 \pm 0,08$ e todas as condições testadas mostraram resposta semelhante à estimada com uso da equação gerada no 2º delineamento. Apesar de não se tratar de um modelo útil para previsões, esta constatação ressalta sua qualidade. O ponto ótimo calculado com a derivada também resultou em melhores características visuais e de textura, como ilustrado nas Figuras 3 e 4. Para realização das análises (químicas e sensorial) foi escolhido o ponto com a porcentagem de adição de linhaça igual a 30%, uma vez que era objetivo inicial o maior incremento possível desta matéria-prima.

R^2 em torno de 90% é muitas vezes o máximo observado na otimização do processo de extrusão (AGUILERA, KOSIKOWSKI, 1976; CHÁVEZ-JAURÉGUI, 1999), e os resultados indicam claramente que o processo foi adequadamente otimizado.

Figuras 3 e 4. Salgadinhos de milho e linhaça (70:30, m/m) obtidos com otimização do processo



Submeter um material amiláceo à extrusão apresenta muitas condições favoráveis, pois sua estrutura molecular é homogênea. Ao contrário de proteínas, amidos e féculas formam na extrusão uma massa fundida com características reológicas conhecidas o que garante um fluxo contínuo no equipamento, permitindo condições estáveis de operação (HARPER, 1981; AREAS, 1996).

É bem esclarecido e são encontrados diversos exemplos na literatura demonstrando que as variáveis umidade e temperatura exercem efeito significativo nas características de textura e razão de expansão para materiais com predominância em amido (MERCIER e FEILLET, 1975; HARPER, 1981; CHEN et al., 1991). O ponto estabelecido para RE na extrusão de milho (13,6% umidade e

127°C) concorda com os dados existentes para a extrusão isolada desse material (CHINNASWAMY e HANNA, 1988; CARDOSO-SANTIAGO, 2000).

GOMEZ e AGUILERA, 1984, estudaram o efeito do nível de umidade (14,2-32,9%) na extrusão do amido de milho e concluíram que ao diminuir o teor de umidade aumenta-se a expansão, e o valor máximo obtido na umidade de 14,2%. Em *snacks* de milho a umidade de 13% permitiu os mais altos níveis de expansão (ASCHERI et al., 1996).

Estudos da extrusão de alimentos ricos em fibra apresentam resultados divergentes. É encontrado com mais frequência na literatura trabalhos em que a fibra exerce efeito significativo na razão de expansão, o efeito é linear, ocorrendo menor expansão quanto maior for a adição de fibra (LUE et al., 1991; MENDONÇA et al., 2000; ONWULATA et al., 2001) .

Entretanto, ARTZ et al., 1990, determinaram o efeito da velocidade da rosca (200-500 rpm) e temperatura (90-150°C) na expansão dos extrusados preparados com a mistura de amido e fibra de milho e análises estatísticas dos resultados indicaram que nenhuma das variáveis teve efeito significativo na taxa de expansão e na força de cisalhamento.

MENDONÇA, 1997, empregou farelo de milho para produzir *snacks* de milho com fibra compreendendo as faixas de variação 18-32% umidade, 16-22% de adição de farelo de trigo e 150-190°C de temperatura. A expansão radial foi significativamente afetada pelo teor de umidade e temperatura, o teor de farelo teve um efeito menor, mas ainda significativo. Houve diminuição considerável da expansão radial no aumento do teor de umidade. A maior razão de expansão foi igual a 2,5 e ocorreu nas seguintes condições: 18% de farelo de milho, 16% de umidade e 150°C de temperatura. Foi avaliada também a expansão axial, a qual

foi afetada pela temperatura, umidade e adição de monoestearato de glicerina. A adição de farelo de milho não influenciou a expansão axial.

A MSR foi usada para analisar o efeito da velocidade da rosca (200-280rpm), da umidade do material (13-17%, base seca) e da adição de farinha de *curry* (uma mistura de temperos naturais) na densidade, expansão radial e firmeza de *snacks* de milho. Embora a expansão possa ocorrer tanto nas direções radial e longitudinal durante a extrusão, um coeficiente de correlação mais baixo foi encontrado para expansão longitudinal do que para expansão radial. O efeito linear da adição de *curry* e o quadrático da umidade foram significativos para expansão. O aumento de *curry* diminuiu a expansão de uma maneira linear, devido possivelmente à diminuição de milho na mistura (efeito diluído). Também, a expansão radial diminuiu com a umidade de maneira quadrática, especialmente em baixas velocidades. Isso porque em tempos de residência maiores associados com baixas velocidades de rosca o material requer mais cisalhamento para desenvolver melhor a massa, resultando em melhor expansão; Os valores de R^2 foram: dureza 75%; expansão radial: 89% (próximo do encontrado no presente trabalho) e densidade 76%. Mas não foi realizado teste de falta de ajuste, não sendo possível verificar se os modelos são adequados para as respostas observadas (CHRISTOFIDES, 2004).

A MSR foi também empregada para investigar o efeito da adição de feijão *cowpea* e amendoim em extrusados de arroz para obter um snack expandido com melhor qualidade nutricional para intervenções em um país em desenvolvimento. A razão de expansão máxima obtida foi 3,2 e o efeito com maior significância foi o linear e quadrático da umidade, com uma variância explicada pelo modelo de 61,9%. O R^2 variou de 52,8% (para parâmetros de cor) a 86,5% (para densidade). O teste de falta de ajuste não mostrou significância, indicando que os modelos

obtidos são válidos para representar os dados obtidos e as condições ótimas das variáveis para obter um *snack* enriquecido de qualidade são: baixos teores de umidade (14-20%), e teores de 20% de feijão e 10% de amendoim (ASARE et al., 2004).

Foram adicionados fibra de trigo e proteínas do leite em milho extrusado sob alto cisalhamento e altas temperaturas. A adição de fibra somente (12,5%) não alterou densidade, entretanto reduziu expansão e aumentou força de cisalhamento. A expansão reduzida e maior força de cisalhamento são características de produtos com fibra, consequência da elasticidade reduzida devido à presença de fibra (ONWULATA et al., 2001).

5.3. ANÁLISES QUÍMICAS NOS SNACKS DE MILHO E LINHAÇA

Foram realizadas análises químicas na farinha de milho e torta de linhaça na proporção 70:30 (m/m), material denominado farinha antes da extrusão (FAE) e no salgadinho resultante. Esses foram os produtos obtidos com a otimização do processo e para efeitos comparativos de alteração na composição centesimal antes e após o processo de extrusão as análises foram realizadas nos *snacks* sem a solução aromatizante com óleo de canola.

5.4.1. Composição centesimal

Na Tabela 10 está apresentada a composição centesimal da matéria-prima empregada antes da extrusão e do produto final obtido. Para efeito comparativo foram realizadas também análises de proteína e fibra alimentar em *snacks* com *grits* de milho somente (sem solução aromatizante), produzidos em nosso laboratório.

Tabela 10. Composição centesimal (% em base seca) da farinha antes da extrusão e dos *snacks* de milho e linhaça.*

	Farinha 30% linhaça 70% milho (FAE)	Snacks milho e linhaça	Snacks de milho**
Umidade	18,28 (1,26) _a	6,41 (0,10) _b	...
Proteínas	15,01 (1,74) _a	14,69 (0,60) _a	7,45 (0,80) _b
Lipídeos	2,49 (0,13) _a	0,22 (0,09) _b	...
Cinzas	1,79 (0,06) _a	1,70 (0,04) _a	...
Amido Total	60,1 (8,52) _a	66,5 (5,59) _a	...
Fibra solúvel (FAS)	5,31 (0,33) _a	4,60 (1,71) _a	0,66 (0,11) _b
Fibra insolúvel (FAI)	15,35 (0,85) _a	9,78 (0,23) _b	1,43 (0,31) _c
Fibra total (FAT)***	20,66 _a	14,38 _b	2,09 _c

*média (desvio-padrão), letras diferentes na mesma linha diferem estatisticamente (p<0,05)

** *snacks* de milho somente, sem aromatização, produzidos e analisados nas mesmas condições que o produto com linhaça

***obtido com a soma FAS+FAI

A composição centesimal média de *snacks* de milho é de 6,3% proteína, 53% de carboidratos, 1,41% de gordura e 1,9% de cinzas (WATSON, RAMSTAD, 1994; citado por GONÇALVES, 2001), dados que concordam com o salgadinho somente de milho produzido para comparação. Pode-se verificar que a adição permitiu um aumento considerável no teor de proteína, de quase 100%, e também no teor de fibra, tanto solúvel quanto insolúvel.

Em relação à rotulagem, a Portaria nº 27, de 13 de janeiro de 1998 - Regulamento Técnico referente à Informação Nutricional Complementar - preconiza quanto ao conteúdo de fibra alimentar que o produto pronto para 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. Portanto o salgadinho de milho e linhaça é considerado ALTO TEOR DE FIBRA ALIMENTAR, pois contém 14,28g de fibra/100g.

MENDONÇA, 1997, produziu *snack* de milho rico em fibra empregando como matéria-prima para enriquecimento o farelo de milho. O teor de fibra obtido, 15,96%, foi semelhante ao do presente trabalho, mas a constituição da fibra é exclusivamente insolúvel, devido à matéria-prima utilizada, diferente deste caso que foi obtido um teor considerável de fibra solúvel (4,6%).

A Tabela 11 mostra a rotulagem nutricional do produto contendo solução aromatizante com óleo de canola, e verifica-se uma suave diminuição no teor de fibra para 12,5%, mas que não impede de classificá-lo como “alto teor de fibras”. O rótulo foi elaborado considerando a Resolução RDC nº 360, que regulamenta a rotulagem nutricional de alimentos embalados.

Tabela 11. Informação nutricional do biscoito tipo *snack* à base de milho e linhaça aromatizado com solução aromatizante isenta de gordura vegetal hidrogenada

INFORMAÇÃO NUTRICIONAL - Porção de 20 gramas (1/2 pacote)		
	Quantidade por porção	% VD*
Valor energético	61 kcal	3
Carboidratos	8,3 g	3
Proteínas	1,9 g	3
Gorduras totais	1,4 g	2
Gorduras saturadas	Menor ou igual a 0,2 g	0
Gorduras <i>trans</i>	Não contém	...
Fibras alimentar	2,5 g	10
Sódio

*Valores diários de referência com base em uma dieta de 2.000 calorias (kcal), ou 8400 kJ. Seus valores diários podem ser maiores ou menores dependendo de suas necessidades energéticas

O salgadinho de milho e linhaça é um alimento com alto teor de fibras, conforme Portaria nº 27, de 13 de janeiro de 1998, SVS/MS

Não houve alteração significativa no teor de amido total antes e após a extrusão. LUE et al., 1991 pesquisaram a adição de fibra de beterraba em extrusados de milho e os efeitos sobre a expansão, gelatinização do amido e conteúdo de fibra alimentar. Os autores encontraram um teor de amido total de 60,6% (em base seca) para o produto com 30% de fibra adicionada, e não houve mudança significativa do conteúdo de amido após a extrusão, semelhante ao resultado encontrado neste trabalho.

5.3.1. Lipídeos

Houve diminuição significativa do teor de lipídeos após a extrusão, explicada por interações moleculares lipídeo-amido que ocorrem no processo. Em virtude de sua estrutura tridimensional, o amido possui unidades repetidas de glicose orientadas em forma de uma hélice, com hidroxilas localizadas na parte externa e restando na parte interna apenas ligações C-H, conseqüentemente a parte interna da molécula possui caráter hidrofóbico. Essa região interna da hélice é responsável pela ligação de inúmeros compostos apolares como o iodo ou lipídeos, alterando as propriedades da massa formada pelo amido. No caso da extrusão, foi observado que após o processamento parte dos lipídeos adicionados no processo não eram mais extraídos por solventes de baixa polaridade, como o éter etílico e de petróleo, mas por solventes orgânicos de maior polaridade como o metanol (ARÊAS, 1996).

A análise da composição centesimal da farinha antes da extrusão e dos *snacks* seguiu metodologia convencional, utilizando éter de petróleo para determinação de lipídeos, o que justifica a diminuição desse componente nos *snacks*. Para maior exatidão da análise para esse caso, foi realizada uma extração

de lípidos empregando metanol no lugar do éter de petróleo, que revelou para os salgadinhos teor lipídico médio de $3,78 \pm 1,12$; sendo possível verificar extração completa de lipídeos (quando comparado com a farinha antes da extrusão) e também de outros componentes que não são triacilglicerídeos, devido à polaridade do solvente e outras ligações intermoleculares.

5.3.2. Fibra

É descrita na literatura a ocorrência de alterações significativas na composição química e nos efeitos fisiológicos da fibra alimentar decorrentes do processo de extrusão, sendo que as mudanças que se encontram bem estabelecidas convergem para a alteração da proporção entre fibra solúvel e insolúvel e mudanças na solubilidade deste componente (BJÖRCK et al., 1984; CHEFTEL, 1986). No geral, há uma degradação molecular que resulta em maior solubilização quanto mais severas as condições de processamento (BJÖRCK et al., 1984; SILJESTROM et al., 1986; QIAN, DING, 1996; RINALDI et al., 2000; NELSON, 2001); estudos de digestibilidade confirmam efeitos fisiológicos benéficos esperados com o aumento da fibra solúvel: fermentação aumentada no trato intestinal (BJÖRCK et al., 1984) e aumento da excreção de ácidos biliares (DRZIKOVA et al., 2005).

Mas a taxa de solubilização depende do material estudado e das condições do equipamento. Ao se comparar condições de produtos oriundos da extrusão é imprescindível considerar que cada tipo de extrusor tem suas próprias características e transferir resultados de uma máquina para outra pode ser muito difícil, não se pode extrapolar (FAUBION et al., 1982).

Em produtos com trigo (farinha refinada e farinha integral) a extrusão (160-170°C, 15% umidade, 100 a 200rpm e velocidade de alimentação de 200 a

350g/min) causou uma redistribuição de fibra insolúvel para fibra solúvel, com 50 a 75% do total de fibra sendo solúvel após o processamento, contra os 40% observados anteriormente para a farinha branca. A redistribuição para a farinha integral foi menos pronunciada, assim como para o material com taxa de alimentação maior, justificado pelo menor tempo de residência no canhão do extrusor (BJÖRCK et al., 1984).

VARO et al. (1983), em estudo interlaboratorial, compararam 8 diferentes métodos para a determinação de fibra em alimentos processados. Com alguns deles, fibra solúvel e insolúvel foram redistribuídas em farinha de trigo extrusada e na farinha de trigo integral. Entretanto, quando os resultados de todos os métodos foram combinados, a redistribuição não foi significativa, permitindo concluir que o efeito da solubilização foi dependente do método.

ARTZ, et al. (1990) estudaram as modificações ocasionadas pela extrusão em uma mistura de farelo e amido de milho; os parâmetros avaliados incluíram velocidade de rotação da rosca (200-500rpm), temperatura (90-150°C) e pH (3-11) e não foram encontradas mudanças significativas na razão de fibra solúvel para insolúvel como resultado da extrusão.

DUST et al. (2004) determinaram os efeitos de condições de extrusão (leve, moderado e extremo) na composição química e digestão *in vitro* de cevada em grãos, milho, farelo de aveia, farinha e cascas de soja e farelo de trigo. Os parâmetros do presente trabalho assemelham-se com a condição extrema estudada por esses autores: 120-130°C e 500rpm. As concentrações de fibra alimentar total não mudaram como resultado da extrusão. Foi notada uma solubilização da fibra para todos os alimentos extrusados, exceto para cascas de soja submetida à extrusão leve e moderada.

SILJESTROM et al. (1986) não encontraram mudança significativa no conteúdo de fibra alimentar quando grãos integrais e farinha refinada de trigo foram extrusados sob condições moderadas, mas sob condições severas a fibra presente se tornou ligeiramente solúvel.

Foi empregado okara, resíduo da produção de leite de soja que apresenta mais de 50% de fibra, para enriquecer cereais e estudar os efeitos da extrusão na fibra alimentar e isoflavonas. Em concordância com outros trabalhos, a extrusão resultou em diminuição da fibra insolúvel (até 25%) e aumento da fibra solúvel (até 150%) (RINALDI, 2000).

Uma alteração constatada também durante a extrusão é a formação de amido resistente tipo III, por retrogradação da amilose, durante o resfriamento de grãos submetidos a tratamento térmico (SILJESTROM et al., 1986; RINALDI, 2000; VASANTHAN et al., 2002).

Grãos de cevada, das variedades Phoenix e CDC-Candle foram extrusados em rosca dupla nas condições: 90-140°C e 20-50% de umidade e analisado o perfil de fibra. Em geral, os conteúdos de fibra solúvel e fibra total aumentaram após a extrusão para as duas variedades. As alterações na fibra insolúvel foram dependentes da variedade, pois houve uma diminuição em menor escala no conteúdo de fibra insolúvel para a variedade CDC-Candle. Para a variedade Phoenix houve um aumento no teor de fibra insolúvel nos extrusados, atribuído à formação de amido resistente tipo 3 (VASANTHAN et al., 2002).

Na década de 1980 muitos estudos sobre o comportamento da fibra alimentar no processo de extrusão não chegaram a um consenso sobre o assunto (VARO et al., 1983; BJÖRCK et al., 1984; SILJESTRÖM et al., 1986; THEANDER, WESTERLUND, 1987; AOE et al., 1989). O motivo foi a inconsistência dos inúmeros métodos descritos na literatura para análise química deste componente, o que

torna a determinação das mudanças químicas nos constituintes da fração fibra limitado (LUE et al., 1991; CAMIRE, et al., 1990).

O panorama atual ainda é de grande variação de resultados de acordo com a metodologia de análise escolhida para determinação de fibra alimentar, mas notável a obtenção de resultados mais consistentes após a padronização e escolha da AOAC dos métodos enzimático-gravimétricos (inclusive o de PROSKY et al., 1988) como oficiais. O método de PROSKY et al., 1988 é bastante útil para análise de produtos ricos em amido, mas sua validade ainda é limitada por erros e imprecisões de metodologia (SAURA-CALIXTO e GARCIA-ALONSO, 2001).

O método da AOAC é útil para rotulagem de produtos comerciais e foi desenvolvido exclusivamente para cereais e alimentos ricos em amido sendo, portanto, adequado para o presente trabalho (SAURA-CALIXTO e GARCIA-ALONSO, 2001).

Na bibliografia das últimas décadas podem ser encontrados inúmeros métodos propostos para análise de fibra (por exemplo: enzimático-gravimétricos, enzimático-químicos). Entre estes prevalece ainda o procedimento da AOAC devido à simplicidade operacional e especialmente ao apoio de indústrias que manufacturam alimentos enriquecidos com fibra; além disso, o método apresenta vantagens como boa reprodutibilidade, acurácia e simplicidade operacional (SAURA-CALIXTO e GARCIA-ALONSO, 2001; DE VRIES e RADER, 2005).

Os resultados obtidos no presente trabalho diferem de muitos existentes na literatura, pois houve uma redução de 7% no teor de fibra insolúvel após o processo de extrusão.

Uma explicação para as mudanças nas concentrações de fibra insolúvel como resultado da extrusão de ingredientes com alto teor de amido é a relação direta entre diminuição de fibra insolúvel e concentração de amido resistente. A

análise de fibra alimentar pelo método de PROSKY et al., 1988 superestima fibra quando há amido resistente presente (SAURA-CALIXTO e GARCIA-ALONSO, 2001; DUST et al., 2004). Dois ingredientes ricos em amido (milho e cevada) exibiram diminuição drástica de amido resistente após a extrusão; no processamento há gelatinização dos grânulos de amido e conseqüente aumento do amido enzimaticamente acessível (DUST et al., 2004). Propõe-se que seja realizada no futuro análise de amido resistente nas amostras do presente trabalho para confirmar se a alteração encontrada para o teor de fibra pode ser atribuído à diminuição na quantia de amido resistente.

AOE et al., 1989 examinaram o efeito da extrusão na disponibilidade da fibra alimentar no farelo de trigo e na digestibilidade aparente de três nutrientes coexistentes: amido, proteína e lipídeo. O conteúdo de fibra solúvel foi de 3,3% no farelo cru, o qual aumentou em relação ao grau de extrusão para 4,2% (extrusão moderada) e 5,1% (extrusão severa). A insolúvel diminuiu 5,7% na condição severa, enquanto a solúvel aumentou 1,8%, o que indica uma diminuição da fibra insolúvel não apenas pela solubilização, semelhante ao encontrado no presente trabalho, mas os autores não citam uma explicação para este fato. A digestibilidade aparente do amido, proteína e lipídeo não foram influenciadas pela extrusão, mas com relação à fibra, os produtos extrusados apresentaram maior digestibilidade.

5.3.3. Perfil de aminoácidos

Comparando-se os *snacks* de milho e linhaça com os de milho somente pode-se verificar que a adição de linhaça permitiu um incremento em proteína maior que 100%, como observado na composição centesimal.

A análise do perfil de aminoácidos totais para farinha de milho e linhaça (70:30) antes de extrusar (FAE), e nos snacks obtidos está apresentada na Tabela 12.

Com relação às alterações provocadas pela extrusão nas proteínas, a principal reação química é a de Maillard, favorecida por condições de alta temperatura (>180°C) e cisalhamento (>100 rpm) em combinação com baixa umidade, acarretando menor disponibilidade de lisina e diminuindo o valor nutricional do alimento. Em contrapartida, a principal modificação físico-química é a melhor digestibilidade da proteína, devido à desnaturação (CAMIRE et al., 1990; MENDONÇA, 1997). Os resultados deste trabalho indicam não ter havido perda de lisina durante a extrusão, os resultados da FAE e dos salgadinhos para lisina são bem semelhantes.

Tabela 12. Composição de aminoácidos (em mg/100g de alimento) na torta de linhaça, farinha de milho e linhaca antes da extrusão, nos snacks de milho e linhaça, e valor de referência para *snacks* de milho sabor churrasco .

Aminoácido (%)	Torta de linhaça Lote 2	FAE	Snacks	Snack comercial sabor churrasco*
Alanina	1,71	1,24	0,87	0,47
Arginina	2,91	0,94	1,12	0,37
Ácido aspártico	3,32	1,18	1,19	0,59
Glicina	2,24	0,96	1,09	0,29
Isoleucina	1,44	0,61	0,60	0,28
Leucina	2,22	1,44	1,46	0,75
Ácido glutâmico	7,49	3,07	2,99	1,24
Lisina	1,63	0,41	0,39	0,28
Cisteína	0,34	0,27	0,22	0,12
Metionina	0,17	0,20	0,19	0,13
Fenilalanina	1,56	0,79	0,76	0,33
Tirosina	0,65	0,27	0,35	0,27
Treonina	1,34	0,52	0,58	0,28
Triptofano	0,33	0,05	0,07	0,06
Prolina	1,30	1,16	0,99	0,52
Valina	1,81	0,83	0,72	0,36
Histidina	0,71	0,40	0,36	0,2
Serina	1,64	0,65	0,73	0,34
% de proteína	32,81	15,01	14,69	6,89

* Fonte: USDA National Nutrient Database for Standard Reference, Release 18 (2005)

Apesar da maior quantidade protéica do salgadinho de milho e linhaça, o mesmo apresenta dois aminoácidos essenciais como limitantes: lisina e triptofano, pois os mesmos não atendem às recomendações da FAO para crianças de 2 a 5

anos, ambos apresentam escore químico abaixo de 100% (Tabela 13). Essa constatação já era esperada uma vez que a maior proporção no salgadinho (70%) era de milho, que apresenta estes dois aminoácidos como limitantes.

Tabela 13. Composição de aminoácidos (mg/g de proteína) na farinha de milho e linhaça antes da extrusão, nos *snacks* de milho e linhaça, escore químico e recomendações de aminoácidos essenciais para crianças pré-escolares da FAO/WHO (1991).

Aminoácido	FAE	Snacks milho e linhaça	Escore químico snacks (%)	FAO/WHO (1991) *
Alanina	82,69	59,39	-	-
Arginina	6,246	7,652	-	-
Ac. aspártico	7,89	8,07	-	-
Glicina	63,93	74,28	-	-
Isoleucina	40,74	41,03	146,53	28
Leucina	95,92	99,52	150,78	66
Ac. glutâmico	204,70	203,40	-	-
Lisina	27,67	26,36	45,44	58
Metionina + Cisteína	31,39	27,89	111,56	25 (Met+Cys)
Fenilalanina + Tirosina	70,86	75,69	120,14	63 (Phe+Tyr)
Treonina	34,51	39,70	116,76	34
Triptofano	3,59	5,17	47,00	11
Prolina	77,14	67,36	-	-
Valina	55,52	48,45	138,42	35
Histidina	26,88	24,72	130,10	19
Serina	43,16	49,78	-	-

*Recomendação da FAO para pré-escolares

Encontra-se na literatura exemplos de salgadinhos de milho de melhor qualidade nutricional com relação à proteína. ALMEIDA-DOMINGUEZ et al., 1990, produziram *snacks* a partir de milho, grão-de-bico, farinha de soja, com adição de metionina, visando atingir as recomendações da FAO para lisina e aminoácidos sulfurados. Os produtos apresentaram alto teor de proteína, que variou de 13 a 18%, com alto valor biológico, pois os valores de PER (razão de eficiência protéica) foram semelhantes ao da caseína. As formulações de 15 e 13% de proteína não mostraram diferenças com relação ao produto controle na análise sensorial.

Com o emprego de matéria-prima de origem animal (mistura de pulmão bovino em milho e grão-de-bico) o teor de proteína foi de 18,7%, o *snack* de grão-de-bico e pulmão bovino somente apresentou proteína de 23 a 31%, superior ao obtido no salgadinho com linhaça e com qualidade nutricional similar à da caseína. Ambas misturas adicionadas com pulmão agregam o apelo “rico em ferro” uma vez que o teor desse mineral que supre 30% das recomendações diárias em uma porção de 30g, constituindo-se também uma excelente alternativa para programas de intervenção nutricional (CARDOSO-SANTIAGO, 2001; CARDOSO-SANTIAGO et al., 2001).

5.3.5. Vitaminas A e E

Os valores encontrados para α tocoferol e β caroteno estão ilustrados na Tabela 14. Há poucos trabalhos para base de comparação dos teores dessas vitaminas em linhaça; os valores encontrados são discrepantes devido à metodologia analítica (DAUN et al., 2003). Os maiores teores encontrados permitem concluir que esta semente seja um alimento fonte de vitamina E, com 12 mg de tocoferóis/100g de semente (OOMAH e MAZZA, 1998).

No material analisado não foram encontradas as vitaminas em questão, o que já era esperado pois trata-se de material desengordurado.

Tabela 14. Valores de alfa-tocoferol (mg/100g) e beta-caroteno (mg/100g) em sementes de linhaça, na farinha de milho e linhaça antes da extrusão e nos salgadinhos de milho e linhaça*

Amostras	a tocoferol	b caroteno	DAUN et al. (2003) a tocoferol	DAUN et al. (2003) b caroteno
Sementes	Nd**	0,037 (0,005)	0,0-1,2	18
Linhaça				
Farinha antes extrusão	0,09 (0,01)	0,029 (0,006)	-	-
Salgadinho sem aromatização	Nd**	0,013 (4,9x10 ⁻⁵)	-	-

*média (desvio-padrão)

**Nd - não detectado

O carotenóide presente em maiores quantidades na linhaça é a luteína, os demais carotenóides estão presentes em pequenas quantidades, e representam pouca ou nenhuma equivalência em retinol, uma vez que a linhaça é uma planta cloroembriófita (com embriões verdes) e durante o processo de maturação a clorofila e outros pigmentos diminuem significativamente (DAUN et al., 2003).

5.4. Análise sensorial

Na Tabela 15 estão os resultados da aceitabilidade para os *snacks*. Observa-se nos atributos avaliados que a cor foi rejeitada uma vez que a maioria dos provadores (75,6%) atribuíram valores entre 1 e 5, conferindo a esse

parâmetro média de escores abaixo do limite de aceitação. Os demais atributos (textura, sabor, aparência geral) foram aceitos, com médias maiores ou próximas a 7 (gostei moderadamente). Apesar de haver rejeição da cor para este novo produto, a intenção de compra foi de 80% (32 provadores assinalaram “sim” entre 40 que responderam).

Tabela 15. Representação dos valores médios de aceitação* para textura, cor, sabor e aparência geral obtidos durante análise sensorial.

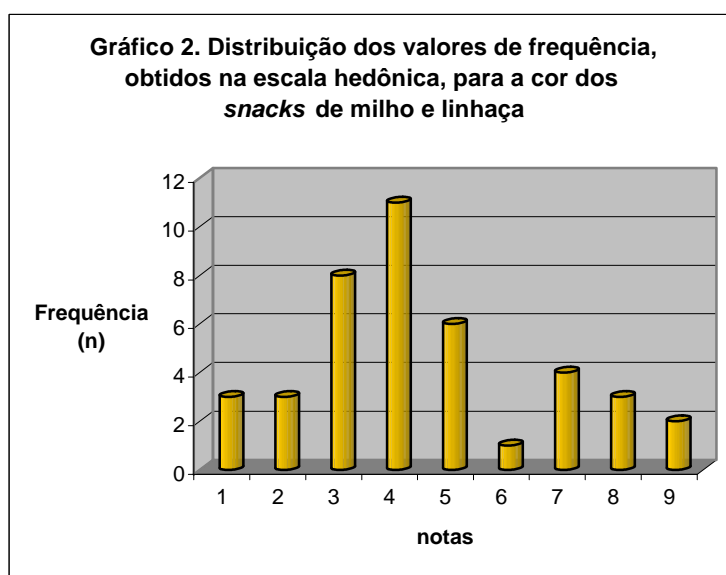
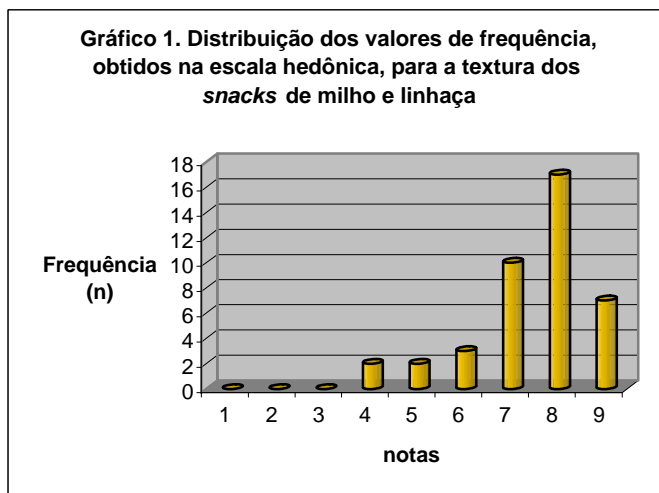
Parâmetros	Aceitabilidade
Textura	7,44 (1,69)
Cor	4,46 (2,13)
Sabor	7,32 (1,69)
Aparência geral	6,93 (1,35)

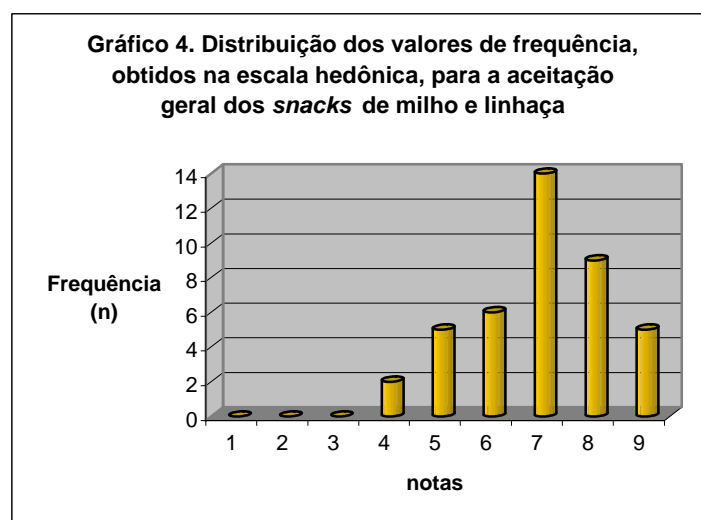
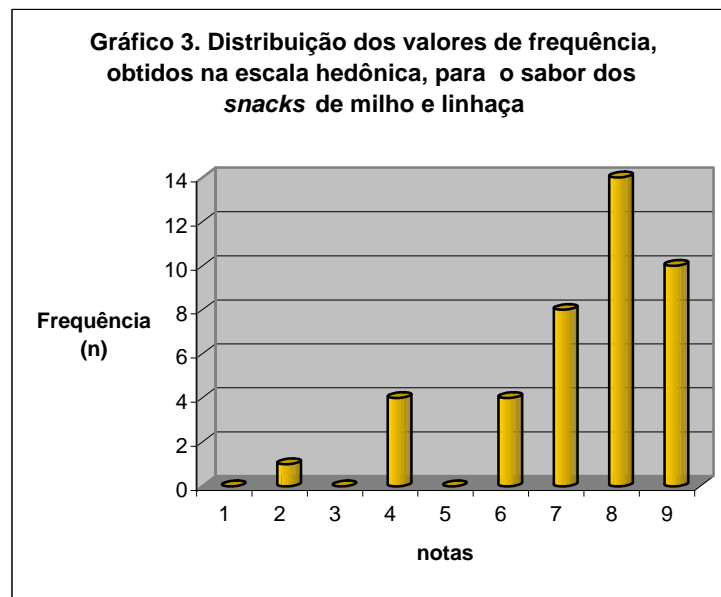
*Escala hedônica (9 pontos): 1=desgostei muitíssimo a 9=gostei muitíssimo, médias seguidas do desvio-padrão

Entre os 41 provadores 27 deles (65,8%) fizeram comentários na ficha de avaliação, e agrupando-os: 18% comentaram “o sabor está muito salgado para o paladar”; 70% expressaram rejeição da cor ou o fato de ser uma cor diferente da encontrada em produtos disponíveis no mercado; e 11% dos provadores efetuaram elogios ao produto por se tratar de “algo inovador com benefícios à saúde”.

Detalhando os comentários relativos à cor, 42,1% relataram “o primeiro impacto foi ruim, a cor não agrada, depois mudou, pois o gosto é bom”, mas 2 provadores (7%) entre os que comentaram sobre a cor demonstraram aversão pelo aspecto do produto.

Os gráficos 1, 2, 3 e 4 representam as distribuições das frequências do teste de aceitação de consumidor, segundo a escala hedônica, quanto aos atributos testados.





Em um primeiro momento devem ser consideradas mudanças no aroma e sabor no desenvolvimento de produtos contendo linhaça. A redução das notas e consequente rejeição para o atributo cor não seria de maior importância para produtos como *snacks* que podem ter uma cobertura, aromas diferentes ou corantes para mascarar a cor original (AHMED, 1999).

Os comentários apresentados sugerem a necessidade de futuras pesquisas, pois poderiam ser melhorados o sabor (testando-se novas proporções de sal) e principalmente a cor deste novo produto; a realização de novas análises sensoriais poderia resultar em notas ainda maiores para todos os atributos analisados.

6. CONCLUSÕES

Foi possível desenvolver um processo adequado para obter salgadinhos de milho e linhaça com boa expansão, mas não foi otimizado simultaneamente a força de cisalhamento, não sendo possível avaliar seu efeito, os comportamentos sistemáticos dessas duas variáveis são diferentes;

A adição de linhaça não influenciou a razão de expansão e o modelo obtido explica apenas a faixa de variação estudada;

Comparado aos *snacks* de milho tradicionais, que contém menos de 2% de fibras, a adição de linhaça permitiu o uso do atributo “alto teor de fibras”, segundo a legislação brasileira, além da maior quantidade em proteína obtida;

O produto foi bem aceito, com exceção do atributo cor, sendo necessários pequenos ajustes e a realização de novas análises sensoriais.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRIANUAL. Anuário da Agricultura Brasileira, Instituto FNP, 504p., 2006
- AGUILERA, J.M.; KOSIKOWSKI, F.V. Soybean extruded product: a response surface analysis. **J. Food Sci.** v. 41, p. 647-651, 1976
- AGUILERA, J.M.; KOSIKOWSKI, F.V. Extrusion and roll-cooking of corn-soy-whey mixtures. **J. Food Sci.** v. 43, p. 225-227; 230, 1978
- AHMED, Z.S. Physico-chemical, structural and sensory quality of corn-based flax-snack. **Nahrung** v.43, n. 4, p.253-258, 1999
- ALMEIDA-DOMINGUEZ, N.G.; VALENCIA, M.E.; HIGUERA-CIAPARA, I. Formulation of Corn-Based Snacks with high nutritive value: biological and sensory evaluation. **J. Food Sci.** v.55, n.1, p.228-231, 1990
- AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. The definition of dietary fiber. Report of the dietary fiber definition committee to the board of directors of the AACC. **Cereal Foods World**, v.46, n.3, p.112-129, 2001
- ANÔNIMO. O Linho. **Revista Globo Rural**. n. 171, Jan., 2000.
- AOE, S.; NAKAOKA, M.; IDO, K.; TAMAI, Y.; OHTA, F.; AYANO, Y. Availability of dietary fiber in extruded wheat bran and apparent digestibility in rats of coexisting nutrients. **Cereal Chem.** v.66, n.4, p.252-256, 1989
- ARABBI, P.R. Alimentos funcionais - Aspectos gerais. **Nutrire: rev. Soc. Bras. Alim. Nutr.** v. 21, p.87-102, 2001
- ARÉAS, J.A.G. Interações moleculares do amido durante o processo de extrusão. **Bol. SBCTA** v. 30, p. 28-30, 1996

ARÉAS, J.A.G. Extrusion of food proteins. **Crit Rev Food Sci Nutr.** v. 32, n. 4, p. 365-392, 1992

ARTZ, W.E.; WARREN, C.; VILLOTA, R. Twin-screw extrusion modification of corn fiber and corn starch extruded blend. **J. Food Sci.** v.55, n.3, p.746-750, 1990

ASARE, E.K; SEFA-DEDEH, S.; SAKYI-DAWSON, E.; AFOAKWA, E.O. Application of response surface methodology for studying the product characteristics of extruded rice-cowpea-groundnut blends. **Int. J. Food Sci. Nutrition.** v.55, n.5, p. 431-439, 2004

ASCHERI, R.J.L.; CARVALHO, W.P. Caracterización fisico-química de snack de grits de maíz producido por extrusión termoplástica. **Alimentaria.** v34, n273, p 87-91, 1996

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS-AOAC. **Official Methods of Analysis.** v.1, Washington, p. 342, 1990

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official Methods of Analysis.** 14th ed. Washington, DC, 1984

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official Methods of Analysis.** v.1, Washington, p. 342, 1990

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official Methods of Analysis.** Washington, methods 998.15; 994.12, 2000

BARROS-NETO, B.; SACARMINIO, I.S.; BRUNS, R.E. Como fazer experimentos. Pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria. 401 p. Campinas: Ed da UNICAMP; 2003

BHATTACHARYA, S.; PRAKASH, M. Extrusion of blends of rice and chickpea flour: a response surface analysis. **J. Food Eng.** v. 21, p. 315-330, 1990

BATISTUTI, J.P.; BARROS, R.M.C.; ARÊAS, J.A.G. Optimization of extrusion cooking process for chickpea (*Cicer arietinum* L.) deffated flour by response surface methodology. **J. Food Sci.** v.56, n.6, p.1695-1698, 1991

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

BJÖRCK, I.; NYMAN, M.; ASP, N.G. Extrusion cooking and dietary fiber: effects on dietary fiber content and degradation in the rat intestinal tract. **Cereal Chem.** v.61, n. 2, p. 174-179, 1984

BJÖRCK, I.; NYMAN, M., PEDERSEN, B., SILJESTRÖM, M.; ASP, N.G. EGGUM, B.O. On the digestibility of starch for digestion in wheat bread: Studies in vitro and in vivo. **J. Cereal Sci.** v. 4, n.1, p. 1-11, 1986

BOX, G.E.P.; DRAPER, N.R. Empirical model building and response surfaces. New York, Wiley, 1987

BRASIL, SECRETÁRIA DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA, MINISTÉRIO DA SAÚDE. Aprova Regulamento Técnico Referente à Informação Nutricional Complementar. Portaria nº 27, de 13 de janeiro de 1998. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 16 de janeiro, 1998, Seção I

BRASIL, SECRETÁRIA DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA, MINISTÉRIO DA SAÚDE. Aprova o Regulamento Técnico sobre Rotulagem Nutricional de Alimentos Embalados, tornando obrigatória a rotulagem nutricional. Resolução RDC nº 360, de 23 de dezembro de 2003, disponível em <http://www.anvisa.gov.br/e-legis/>

CAMIRE, M.E.; BELBEZ, E.O. Flavor formation during extrusion cooking. **Cereal Foods World.** v.41, p. 734-736, 1996 ADAPTADO

CAMIRE, M.E.; CAMIRE, A.; KHRUMAR, K. Chemical and nutritional changes in foods during extrusion. **Crit Rev Food Sci Nutr.** v.19, n.1, p. 35-57, 1990

CAPRILES, V.D.; AREAS, J.A.G. Desenvolvimento de salgadinhos com teores reduzidos de gordura saturada e ácidos graxos trans. **Cienc. Tecnol. Aliment.** v.25, n.2, p.363-369, 2005

CARDOSO-SANTIAGO, R.A. Desenho de alimento extrusado para intervenção nutricional à base de milho (*Zea mays* L.) e pulmão bovino. São Paulo, 2002, 103p. [Tese Doutorado, Faculdade de Saúde Pública, USP]

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

CARDOSO-SANTIAGO, R.A.; MOREIRA-ARAUJO, R.S.R.; PINTO E SILVA, M.E.M.; AREAS, J.A.G. The potencial of extruded chickpea, corn and bovine lung for malnutrition programs. **Innovative Food Science & Emerging Technologies.** v.2, p.203-209, 2001

CARUSO, L. Avaliação da qualidade analítica dos dados sobre fibra alimentar-um modelo. São Paulo, 1998, 95p. [Dissertação mestrado, FCF/FEA/FSP, USP]

CHÁVEZ-JÁUREGUI, R.N. Produção e avaliação sensorial de alimento expandido pela estrusão termoplástica de amaranto (*Amaranthus caudatus* L.) São Paulo, 1999, 125p. [Tese Doutorado, Faculdade de Ciências Farmacêuticas, USP]

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

CHEFTEL, J.C. Nutritional effects of extrusion cooking. **Food Chem.** v. 20, n. 4, p. 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.** v.56, n.1, p.84-89, 1991

CHINNASWAMY, R.; HANNA, M.A. Optimum extrusion-cooking conditions for maximum expansion of corn starch. **J. Food Sci.** v. 53, n.3, p.834-840, 1988

CONTI, A.C.; ARÊAS, J.A.G. Aproveitamento do rúmen bovino através de sua extrusão termoplástica. **Nutrire: rev. Soc. Bras. Alim. Nutr.** v. 21, p.21-31, 2001

CHRISTOFIDES, V.; AINSWORTH, P.; IBANOGLU, S.; GOMES, F. Physical evaluation of a maize-based extruded snack with curry powder. **Nahrung.** v.48, n.1, p. 61-64, 2004

CUNNANE, S.C.; GANGULI, S.; MENARD, C.; LIEDE, A.C.; HAMADEH, M.J.; CHEN, Z.; WOLEVER, T.M.S.; JENKINS, D.J.A. High linolenic acid flaxseed (*Linum usitatissimum*): some nutritional properties in humans. **British J. Nutr.** v. 69, p 443-453, 1993

DAUN, J.K.; BARTHET, V.J.; CHORNICK, T.L.; DUGUID, S. Structure, composition and variety development of flaxseed. In: THOMPSON, L.U.; CUNNANE, S.C. Flaxseed in Human Nutrition. AOCS PRESS, 2nd ed. Cap. 1, p. 1-40, 2003

DAVIDSON, A. The Oxford Companion of food. Oxford University Press, Oxford. p. 454-455, 1999

DE VRIES, J.W.; RADER, J.I. Historical perspective as a guide for identifying and developing applicable methods for dietary fiber. **J. AOAC International** v. 88, n.5, p. 1349-1366

DRZIKOVA, B.; DONGOWSKI, G.; GERBHARDT, E.; HABEL, A. The composition of dietary fibre-rich extrudates from oat affects bile acid binding and fermentation in vitro. **Food Chem.** v.90, p.181-192, 2005

DUST, J.M.; GAJDA, A.M.; FLICKINGER, E.A.; BURKHALTER, T.M.; MERCHEN, N.R.; FAHEY, G.C. Extrusion conditions affect chemical composition and in vitro digestion of select food ingredients. **J. Agric. Food Chem.** v. 52, p. 2989-2996, 2004

FAUBION, J.M.; HOSENEY, R.C. High-temperatures short-time extrusion cooking of wheat starch and flour. **Cereal Chem.** v. 59, n. 6, p 529-537, 1982

FAUBION, J.M.; HOSENEY, R.C.; SEIB, P.A. Functionality of grain components in extrusion. **Cereal Foods World.** v. 27, n. 5, p 212-216, 1982

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. Globalization of food systems in developing countries: impact on food security and nutrition. Roma, 285 p., 2005 (FAO Food and Nutrition Paper, 83)

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION/WORLD HEALTH ORGANIZATION. Protein quality evaluation. Roma, 66p., 1991 (FAO Food and Nutrition Paper, 51)

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. Carbohydrates in human nutrition. Roma, 1997 (FAO Food and Nutrition Paper, 66)

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

GOMES, M.H.; AGUILERA, J.M. A physicochemical modelo for extrusion of corn starch. **J. Food Sci.** v.49, p.40-43; 63, 1984

GONÇALVES, R.A. Rendimento de cultivares de milho em *grits* para produção de *snacks*. Lavras, 2001, 55p. [Tese Doutorado, Universidade Federal de Lavras]

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

GREGORIO, S.R.; AREAS, M.A.; REYES, F.G.R. Fibras alimentares e doença cardiovascular. **Nutrire.** v. 22, p.109-120, 2001

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

HARPER, J.M. Extrusion of foods. Volume II. CRC Press, Florida, United States, 1981b

HARPER, J.M. Effects of extrusion processing on nutrients. In: KARMAS, E.; HARRIS, R.S. Nutritional evaluation of food processing. Van Nostrand Reinhold Co. Ltd. Cap.14, p. 365-391, 1988

HERNÁNDEZ, C.V.C. Efeito do processo de extrusão sobre o teor de vitamina A em "snacks" fortificados elaborados a partir de misturas à base de milho, grão de bico, amaranto e pulmão bovino. São Paulo, 2002, 75p. [Dissertação Mestrado, Faculdade de Saúde Pública, USP]

KURILICH, A.C.; JUVIK, J.A. Simultaneous quantification of carotenoids and tocopherols in corn kernel extracts by HPLC. **J. Liquid Chromatography & Related Technologies**. v.22, n.19, p. 2925-2934, 1999.

JONES, J.R.; LINEBACK, D.M.; LEVINE, M.J. Dietary reference intakes: implications for fiber labelin and consumption: a summmary of the International Life Sciences Institute North America fiber workshop, june 1-2, 2004, Washington, DC. **Nutrition Reviews**, v.64, n.1, p.31-38, 2006

LAMPE, J.W.; MARTINI, M.C.; KURZER, M.S.; ADLERCREUTZ, H.; SLAVIN, J.L. Urinary lignan and isoflavonoid excretion in premenopausal women consuming flaxseed power. **Am J. Clin. Nutr.** v.60, p.122-128, 1994

LUE, S.; HSIEH, F.; HUFF, H.E. Extrusion cooking of corn meal and sugar beet fiber: effects on expansion properties, starch gelatinization, and dietary fiber content. **Cereal Chem.** v.68, n.3, p. 227-234

MATSON, K. What goes in the extruder barrel. **Cereal Foods World** v.27, p. 207-210, 1982

MEAGHER, L.P.; BEECHER, G.R.; FLANAGAN, V.P.; LI, B.W. Isolation and characterization of the lignans, isolariciresinol and pinoresinol, in flaxseed meal. **J. Agric. Food Chem.** v.47, p. 3173-3180, 1999

MERCIER, C.; FEILLET, P. Modification of carbohydrate components by extrusion-cooking of cereal products. *Cereal Chem.* v.52, n.3, p.283-297, 1975

MENDONÇA, S. Utilização do farelo de milho na produção de “snacks” com fibra. Londrina, 1997, 132p. [Dissertação mestrado, Universidade Estadual de Londrina]

MENDONÇA, S.; GROSSMANN, M.V.E.; VERHE, R. Corn bran as a fibre source in expanded snacks. **Lebensm-Wiss. u-Technol.** v.33, p.2-8, 2000

MOREIRA-ARAUJO, R.S.R; ARAUJO, M.A.M.; SILVA, A.M.S.; CARVALHO, C.M.R.; AREAS, J.A.G. Impacto de salgadinho de alto valor nutritivo na situação nutricional de crianças de creches municipais de Teresina-PI. **Nutrire.** v.23, p.7-21, 2002

NELSON, A.L. Properties of high-fiber ingredients. **Cereal Foods World.** V. 43, n. 3, p.93-97, 2001

NESBITT, P.D.; LAM, Y.; THOMPSON, L.U. Lignans in homemade and commercial products containing flaxseed. **Nutr. Cancer** v. 29, p. 222-227, 1997

ONWULATA, C.I.; KONSTANCE, R.P.; SMITH, P.W.; HOLSINGER, V.H. Co-extrusion of dietary fiber and milk proteins in expanded corn products. **Lebensm-Wiss. u-Technol.** v.34, p.424-429, 2001

OOMAH, B.D.; MAZZA, G.; KENASCHUK, E.O. Cyanogenic Compounds in Flaxseed. **J. Agric. Food Chem.** v. 40, p.1346-1348, 1992

OOMAH, B.D.; MAZZA, G. Flaxseed proteins - a review. **Food Chem.** v. 48, p.109-114, 1993

OOMAH, B.D.; MAZZA, G. Flaxseed products for disease prevention. In: MAZZA, G. Functional Foods - Biochemical & Processing Aspects. Technomic. Cap. 4 p. 91-138, 1998

OOMAH, B.D. Flaxseed as a functional food source. **J Sci Food Agric.** v. 81, p. 889-894, 2001

PAYNE, T.J. Promoting Better Health with Flaxseed in Bread. **Cereal Foods World** v.45, n.3, 2000

POLTRONIERI, F.; AREAS, J.A.G.; COLLI, C. Extrusion and iron bioavailability in chickpea (*Cicer arietinum* L.). **Food Chem.** v.70, p.175-180, 2000

PRATES, J.A.M.; QUARESMA, M.A.G.; BESSA, R.J.B.; FONTES, C.M.G.A.; ALFAIA, C.M.P.M. Simultaneous quantification of total cholesterol, tocopherols and -carotene in Barrosã-PDO veal. **Food Chem.** v. 94, p.469-477, 2006

PROSKY, L.; ASP, N.; SCHWISER, T.; DEVRIES, J.; FURDA, I. Determination of insoluble, soluble and total dietary fiber in foods and foods products: interlaboratory study. **Journal of Association Official of Analyst Chemistry.** v. 71, n. 5, p. 1017-1023, 1988.

QIAN, J.Y.; DING, X.L. Effect of twin-screw extrusion on the functional properties of soya fibre. **J. Sci. Food Agric.** v.71, p.64-68, 1996

RAFTER, J.J. Scientific basis of biomarkers and benefits of functional foods for reduction of disease risk: cancer. **British J. Nutr.** v. 88, suppl. 2, p.219-224, 2002

RINALDI, V.E.A.; NG, P.K.W.; BENNINK, M.R. Effects of extrusion on dietary fiber and isoflavone contents of wheat extrudates enriched with wet okara. **Cereal Chem.** v. 77, n.2, p.237-240, 2000

RODRIGUES, M.I.; IEMMA, A.F. Planejamento de experimentos e otimização de processos - uma estratégia seqüencial de planejamentos. Casa do pão editora, 1ªed., Campinas, 618p, 2005

ROWLAND, I.; FAUGHNAN, M.; HOEY, L.; WÄHÄLÄ, K.; WILLIAMSON, G.; CASSIDY, A. Bioavailability of phyto-oestrogens. **British J Nutr.** v. 89, suppl. 1, p.45-58, 2003

SAURA-CALIXTO, F.; GARCÍA-ALONSO, A. Metodología para el análisis de fibra y carbohidratos. In: LAJOLO, F.M.; SAURA-CALIXTO, F.; PENNA, E.W.; MENEZES, E. W. Fibra dietética em Iberoamérica: tecnologia y salud. Obtención, caracterización, efecto fisiológico y aplicación en alimentos. Livraria Varela, São Paulo, cap. 1, p.17-25, 2001

SERRAINO, M.; THOMPSON, L.U. The effect of flaxseed supplementation on the initiation and promotional stages of mammary tumorigenesis. **Nutr. Cancer** v. 17, p. 153-159, 1992

SILJESTRÖM, M.; WESTERLUND, E.; BJÖRCK, I.; HOLM, J.; ASP, N.G.; THEANDER, O. The effects of various thermal processes on dietary fiber and starch content of whole grain wheat and white flour. **J. Cereal Sci.** v.4, n.4, p.315-323, 1986

SIMBALISTA, R.L.; CAPRILLES, V.D.; ARÊAS, J.A.G. Caracterização da semente de linhaça (*Linum usitatissimum*). In: Anais do 7º Congresso da Sociedade Brasileira de Alimentação e Nutrição, Belo Horizonte, p 27, 2003

SOUTHGATE, D.A.T. The Dietary Fibre Hypothesis: a historical perspective. In: SCHWEIZER, T.F.; EDWARDS, C.A. Dietary fibre: a component of food. Nutritional function in health and disease. New York: Springer-Verlag, ILSI Human nutrition reviews, cap.1, p.3-20, 1992

STONE, H.; SIDEL, J. L. **Sensory evaluation practices**. 2 ed. San Diego: Academic Press, 336p., 1993

TAVELLA, M.; PETERSON, G.; ESPECHE, M.; CAVALLERO, E.; CIPOLLA, L.; PEREGO, L.; CABALLERO, B. Trans fatty acid content of a selection of foods in Argentina. **Food Chem.** v. 69, p.209-213, 2000

THEANDER, O.; WESTERLUND, E. Studies on chemical modifications in heat-processed starch and wheat flour. **Starch.** v.39, n.3, p.88-93, 1987

THOMPSON, L.U.; RICKARD, S.E.; ORCHESON, L.J.; SEIDL, M.M. Flaxseed and its lignan and oil components reduce mammary tumor growth at a late stage of **Carcinogenesis** v. 17, p.1373-1376, 1996.

THOMPSON, L.U. Analysis and bioavailability of lignans. In: THOMPSON, L.U.; CUNNANE, S.C. Flaxseed in Human Nutrition. AOCS PRESS, 2nd ed. Cap. 4, p. 92-116, 2003

USDA National Nutrient Database for Standard Reference, Release 18 (2005), disponível online:

<http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/search/>

VARO, P.; LEINE, R. KOIVISTOINES, W. Effect of heat treatment on dietary fiber: interlaboratory study. **Journal of Association Official of Analyst Chemistry**. v. 6, n. 4, p. 933-938, 1983.

VASANTHAN, T.; GAOSONG, J.; YEUNG, J.; LI, J. Dietary fiber profile of barley flour as affected by extrusion cooking. **Food Chem**. v. 77, p.35-40, 2002

YAN, L.; YEE, J.A.; LI, D.; MC-GUIRE, M.H.; THOMPSON, L.U. Dietary flaxseed supplementation and experimental metastasis of melanoma cells in mice. **Cancer Lett**. v. 142, n. 2, p. 181-186, 1998.

WORLD HEALTH ORGANIZATION/ FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases. Geneva, 160p., 2003 (WHO Technical Report Series 916)

Apêndice 1.
Ficha para avaliação sensorial

Nome: _____ idade: _____

Data: ____/____/____

Responda, dando notas de acordo com a escala abaixo sobre o quanto você gostou de cada atributo desse produto:

- 9- gostei extremamente
- 8 - gostei muito
- 7 - gostei moderadamente
- 6 - gostei ligeiramente
- 5 - não gostei nem desgostei
- 4 - desgostei ligeiramente
- 3 - desgostei moderadamente
- 2 - desgostei muito
- 1 - desgostei extremamente

O que você achou da textura? _____

O que você achou da cor? _____

O que você achou do sabor? _____

O que você achou do produto de maneira geral? _____

Sinta-se a vontade para comentários:

Se existisse esse produto no mercado você o compraria?

() sim () não

Apêndice 2.
Termo de consentimento

**FACULDADE DE SAÚDE PÚBLICA****Departamento de Nutrição**

CGC 63.025.530/0017-71

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, _____,

fui informado sobre a pesquisa **“Obtenção e avaliação nutricional de snacks de milho (*Zea mays* L.) e linhaça (*Linum usitatissimum* L.)”** cujo objetivo é desenvolver um produto com alto valor nutritivo e benefícios à saúde. O trabalho será realizado sob a responsabilidade do Prof. Dr. José Alfredo Gomes Arêas, docente da Faculdade de Saúde Pública, USP, e da aluna de mestrado Áurea Juliana Bombo. Concordo em participar da pesquisa, na qualidade de provador. Estou ciente que os pesquisadores estarão disponíveis para responder a quaisquer perguntas garantindo total sigilo acerca da minha participação, e que posso retirar este meu consentimento a qualquer tempo.

São Paulo, ____ de _____ de _____

Pesquisador

Provador

Endereços para contato:

Áurea Juliana Bombo – (11) 3066-7765

email: bombo@usp.br

Anexo 1.
Parecer favorável do Comitê de Ética em
Pesquisa