

CASSIANO OLIVEIRA DA SILVA

**Desenvolvimento e Caracterização Físico-Química e Biológica
de Farinhas de Feijão (*Phaseolus vulgaris* L.)**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2005

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

S586d
2005
Silva, Cassiano Oliveira da, 1979-
Desenvolvimento e caracterização físico-química e
biológica de farinhas de feijão (*Phaseolus Vulgaris* L.)
/ Cassiano Oliveira da Silva. – Viçosa : UFV, 2005.
xii, 111f. : il. ; 29cm.

Inclui apêndice.

Orientador: José Carlos Gomes.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de
Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 87-107.

1. Farinha de feijão - Análise. 2. Farinha de feijão -
Avaliação sensorial. 3. Alimentos - Composição.
4. Alimentos - Microbiologia. 5. Alimentos - Teor
protéico. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22.ed. 664.7207

CASSIANO OLIVEIRA DA SILVA

**Desenvolvimento e Caracterização Físico-Química e Biológica
de Farinhas de Feijão (*Phaseolus vulgaris* L.)**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Aprovada: 31 de Março de 2005

Profa. Neuza Maria Brunoro Costa
(Conselheira)

Prof. Marco Túlio Coelho da Silva
(Conselheiro)

Prof. Nélio José de Andrade

Profa. Edimar Aparecida Filomeno
Fontes

Prof. José Carlos Gomes
(Orientador)

A Deus.

Aos meus pais: José e Leonor.

Aos meus irmãos: Cássio, Cássia e Cátia.

Aos meus amigos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela saúde, paz e perseverança no meu dia a dia.

Aos meus familiares, pela convivência e receptividade, sempre.

À Universidade Federal de Viçosa, aos Departamentos de Tecnologia de Alimentos e Nutrição e Saúde, pela oportunidade de aprimoramento e pelo apoio a realização dos trabalhos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro.

Ao Professor José Carlos Gomes, pela orientação, conselhos, paciência e amizade.

À Professora Neuza Maria Brunoro Costa, pelos ensinamentos valiosos, sugestões e pela convivência profissional diária.

Aos Professores Marco Túlio Coelho da Silva, Nélcio José de Andrade e Edimar Aparecida Filomeno Fontes pela participação na banca de tese.

Aos estudantes de pós-graduação: Maurício Louzada, Vanessa, Érica Gomes, Luciano, Liz, Elaine, Fabrícia, Aline Arruda pelo convívio e amizade. Ao Wellington pela ajuda nas análises sensoriais.

Aos amigos desde a época do ESED RAT, COLUNI e graduação: Luis, Otávio, Alessandro, Marcelo, Clewton, Fabrício e Alisson.

Aos funcionários do DTA, especialmente aos Srs. Valente, Valério, Pio, José e Antônio Tito e aos colegas do DNS, pelo auxílio.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desse trabalho.

BIOGRAFIA

CASSIANO OLIVEIRA DA SILVA, filho de José Antônio da Silva e Leonor Oliveira Silva, nasceu em 06 de maio de 1979, na cidade de Timóteo, Minas Gerais.

Em março de 1997, iniciou o curso de graduação em Engenharia de Alimentos na Universidade Federal de Viçosa, concluindo-o em maio de 2002.

Atuou como Escriturário do Banco do Brasil S. A. de março de 2004 a junho de 2004, em Guiricema, Minas Gerais.

É funcionário do Departamento de Nutrição e Saúde, da Universidade Federal de Viçosa desde junho de 2004.

Em abril de 2002, iniciou o Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, em nível de Mestrado, na Universidade Federal de Viçosa, concluindo-o em março de 2005.

ÍNDICE

	Pág.
RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	xi
INTRODUÇÃO GERAL.....	01
 CAPÍTULO 1 – CARACTERIZAÇÃO FÍSICO–QUÍMICA, SENSORIAL, MICROBIOLÓGICA E FUNCIONAL DE FARINHAS DE FEIJÃO	
1. INTRODUÇÃO.....	04
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	06
2.1. Produção de feijão em nível nacional e mundial.....	06
2.2. Características físico-químicas e funcionais de feijões.....	09
2.2.1. Composição físico-química de feijões.....	09
2.2.2. Propriedades funcionais.....	14
2.2.2.1. Absorção de água e óleo.....	14
2.2.2.2. Capacidade e estabilidade de emulsão.....	15
2.2.2.3. Propriedades espumantes.....	16
2.2.2.4. Gelificação.....	16
2.2.2.5. Solubilidade.....	17

2.3. Antocianinas e alterações de cor.....	18
2.4. Secagem por <i>spray dryer</i>	19
2.5. Extrusão.....	22
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	24
3.1. Elaboração das farinhas de feijão.....	24
3.2. Análises físico-químicas e funcionais.....	27
3.2.1. Umidade.....	27
3.2.2. Atividade de água.....	27
3.2.3. pH e acidez total.....	27
3.2.4. Resíduo mineral fixo (cinzas).....	28
3.2.5. Lipídios.....	28
3.2.6. Proteínas.....	28
3.2.7. Minerais (Na, K, Ca, Mg, Zn, Fe).....	28
3.2.8. Carboidratos e fibras alimentares.....	29
3.2.9. Índice de absorção de água (IAA) e índice de absorção de óleo (IAO).....	29
3.2.10. Propriedades emulsificantes.....	29
3.2.11. Propriedades espumantes.....	30
3.2.12. Solubilidade	30
3.2.13. Densidade.....	31
3.3. Avaliação sensorial	31
3.4. Análises microbiológicas.....	32
3.4.1. Número mais provável de coliformes (NMP).....	32
3.4.2. Contagem de bolores e leveduras.....	33
3.5. Delineamento experimental e análise dos resultados.....	33
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
4.1. Análises físico-químicas e funcionais.....	34
4.2. Análise sensorial.....	47
4.3. Análises microbiológicas.....	49
5. CONCLUSÕES.....	50

CAPÍTULO 2 – QUALIDADE PROTÉICA DE FARINHAS DE FEIJÃO

1. INTRODUÇÃO.....	54
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	56
2.1. Importância nutricional do feijão.....	56
2.2. Fatores antinutricionais.....	58
2.2.1. Fitatos.....	58
2.2.2. Compostos fenólicos.....	60
2.2.3. Lectinas.....	63
2.2.4. Inibidores de proteases.....	64
2.2.5. Fibra alimentar.....	65
2.3. Efeito do processamento sobre a qualidade protéica de feijões.....	66
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	69
3.1. Material.....	69
3.2. Ensaio biológico.....	69
3.3. Digestibilidade <i>in vivo</i>	70
3.4. PER (<i>Protein Efficiency Ratio</i>) e Coeficiente de eficácia alimentar (CEA).....	72
3.5. NPR (<i>Net Protein Ratio</i>).....	74
3.6. Análises Estatísticas.....	74
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	75
4.1. Conteúdo protéico, coeficiente de eficácia alimentar, PER e NPR.....	75
4.2. Digestibilidade.....	78
5. CONCLUSÕES.....	83
CONCLUSÕES GERAIS.....	85
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	87
APÊNDICE.....	108

RESUMO

SILVA, Cassiano Oliveira da, M. S., Universidade Federal de Viçosa, Março de 2005. **Desenvolvimento e Caracterização Físico-Química e Biológica de Farinhas de Feijão (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Orientador: José Carlos Gomes. Conselheiros: Neuza Maria Brunoro Costa e Marco Túlio Coelho da Silva.

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em grão é uma das principais fontes de proteína para a população de baixa renda. É geralmente adquirido na forma de grãos secos e crus, demandando um longo período de tempo para o preparo, tornando-o pouco competitivo em relação aos produtos semi-prontos ou prontos para o consumo. O presente trabalho teve como objetivo desenvolver uma farinha de feijão Carioquinha, pré-cozida e desidratada por atomização e avaliar o efeito do processamento e do processo de desidratação sobre as características físico-químicas, funcionais, sensoriais, microbiológicas e nutricionais. Foram desenvolvidas e analisadas quatro farinhas de feijão desidratadas em *spray dryer*, sendo avaliado o efeito de dois fatores: o tipo de cozimento, em tacho aberto ou em autoclave; e a adição ou não de carbonato de sódio até pH 7,0 antes da desidratação. Também foi avaliada uma farinha de feijão Carioquinha extrusado comercial. A farinha crua com os grãos moídos da variedade utilizada nos tratamentos foi utilizada como referência. As farinhas apresentaram teor de umidade abaixo de 8% e teor de lipídios inferior

a 1%. O teor de proteína variou de 22,49 a 23,02% nas farinhas atomizadas e foi de 26,38% na farinha extrusada. O teor de carboidratos + fibras foi superior ($p < 0,05$) nas farinhas atomizadas, variando de 73,09 a 73,40%. Os tratamentos com adição de carbonato de sódio apresentaram maior pH, menor acidez e maior teor de sódio ($p < 0,05$) que os demais tratamentos. A farinha de feijão extrusado apresentou maior teor dos minerais: potássio, cálcio, magnésio, ferro e zinco, com valores de 1,15; 123,2; 0,236; 21,68 e 2,27 g/100 g, respectivamente. Não houve diferenças significativas ($p > 0,05$) entre os índices de absorção de água e de óleo das farinhas. A densidade das farinhas variou entre 0,661 na farinha cozida em autoclave e com adição de carbonato de sódio, a 0,813 g/mL na farinha extrusada. Os tratamentos com ajuste de pH apresentaram melhor atividade emulsificante e maior capacidade de formação de espuma dentre os tratamentos analisados. O perfil de solubilidade indicou que o pH na faixa de 3,0 a 5,0 é o mais indicado para a separação e concentração de proteínas nessas farinhas. A adição de cloreto de sódio diminuiu a solubilidade das farinhas processadas. As farinhas de feijão atomizadas apresentaram média de notas superiores ($p > 0,05$) dos atributos sensoriais: sabor característico, aparência global e cor, em comparação com a farinha extrusada. Os valores de *Protein Efficiency Ratio* (PER) e *Relative Protein Efficiency Ratio* (RPER) variaram de 1,12 a 1,56; 28,98 a 40,24% respectivamente, inferiores ($p < 0,05$) aos obtidos para a caseína, indicando que as proteínas das farinhas têm baixa qualidade protéica. Os valores de *Net Protein Ratio* (NPR) e *Relative Net Protein Ratio* (RNPR) foram significativamente menores que o encontrado na caseína e variaram de 2,42 a 2,75; 64,63 a 62,15%, respectivamente. Não houve diferença significativa entre os valores de PER e NPR das dietas formuladas com farinha de feijão. A digestibilidade verdadeira da caseína foi superior ($p < 0,05$) à das farinhas. A digestibilidade da farinha de feijão extrusado foi superior ($p < 0,05$) à farinha cozida em tacho aberto e sem adição de carbonato de sódio; e também à farinha autoclavada com adição de carbonato de sódio. Dentre os tratamentos avaliados, a farinha de feijão autoclavada com ajuste de pH para 7,0 e desidratada em *spray dryer*, parece ser a mais indicada, devido a apresentar melhores propriedades funcionais e possibilitar maior produtividade com um tempo menor de processamento em relação ao cozimento em tacho aberto. As

farinhas de feijão desenvolvidas têm aplicação na elaboração de produtos semi-prontos, como sopas e caldos, que têm como uma de suas principais características a praticidade e rapidez de preparo, podendo também ser utilizadas como ingredientes em diversas formulações e são alternativas para enriquecimento, haja vista sua boa aceitação junto à população.

ABSTRACT

SILVA, Cassiano Oliveira da, M. S., Universidade Federal de Viçosa, March 2005. **Development and Physico-Chemical and Biological Characterization of Bean Flours (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Advisor: José Carlos Gomes. Committee Members: Neuza Maria Brunoro Costa and Marco Túlio Coelho da Silva.

Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is an important source of protein for low income population. It is usually purchased as dry and raw beans, and its preparation is time consuming, which makes it less competitive than semi-ready or ready products. The objective of this work was to develop Cariquinha bean flour, pre-cooked and dehydrated by spray dryer and to evaluate the effects of the processing and dehydration on the physico-chemical, functional, sensorial, microbiological and nutritional properties. Four bean flours dehydrated in spray dryer were developed and analyzed, being evaluated the effect of two factors: the cooking method, in open tank or autoclaving; with or without sodium carbonate with pH 7.0 adjusted before the dehydration. Commercial extruded Cariquinha bean flour was also evaluated. The raw flour with the milled grains of the variety used in the treatments was taken as reference. In the flours, the moisture content was below 8%, and lipids lower than 1%. The protein content varied from 22.49 to 23.02% in the flour atomized and was 26.38% in extruded bean. The carbohydrates + fiber content were superiors ($p < 0.05$) in atomized flours, varied from 73.09 to 73.40%. The treatments with sodium carbonate

addition presented greater pH, smaller acidity and greater sodium content ($p < 0.05$) than the other treatments. The extruded bean flour presented greater content of the minerals: potassium, calcium, magnesium, iron and zinc, with values of 1.15; 123.2; 0.236; 21.68 and 2.27 g/100 g, respectively. There was no significant differences ($p > 0.05$) between the water and oil absorption index in the flours. The density of the flours varied from 0.661 in the autoclaved flour with sodium carbonate to 0.813 g/mL in the extruded bean. The treatments with pH adjustment presented better emulsification activity and better foam formation capacity among the analyzed treatments. The solubility profile indicated that pH in the range from 3.0 to 5.0 is the most recommended for the separation and concentration of proteins in these flours. The sodium chloride addition reduced the solubility of the processed flours. The atomized beans flours showed average scores superior ($p > 0.05$) for sensorial attributes: characteristic flavor, global appearance and color, compared to extruded flour. The values of Protein Efficiency Ratio (PER) and Relative Protein Efficiency Ratio (RPER) ranged between 1.12 and 1.56; 28.98 and 40.24% respectively. These values were lower ($p < 0.05$) than the casein, indicating that the protein of these flours has low protein quality. The values of Net Protein Ratio (NPR) and Relative Net Protein Ratio (RNPR) were significantly lower than that found in the casein and varied from 2.42 to 2.75; 64.63 to 62.15%, respectively. There was no significant difference between the values of PER and NPR of the diets formulated with bean flour. The true digestibility of the casein was superior ($p < 0.05$) to the flours. The digestibility of the extruded bean flour was superior ($p < 0.05$) to the cooked flour in open tank and without sodium carbonate addition. Amongst the evaluated treatments, the autoclaved bean flour with pH adjustment for 7.0 and dehydrated by spray dryer seems to be indicated, due to its higher functional properties and productivity, and lower processing time, in relation to the cooking in open tank. These bean flours have applications for semi-ready products, like soups and broth of practical and quick preparation, and are good alternatives for enrichment, due to its high acceptance.

INTRODUÇÃO GERAL

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em grão é uma das principais fontes de proteína e um dos alimentos mais importantes para a população brasileira (GOMES, 1999).

O feijão geralmente é adquirido na forma de grãos secos e crus, demandando um período de tempo para seu preparo, de cerca de uma hora, o que o torna pouco competitivo em relação aos produtos semi-prontos ou prontos para o consumo (CARNEIRO, 2001).

Entre a colheita e o consumo, geralmente o feijão é armazenado em condições ambientais. Sendo o Brasil um país tropical, a temperatura e umidade relativa do ambiente são, muitas vezes, altas e impróprias para o armazenamento do feijão. Assim, quando o feijão chega à mesa do consumidor, já sofreu uma grande perda de qualidade. O prolongamento do tempo de cozimento e o escurecimento dos grãos são dois importantes fatores responsáveis pela perda de qualidade (CHIARADIA e GOMES, 1997). O maior tempo de cozimento requer maior consumo de energia e o escurecimento dos grãos influencia a preferência de compra do consumidor, por ser esta uma característica de feijão velho. Desta forma, a industrialização do feijão seria o caminho para evitar tais perdas de qualidade, e também para torná-lo mais competitivo no mercado (CARNEIRO, 2001).

As alterações nos hábitos alimentares, no estilo de vida e a valorização econômica do trabalho da mulher, são fatores que levam o consumidor a pagar

um pouco mais por um produto que apresente melhor qualidade, praticidade e/ou rapidez no preparo (CARNEIRO, 2001).

O desenvolvimento de um produto alimentício, com vistas à introdução no mercado consumidor é complexo e envolve uma série de estudos em várias áreas do conhecimento. Por exemplo, as análises envolvem a escolha e avaliação da qualidade da matéria-prima; o processamento; a caracterização físico-química, funcional, microbiológica e sensorial do produto obtido; sua vida de prateleira; estudos de mercado, estratégia de marketing, análise financeira do projeto, avaliações de riscos dentre outros.

O presente trabalho teve como objetivo elaborar farinhas de feijão pré-cozidas, e avaliar as suas características físico-químicas, funcionais, microbiológicas e sensoriais quanto a atributos de interesse no produto; e avaliar a qualidade protéica da farinha, verificando o efeito do processamento sobre a digestibilidade e os índices de qualidade protéica *Protein Efficiency Ratio* (PER) e *Net Protein Ratio* (NPR).

CAPÍTULO 1

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA, SENSORIAL, MICROBIOLÓGICA E FUNCIONAL DE FARINHAS DE FEIJÃO

1. INTRODUÇÃO

Dentre as leguminosas conhecidas, o feijão é, seguramente, a mais consumida no Brasil (GUALBERTO, 1981), sendo, portanto, um alimento de grande preferência da população. A família *Leguminosae* inclui aproximadamente 600 gêneros, com cerca de 13.000 espécies. Destas, somente cerca de 10 a 12 são de importância econômica, e a espécie *Phaseolus vulgaris* está entre elas. O consumo de feijão nas dietas é alto em alguns países, e a quantidade e o tipo de grão consumido variam em diversas partes do mundo (SGARBIERI e WHITAKER, 1982).

O preparo de feijão de forma tradicional depende da disponibilidade de tempo. Atualmente com a mudança do estilo de vida, os consumidores dispõem de um menor tempo para o preparo das refeições. Desta forma, o feijão *in natura* vem se tornando menos competitivo que os produtos prontos para consumo (CARNEIRO, 2001).

Com o lançamento de diversas sopas desidratadas à base de feijão, massas, legumes e verduras desidratadas o consumo de farinha de feijão aumentou expressivamente (OLIVEIRA, 1996).

Atualmente no Brasil, utilizam-se basicamente dois processos de produção de farinha de feijão: o primeiro por extrusão termoplástica dos grãos já moídos, condicionados a 30% de umidade e posterior desidratação por ar quente e moagem. Este processo apesar de altamente eficiente não rende um produto adequado ao nosso gosto. Como o tempo de residência no extrusor é muito pequeno, o tegumento (casca) não é adequadamente cozido. Após o

preparo de uma sopa, por exemplo, o tegumento não se hidrata completamente, formando um precipitado que prejudica a estética do produto. O segundo processo consiste em cozinhar os grãos em cestas perfuradas, em sistema aberto, sem pressão, com tempo de cocção de trinta minutos a uma hora. Após esta etapa, os grãos são espalhados na bandeja de um secador e em seguida são moídos, formando a farinha. Esta apresenta melhores propriedades funcionais que o primeiro; no entanto é de custo mais elevado (GOMES, 1999).

O lançamento de produtos industrializados do feijão no Brasil inicialmente chocou-se com os critérios de qualidade, conforme percebidos pelos consumidores. Primeiro, os produtos à base de grãos; as feijoadas encontraram resistência por utilizar grãos velhos, cujo tegumento estava endurecido, não alcançando o cozimento adequado. Em um segundo momento, na década de 70 e início dos anos 80 foram as farinhas pré-cozidas que tiveram as mesmas dificuldades, pois utilizavam matérias-primas de baixa qualidade. De um modo geral, a indústria abordou a elaboração destes produtos com o aproveitamento de grãos que não mais serviam para o uso culinário. A terceira fase, que ocorre no momento é a dos produtos congelados, com limitações de preço ao consumidor e dos grãos cozidos e esterilizados em embalagens flexíveis cuja aparência não é atrativa (GOMES, 1999).

O presente trabalho propõe uma alternativa para o processamento de feijão, através da elaboração de farinhas de feijão pré-cozidas que utilizam a atomização como processo de secagem, avaliando-se o efeito do tipo de processamento (cozimento em tacho aberto ou autoclave) e do pH do caldo de feijão; além de comparar com farinha de feijão comercial processada por extrusão. Análises físico-químicas, sensoriais, microbiológicas e funcionais das farinhas são de fundamental importância para determinar um padrão de qualidade para o produto, e para que se tenha uma melhor conservação e adequação ao consumo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

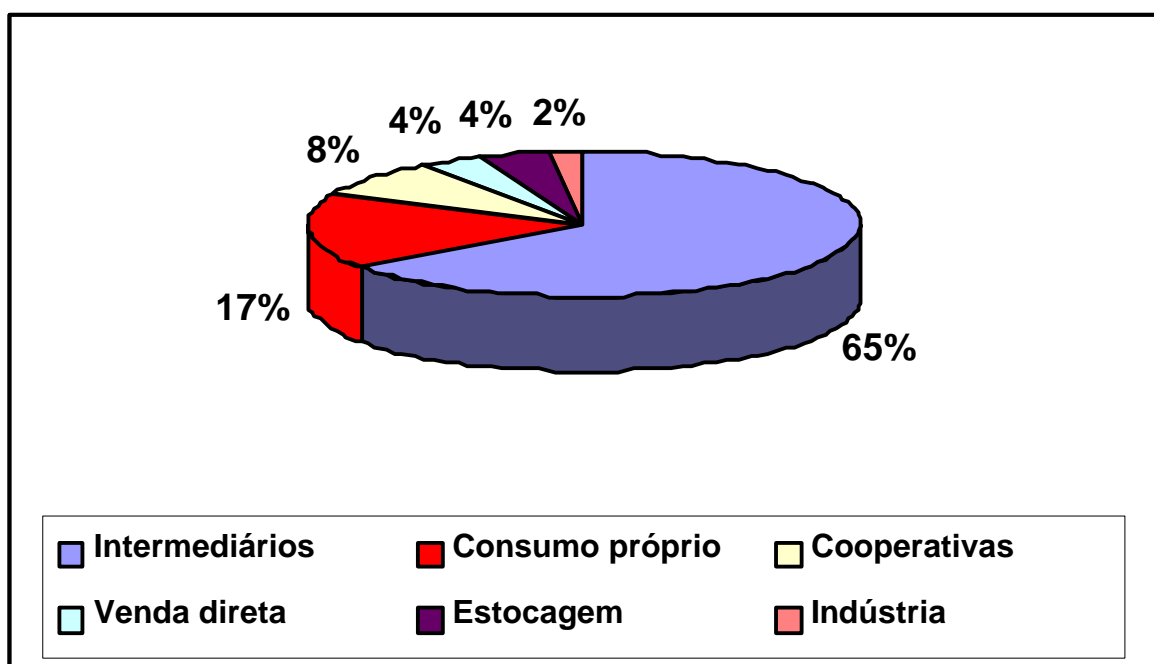
2.1. Produção de feijão em nível nacional e mundial

A produção mundial de feijão em 2001 foi de 16,7 milhões de toneladas, numa área plantada de 24,7 milhões de hectares. Porém, cerca de 75% da produção mundial provêm de apenas sete países. Em anos recentes, o Brasil superou a Índia e passou a ser o maior produtor dessa leguminosa, no mundo. Logo a seguir, entre os maiores produtores, surgem China, México, EUA, Myanmar e Indonésia (CONAB, 2002).

Nos últimos anos, a área média cultivada no Brasil ficou próxima a 4,0 milhões de hectares, e a produção média ficou em torno de 2,8 milhões de toneladas. O consumo *per capita* dessa leguminosa registra declínio, caindo de cerca de 19 kg/hab./ano, em meados da década de 1990, para 15 kg/hab./ano no início da década atual. Tal fato se deve ao processo de urbanização, que acentuou a mudança de hábitos alimentares da população brasileira, e a maior participação da mulher no mercado de trabalho (CONAB, 2002).

Quanto ao destino do produto colhido, 65% são entregues diretamente aos intermediários e 17% ficam retidos na propriedade, para consumo humano e reserva para o plantio (Figura 1). Deve-se ressaltar o pequeno percentual de feijão destinado à indústria, apenas 2%, o que permite uma grande expansão na indústria alimentícia neste setor, que deve ser mais bem explorado.

Além do aspecto econômico, a cultura do feijão tem papel de destaque no âmbito social, pois ainda é uma das alternativas para o pequeno produtor



Fonte: CONAB (2002), adaptado.

Figura 1 – Destino da produção de feijão no Brasil.

brasileiro. A colheita, de forma manual, gera empregos, cada vez mais escassos na área rural (CONAB, 2002). A cultura do feijão é essencialmente de subsistência, praticado por pequenos agricultores, que comercializam apenas os excessos de produção. Em grande parte, o feijão é cultivado em consórcio com outras culturas, como mandioca, cana-de-açúcar e, sobretudo, milho, um sistema eficiente para máxima exploração dos limitados recursos ambientais da pequena propriedade. Nesse sistema, poucos insumos e o rendimento da cultura é reduzido em 30 a 50% (VIEIRA, 1992).

A Portaria n. 161 de 24 de julho de 1987 (BRASIL, 1987) define as características de identidade, qualidade, apresentação e embalagem do feijão *in natura* que se destina à comercialização interna. O feijão é classificado em grupos, classes e tipos, segundo a espécie, a coloração da película e a qualidade (Quadro 1).

Na safra 2001/2002, a produção de feijão-cores representou 64% do volume produzido; a de feijão-preto, 20%, e a do macaçar, 16%. A produção de feijão-cores está distribuída uniformemente nas três safras anuais, sendo que a de feijão-preto se concentra no Sul do País. A variedade macaçar, cultivada na

Quadro 1 – Classificação de feijão *in natura* destinado à comercialização interna

Classificação de feijão <i>in natura</i>	
A – GRUPOS	<p>I – Feijão comum (anão): quando proveniente da espécie <i>Phaseolus vulgaris</i> L.</p> <p>II – Feijão-de-corda (macacar): quando proveniente da espécie <i>Vigna unguiculata</i> (L.) walp</p>
B – CLASSES (do Grupo I)	<p>Branco: mínimo de 95% de grãos de coloração branca.</p> <p>Preto: mínimo de 95% de grãos de coloração preta.</p> <p>Cores: grãos coloridos, admitindo-se no máximo, 5% de mistura de outras classes e até 10% de outros cultivares da classe cores, desde que apresentem cores contrastantes ou tamanhos diferentes.</p> <p>Misturado: produto que não atender às especificações de nenhuma das classes anteriores.</p>
C – TIPO	<ul style="list-style-type: none">• O feijão é classificado em 5 tipos, de acordo com a qualidade do produto, expressos por números de 1 a 5 e definidos, de acordo com os limites máximos de tolerância de defeitos, que estão estabelecidos nos Anexos I e II.• Quando os percentuais de ocorrência excederem aos limites máximos de tolerância especificados nos anexos I e II para o tipo 5, o feijão será classificado como ABAIXO DO PADRÃO.
DESCLASSIFICADO	<ul style="list-style-type: none">• Será desclassificado o feijão que apresentar uma ou mais das características indicadas a seguir, sendo proibida a sua comercialização para o consumo humano e animal: mau estado de conservação, índice de micotoxinas superior ao permitido pela legislação vigente, odor estranho e substâncias nocivas à saúde.

FONTE: BRASIL (1987).

Região Nordeste, concentra-se na safra que vai de abril a julho (CONAB, 2002).

Os hábitos alimentares são bastante diversificados entre os países, e mesmo entre regiões de um mesmo país, quanto à preferência por tipos,

variedades e classes. No Brasil, o consumo do feijão-preto concentra-se nos estados do Rio Grande do Sul e Rio de Janeiro, sendo que, para este último estado, destina-se a maior parte das importações da Argentina. Em menor escala, o consumo também abrange os estados do Paraná, de Santa Catarina e do Espírito Santo. O feijão-cores, por sua vez, tem o consumo concentrado nos estados centrais, e em parte do Paraná e de Santa Catarina. Já o feijão macaçar é de consumo típico da Região Nordeste (CONAB, 2002).

Segundo RAMALHO e ABREU (1998), a preferência por determinado tipo de grão varia com a região. Em Minas Gerais, na Zona da Mata, a preferência recai sobre os grãos de cor preta, vermelha e da variedade Carioca. No Alto Paranaíba e Triângulo Mineiro, os feijões de cores roxa e amarela ocupam uma parcela no mercado, mas a maior preferência é pela variedade Carioca, o mesmo ocorrendo nas demais regiões do Estado. O feijão da variedade Carioca é o mais cultivado em Minas Gerais e no Brasil.

2.2. Características físico-químicas e funcionais de feijões

2.2.1. Composição físico-química de feijões

Em alimentos formulados, como sopas e farinhas, que contenham feijão em sua formulação, é importante a preocupação com a composição química e tudo mais que possa interferir na qualidade do grão, a fim de que o produto final tenha uma boa qualidade e aceitação (OLIVEIRA, 1996).

A composição total de carboidratos em feijões varia de 60 a 65% (base seca). O principal carboidrato armazenado é o amido, com pequenas quantidades de monossacarídeos e dissacarídeos como a sacarose (GEIL e ANDERSON, 1994; OSORIO-DIAZ et al., 2002). Oligossacarídeos da família da rafinose estão presentes em várias quantidades em leguminosas maduras, incluindo: a rafinose (variando de 0,2% em feijões *pink* a 0,6% em feijões pinto), a estaquiose (variando de 0,2% em feijões *pink* a 3,3% em feijões *navy*) e a verbascose (variando de 0,0% em feijões *navy* a 0,15% em feijões pinto) (GEIL e ANDERSON, 1994). Outros carboidratos de feijão comum incluem substâncias pécticas, arabinogalactanos e xiloglucanos (REDDY et al., 1984;

SATHE e SALUNKHE, 1985). Esses açúcares requerem a enzima galactosidase para hidrólise. Como o sistema digestivo humano não tem essa enzima, esses compostos permanecem não-digeridos e sujeitos à fermentação microbológica anaeróbica, resultando em produção de gases e flatulência (GEIL e ANDERSON, 1994).

O amido é encontrado em leguminosas na forma de grânulos ovalados de tamanhos variados (aproximadamente de 20 a 50 μm), dependendo das espécies. O hilo, que é usualmente muito distinto, é alongado ou fissurado. Os grânulos de amido de leguminosas são resistentes ao inchaço e à ruptura e são caracterizados por ter um conteúdo de amilose de 20 a 30%. Temperaturas de gelatinização variam de 60°C a mais de 75°C, mas esses valores são fortemente influenciados por fatores como o teor de umidade, a interação com outros componentes e ainda se esta propriedade é medida intra ou extracelularmente (STANLEY e AGUILERA, 1985).

TOVAR et al. (1990), estudando farinhas pré-cozidas de feijões (preto, marrom, branco e vermelho), encontraram um conteúdo de amido total, medido após solubilização em KOH 2N, maior que o amido potencialmente disponível, indicando que toda farinha pré-cozida continha importantes quantidades de amidos resistentes à hidrólise, por exemplo, amilose retrogradada (3 a 9%).

Feijões secos contêm uma quantidade substancial fibra alimentar na forma de celulose e hemicelulose (GEIL e ANDERSON, 1994). A fibra alimentar pode ser definida como a parte comestível de plantas, que são resistentes à digestão e absorção no intestino delgado humano, com fermentação parcial ou completa no intestino grosso. Fibra alimentar inclui polissacarídeos, oligossacarídeos, lignina e substâncias associadas a plantas. Elas promovem efeitos fisiológicos benéficos como laxativo, atenuam o colesterol e a glicose sanguínea (AACC, 2000).

Sementes de leguminosas contêm mais fibras que cereais e são melhor fonte de fibra alimentar solúvel metabolicamente ativa que estes. CRUZ (2000) encontrou teores de fibra alimentar total em feijões cozidos com casca entre 21,0 e 38,2%. Dentre as variedades avaliadas, o teor de fibra solúvel variou de 1,8 a 7,0%, e o teor de fibra insolúvel de 15,8 a 34,6%.

O conteúdo de lipídios de feijões é muito baixo, variando de 0,8 a 1,5%, podendo oscilar de acordo com a variedade, origem, localização, clima,

condições ambientais e tipo de solo no qual eles crescem (GEIL e ANDERSON, 1994).

Lipídios neutros são a classe predominante de lipídios em feijões comuns, variando de 32 a cerca de 45% do total de lipídios. Lipídios neutros são compostos de triglicerídeos acompanhados em proporções menores de ácidos graxos livres, esteróis e éster de esteróis; fosfolipídios, os quais são componentes essenciais nas membranas, estando presentes em quantidades apreciáveis (REYES-MORENO e PAREDEZ-LOPEZ, 1993).

Os lipídios de feijão comum mostram grande variabilidade na composição de ácidos graxos e contêm substancial quantidade de ácidos graxos insaturados (REYES-MORENO e PAREDEZ-LOPEZ, 1993). Ácido oléico (7 a 10%), linoléico (21 a 28%) e linolênico (37 a 54%) são os ácidos graxos insaturados mais freqüentes e representam de 65 a 87% do total de lipídios. Também estão presentes ácidos graxos saturados, tais como palmítico, que corresponde de 10 a 15% dos lipídios totais (MAHADEVAPPA e RAINA, 1978).

A eficiência da proteína como fonte de aminoácidos na dieta é dependente do teor e da proporção de aminoácidos indispensáveis: metionina, lisina, triptofano, valina, fenilalanina, leucina, isoleucina, treonina e histidina. Desta forma, a eficiência e a qualidade nutricional da proteína do feijão estão limitadas pelo baixo teor de aminoácidos sulfurados, metionina e cisteína, o que explica o valor biológico relativamente baixo desta proteína, quando comparada a outras proteínas, como o padrão da FAO/WHO, 1985, para crianças pré-escolares (2 a 5 anos de idade). No entanto, a concentração de lisina é elevada nas sementes da maioria das leguminosas, sendo consideradas de grande valor na complementação das proteínas dos cereais, que, de modo geral, são deficientes em lisina (OSBORN et al., 1988).

Além da deficiência de aminoácidos sulfurados, a presença de fatores antinutricionais reduz também a qualidade protéica do feijão. Dentre esses fatores, os que têm sido mais pesquisados são os inibidores de tripsina e as lectinas (fatores protéicos) e os compostos fenólicos (fatores não protéicos). Estudos mostram que a conformação e estrutura primária das proteínas do feijão também contribuem para a redução do seu valor biológico (PORTUGAL, 1989).

Com o objetivo de aumentar o valor nutricional de sementes de leguminosas tem-se utilizado a manipulação genética controlada dessas proteínas (STOCKAMN et al., 1976).

Segundo GUALBERTO (1981), a maior ingestão de proteína de feijão poderia, provavelmente, ser conseguida por meio de preparo de produtos pré-cozidos, que oferecem as vantagens da estabilidade melhorada, menores custos de preparo e possível adição de nutrientes.

Com base nas propriedades de solubilidade, as proteínas de feijões comuns podem ser classificadas em: globulinas, albuminas, prolaminas e glutelinas. Em geral, as proteínas de reserva são globulinas, enquanto as albuminas são principalmente enzimas e proteínas ligadas ao metabolismo celular. As albuminas possuem maior valor biológico que as globulinas, por conterem maior teor de aminoácidos sulfurados e lisina. As proteínas restantes, glutelinas e prolaminas, estão fortemente ligadas às organelas e membranas celulares e são menos estudadas (BATTHY, 1982).

Feijões comuns são boas fontes de vitaminas hidrossolúveis, especialmente tiamina (0,86 a 1,14 mg/100 g), riboflavina (0,136 a 0,266 mg/100 g), niacina (1,16 a 2,68 mg/100 g), vitamina B₆ (0,336 a 0,636 mg/100 g) e ácido fólico (0,171 a 0,579 mg/100 g); mas são fontes pobres de vitaminas lipossolúveis e vitamina C (GEIL e ANDERSON, 1994).

Os valores de retenção de vitaminas durante o cozimento variam de 70,9% (vitamina B₆) a 75,9% (riboflavina). A variabilidade da tiamina dentro das classes de feijão é relativamente baixa. Ao se cozinhar o feijão, a retenção de tiamina é modificada em alguns instantes, mas não para um grau muito elevado. No que diz respeito à riboflavina, esta vitamina apresenta variabilidade dentro de classes de feijão significativamente maior que da tiamina. O cozimento, assim como outros tratamentos em qualquer alimento, introduz uma fonte de variabilidade direta e indireta (AUGUSTIN et al., 1981).

O Quadro 2 resume as variações na composição de minerais de *Phaseolus vulgaris*.

O conteúdo de ferro em feijão marrom é muito alto (5 mg/100 g de feijão seco). Entretanto, os feijões também contêm altas concentrações de fitatos, os quais diminuem a disponibilidade de ferro. A disponibilidade de minerais,

Quadro 2 – Variações na composição de minerais em *Phaseolus vulgaris*

Minerais (mg)	Cru (100 g) b.s.	Cozido (100 g) b.s.
Fósforo	0,38 – 0,57	0,36 - 0,51
Sódio	4,0 – 21,0	1,5 - 6,9
Potássio	1320 - 1780	1100 – 1710
Cálcio	70 – 210	70 – 260
Magnésio	160 – 230	130 – 220
Zinco	1,9 – 6,5	1,9 - 4,0
Manganês	1,0 – 2,0	1,0 - 2,1
Cobre	0,50 – 1,40	0,50 - 1,10
Ferro	3,34 – 8,00	2,88 - 7,93

b. s. = base seca

Fonte: CHIARADIA e GOMES, 1997.

principalmente o ferro, é afetada também pela presença de tanino e fibras alimentares (GOMES e CHIARADIA, 1997).

O processamento de alimentos, tal como o cozimento e fermentação, sabidamente não afetam apenas a disponibilidade do ferro, como também dos fatores que atuam como promotores ou antagonistas da absorção de minerais (LOMBARDI-BOCCIA et al., 1995).

RODRIGUEZ-SOSA et al. (1984) analisaram vinte e duas amostras de feijões secos (*Phaseolus vulgaris*) que foram comercialmente enlatadas, e determinaram os conteúdos de Ca, Mg, Fe, Mn, P, Na, Cl, K, proteína e gordura antes e depois do processamento. A porcentagem de retenção para o Mg, Fe, Mn, P e K foram de 89; 95; 89,8; 67,4; e 55,4%, respectivamente. O conteúdo de Ca, Na e Cl aumentou com o processamento. O aumento no conteúdo de cálcio pode ser atribuído à dureza da água utilizada no processamento. Na e Cl foram adicionados na forma de sal de cozinha. Quando todas as amostras foram analisadas, não se observaram diferenças significativas entre os feijões crus secos e os feijões processados com relação ao conteúdo de Ca, Mg, P, Na, Cl e K.

2.2.2. Propriedades funcionais

O termo propriedade funcional tem sido definido como qualquer propriedade de um alimento ou componente de um alimento, excetuando-se as nutricionais, que afete a utilidade de um ingrediente em um alimento, principalmente sobre o caráter sensorial (HALL, 1996).

As propriedades funcionais das proteínas são as propriedades físico-químicas que influem no seu comportamento nos sistemas alimentícios durante a preparação, processamento, armazenamento e consumo.

SATHE e SALUNKHE (1981) estudaram as propriedades funcionais de farinhas, albuminas, globulinas, concentrados protéicos e isolados protéicos do feijão *Great Northern* (*Phaseolus vulgaris* L.). Dentre as amostras estudadas, os concentrados protéicos apresentaram as maiores capacidades de absorção de água e óleo (5,93 e 4,12 g/g, respectivamente) e de emulsificação (72,6 g de óleo emulsificado/g). A capacidade espumante das proteínas de feijões *Great Northern* foi apenas razoável e dependente da concentração.

Estas propriedades dependem do método de extração e do processo de secagem, porque nestes procedimentos ocorre desnaturação. As propriedades dos compostos protéicos não podem ser somente atribuídas à porção protéica, pois outros compostos, como carboidratos e lipídios, podem também influenciar nas propriedades funcionais da proteína (CEPEDA et al., 1998).

2.2.2.1. Absorção de água e óleo

A ligação de água por proteínas depende de vários parâmetros, tais como: tamanho, forma, características conformacionais, fatores estéricos, balanço hidrofílico-lipofílico de aminoácidos na molécula protéica, lipídios e carboidratos associados com proteínas, propriedades termodinâmicas do sistema (energia de ligação, tensão interfacial dentre outras), ambiente físico-químico (pH, força iônica, pressão de vapor, temperatura, presença/ausência de surfactantes), solubilidade das moléculas protéicas e outros. No entanto, os sítios primários para a interação água-proteína são os grupos amino-polares de moléculas protéicas. Sítios catiônicos, aniônicos e não-iônicos ligam diferentes quantidades de água (SATHE e SALUNKHE, 1981).

SATHE e SALUNKHE (1981) encontraram diferença na absorção de água pelas albuminas e globulinas (3,18 e 2,77 g/g de amostra seca, respectivamente), que pode ser devido à concentração de proteína e, possivelmente, em razão das características conformacionais destas. A absorção de água pelos isolados protéicos e as globulinas (2,73 e 2,77 g/g de amostra seca, respectivamente) foram comparáveis. As tendências de absorção de óleo foram similares àquelas para a absorção de água. Os concentrados protéicos registraram a maior absorção de óleo (4,12 g/g de amostra seca) entre todas as amostras analisadas.

2.2.2.2. Capacidade e estabilidade de emulsão

Uma emulsão pode ser definida como uma mistura de dois líquidos imiscíveis, um dos quais é disperso na forma de glóbulos no outro líquido (fase contínua). A principal característica de um agente emulsificante é a de possuir na mesma molécula partes hidrofílicas e hidrofóbicas, ou seja, apresenta característica anfifílica. Em razão disso, as proteínas de soja favorecem a formação das emulsões óleo em água e estabilizam-nas depois de formadas (HILL, 1996).

Quanto à capacidade e estabilidade de emulsão, SATHE e SALUNKHE (1981) observaram que as albuminas foram melhores emulsificantes que as globulinas. As albuminas registraram a maior estabilidade de emulsão (5 mL de separação de fase depois de 780 horas, a 21°C) e, dentre todas as amostras estudadas, os concentrados protéicos tiveram a maior capacidade emulsificante. DONADEL e PRUDENCIO-FERREIRA (1999), avaliando as propriedades funcionais de feijões novos, e de feijões comuns envelhecidos, armazenados a 41°C, durante 20, 30 e 40 dias, encontraram valores de 71,08; 60,42; 66,50 e 60,36 (g de óleo emulsificado/g), respectivamente para a capacidade emulsificante.

2.2.2.3. Propriedades espumantes

As espumas de proteínas, geralmente, consistem em gotículas de gás dispersas e envolvidas por um filme líquido fino, contendo um surfactante solúvel (proteína). A capacidade de uma proteína formar espuma é uma propriedade funcional de interface que depende da natureza da proteína, do pH, da solubilidade, da temperatura (desnaturação), da presença de sais, da presença de outros constituintes nos alimentos (lipídios e açúcares) e da concentração de proteína (WILDE e CLARK, 1996).

As espumas são mais estáveis no ponto isoelétrico das proteínas, em razão da falta de interações repulsivas (repulsão eletrostática mínima) que promovem uma interação mais favorável entre proteína-proteína, formando um filme viscoso na interface (FENNEMA, 1996). Geralmente, a maioria das proteínas forma uma espuma máxima com uma concentração de 2 a 8%. A desnaturação parcial das proteínas, freqüentemente proporciona uma melhoria nas propriedades de espumabilidade. Esta melhora é atribuída ao aumento da hidrofobicidade na superfície. Os lipídios, particularmente, os fosfolipídios afetam contrariamente a espumabilidade das proteínas, visto que desestabilizam as espumas de farinhas (DAMODARAN, 1996).

Ainda no estudo de SATHE e SALUNKHE (1981), as albuminas mostraram maior capacidade de formar espuma, enquanto a dos isolados protéicos foi a mais baixa entre as amostras estudadas. A capacidade das proteínas do feijão *Great Northern* formarem espuma é também dependente da concentração, atingindo um máximo em 10% (p/v). Estes valores são inferiores aos encontrados por DONADEL e PRUDENCIO-FERREIRA (1999), para feijões comuns (19,33%) e armazenados a 41°C durante 20, 30 e 40 dias, que apresentaram respectivamente: 24,40%, 25,66% e 19,83% de aumento de volume, após a formação de espuma.

2.2.2.4. Gelificação

A gelificação ocorre quando as moléculas desnaturadas pelo calor se agregam para formar uma rede protéica orientada. Géis de proteína consistem em uma rede tridimensional em que a água é encapsulada e, freqüentemente,

são considerados por ter uma fase intermediária entre um sólido e um líquido (MATSUMURA e MORI, 1996).

Um estudo realizado por SATHE e SALUNKHE (1981) mostrou que as menores concentrações necessárias a gelificação de farinha de feijão, albuminas, concentrados protéicos e isolados protéicos foram 10, 18, 8 e 12% (p/v), respectivamente. As globulinas, mesmo em concentrações de 20%, não formaram um gel firme. Com base nos resultados, os autores concluíram que a gelificação não é apenas uma consequência da quantidade de proteína, mas também do tipo de proteína e de componentes não-protéicos.

2.2.2.5. Solubilidade

A solubilidade de uma proteína é uma manifestação termodinâmica do equilíbrio entre interações proteína-proteína e proteína-água. As maiores interações que influenciam as características de solubilidade das proteínas são a natureza hidrofóbica e iônica. As interações hidrofóbicas favorecem as interações proteína-proteína, que resulta em um decréscimo na solubilidade, enquanto, interações iônicas favorecem as interações proteína-água e resulta em um aumento de solubilidade. A mudança de pH, portanto, altera a distribuição de sítios polares catiônicos, aniônicos e não-iônicos na molécula de proteína, que afetam as interações água-proteína e proteína-proteína (FENNEMA, 1996).

No ponto isoelétrico (PI), a molécula de proteína possui carga líquida igual a zero, apresentando máxima interação eletrostática entre grupos carregados e interação mínima com água e, assim, ocorrendo agregação e precipitação. No PI, os grupos carregados não estão disponíveis para interagir com as moléculas de água, enquanto para valores de pH elevados ou menores que o PI, a proteína apresenta cargas elétricas negativas e positivas, respectivamente, e as moléculas de água podem interagir com estas cargas, contribuindo para sua solubilização. A solubilidade de uma proteína é afetada por fatores, como peso molecular, e conformação das moléculas; densidade e distribuição de cargas elétricas, que é influenciada pelo pH; natureza e concentração de íons ou força iônica; polaridade do solvente, temperatura e condições de processamento (DAMORADAN, 1996; VOJDANI, 1996).

2.3. Antocianinas e alterações de cor

Feijões-comuns (*Phaseolus vulgaris*) e outras leguminosas contêm uma quantidade variável de polifenóis, e o nível dos mesmos está relacionado com a cor do grão. Diferentes polifenóis são responsáveis pelas cores de tegumentos de feijões.

Os compostos de cores que variam do vermelho ao azul, passando por uma gama intermediária de cores, são substâncias pertencentes ao grupo dos flavonóides, denominadas antocianinas (MAZZA e BROUILLARD, 1987). As antocianinas são glicosídeos das antocianidinas, cuja estrutura básica é a estrutura do cátion flavilium (2-fenilbenzopirilium). Todas as antocianinas são compostas de duas ou três partes: a estrutura básica, que é uma aglicona (antocianidina); o açúcar; e, freqüentemente, um ácido (FRANCIS, 1992).

FRANCIS (1992) informa que existe um grande número de possíveis combinações da antocianidina com o açúcar e o grupo acil, chegando a formar 300 antocianinas conhecidas.

As antocianinas podem ser glicosiladas por diferentes açúcares nas posições 3, 5 e 7, sendo os mais freqüentes ligados nas posições 3-hidroxil ou 5-hidroxil e o menos comum, na posição 7-hidroxil. Os açúcares mais comuns são glicose, ramnose, galactose, arabinose ou frutose (FRANCIS, 1992).

As diferentes cores exibidas pelos vegetais que contêm antocianinas dependem da influência de diversos fatores, como a presença de outros pigmentos, a presença de quelatos com cátions metálicos e o pH do fluido da célula vegetal (TERCI e ROSSI, 2002).

As diferentes cores exibidas pelos vegetais que contêm antocianinas dependem da influência de diversos fatores, como a presença de outros pigmentos, a presença de quelatos com cátions metálicos e o pH do fluido da célula vegetal. As antocianinas apresentam cores diferentes, dependendo do pH do meio em que elas se encontram. As mudanças estruturais que ocorrem com a variação do pH podem ser explicadas pelo esquema das principais transformações ilustradas na Figura 2 (TERCI e ROSSI, 2002).

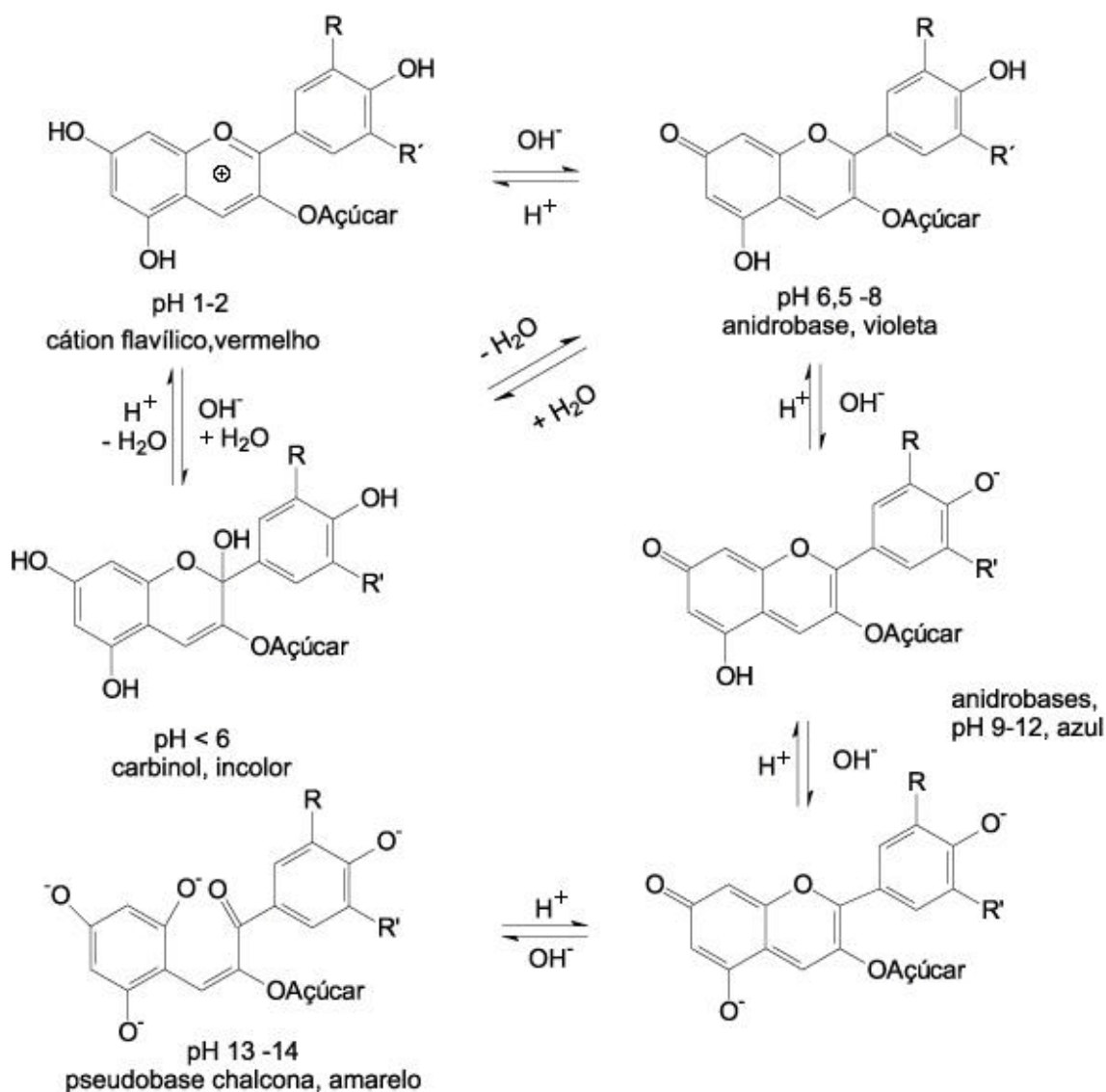


Figura 2 – Possíveis mudanças estruturais das antocianidinas em meio aquoso em função do pH.

2.4. Secagem por *spray dryer*

Secadores por atomização são usados na secagem de soluções, suspensões, emulsões, polpas e pastas no processamento de alimentos.

A secagem por atomização é um processo contínuo onde um líquido ou pasta é transformado em produto seco, caracterizando-se pelo tempo de secagem relativamente curto. O processo consiste basicamente na atomização do líquido num compartimento que recebe fluxo de ar quente. A rápida

evaporação da água permite manter baixa a temperatura das partículas de maneira que a alta temperatura do ar de secagem não afete demasiadamente o produto. É utilizado não só na indústria alimentícia (leite em pó, extratos de carne e leveduras, ovos, café solúvel dentre outros), mas também na indústria farmacêutica, cerâmica, de detergentes e outros (FELLOWS, 2000).

A operação de atomização está baseada em quatro fases (GAVA, 1998): atomização do líquido, contato do líquido atomizado com o ar quente, evaporação da água e separação do produto em pó do ar de secagem.

A atomização do líquido na câmara de secagem poderá ser feita por discos ou bicos atomizadores. No primeiro caso (sistema centrífugo), um disco ranhurado, girando a alta velocidade, nebuliza o líquido e projeta as gotículas de maneira radial ao fluxo de ar quente que entra pelo dispersor de ar situado na parte superior da câmara. A câmara tem normalmente uma forma cilíndrica na sua parte superior e cônica na sua parte inferior (FELLOWS, 2000).

A atomização através de bicos especiais poderá ser ocasionada por bombas de alta pressão ou por sistema pneumático (ar comprimido). O aquecimento do ar pode ser feito por contato indireto (tubulações aletadas aquecidas por vapor, óleo ou sistema elétrico) ou por queima direta de gás, óleo ou outro combustível (FELLOWS, 2000).

É muito importante nas características do pó final a maneira com que o ar quente entra em contato com o líquido atomizado. O fluxo de ar quente é normalmente introduzido na câmara, através do dispersor de ar localizado na parte superior da mesma. O líquido atomizado poderá ter o mesmo fluxo do ar quente (fluxo paralelo) ocorrendo, neste caso, um contato da partícula com ar de temperatura cada vez mais baixa. É um sistema usado para produtos mais sensíveis ao calor. No fluxo em contracorrente, o líquido é atomizado numa posição oposta à entrada de ar quente, ocorrendo o contato das partículas mais secas com o ar mais quente. Tal sistema utiliza eficientemente o calor, sendo indicado para produtos não sensíveis ao calor. Alguns atomizadores usam o sistema misto, combinando os dois tipos descritos (GAVA, 1998).

A evaporação da água do líquido atomizado ocorre na câmara de secagem, quando o ar quente (180°C a 230°C) entra em contato com a partícula úmida. A construção da câmara e as condições de trabalho são

ajustadas de modo a ocorrer uma evaporação necessária de água, sem elevar demasiadamente a temperatura do produto (GAVA, 1998).

A separação do produto seco do ar de secagem tem importância sobre as características do pó final, devido ao manuseio mecânico usado nesta separação. Excessivo manuseio mecânico resulta em pó mais fino. Os atomizadores usam dois sistemas básicos de separação (GAVA, 1998), quais sejam:

- 1) A separação principal do pó ocorre na parte inferior (base) da câmara de secagem. O ar de secagem sempre arrasta partículas finas que são recuperadas em sistemas de separação, usualmente ciclones. O pó mais fino, coletado no ciclone, poderá ser misturado ou não com o pó obtido na base do atomizador.
- 2) A separação do pó ocorre somente em sistemas de separação (ciclones), sendo necessário assim um número maior de ciclones.

As quatro fases da atomização interferem nas características do pó final. Assim, a maneira de atomizar e as propriedades do líquido atomizado influenciam o tamanho da partícula sólida, sua densidade, aparência e umidade. Já o contato o líquido, ar quente e a evaporação influenciam a densidade do pó, aparência, umidade, retenção de sabor e aroma. A técnica de separação do pó do ar de secagem influencia na granulometria do produto desidratado. As variáveis importantes no controle das características do pó final podem ser resumidas (BARBOSA-CÁNOVAS e BARLETTA, 1997) em: líquido atomizado (teor de sólidos, número e tamanho de partículas e viscosidade); atomizador (tipo e mecanismo de funcionamento); ar de secagem (velocidade, temperatura do ar de entrada e temperatura do ar de saída).

Assim, a atomização consiste basicamente em colocar ar quente (180 a 230°C) em contato com um líquido atomizado ocorrendo rapidamente a evaporação da água e a deposição do pó na parte inferior do aparelho. O ar de secagem sai pela parte inferior do equipamento a uma temperatura de 60 a 100°C, passando por ciclones para recuperar partículas finas (através de força centrífuga) e dando saída para a atmosfera (GAVA, 1998).

Diversas propriedades tecnológicas deste pós são determinadas pelas interações partícula-líquido (por exemplo, molhabilidade, dispersibilidade) e interações partícula-partícula (por exemplo, fluidez). Estas interações, por sua

vez, são influenciadas pelo tamanho da partícula, forma, densidade, assim como pela composição físico-química da superfície da partícula (MILLQVIST-FUREBY et al., 2001).

2.5. Extrusão

O cozimento por extrusão é um tratamento térmico a alta temperatura durante um curto período de tempo que reduz a contaminação microbiana e inativa enzimas. Os alimentos extrusados se conservam principalmente pela baixa atividade de água (FELLOWS, 2000).

O extrusor é constituído basicamente de uma rosca sem-fim, dentro de um cilindro encamisado com gradiente positivo de pressão e temperatura, aonde o alimento com cerca de 30% de umidade é comprimido sob alta temperatura e forçado a passar através de um pequeno orifício, provocando um processo de rápida expansão do material (PORTUGAL, 1989; FELLOWS, 2000).

A tecnologia de cozimento por extrusão é um método versátil e eficiente de converter materiais crus em alimentos prontos para o consumo. Ela pode substituir vários processos convencionais na indústria de alimentos e tem sido utilizada no desenvolvimento de vários tipos de *snack foods*, principalmente de farinha de milho, arroz, farinha de trigo ou farinha de batata, em vários formatos e de texturas variáveis. A aplicação de extrusão em farinhas de leguminosas é uma área de pesquisa relativamente nova, com exceção da soja (ROCHA-GUZMÁN et al., 2005).

O cozimento por extrusão tem vantagens que incluem versatilidade, alta produtividade, baixos custos de operação, eficiência energética e baixo tempo de cozimento. A aplicação da extrusão no processamento de leguminosas desenvolveu-se rapidamente durante a década de 90. A extrusão possibilita a redução de fatores antinutricionais, e conseqüentemente, aumenta a qualidade nutricional a um custo menor que outros tratamentos térmicos, devido a uma utilização mais eficiente de energia e melhores processos de controle com maiores capacidades de produção (QUINTANA et al., 1998; ALONSO et al., 2000b).

Diversos trabalhos têm mostrado que o amido de feijão tem muito boas propriedades expansivas e funcionais nas condições de extrusão (GUJSKA e KHAN, 1991). A ação do calor, água e alta pressão no processo de extrusão podem induzir alterações químicas desejáveis no material (BOREJSZO e KHAN, 1992). A extrusão propicia a obtenção de dispersões de farinhas pré-cozidas com menor viscosidade devido às modificações provocadas no material amiláceo (GONZÁLEZ et al, 1986). Poucas informações estão disponíveis sobre as alterações físico-químicas, funcionais e propriedades nutricionais durante a extrusão de feijões.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Elaboração das farinhas de feijão

As farinhas foram elaboradas com variedade de feijão comercial Cariquinha, tipo I, adquirido no comércio de Viçosa, Minas Gerais.

A elaboração das farinhas de feijão ocorreu no Laboratório de Desenvolvimento de Novos Produtos e na Fábrica de Conservas do Departamento de Tecnologia de Alimentos, da Universidade Federal de Viçosa. A farinha de feijão Cariquinha extrusado foi fornecida pela indústria Pink Alimentos, localizada em Belo Horizonte, Minas Gerais. O Quadro 3 apresenta os processos empregados nas elaborações de farinhas de feijão.

Quadro 3 -- Identificação dos processos de obtenção de farinha de feijão

Tratamento	Descrição
1	Farinha de feijão cozido em tacho aberto, após hidratação e maceração, e seco em <i>spray dryer</i>
2	Feijão cozido em autoclave, após hidratação e maceração, e seco em <i>spray dryer</i>
3	Feijão cozido em tacho aberto, após hidratação e maceração, adição de carbonato de sódio até pH 7,0 no caldo homogeneizado, e seco em <i>spray dryer</i>
4	Feijão cozido em autoclave, após hidratação e maceração, adição de carbonato de sódio até pH 7,0 no caldo homogeneizado, e seco em <i>spray dryer</i>
5	Feijão processado por extrusão (comercial)

Obteve-se uma farinha de feijão cru foi pela desintegração dos grãos de feijão em moinho de impacto. Esta foi utilizada como índice de referência inicial de matéria-prima. Os demais tratamentos foram:

Tratamento 1: Hidratação com água inicialmente a 95°C, por 5 minutos, seguida de maceração por 16 horas à temperatura ambiente, cozimento em tacho aberto com camisa de vapor por 1 h e 40 minutos; desintegração dos grãos cozidos em liquidificador industrial, passagem do caldo por malha de 60 *mesh*; homogeneização (2000 psi/70°C) e secagem em *spray dryer*.

Tratamento 2: Hidratação com água inicialmente a 95°C, por 5 minutos, seguida de maceração por 16 horas à temperatura ambiente; cozimento em autoclave à temperatura de 121°C por 40 minutos; desintegração dos grãos cozidos em liquidificador industrial; passagem do caldo por malha de 60 *mesh*; homogeneização (2000 psi/70°C) e secagem em *spray dryer*.

Tratamento 3: Hidratação com água inicialmente a 95°C, por 5 minutos, seguida de maceração por 16 horas à temperatura ambiente; cozimento em tacho aberto com camisa de vapor por 1h e 40 minutos; desintegração dos grãos cozidos em liquidificador industrial; passagem do caldo por malha de 60 *mesh*; homogeneização (2000 psi/70°C), ajuste do pH do caldo homogeneizado para 7,0 através da adição de solução de carbonato de sódio a 4% e secagem em *spray dryer*.

Tratamento 4: Hidratação água inicialmente a 95 °C, por 5 minutos, seguida de maceração por 16 horas à temperatura ambiente; cozimento em autoclave à temperatura de 121°C por 40 minutos; desintegração dos grãos cozidos em liquidificador industrial; passagem do caldo por malha de 60 *mesh*; homogeneização (2000 psi/70°C); ajuste do pH do caldo homogeneizado para 7,0 através da adição de solução de carbonato de sódio a 4% e secagem em *spray dryer*.

O período de maceração teve como objetivo diminuir o tempo de cocção, permitindo que o feijão se hidrate, resultando numa melhor transferência de

calor através do grão. A adição de carbonato de sódio visou a melhoria da cor do produto final por meio da mudança de pH, o que interfere na coloração dos pigmentos presentes no feijão (OLIVEIRA, 1996).

A temperatura de atomização no bico injetor do aparelho variou entre 225 e 260°C e a temperatura de saída do produto ficou entre 105 e 130°C, com uma vazão média de 10 L de caldo/hora.

Após a secagem em *spray dryer*, as farinhas foram submetidas a secagem em estufa com circulação de ar a 65°C, até atingir um teor de umidade inferior a 8%.

O tacho com camisa de vapor utilizado foi da marca Groen modelo TODA 20; o liquidificador industrial da Incal, modelo IAA 67B; o homogeneizador foi da marca Gaulin e o *spray dryer* marca Niro Atomizer modelo Minor Production (Figura 3).



Figura 3 – *Spray dryer* utilizado na desidratação das farinhas.

3.2. Análises físico-químicas e funcionais

Foram feitas análises de umidade, atividade de água, acidez titulável, pH, proteínas, lipídios, cinzas, carboidratos + fibras alimentares, determinação de elementos minerais (cálcio, ferro, sódio, potássio, magnésio, zinco), além da determinação do índice de absorção de água e de óleo, propriedades emulsificantes, propriedades espumantes e perfil de solubilidade.

Estas análises foram realizadas no Laboratório de Análise de Alimentos do Departamento de Tecnologia de Alimentos, da Universidade Federal de Viçosa.

3.2.1. Umidade

A umidade das amostras foi determinada por secagem em estufa a 105°C, até peso constante, de acordo com metodologia descrita no Manual de Normas Analíticas do Instituto Adolf Lutz (PREGNOLATO e PREGNOLATO, 1985).

3.2.2. Atividade de água

A atividade de água foi determinada por método direto, utilizando-se higrômetro Decagon, da marca AquaLab, modelo CX-2T, calibrado a 20°C. Foram realizadas três leituras por amostra. Cerca de trinta minutos antes das leituras, o AquaLab e o banho, acoplado ao mesmo, foram ligados, buscando a estabilização da temperatura interna do AquaLaB e do trocador de calor, também acoplado ao sistema.

3.2.3. pH e acidez total

As medidas de pH foram realizadas utilizando potenciômetro digital Hexis Ultra Basic mod. UB-10, de acordo com metodologia descrita no Manual de Normas Analíticas do Instituto Adolf Lutz (PREGNOLATO e PREGNOLATO, 1985).

A acidez é um indicativo do estado de conservação das farinhas envolvendo tanto aspectos químicos, como microbiológicos. O procedimento usual para determinação de acidez total, segundo Normas Analíticas do Instituto Adolf Lutz (PREGNOLATTO e PREGNOLATTO, 1985), consiste na titulação de uma alíquota da amostra por uma base forte de concentração conhecida. O final da titulação foi determinado utilizando potenciômetro, até pH 8,3, pois o uso de indicadores é inconveniente devido à presença de pigmentos em feijões, que mudam de cor pela alteração do pH. Os valores de acidez foram expressos em mL de solução N%.

3.2.4. Resíduo mineral fixo (cinzas)

O teor de cinzas foi determinado por incineração em mufla a 550°C, de acordo com a metodologia descrita no Manual de Normas Analíticas do Instituto Adolf Lutz (PREGNOLATO e PREGNOLATO, 1985).

3.2.5. Lipídios

Utilizou-se o método de extração em aparelho extrator de Soxhlet, empregando-se como solvente éter de petróleo por 8 horas, sob refluxo, conforme descrito no Manual de Normas Analíticas do Instituto Adolf Lutz (PREGNOLATO e PREGNOLATO, 1985).

3.2.6. Proteínas

A determinação de proteínas foi efetuada segundo o método de semi-micro Kjeldahl, para a quantificação de nitrogênio total, descrito pela AOAC (1998). No cálculo da conversão do nitrogênio em proteínas foi utilizado o fator 6,25.

3.2.7. Minerais (Na, K, Ca, Mg, Zn e Fe)

A determinação de minerais foi realizada, de acordo com metodologia descrita pela AOAC (1998). Após digestão das amostras em mistura nitro-

perclórica (3:1), estas foram quantificadas por espectrofotometria de absorção atômica, utilizando aparelho da marca GBC Scientific Equipment Pty Ltd. Adicionou-se cloreto de estrôncio às soluções das amostras analisadas quanto ao teor de cálcio e magnésio, para diminuir as interferências de silicatos e fosfatos na quantificação desses elementos.

3.2.8. Carboidratos e fibras alimentares

O teor de carboidratos de um alimento é calculado pela diferença da soma dos teores dos componentes: umidade, proteínas, lipídios, cinzas e fibras da totalidade do conjunto. Este procedimento está previsto pela Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) nº 40, de 21 de março de 2001 (BRASIL, 2001). Entretanto, como não foi determinado o teor de fibras alimentares, podemos determinar o teor do conjunto: carboidratos e fibras, que é a diferença percentual dos demais componentes em relação à totalidade.

3.2.9. Índice de absorção de água (IAA) e índice de absorção de óleo (IAO)

Os índices de absorção de água e óleo foram determinados, segundo o método descrito por OKEZIE e BELLO (1988), com algumas modificações. Pesou-se 1 g de amostra e foram adicionados 40 mL de água destilada para o IAA e 40 mL de óleo de milho para a determinação do IAO em tubos de centrífuga. A suspensão foi agitada utilizando agitador de tubos por 1 minuto e centrifugada em centrífuga da marca International Equipment CO, por 25 minutos a 1000 x g, desprezando-se o sobrenadante. A diferença entre o peso da amostra antes e após a centrifugação são tomados como a quantidade de água (ou óleo) absorvidos. O IAA ou IAO são expressos como a quantidade absorvida por 100 g de amostra.

3.2.10. Propriedades emulsificantes

A atividade emulsificante foi determinada pelo método descrito por YASUMATSU et al. (1992), com algumas adaptações. Preparou-se uma suspensão com 2 g de amostra em 20 mL de água destilada e 20 mL de óleo

de milho em béquer de 100 mL. A suspensão foi emulsificada utilizando agitador de haste por 1 minuto. A emulsão formada foi dividida em tubos graduados de 50 mL e centrifugados a 1000 x g por 9 minutos. A atividade emulsificante é expressa como o percentual volumétrico da camada emulsificada em relação ao volume de amostra no tubo.

Para determinação da estabilidade, a emulsão preparada conforme procedimento descrito acima, é deixada em repouso por 24 horas à temperatura ambiente. A estabilidade de emulsão foi calculada como o percentual do volume da camada emulsificada após 24 horas em relação ao volume inicial da camada, conforme definição de BETSCHART et al. (1979).

3.2.11. Propriedades espumantes

A capacidade de formação de espuma foi determinada de acordo com o procedimento apresentado por COFFMANN e GARCIA (1977), com algumas adaptações. Preparou-se uma suspensão com 80 mL de água destilada e 2 g de amostra em um béquer de 250 mL. A suspensão foi agitada com agitador de haste por 5 minutos com agitação média. Transferiu-se a dispersão para uma proveta graduada de 250 mL. A capacidade de formação de espuma é expressa como a porcentagem de aumento de volume baseando-se nos volumes inicial e após a formação de espuma.

3.2.12. Solubilidade

O efeito do pH sobre a solubilidade das farinhas foi determinado pelo método descrito por TOBELMANN (1979), com algumas modificações. Foram preparadas suspensões de 30 mL à 1% de proteína das farinhas de feijão, que tiveram seus valores de pH ajustados para 2,0; 3,0; 4,0; 4,5; 5,0; 6,0; 7,0; 8,0; 9,0 e 10,0 com soluções de ácido clorídrico e hidróxido de sódio, nas concentrações de 0,1 e 0,01 N. Posteriormente as amostras foram centrifugadas por 1000 x g por 15 minutos, em centrífuga da marca International Equipment CO. A concentração de proteínas no sobrenadante foi determinada pelo método colorimétrico do Biureto, segundo metodologia proposta por COOPER (1977), utilizando como padrão soroalbumina bovina da

Merck. Nas amostras de farinhas que foram adicionadas de carbonato de sódio (Tratamentos 3 e 4) a adição de ácido clorídrico que seria necessária para baixar o pH levaria a uma alteração da concentração salina pela alteração no equilíbrio iônico na solução, o qual seria um fator que também influenciaria na solubilidade, não permitindo a avaliação somente o efeito do pH, que é de interesse, neste caso.

O efeito da força iônica sobre a solubilidade das farinhas foi avaliado conforme a metodologia descrita acima, utilizando suspensões com concentrações de 0,0; 0,1; 0,25; 0,5; 0,75 e 1 mol/L de cloreto de sódio.

3.2.13. Densidade

A densidade foi determinada de acordo com a metodologia de OKEZIE e BELLO (1988), utilizando cilindro graduado de 10 mL.

3.3. Avaliação sensorial

A análise sensorial foi conduzida no Laboratório de Análise Sensorial do Departamento de Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal de Viçosa.

Para o preparo de aproximadamente 100 mL de caldo de feijão foram utilizados: 13,5 g de farinha de feijão, 81,5 mL de água, 1,4 g de tempero comercial de alho e sal da marca Arisco, 3,1 mL de óleo de soja e 0,5 g de glutamato monossódio.

As amostras foram submetidas a teste de aceitação, utilizando escala hedônica estruturada de sete pontos (Figura 4), para os atributos: sabor característico, aparência global e cor. A análise foi realizada em condições laboratoriais, onde as cinco amostras contendo entre 35 e 45 mL de caldo foram servidas, na mesma seção, por cada consumidor, sendo apresentadas inicialmente 3 amostras, e em seguida as 2 amostras restantes, sendo todas codificadas com números de 3 dígitos aleatórios. O painel sensorial foi constituído de 62 provadores, não-treinados, recrutados entre alunos e funcionários da Universidade Federal de Viçosa, de ambos os sexos, com idade entre 14 e 42 anos.

Nome: _____ Idade: _____ Data: _____

Por favor, avalie a amostra utilizando a escala abaixo para descrever o quanto você gostou ou desgostou do produto quanto aos atributos. Lave as papilas entre as avaliações e espere 60 segundos.

Código da amostra: _____

Sabor Característico	Aparência Global	Cor
<input type="checkbox"/> gostei extremamente	<input type="checkbox"/> gostei extremamente	<input type="checkbox"/> gostei extremamente
<input type="checkbox"/> gostei moderadamente	<input type="checkbox"/> gostei moderadamente	<input type="checkbox"/> gostei moderadamente
<input type="checkbox"/> gostei ligeiramente	<input type="checkbox"/> gostei ligeiramente	<input type="checkbox"/> gostei ligeiramente
<input type="checkbox"/> indiferente	<input type="checkbox"/> indiferente	<input type="checkbox"/> indiferente
<input type="checkbox"/> desgostei ligeiramente	<input type="checkbox"/> desgostei ligeiramente	<input type="checkbox"/> desgostei ligeiramente
<input type="checkbox"/> desgostei moderadamente	<input type="checkbox"/> desgostei moderadamente	<input type="checkbox"/> desgostei moderadamente
<input type="checkbox"/> desgostei extremamente	<input type="checkbox"/> desgostei extremamente	<input type="checkbox"/> desgostei extremamente

Comentários: _____

Figura 4 – Ficha de avaliação sensorial utilizando escala hedônica para teste de aceitação de feijão.

3.4. Análises microbiológicas

As análises microbiológicas foram conduzidas no Laboratório de Higiene Industrial do Departamento de Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal de Viçosa, para verificar a qualidade do produto logo após o processamento, com objetivo de garantir segurança para a realização da análise sensorial. Foram feitas análises de número mais provável de coliformes, para avaliar as condições higiênicas de processamento e contagem de bolores e leveduras que são os principais agentes deterioradores de farináceos.

3.4.1. Número mais provável de coliformes (NMP)

Para esta análise, foram utilizados água peptonada a 0,1% e caldo lauril sulfato. Dez gramas de amostra foram diluídos em 90 mL de água peptonada e

a partir desta diluição foram semeadas três séries de três tubos, utilizando 10 mL, 1 mL e 0,1 mL em caldo lauril sulfato, contendo tubos de fermentação (Durhan). A incubação foi feita a 35°C durante 24 a 48 horas. Tubos com presença de gás apresentam resultado positivo. Para o cálculo do NMP de coliformes, foi utilizada a tabela do NMP (LONGO et al., 1992).

3.4.2. Contagem de bolores e leveduras

Foram utilizados água peptonada a 0,1% e ágar batata dextrose, além de ácido tartárico (solução aquosa 10%), responsável pela acidificação do meio. As análises foram realizadas em triplicata, transferindo 1 mL de cada diluição (10^{-2} , 10^{-3} e 10^{-4}) para placas de Petri. A contagem foi feita após incubação na faixa de temperatura de 22 a 25°C durante 3 a 5 dias (LONGO et al., 1992).

3.5. Delineamento experimental e análise dos resultados

Para as análises físico-químicas e funcionais, considerou-se o delineamento inteiramente casualizado, com as cinco farinhas processadas e a farinha de feijão cru analisados em triplicata.

Na análise microbiológica foi adotado o plano de Amostragem de Duas Classes (BRASIL, 2001), procedendo-se a coleta de uma amostra indicativa.

Na análise sensorial utilizou-se escala hedônica, onde as cinco amostras foram avaliadas na mesma seção, por cada consumidor, utilizando o delineamento inteiramente casualizado, convertendo-se a escala hedônica em números de 1 a 7.

Os resultados foram submetidos à análise estatística utilizando o programa SAEG-UFV 8.0. Procedeu-se a ANOVA para a determinação do valor de "F". Para "F" significativo, utilizou-se o Teste de Tukey, a 5% de probabilidade, para comparação entre médias.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As farinhas de feijão obtidas de acordo com os tratamentos propostos são apresentadas na Figura 5. Podemos observar uma maior intensidade da coloração dos Tratamentos 3 e 4, que tiveram a adição de carbonato de sódio no caldo homogeneizado antes de seguir para o atomizador. Sugere-se, de acordo com a Figura 2, que com o aumento do pH, houve um deslocamento do equilíbrio da estrutura da antocianidina para a forma anidrobases, que é formada na faixa de pH de 6,5 a 8,0. Esta anidrobases de coloração violeta, provavelmente é responsável pela intensificação de cor dos tratamentos com adição de carbonato de sódio.

4.1. Análises físico-químicas e funcionais

O Quadro 4 apresenta a composição química em macronutrientes das farinhas de feijão. Os teores de proteínas, lipídios, cinzas e carboidratos+fibras foram demonstrados em base seca, para uma melhor comparação entre os nutrientes das farinhas processadas e da farinha de feijão cru, utilizada como referência. Deve-se levar em consideração que, apesar da farinha extrusada ser elaborada a partir da mesma variedade de feijão, a amostra processada pela indústria Pink Alimentos não é a mesma que foi utilizada no processamento dos demais tratamentos. Variáveis como a localização da cultura, condições ambientais, tipo de solo, tempo de armazenamento dentre outras podem influenciar nas diferenças entre o Tratamento 5 e os demais.



Figura 5 – Farinhas de feijão obtidas de acordo com os tratamentos propostos.

Quadro 4 – Composição centesimal das farinhas de feijão processadas

Tratamento	Umidade*	Proteínas**	Lipídios **	Cinzas**	Carboid.+ Fibras**
Far. Feijão cru	17,60 a	23,18 b	0,82 a	3,23 b c	72,75 a
Tratamento 1	6,15 b	23,02 b	0,77 a	3,11 c	73,09 a
Tratamento 2	6,19 b	22,81 b	0,68 ab	3,09 c	73,40 a
Tratamento 3	6,51 b	22,40 b	0,85 a	3,53 b c	73,20 a
Tratamento 4	6,30 b	22,49 b	0,64ab	3,69 b	73,17 a
Tratamento 5	7,26 b	26,38 a	0,52b	4,28 a	68,81 b

* As médias seguidas da mesma letra, dentro da mesma coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey (5%).

+ base seca

Portanto, a farinha extrusada não deve ser comparada à crua para a determinação de perdas de processamento.

O teor de umidade das farinhas de feijão atomizadas ficou abaixo de 8% devido ao ajuste do teor de umidade em estufa com circulação forçada de ar. A farinha de feijão extrusado comercial apresentou teor de umidade de 7,26%. Isto representa um importante índice para a qualidade do produto, visto que implica em maior estabilidade química e microbiológica. Umidade fora das recomendações técnicas resulta em grandes perdas na estabilidade química, deterioração microbiológica, alterações fisiológicas e na qualidade geral dos alimentos (GOMES et al., 2003). GOMES e SILVA (2003), utilizando este mesmo *spray dryer*, obtiveram teores de umidade variando entre 1,63 e 9,17% para farinhas de feijão, sem necessidade de ajuste de umidade em estufa. Isso deve-se ao fato de o atomizador não permitir o controle efetivo de todas as variáveis de secagem, dentre estas, a vazão de alimentação, temperatura de atomização e temperatura de saída do atomizador.

O teor de proteínas das farinhas atomizadas ficou entre 22,40 e 23,18%, indicando que não houve perda de nitrogênio no processamento. DONADEL e PRUDÊNCIO-FERREIRA (1999) citam teores de proteína bruta de 22,73% na farinha de feijão novo. A farinha de feijão extrusado apresentou teores de proteínas superiores ($p < 0,05$) às demais. O alto teor protéico é um bom índice de adequação do uso da farinha de feijão em alimentos formulados.

O teor médio de lipídios foi 0,71%, sendo inferior aos citados por DONADEL e PRUDÊNCIO-FERREIRA (1999), que relatam teores de lipídios em farinha de feijão Cariquinha novo de 1,12%, e teores de 1,32; 1,51 e 1,29%, respectivamente, nas farinhas feitas de feijões armazenados a 41°C por 20, 30 e 40 dias. Com relação à estabilidade, espera-se que tenham uma vida de prateleira prolongada, uma vez que o tratamento térmico, principalmente o cozimento, inativa a enzima lipoxigenase, que causa a oxidação e conseqüente ranço oxidativo em gorduras (ARAÚJO, 1999).

O teor do conjunto formado por carboidratos e fibras alimentares variou de 72,75 a 73,40% nas farinhas de feijões atomizadas. Este teor foi estatisticamente superior ($p < 0,05$) ao de feijões extrusados. Estes resultados foram próximos aos obtidos por GOMES e SILVA (2003), para feijão Cariquinha, cujos teores de carboidratos + fibras alimentares encontrados variaram de 67,9 a 71,6%. Ainda neste estudo, os autores encontraram teores de fibra alimentar total variando entre 18,32%, em farinha de feijão atomizada processada sem maceração e sem ajuste de pH até 21,04% em farinha de feijão atomizada, utilizando feijão macerado e com ajuste do pH do caldo para 7,0. Tendo isto em vista, pode-se sugerir um teor de fibra alimentar em torno de 20% para as farinhas e o teor de carboidratos variando de 45 a 55%.

CRUZ (2000) avaliou os cultivares de feijão carioca: Pérola, Rudá, Aruã e Aporé. A autora encontrou teores de fibras alimentares totais de 38,21; 30,37; 23,61 e 20,64%, e teor de fibras solúveis de 3,56; 3,95; 3,00 e 5,20%, respectivamente.

KUTOS et al. (2003) citam teores de fibras alimentares totais de 22,6 e 22,2% em feijões cozidos sem e com maceração em água, respectivamente. Estes valores foram significativamente superiores aos de feijões apenas macerados em água, que apresentaram teor de fibra alimentar de 20,1%. Esses autores também observaram maior teor de amido resistente à hidrólise enzimática em feijões que utilizaram o processo de cozimento.

As mudanças químicas básicas no conteúdo de fibra alimentar do alimento durante o cozimento continuam obscuras. A fração amilose do amido é primariamente responsável pelo comportamento físico-químico do sistema amido-água. O conteúdo de amilose dos amidos de feijão comum variaram de 10,2% a 42% (REYES-MORENO e PAREDEZ-LOPEZ, 1993). A formação de

amido resistente, complexos amilose-lipídeo e produtos da reação de Maillard, têm sido considerados como contribuintes para o aumento de fibra alimentar (Bjork et al., 1984 citados por REYES-MORENO e PAREDEZ-LOPEZ, 1993).

Segundo OSÒRIO-DIAZ et al. (2002), durante o cozimento, o amido é gelatinizado e torna-se disponível, embora uma fração deste amido disponibilizado seja retrogradada durante o resfriamento, tornando-o resistente à digestão enzimática.

Leguminosas processadas têm mostrado conter significativas quantidades de amido resistente quando comparadas com cereais, tubérculos e frutas verdes. Por esse motivo, a taxa de digestão do amido e a liberação de glicose dentro da corrente sangüínea é menor após a ingestão de leguminosas, resultando em resposta pós-prandial insulinêmica e glicêmica menores que a de grãos de cereais e batatas (DÍAZ et al., 2002).

Apesar dos efeitos benéficos das fibras, este composto também limita a utilização de outros nutrientes do feijão, como proteínas e minerais. A fibra alimentar pode modificar ou diminuir a digestibilidade das proteínas, por aumentar a excreção de nitrogênio (PEREIRA, 1998). A redução na absorção de minerais pode ser devido ao conteúdo de ácido fítico e a sua capacidade de se ligar a íons minerais divalentes (TORRE et al., 1991).

A atividade de água - A_w (Quadro 5) da farinha de feijão cru foi 0,79, a qual, associada a um alto teor de umidade indica elevada perecibilidade. A farinha de feijão extrusado apresentou A_w superior ($p < 0,05$) às farinhas atomizadas. As farinhas de feijão atomizadas apresentaram teor de A_w entre 0,23 e 0,28, não permitindo crescimento microbiano.

Historicamente, a desidratação de alimentos é um procedimento utilizado no controle de organismos. Entretanto, se o produto é desidratado para níveis de umidade muito baixos ($A_w < 0,1$), este se torna muito sensível à oxidação em razão da remoção de água de hidratação dos metais e da formação de radicais livres durante o processo de secagem. Em A_w igual a 0,3, previne-se ou pelo menos reduz-se o desenvolvimento da oxidação. O efeito protetor ocorre em razão da hidratação dos metais e dos radicais livres, tornando-os menos efetivos (ARAÚJO, 1999).

Quadro 5 – Resultados de atividade de água (Aw), pH e acidez das farinhas de feijão

Tratamentos	Aw*	pH*	Acidez (mL de sol.N%)*
Far. feijão cru	0,79 a	6,37 b	9,09 b
Tratamento 1	0,24 c	6,45 b	9,64 b
Tratamento 2	0,23 c	6,42 b	9,95 b
Tratamento 3	0,28 c	7,35 a	3,31 c
Tratamento 4	0,27 c	7,32 a	3,55 c
Tratamento 5	0,49 b	6,28 b	13,63 a

* As médias seguidas da mesma letra, dentro da mesma coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey (5%).

O pH das farinhas adicionadas de carbonato de sódio foi superior ($p < 0,05$) e, conseqüentemente apresentou menor acidez que os demais tratamentos.

Os valores de pH de farinhas em suspensões aquosas são importantes, já que algumas propriedades funcionais, como solubilidade e atividade emulsificante são altamente afetadas por alterações de pH (DZUDIE e HARDY, 1996).

A composição em minerais das farinhas é apresentada no Quadro 6.

Quadro 6 – Composição em minerais das farinhas de feijão em base seca

Tratamento	Sódio (mg/100g)*	Potássio (g/100 g)*	Cálcio (mg/100g)*	Magnésio (g/100 g)*	Ferro (mg/100g)*	Zinco (mg/100g)*
Far. Feijão cru	3,47 b	1,09 ab	73,7 b	0,191 b	8,99 b	2,23 ab
Trat. 1	10,28 b	0,85 bc	65,0 b	0,158 bc	7,29 b	2,74 a
Trat. 2	6,31 b	0,84 bc	79,1 b	0,154 c	8,87 b	2,71 a
Trat. 3	360,2 a	0,79 c	57,9 b	0,166 bc	8,22 b	2,07 b
Trat. 4	344,8 a	0,96 abc	75,6 b	0,193 b	9,01 b	2,14 b
Trat. 5	4,23 b	1,15 a	123,2 a	0,236 a	21,7 a	2,27 ab

* As médias seguidas da mesma letra, dentro da mesma coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey (5%).

O teor de sódio nas farinhas de feijão em que houve o ajuste de pH do caldo para 7,0 com adição de carbonato de sódio (Tratamentos 3 e 4) foi superior ($p < 0,05$) aos demais. Estes valores foram próximos aos encontrados por GOMES e SILVA (2003) para farinhas de feijão atomizadas em pH 7,0. OLIVEIRA (1996) obteve teores de sódio de 153,0 mg/100 g na farinha de feijão extrusada com adição de bicarbonato de sódio. Nas demais farinhas de feijão, apesar de não apresentarem diferenças significativas ($p > 0,05$), pode-se observar um aumento no teor de sódio em relação à farinha de feijão cru. Isto pode ser explicado pela utilização do homogeneizador na linha de processamento, cujo processo de higienização utiliza hidróxido de sódio à quente, e o caldo de feijão ao ser homogeneizado a alta pressão e à quente (2000 psi/70°C) pode ter carregado este elemento.

O teor de potássio nas farinhas de feijão variou entre 0,79 g/100 g na farinha de feijão cozido em tacho aberto, atomizado sem ajuste de pH (Tratamento 3); até 1,15 g/100 g na farinha de feijão extrusado (Tratamento 5). Os teores obtidos foram próximos aos de LOPEZ e WILLIAMS (1988) para feijões *kidney* enlatados, cujos valores estavam entre 0,88 e 1,46 g/100 g.

A farinha de feijão extrusado apresentou teores de cálcio, magnésio e ferro superiores ($p < 0,05$) aos demais tratamentos avaliados.

LOPEZ e WILLIAMS (1988) encontraram teores de cálcio em feijões *kidney* variando entre 33,6 mg/100 g em feijões enlatados até 94,3 mg/100 g em feijões secos. Neste mesmo estudo, a variação do magnésio foi de 27,1 a 142,0 mg/100 g.

OLIVEIRA (1996) avaliando a composição de 12 farinhas de feijão encontrou teor de cálcio variando de 124 a 192 mg/100 g, e teor magnésio variando de 114 a 144 mg/100 g.

O teor de ferro (21,7 mg/100 g) encontrado na farinha extrusada sugere que houve migração de ferro proveniente de equipamentos na linha de processamento da indústria, visto que o teor de ferro em feijões cozidos situa-se entre 2,88 e 7,93 mg/100 g (CHIARADIA e GOMES, 1997).

O Quadro 7 mostra os resultados da análise de IAA, IAO e densidade das farinhas.

Quadro 7 – Resultados das determinações do Índice de absorção de água (IAA), índice de absorção de óleo (IAO) e densidade das farinhas de feijão.

Tratamento	IAA* (g água/g farinha)	IAO* (g de óleo/g farinha)	Densidade* (g/ mL)
Far. Feijão cru	1,84 b	1,55 a	0,721 bc
Tratamento 1	2,84 a	1,32 a	0,727 b
Tratamento 2	3,21 a	1,15 a	0,693 bcd
Tratamento 3	2,95 a	1,29 a	0,678 cd
Tratamento 4	2,93 a	1,57 a	0,661d
Tratamento 5	3,10 a	1,26 a	0,813 a

* As médias seguidas da mesma letra, dentro da mesma coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey (5%).

A capacidade de absorção de água é um indicador usual de como farinhas ou isolados podem ser incorporados em formulações alimentícias em meio aquoso. A capacidade de absorção de óleo pode determinar se o material protéico irá funcionar bem como um extensor em produtos cárneos (OKEZIE e BELLO, 1988).

O IAA das farinhas processadas foi superior ($p < 0,05$) ao da farinha de feijão cru, utilizada como referência. O IAA ficou entre 2,84 e 3,21 g de água absorvida/g de farinha, sendo superior à farinha de feijão *winged* analisada por OKEZIE e BELLO (1988), que apresentou 2,75 g de água/g de farinha. O IAO não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos ($p > 0,05$) e foi inferior ao obtido para farinha de feijão *winged* (2,39 g de óleo/g de farinha). Neste mesmo estudo, os autores avaliaram o isolado protéico de soja e encontraram IAA e IAO, de 4,10 e 4,88 g/g, respectivamente.

Como o teor de proteínas em feijões é alto, um aumento na desnaturação das proteínas irá provavelmente causar um incremento no IAA. De acordo com alguns autores, altos valores de IAA estão relacionados a altos teores de amido, uma vez que estes são degradados e aumentam a absorção de água (GUJSKA et al., 1996; ROCHA-GUZMAN et al., 2005).

SATHE e SALUNKHE (1981) avaliaram feijão *Great Northern* e obtiveram IAA em farinha de feijão, albuminas, globulinas, concentrado protéico

e isolado protéico, respectivamente iguais a 1,67; 3,18; 2,77; 5,93 e 2,73 g/g. Na determinação do IAO, eles obtiveram, 1,00; 3,29; 3,23; 4,12 e 1,57 g/g, respectivamente.

DZUDIE et al. (2002) preparam lingüiças utilizando farinha de feijão comum (FFC) em níveis de 2,5; 5,0; 7,5 e 10,0% em relação à carne na formulação. A capacidade de retenção de água e o pH aumentaram e as perdas de cozimento diminuíram com o aumento dos níveis de FFC na emulsão. Lingüiças com 5,0; 7,5 e 10,0% de FFC foram mais claras do que a controle. A adição de FFC a 2,5% não teve efeito significativo quando comparada com a lingüiça controle.

A densidade da farinha de feijão extrusado foi maior ($p < 0,05$) que a das demais farinhas. BALANDRAN-QUINTANA et al. (1998) reportaram que a densidade de feijões pinto extrusados era influenciada pela temperatura e havia uma tendência ao decréscimo da densidade quando feijões eram armazenados e extrusados em temperaturas maiores, independente do cultivar analisado. Com o aumento da temperatura, o amido torna-se completamente cozido, conseqüentemente tem condições de se expandir pelo aumento da porosidade.

As Figuras 6 e 7 apresentam a capacidade emulsificante e a estabilidade de emulsão das farinhas de feijão após 24 horas em repouso.

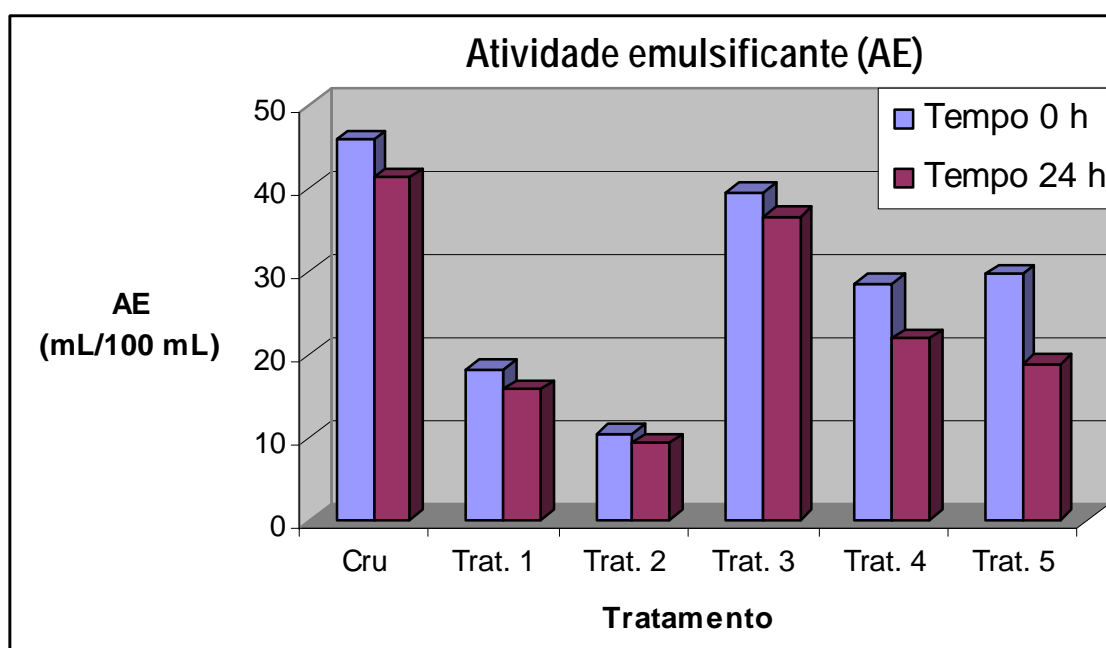
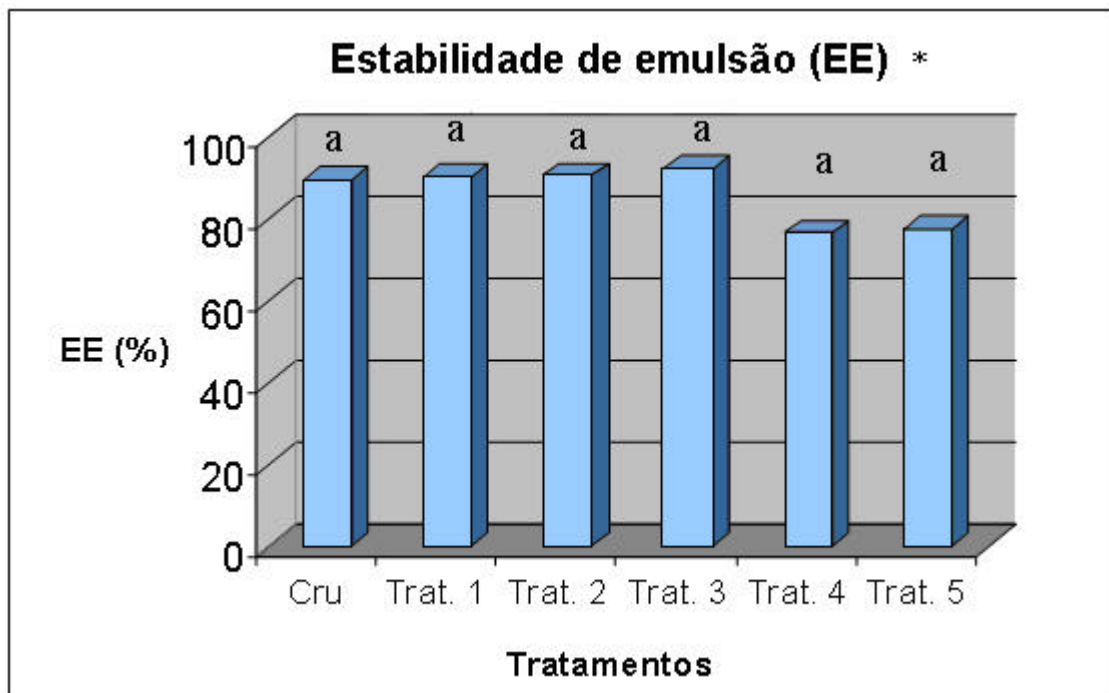


Figura 6 – Atividade emulsificante (AE) das farinhas de feijão em t = 0 h e t = 24 h a temperatura ambiente.



* As colunas do histograma com mesmas letras, não diferem entre si, pelo teste de Tukey (5%).

Figura 7 – Estabilidade de emulsão após 24 horas à temperatura ambiente.

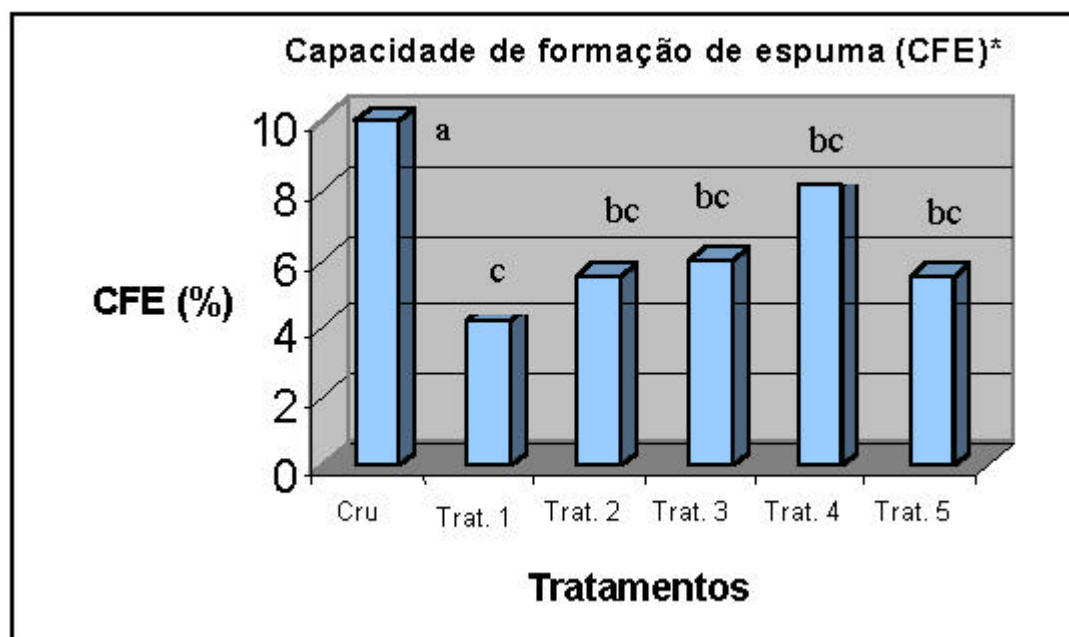
O Tratamento 3 apresentou melhor atividade emulsificante ($p < 0,05$) dentre as farinhas desidratadas. Os dois tratamentos com ajuste de pH do caldo para 7,0 apresentaram melhor atividade emulsificante. CHEFTEL et al. (1985) sugeriram a existência de uma correlação positiva entre as propriedades de emulsificação e solubilidade das proteínas. Entretanto, as propriedades emulsificantes não podem ser atribuídas somente às proteínas dispersíveis. Outros componentes das farinhas como proteínas insolúveis e carboidratos, podem influenciar a emulsificação.

DONADEL e PRUDÊNCIO-FERREIRA (1999) obtiveram uma atividade emulsificante de 50,16% para feijão novo e de 53,16; 45,16 e 44,83% para feijões armazenados por 20, 30 e 40 dias a 41°C.

Apesar de apresentar uma atividade emulsificante inferior a 40%, as farinhas de feijão processadas apresentam elevada estabilidade de emulsão, que variou de 76,8% no Tratamento 4, até 92,3% no Tratamento 3. Entretanto, a variação entre os tratamentos não foi significativa ($p > 0,05$). SATHE et al. (1982) sugeriram que alta estabilidade de emulsão encontrada

em feijões *winged* é devido à estrutura globular nativa da maioria de suas proteínas.

As farinhas de feijão apresentaram baixo índice de capacidade de formação de espuma (Figura 8), sendo que o Tratamento 4 apresentou maior CFE ($p < 0,05$) dentre as farinhas desidratadas.



* As colunas do histograma com mesmas letras, não diferem entre si, pelo teste de Tukey (5%).

Figura 8 – Capacidade de formação de espuma (CFE) das farinhas de feijão.

As propriedades emulsificantes e espumantes de proteínas dependem de certo modo dos seguintes aspectos: peso molecular, cargas na superfície, pH do meio, flexibilidade da molécula, taxa de migração da proteína para a interface, grau de desnaturação, proporção relativa das fases imiscíveis, habilidade da proteína em formar um filme ou uma “pele” na interface e solubilidade da proteína (SATHE, 2002).

SATHE (2002) relata que a maior parte das globulinas de feijões comuns secos não apresenta alta CFE ou estabilidade de espuma quando comparadas com diversas proteínas animais, como a do ovo e do leite, e isto deve-se, em parte, ao fato que as proteínas de armazenamento de feijões secos apresentam uma estrutura rígida e compacta.

Os perfis de solubilidade (Figura 9) das farinhas em função do pH, são semelhantes àqueles encontrados por outros pesquisadores, cujos valores mais baixos de solubilidade estão em torno de pH 3 a 5 (SOSULSKIE e MCCURDY, 1987; OKEZIE e BELLO, 1988; DONADEL e PRUDÊNCIO-FERREIRA, 1999).

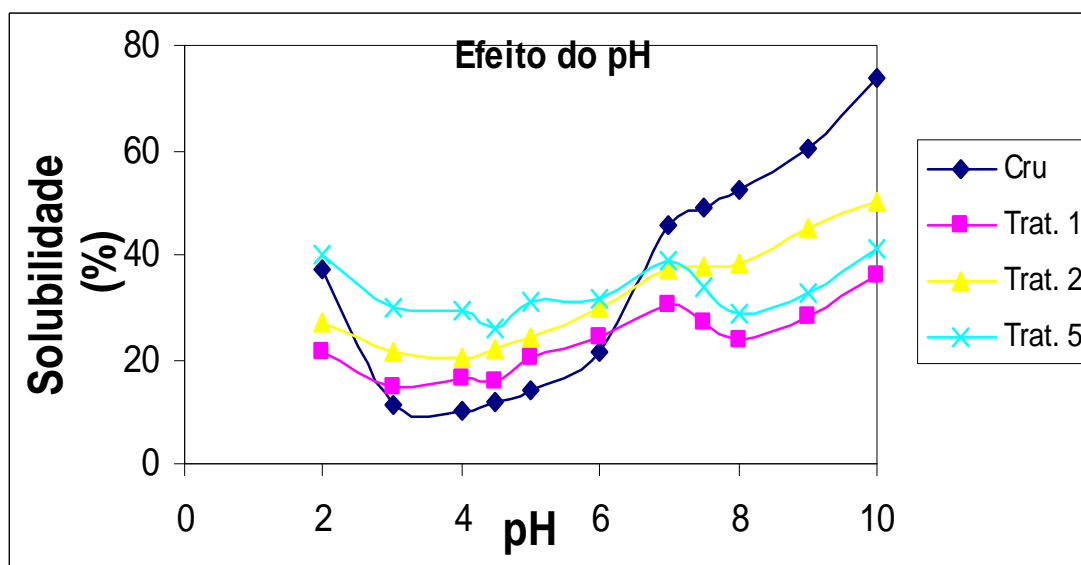


Figura 9 – Efeito do pH sobre o perfil de solubilidade das farinhas de feijão.

A maioria das proteínas de feijão tem ponto isoelétrico (PI) em pH ácido, devido a grandes quantidades de resíduos de ácido glutâmico e aspártico na composição aminoacídica. As principais proteínas de feijões, albuminas e globulinas, apresentam PI na faixa de pH ácido (geralmente entre 4 e 5) e são eficientemente solubilizadas em meio aquoso em pH alcalino (pH de 8,5 a 10 é geralmente eficiente). Ajustando-se o pH de soluções de proteínas solubilizadas para a faixa de pH isoelétrico, consegue-se uma eficiente separação e concentração das principais proteínas (SATHE, 2002).

Nota-se através dos perfis de solubilidade que o tratamento térmico insolubilizou a proteína do feijão.

A solubilidade das proteínas é determinada por três fatores principais: grau de hidratação, densidade e distribuição de cargas ao longo da cadeia e presença de substâncias não-protéicas como fosfatos, carboidratos e lipídios, que podem apresentar efeito estabilizante (ARAÚJO, 1999).

A solubilidade das farinhas em várias faixas de pH pode servir como um indicador do seu comportamento quando forem aplicadas em sistemas alimentícios e também da magnitude da desnaturação da proteína devido ao tratamento térmico ou químico (OKEZIE e BELLO, 1988).

O perfil de solubilidade das farinhas em função da quantidade de NaCl adicionado é apresentado na Figura 10. De acordo com DEMETRIADES et al. (1997), a adição de NaCl poderia provocar a floculação de proteínas, mesmo estando carregadas eletricamente, porque os íons interferem sobre as forças repulsivas que contribuem para a manutenção das proteínas em solução. Além disso, íons salinos competem com as cargas das proteínas pela água, diminuindo a capa de hidratação e permitindo a atração proteína-proteína. Isso explica, pelo menos em parte, a redução da solubilidade, em quase todos os casos, nesta pesquisa.

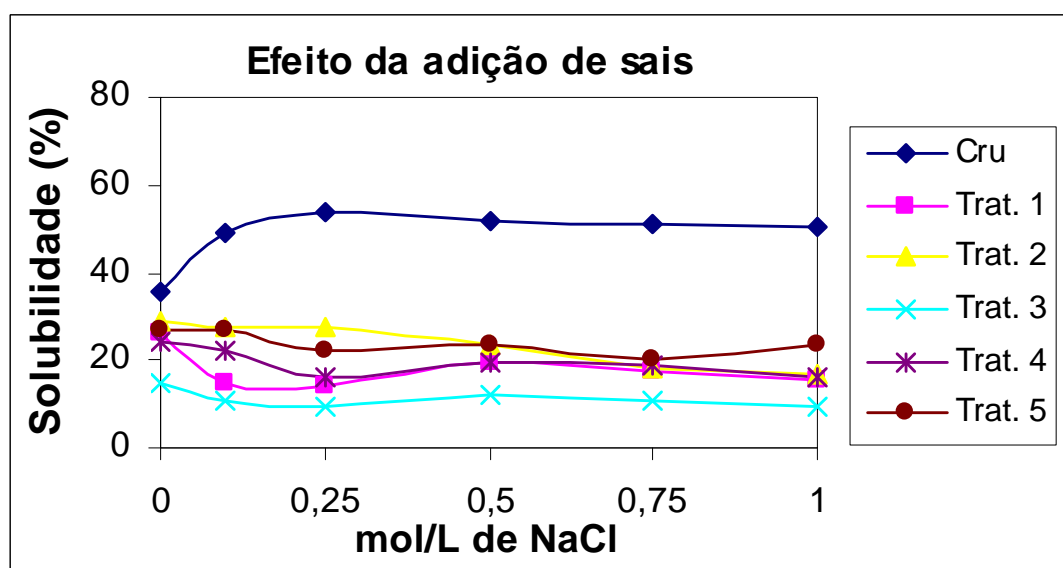


Figura 10 – Efeito da adição de sais sobre a solubilidade das farinhas de feijão.

As propriedades físicas e químicas que ditam a funcionalidade da proteína são: a forma, composição e seqüência de aminoácidos; carga líquida e sua distribuição; relação hidrofobicidade/hidrofiliçidade; estruturas primária, secundária, terciária e quaternária; flexibilidade e rigidez; e habilidade de reagir com outros componentes. Como as proteínas possuem uma variação enorme em suas propriedades físicas e químicas, torna-se difícil prever a utilização

de cada uma com respeito a uma determinada propriedade funcional (ARAÚJO, 1999).

4.2. Análise sensorial

Na escala hedônica, o provador expressa sua aceitação pelo produto, seguindo uma escala previamente estabelecida que varia gradativamente, com base nos atributos gosta/desgosta. A escala hedônica pode ser utilizada em testes de aceitação em laboratório, com o objetivo de se obterem informações sobre a provável aceitação dos produtos pelo consumidor nas fases iniciais de desenvolvimento (CHAVES e SPROESSER, 1996).

O Quadro 8 apresenta as médias de notas obtidas dos 62 provadores para os atributos sabor característico, aparência global e cor.

Quadro 8 – Média de notas obtidas no painel sensorial para as características sensoriais avaliadas.

Tratamento	Sabor Característico	Aparência Global	Cor
Tratamento 1	5,32 a	5,06 a	5,05 a
Tratamento 2	5,83 a	5,65 a	5,73 a
Tratamento 3	5,28 a	5,23 a	5,46 a
Tratamento 4	5,32 a	5,36 a	5,47 a
Tratamento 5	3,95 b	3,24 b	3,22 b

* As médias seguidas da mesma letra, dentro da mesma coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey (5%).

Analisando-se os atributos avaliados observa-se a maior média de notas ($p < 0,05$) obtidas pelos tratamentos em que foi utilizado o *spray dryer* em relação ao tratamento que utilizou extrusão. Apesar de não haver variação significativa ($p > 0,05$) entre as notas para os atributos das farinhas atomizadas, o feijão autoclavado e sem ajuste de pH apresentou as melhores médias (Tratamento 2).

Os resultados dos atributos sensoriais para as farinhas de feijão atomizadas situaram-se na escala hedônica entre os termos de aceitação gostei ligeiramente e gostei moderadamente. O percentual em relação ao

máximo valor da escala variou de 75,4 a 83,2%; 72,2 a 80,7%; e 72,1 a 81,8% para os atributos sabor característico, aparência global e cor, respectivamente, nas farinhas de feijão atomizadas. Para a farinha extrusada estes valores foram: 56,4; 46,2 e 46,0%, respectivamente.

OLIVEIRA (1996) realizou Análise Descritiva Quantitativa (ADQ), utilizando sete provadores treinados para os atributos cor, gosto de feijão cru, gosto amargo e qualidade global em nove farinhas de feijão. As médias de notas obtidas e convertidas em percentuais para estes atributos variaram de 20,4 a 66,1%; 39,2 a 76,2%; 57 a 78,6%; e 43,5 a 72,0%, respectivamente.

Pode-se observar que a adição de carbonato de sódio não influenciou a aceitação do atributo cor e tampouco causou alteração no sabor e na aparência do produto formulado, sob ponto de vista do consumidor. Portanto, a coloração não afetou a aceitação dos painelistas, o que está de acordo com o encontrado por OLIVEIRA (1996), mas não era de se esperar, segundo GOMES (1999), que relata que o ajuste de pH para 7,0 provocará uma intensificação da cor do produto, pela alteração da conformação da antocianina, e esta cor mais escura é preferida pelo consumidor brasileiro.

Na industrialização do feijão em pó pré-cozido pelo processo de extrusão têm ocorrido problemas sensoriais, tais como o aparecimento do denominado “sabor de mato” ou de “feijão cru”, causados provavelmente pela degradação de lipídios pela ação da lipoxigenase. O feijão antes da extrusão é submetido a uma prévia moagem, processo no qual o oxigênio deixa de ser fator limitante e o substrato (ácido linoléico) é exposto à ação das enzimas que atuam, ocasionando a formação de compostos responsáveis pelo aparecimento de sabor desagradável no feijão (PORTUGAL, 1989). Este problema tem causado grandes preocupações às indústrias, pois a aceitabilidade do feijão em pó pré-cozido, por extrusão, em nível de consumo direto ainda não atendeu às expectativas desejadas.

Atributos de qualidade, tais como propriedades funcionais e sensoriais determinam a aceitação ou rejeição de determinados alimentos, especialmente quando estes têm por finalidade imitar alimentos de consumo tradicional.

4.3. Análises microbiológicas

O Quadro 9 apresenta o resultado das análises microbiológicas para farinhas as farinha de feijão.

Quadro 9 – Resultado das análises microbiológicas do NMP de coliformes totais e contagem de bolores e leveduras nas farinhas.

Tratamento	Coliformes totais (NMP/g)	Bolores e leveduras (UFC/g)
Tratamento 1	23	$<1,0 \times 10^2$ (estimado)
Tratamento 2	9	$<1,0 \times 10^2$ (estimado)
Tratamento 3	<3	$<1,0 \times 10^2$ (estimado)
Tratamento 4	9	$<1,0 \times 10^2$ (estimado)
Tratamento 5	23	$<1,0 \times 10^2$ (estimado)

O resultado das análises de coliformes totais foram comparados com o padrão estabelecido na Resolução nº12 de 02 de Janeiro de 2001 (BRASIL, 2001), que em seu item 12 refere-se a produtos a serem consumidos após a adição de líquido, com emprego de calor, por um mínimo de 75°C por 20 segundos. No sub-item d, estabelece o padrão de 10^2 coliformes/g para misturas ou pós para o preparo de sopas, caldos, purês, risotos, massas alimentícias e outras preparações para empanar, temperar, e similares.

Na contagem de bolores e leveduras em nenhuma das 3 diluições (10^{-2} , 10^{-3} e 10^{-4}) houve um mínimo de 25 colônias, sendo portanto o resultado de todas as farinhas estimado em menor que 10^2 UFC/g, indicando contaminação muito baixa, como era de esperar em produtos com A_w inferior a 0,6.

5. CONCLUSÕES

Desenvolveu-se quatro farinhas de feijão pré-cozidas da variedade Carioquinha, desidratadas por atomização e avaliou-se o efeito do processamento e dos processos de desidratação (atomização e extrusão) sobre as características físico-químicas, funcionais, sensoriais, microbiológicas de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). Na desidratação por atomização foram avaliadas duas variáveis do processamento: o tipo de cozimento, em tacho aberto e em autoclave; e o efeito do ajuste de pH do caldo para 7,0 com adição de carbonato de sódio a 4%. Utilizou-se amostra de farinha de feijão Carioquinha extrusada comercial.

Nas análises físico-químicas, as farinhas apresentaram baixa atividade de água, baixo teor de umidade e lipídios, alto conteúdo protéico e um elevado teor de carboidratos + fibras. Isto sugere uma boa adequação do produto em alimentos formulados, com eficiente aporte de nutrientes e excelentes características de conservação. Com base em estudos similares, sugere-se que a farinha de feijão atomizado apresente um alto teor de fibra alimentar e amido resistente, preenchendo assim, as principais recomendações dietéticas para boa saúde.

Os tratamentos com ajuste de pH apresentaram elevado teor de sódio, mas sem implicações nutricionais quanto à restrição de seu consumo, visto que uma porção (30 g) da farinha, que será diluída em água, apresenta menos de 100 mg de sódio. A farinha de feijão extrusado apresentou melhor composição em minerais, apresentando teores maiores de potássio, cálcio, magnésio, ferro e zinco. O teor de ferro foi elevado em comparação ao teor presente em grãos

de feijões comuns, indicando migração deste elemento proveniente de equipamentos da linha de processamento.

Não houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre os índices de absorção de água (IAA) e índice de absorção de óleo (IAO) das farinhas processadas. A farinha extrusada apresentou maior densidade que as atomizadas. Os tratamentos com ajuste de pH apresentaram melhores atividades emulsificantes e maior capacidade de formação de espuma. Apesar de apresentarem atividade emulsificante inferior a 40%, as farinhas apresentaram em todos os tratamentos alta estabilidade de emulsão, o que sugere-se ser devido à estrutura globular da maioria de suas proteínas.

O perfil de solubilidade das farinhas indicou que o pH na faixa de 3,0 a 5,0 é o mais indicado para a separação e concentração das proteínas, por exemplo, para a obtenção de concentrado protéico de feijão. A adição de NaCl diminuiu a solubilidade em todos os tratamentos, pois sugere-se que há competição entre os íons salinos e as cargas das proteínas pela água, diminuindo a capa de hidratação e permitindo a atração proteína-proteína.

A análise sensorial não apresentou diferença significativa ($p > 0,05$) entre as médias de notas das farinhas de feijão atomizado para os atributos sabor característico, aparência global e cor. Entretanto, a farinha de feijão extrusado apresentou média de escores dos atributos muito baixas, ficando na escala hedônica entre os termos descritivos desgostei ligeiramente e indiferente, o que justifica a preocupação das indústrias, pois a aceitabilidade deste feijão em pó pré-cozido, por extrusão, em nível de consumo direto, ainda não atendeu às expectativas desejadas, necessitando de mais pesquisas para a melhoria em seu processo produtivo.

Os resultados do NMP de coliformes totais e de bolores e leveduras atenderam a legislação vigente, e como a atividade de água do produto é baixa, sugere-se que o produto tenha vida de prateleira prolongada.

Dentre os tratamentos com farinha de feijão atomizada, sugere-se que o melhor processamento para aplicação industrial seja a farinha desidratada em *spray dryer*, adicionada de carbonato de sódio e cozida em autoclave. O aumento de pH favoreceu as propriedades emulsificantes e de espumabilidade, que são importantes para as aplicações da farinha como ingrediente em formulações, proporcionou um aumento do teor de sódio e diminuiu a acidez do

produto. O cozimento em autoclave é preferível em relação ao tacho aberto, pois representa uma economia de tempo de processamento de mais de 60%.

CAPÍTULO 2

QUALIDADE PROTÉICA DE FARINHAS DE FEIJÃO

1. INTRODUÇÃO

O feijão é a leguminosa mais consumida na dieta humana, tanto no Brasil como em outros países da América do Sul. Como alimento, representa uma importante fonte de nutrientes, como: proteínas, carboidratos complexos, vitaminas, minerais e fibras (COELHO, 1991; GEIL e ANDERSON, 1994). Entretanto, as proteínas do feijão apresentam baixo valor nutricional, decorrente, por um lado, da sua baixa digestibilidade e, de outro, dos reduzidos teores e disponibilidade de aminoácidos sulfurados (FUKUDA et al., 1982).

Um dos fatores que interferem na baixa digestibilidade das proteínas do feijão cru é a presença dos inibidores de proteases. Embora estes pareçam ser geralmente inativados, durante o cozimento, há relatos na literatura de atividades residuais após o processamento do feijão (EICHER e SATTERLEE, 1988).

BRESSANI (1993) apontou a reduzida digestibilidade das proteínas do feijão (e de outras leguminosas) como sendo multicausal, havendo fatores ligados à casca (taninos), aos cotilédones (proteínas, taninos, fitatos, inibidores de proteases) e ao processamento e armazenamento.

Entretanto, uma melhor digestibilidade não implica necessariamente no aumento da qualidade protéica, de forma que os aminoácidos podem estar sendo mais bem absorvidos, mas não participando da síntese protéica, em virtude da deficiência de alguns aminoácidos essenciais. A composição química de um alimento indica o seu valor nutritivo, porém, não caracteriza completamente o mesmo, sob o ponto de vista nutricional. Raramente os

nutrientes contidos no alimento estão disponíveis em sua totalidade ao organismo, após sua ingestão (SGARBIERI, 1989). Assim, deve-se proceder às análises biológicas como *Protein Efficiency Ratio* (PER), *Net Protein Ratio* (NPR) e *Net Protein Utilization* (NPU), que avaliam a qualidade protéica e baseiam-se na resposta do organismo à ingestão de uma proteína em estudo.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar se os processamentos utilizados na elaboração da farinha de feijão seca em *spray dryer* ou extrusada influenciaram na qualidade protéica do feijão, utilizando para isto um ensaio biológico para determinar a digestibilidade, PER e o NPR da proteína presente na farinha.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Importância nutricional do feijão

Os grãos de leguminosas constituem a principal fonte de proteína na dieta humana em muitos países tropicais e subtropicais. Suas populações pobres, tanto rurais como urbanas, dependem dessa leguminosa para a ingestão de proteína, pois, as de origem animal, consideradas melhores do ponto de vista de equilíbrio de aminoácidos e digestibilidade, são de mais alto custo. Os grãos de leguminosas são considerados complementares aos de cereais que contêm baixo conteúdo de lisina e adequado teor de aminoácidos sulfurados. No Brasil, o arroz e o feijão são a base alimentar da população. Misturados na proporção adequada, melhora-se o valor biológico das proteínas consumidas (VIEIRA, 1992).

A porcentagem de proteínas no feijão varia de 16 a 33%, para diversos tipos de feijões. A variação da porcentagem de proteínas é dependente, não apenas da expressão genética que controla a síntese e acúmulo de frações específicas de proteínas, mas também de outros fatores, tais como aquisição de nutrientes, vigor da planta, maturação, tamanho da semente e síntese e acúmulo de amido na semente (OSBORN et al., 1988).

A proteína do feijão é rica em leucina e lisina e contém grande quantidade de ácido glutâmico, glutamina, ácido aspártico e asparagina (CHANG e SATTERLEE, 1981).

As proteínas do feijão, assim como as de outras leguminosas, são limitadas em aminoácidos sulfurados, metionina e cisteína. BLANCO e BRESSANI (1991) ao compararem a composição de aminoácidos de algumas variedades de feijão com o do padrão FAO/WHO (1973), encontraram, além dos aminoácidos sulfurados, outros limitantes, em ordem decrescente: valina, triptofano e treonina.

A metionina é considerada um aminoácido limitante do valor biológico das proteínas do feijão, por ser nutricionalmente essencial para o organismo humano. A cisteína, apesar de não constituir um aminoácido essencial, tem a metionina como um intermediário na sua biossíntese, tornando assim esse aminoácido ainda mais limitante (SGARBIERI e WHITAKER, 1982).

A deficiência de aminoácidos sulfurados, isoladamente, não parece ser o único fator limitante do valor nutritivo de leguminosas cozidas, pois não se observou correlação entre o conteúdo de aminoácidos sulfurados e o valor nutritivo dessas leguminosas, em termos de PER. Isso pode ser atribuído à baixa digestibilidade das proteínas de leguminosas e a biodisponibilidade dos aminoácidos após o cozimento (LIENER, 1976). Para que esses aminoácidos sejam completamente utilizados por humanos, alguns fatores antinutricionais, potencialmente tóxicos, precisam ser removidos ou destruídos, usualmente pelo calor (SGARBIERI e WHITAKER, 1982).

O valor nutritivo da proteína de grãos de *Phaseolus vulgaris* L. é aumentado pelo processamento térmico, especialmente pelo calor úmido. Isso decorre, provavelmente, da desnaturação das proteínas e dos fatores antinutricionais de natureza protéica, já que para exercer os seus efeitos biológicos *in vivo*, estes fatores precisam manter a sua integridade estrutural (CHIARADIA e GOMES, 1997).

Além disso, o aumento do valor nutricional pode ser resultante de maior acessibilidade das proteínas do feijão ao ataque enzimático, devido à desnaturação térmica. O processo térmico deve garantir suficiente inativação dos fatores antinutricionais, ao mesmo tempo em que previne a degradação de aminoácidos essenciais (POEL et al., 1990).

O feijão cozido é considerado uma das melhores fontes vegetais de tiamina, piridoxina, niacina e ácido fólico; porém, contém baixos níveis de vitaminas lipossolúveis e ácido ascórbico. Entretanto, pouco é conhecido a

respeito da biodisponibilidade das vitaminas e de sua interação com outros componentes da dieta. Embora o feijão possua conteúdo elevado de muitos minerais essenciais, sua biodisponibilidade é menor que a de produtos de origem animal, em virtude da presença de fatores antinutricionais, como compostos fenólicos, oxalatos e fibras (SATHE et al., 1984; GEIL e ANDERSON, 1994).

Os feijões possuem quantidades apreciáveis de fibras solúveis (pectinas, gomas e galactanas), que apresentam efeito hipocolesterolemizante e hipoglicêmico em humanos. As fibras de cereais não apresentam tal propriedade. As fibras do feijão, embora possam estar associadas a uma menor absorção de alguns minerais, contribuem para o funcionamento gastrointestinal normal, por sua capacidade de hidratação e fermentabilidade e possuem capacidade de hidratação e troca de cátions superior às fibras dos cereais (SATHE et al., 1984; GEIL e ANDERSON, 1994).

O feijão proporciona vários benefícios à saúde, sendo indicado na manipulação dietética de várias doenças tais como: distúrbios cardíacos, diabetes *mellitus*, obesidade e câncer. Os feijões são alimentos que preenchem as principais recomendações dietéticas para a boa saúde: aumento do consumo de fibras, amido e outros carboidratos complexos e diminuição no consumo de lipídios e sódio. Assim, as principais instituições internacionais de apoio e promoção à saúde indicam a ingestão diária de uma ou mais porções de feijão (SATHE et al., 1984; GEIL e ANDERSON, 1994).

2.2. Fatores antinutricionais

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) possui alguns atributos indesejáveis, os quais devem ser removidos ou eliminados para sua efetiva utilização (SATHE et al., 1984; GUPTA, 1987). O Quadro 1 apresenta algumas das principais características nutricionais de feijões comuns.

2.2.1. Fitatos

O ácido fítico e seus sais constituem a principal forma de armazenamento de fósforo nas sementes de cereais e leguminosas (MARTINEZ et al., 2002). No entanto, sob esta forma, o fósforo permanece in-

Quadro 1 – Características nutricionais de feijões comuns (*Phaseolus vulgaris*)

1. Fatores positivos	a. Alto conteúdo de proteína
	b. Alto conteúdo de lisina
	c. Excelente complementação protéica para os grãos de cereais

2. Fatores limitantes	a. Fatores físicos
	a.1. Difícil cozimento
	b. Substâncias antifisiológicas
	b.1. Compostos polifenólicos
	b.2. Hemaglutininas
	b.3. Inibidores de tripsina
	b.4. Ácido fítico
	b.5. Fatores de flatulência
	c. Fatores nutricionais
	c.1. Deficiência de aminoácidos sulfurados
c.2. Baixa digestibilidade protéica	

Fonte: Bressani, 1981, citado por CHIARADIA (1997).

disponível para o homem e animais monogástricos (SEGUEILHA et al., 1993; PETERSON et al., 1999). Isto ocorre porque eles não têm suficiente atividade de fosfatases endógenas (fitases) que sejam capazes de liberar o grupo fosfato da estrutura do fitato (Wals et al., 1994, citados por LUJÁN, 2004).

O ácido fítico pode se complexar com proteínas, minerais bivalentes e amido, podendo comprometer a biodisponibilidade destes nutrientes (OLIVEIRA et al., 2003). Estudos *in vitro* têm demonstrado que complexos de ácido fítico com minerais são insolúveis no pH intestinal (neutro) e biologicamente indisponíveis para a absorção. Assim, a formação destes complexos é pH dependente. Também, quando dois ou mais cátions estão presentes, um pode agir sinergicamente, aumentando a precipitação de sais de fitato (ERDMAN, 1979). Essa insolubilidade constitui a principal razão da reduzida biodisponibilidade desses complexos (TORRE et al., 1991; SCHLEMMER et al., 1995).

A baixa qualidade de proteínas de feijões poderia também ser provocada pela presença de fitatos que se ligam às proteínas, diminuindo a susceptibilidade à proteólise. Considerando que enzimas digestivas também são proteínas, os fitatos podem afetar potencialmente em forma adversa a atividade enzimática, por ligação direta com as enzimas, o que provoca inativação enzimática ou pela precipitação das enzimas. Em qualquer situação, redução ou perda de enzimas digestivas pode diminuir a quantidade de enzimas disponíveis para digestão de proteínas, resultando assim em baixa qualidade nutricional das proteínas (SATHE, 2002).

Valores de ácido fítico em feijões-comuns variam de 0,6 a 2,7% (LOLAS e MARKAKIS, 1975; DESHPANDE et al., 1982). Esta variação pode ser devida, em parte, à diferença de variedades e cultivares e aos métodos de determinação (REYES-MORENO e PAREDES-LÓPEZ, 1993).

Entre os métodos de processamento, a germinação e a fermentação parecem ser os mais eficazes na diminuição da concentração de fitato, enquanto o molho e cozimento podem remover 50 a 80% ou mais do fitato endógeno em grãos de feijões (REYES-MORENO e PAREDES-LÓPEZ, 1993; OLIVEIRA et al., 2003).

O ácido fítico, em baixas doses, pode atuar positivamente sobre a saúde, apresentando ação protetora contra o câncer, redução da formação de cálculos renais e prevenção de doenças cardiovasculares (SZKUDELSKI, 1997).

2.2.2. Compostos fenólicos

Compostos fenólicos são classificados como ácidos fenólicos e derivados, taninos e flavonóides (SALUNKHE et al., 1982).

As características e o efeito das ligações entre proteínas e polifenóis dependem do tipo de interação, covalente ou não-covalente. Ligações não-covalentes podem ocorrer em pH ácido ou neutro e são reversíveis. Os polifenóis que podem sofrer essas ligações são principalmente os poliméricos ou taninos, embora polifenóis monoméricos, ou não-taninos, também possam se ligar não covalentemente às proteínas. Como consequência, o valor nutricional é diminuído e a estrutura tridimensional das proteínas é modificada,

alterando suas propriedades funcionais. As interações covalentes entre polifenóis e proteínas, juntamente com uma série de transformações enzimáticas, contribuem para o fenômeno de escurecimento. Essas interações são irreversíveis e, caso os aminoácidos essenciais estejam envolvidos nas ligações com polifenóis, haverá decréscimo do valor nutricional do alimento (HERNANDEZ et al., 1991).

A maior concentração de polifenóis é encontrada em cascas de sementes coloridas e, a menor, na casca de sementes brancas ou em outra parte anatômica da semente (IADEROZA et al., 1989; BRESSANI et al., 1991). Isso se deve aos pigmentos presentes em suas cascas, os quais se associam a taninos ou polifenóis.

Interações hidrofóbicas e a estrutura compacta do complexo tanino-proteína podem ser responsáveis pela resistência à digestão, sendo que a função do tanino nesse processo parece ser mais de proteção da proteína à digestão, que de inibição da enzima proteolítica (AW e SWANSON, 1985). Esses complexos podem modificar a estrutura do epitélio intestinal, levando a uma inibição irreversível ao transporte de alguns nutrientes (VILLANUEVA e LARRALDE, 1987).

Taninos condensados causam diminuição na digestibilidade das proteínas e dos carboidratos, como resultado de formação de complexos insolúveis resistentes às enzimas (SAVELKOUL et al, 1992).

O conteúdo de taninos em feijão comum varia de 0 a 2,0%, dependendo da espécie do feijão e da cor da casca (REDDY et al., 1985). Feijão branco, preto e vermelho contêm, respectivamente, 0,34 a 0,42; 0,57 a 1,15 e 0,95 a 1,29% de polifenóis como ácido tânico, principalmente na superfície da casca.

Cascas de feijão contêm aproximadamente de 5 a 7% de taninos com base no seu peso. Quando expresso em termos de grão inteiro, esse valor é cerca de 1,1 a 2,5 vezes maior, quando a extração é feita na farinha do feijão, em relação ao feijão inteiro (DESHPANDE e CHERYAN, 1985).

COELHO e LAJOLO (1993) citam que os taninos apresentam capacidade de interação com proteínas, através de ligações de hidrogênio, ligações hidrofóbicas, ligações iônicas e ligações covalentes. A intensidade dessas ligações depende de vários fatores como tamanho, conformação e carga da proteína, pH do meio e grau de polimerização dos taninos (VAN

BUREN e ROBINSON, 1969). Essa interação poderá ocorrer tanto com as proteínas dos alimentos, como com as enzimas do trato gastrintestinal. As variedades de feijão de coloração marrom, vermelho e preto apresentam teores mais altos de taninos, o que poderia comprometer o melhor aproveitamento de suas proteínas.

ELIAS et al. (1979) citam que a cor da película da semente pode influenciar a utilização da proteína do feijão e diminuir sua digestibilidade.

Pela localização preferencial dos taninos na casca do grão, a remoção física pelo descascamento ou moagem, com posterior separação das cascas, pode diminuir o conteúdo de taninos nos grãos e aumentar a qualidade nutricional (BRESSANI e ELIAS, 1980; DESPHANDE et al., 1982; SALUNKHE et al., 1982; CASTELLANOS et al., 1995). O descascamento elimina de 68 a 95% dos taninos em feijão comum (DESPHANDE et al., 1982). Entretanto, o mecanismo de descascamento dos grãos pode acarretar perdas substanciais de proteínas e outros nutrientes (REDDY et al., 1985).

O cozimento não é capaz de destruir os taninos, mas estes são parcialmente removidos com o caldo de cozimento (BRESSANI e ELIAS, 1980). Segundo trabalho de ZIENA et al. (1991), menos de 10% dos taninos totais são decompostos durante o cozimento, enquanto cerca de 50% são carregados para o líquido de cocção.

A retirada do tegumento do feijão após a cocção resulta em prejuízo para a qualidade protéica desse alimento. A explicação recai sobre a possibilidade da presença de alguma fração protéica no tegumento do feijão, a qual contribui para elevar a qualidade do mesmo, sobrepondo-se a possível influência negativa provocada pelo tegumento em si ou por outros fatores antinutricionais porventura presentes no mesmo. Outro fator que explicaria esses resultados é a migração de polifenóis, durante o cozimento, para o cotilédone. A complexação desses polifenóis com proteínas as tornaria indisponíveis (CHIARADIA, 1997).

Os pigmentos que caracterizam as diferentes cores das leguminosas estão localizados na casca. A digestibilidade das proteínas decresce com o aumento da pigmentação do tegumento da semente. Os pigmentos são, geralmente, compostos fenólicos que podem interagir com as proteínas do feijão, decrescendo a sua digestibilidade e utilização. Os polifenóis encontram-

se nas plantas como metabólitos secundários, raramente ativos. Sua habilidade de formar compostos complexos e de precipitar as proteínas faz com que sejam importantes sob o ponto de vista nutricional (BRESSANI et al., 1991).

Apesar dos efeitos negativos dos pigmentos sobre a digestibilidade das proteínas, verifica-se o efeito benéfico dos mesmos como agentes antioxidativos. TSUDA et al. (1994) evidenciaram que os extratos preparados da casca de feijão preto e vermelho exibiam forte atividade antioxidativa. Assim, sugeriram que a casca da semente pode ter um papel de proteção química à oxidação por possuírem antioxidantes endógenos tais como compostos fenólicos. Dessa forma, os pigmentos poderiam ser usados tanto para colorir naturalmente alimentos, como para aumentar a vida de prateleira dos mesmos.

2.2.3. Lectinas

As lectinas são glicoproteínas presentes no feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e em outros vegetais. Apresentam diversas propriedades biológicas, destacando-se a capacidade de estimular a mitose, em culturas de linfócitos, eritrócitos e células cancerosas, de precipitar polissacarídeos e outras glicoproteínas, além de terem efeito antinutricional quando digeridas. Todas essas propriedades parecem ser decorrentes da capacidade de lectinas reconhecerem e se ligarem a carboidratos presentes nas células e a outras glicoproteínas (SGARBIERI e WHITAKER, 1982).

A ação das lectinas tem sido atribuída à ligação às células da mucosa intestinal, causando mau funcionamento, ruptura e lesão no intestino delgado e, conseqüentemente, interferência na absorção de nutrientes, e também à direta ação destes sobre as enzimas digestivas (THOMPSON e SERRAINO, 1986).

Outros efeitos das lectinas estão relacionados a incremento no catabolismo de proteínas e lipídios, depleção de glicogênio nos tecidos musculares, e uma elevação nos níveis de insulina no sangue (LIENER, 1997).

2.2.4. Inibidores de Proteases

Sementes de leguminosas são particularmente fontes ricas de inibidores de proteases (OSMAN et al., 2002). A maioria dos inibidores de proteases inibe a tripsina, podendo inibir simultaneamente outras serina proteases, como a quimiotripsina (ROBINSON, 1987). De maneira geral, nas leguminosas, os inibidores de proteases são classificados como inibidores Kunitz e Bowman-Birk (OSMAN et al., 2002). O inibidor Kunitz, apresenta peso molecular relativamente alto (ao redor de 20 kDa), com duas pontes de enxofre e com um só local de reatividade específica para tripsina. O inibidor Bowman-Birk, com peso molecular mais baixo (ao redor de 9 kDa), apresenta sete pontes de enxofre e tem capacidade para reagir sobre tripsina e quimiotripsina simultaneamente. O inibidor Kunitz é termolábil e o inibidor Bowman-Birk é termoestável (ROBINSON, 1987; OSMAN et al., 2002).

WHITAKER (1996) menciona que a maioria das leguminosas contém o inibidor Bowman-Birk com considerável homologia e não produz o inibidor tipo Kunitz. Este último só está presente em duas espécies da família das leguminosas usadas na alimentação: a soja e os feijões *winged* (FORKLER et al., 1997). Os inibidores de proteases do feijão são do tipo Bowman-Birk e se caracterizam por sua estrutura compacta e elevada resistência à inativação térmica (GENOVESE e LAJOLO, 2001). Os inibidores concentram-se nas sementes e são particularmente resistentes à desnaturação (SGARBIERI e WHITAKER, 1982).

A ingestão de feijão cru causa alteração na digestão e absorção de proteínas ocasionando hipertrofia, seguida de hiperplasia das células exócrinas do pâncreas de animais em experimentos, tendo em consideração que os níveis de secreções pancreáticas e o tamanho da pâncreas são normalmente regulados pelos níveis de tripsina livre no intestino (ROEBUCK, 1987; LIENER, 1991). Os inibidores de proteases induzem mudanças histológicas e funcionais no pâncreas, acelerando a secreção de enzimas por um mecanismo de retrocontrole por meio de colecistoquinona (CCK) e, em consequência, o pâncreas é estimulado a secretar mais enzimas, incluindo a tripsina, que aparentemente está em baixas concentrações por estar ligada a inibidores de proteases (HOLM et al., 1992).

O grau de destruição dos inibidores pelo tratamento térmico depende da temperatura, do tamanho da partícula, e do conteúdo de umidade do alimento. O inibidor de tripsina é destruído por ação de vapor durante 15 minutos, quando o teor de umidade é de 20%, mas quando o conteúdo de umidade é de 60% são suficientes 5 minutos ao vapor. A embebição em água durante a noite anterior e a fervura por 5 minutos também destrói os inibidores. Uma variedade de *Phaseolus vulgaris* aquecida a vapor a 121°C perde em 5 minutos 80% dos inibidores de tripsina (LINDNER, 1995).

Segundo Kakade et al, 1966, citados por CHIARADIA e GOMES (1997), os inibidores de proteases, apesar de representarem apenas 2,5% da proteína total do feijão, parecem contribuir com cerca de 40% do conteúdo total de cisteína. No entanto, esse aminoácido não seria biodisponível, em razão da alta resistência ao ataque enzimático apresentada pelos inibidores.

A variabilidade quanto a digestibilidade, pode também estar associada à microflora do aparelho digestivo. Existe consenso no sentido de que, quando a digestibilidade é reduzida, como no caso do feijão, a atividade microbológica aumenta e, dessa forma, influi no conteúdo de aminoácidos (BLANCO e BRESSANI, 1991).

Segundo COELHO (1991), os inibidores de tripsina estariam localizados na porção mais externa da planta, e a retirada do tegumento do feijão levaria a perda de inibidores de tripsina, tornando o feijão mais deficiente em aminoácidos sulfurados. Além desta perda, o teor de lisina também diminuiria, devido às reações com açúcares redutores (Reação de Maillard) durante a cocção (CHIARADIA, 1997).

2.2.5. Fibra Alimentar

A fibra alimentar pode modificar e diminuir a digestibilidade das proteínas, por aumentar a excreção de nitrogênio (KRITCHEVSKI, 1988). No intestino, a fibra alimentar altera o metabolismo bacteriano e, como consequência, o metabolismo de nitrogênio é mudado (MASON, 1984). A fração insolúvel da fibra alimentar, por causa de sua baixa degradação pela microflora, aumenta o volume e a excreção do nitrogênio fecal, em virtude de uma excreção aumentada da proteína ligada à parede da célula. Contrário a

isso, nota-se que a fração solúvel da fibra alimentar aumenta o volume e o nitrogênio fecal, por causa de uma excreção aumentada de nitrogênio microbiano. O efeito total de ambos os mecanismos constitui diminuição na digestibilidade aparente da proteína (EGGUM, 1992).

RAUPP e SGARBIERI (1996) citam que a associação de proteínas com as frações fibrosas que foram tratadas termicamente poderá estar relacionada à baixa digestibilidade das proteínas de feijão cozido e à tendência de as proteínas de feijão formarem complexos indigeríveis. Esse fato explicaria a presença de proteínas nas frações fibrosas e, em parte, a reduzida digestibilidade destas proteínas.

2.3. Efeito do processamento sobre a qualidade protéica de feijões

A qualidade da proteína refere-se a sua capacidade de satisfazer os requerimentos nutricionais do homem por aminoácidos essenciais e nitrogênio não-essencial, para fins de síntese protéica. Isso pode ser avaliado pelo teor de aminoácidos associado à digestibilidade da proteína (WALKER, 1983; BLANCO e BRESSANI, 1991).

As proteínas de feijão apresentam, normalmente, digestibilidade reduzida, quando no estado nativo e, em geral, maior após tratamento térmico (WU et al., 1994). Estudos realizados com proteínas do feijão indicam, porém, que a digestibilidade é limitada, mesmo após tratamento térmico, talvez pela conformação e estrutura primária das proteínas e, ou, pela presença de outros componentes da semente, tais como inibidores de proteases termoestáveis e polifenóis, que interagiriam com as enzimas digestivas, e, ou, com as proteínas do feijão, formando complexos e diminuindo, assim, a sua suscetibilidade à hidrólise (NIELSEN, 1991).

O feijão cozido tem valor nutricional baixo, como conseqüência de fatores antinutricionais remanescentes, que estariam afetando a digestibilidade da proteína e sua conhecida deficiência natural de aminoácidos sulfurados. Postula-se ainda, que a digestibilidade aparente pode estar relacionada com a estrutura da proteína, visto que os fatores antinutricionais são termolábeis e,

portanto, são destruídos ou inativados parcial ou totalmente com a cocção (FUKUDA et al., 1982).

O conteúdo de proteína fecal de ratos alimentados com dieta livre de proteína e com dieta à base de caseína foi de 7,1 e 7,9%, respectivamente; e de ratos alimentados com dieta à base de feijão cru foi 43,8%, enquanto que o de ratos alimentados com dieta composta de feijão termicamente processado foi intermediário, entre 25,6 e 36% (WU et al., 1995).

MARQUEZ e LAJOLO (1981) constataram aumento significativo na digestibilidade *in vitro* após a cocção do feijão durante 30 min a 121°C. Os valores de 17 a 40% de digestibilidade, apresentada pelos feijões crus, aumentaram para 69 a 72% após o cozimento.

JAFFÉ e FLORES (1975) encontraram valores de digestibilidade *in vivo* e *in vitro* de 68,9 e 70,1%, respectivamente, para feijão preto cozido em autoclave por 30 minutos. Para o feijão preto sem casca, nas mesmas condições de processamento, os valores foram de 73,1 e 74,6%, respectivamente. Verificaram, entretanto, que os animais cresceram melhor quando alimentados com dietas preparadas com feijão autoclavado inteiro, em comparação com aqueles que receberam dietas de feijão sem casca, apesar de que os últimos apresentaram índices de digestibilidade superiores aos primeiros.

WU et al. (1994) estudaram, *in vitro*, os efeitos térmicos na qualidade protéica de feijão vermelho (*red kidney bean*). Os resultados mostraram que os feijões autoclavados a 121°C/10 e 20 min e os cozidos a 100°C/120 min (como preparados em casa) melhoraram a qualidade protéica. Já os feijões não-cozidos e aqueles autoclavados a 128°C/20 min e a 121°C/90 min tiveram menor qualidade protéica que os feijões enlatados e os autoclavados a 121°C/40 e 60 min. Segundo estes autores, a melhor qualidade da proteína após o aquecimento, pode ser explicada pela exposição da proteína ao ataque das enzimas digestivas. Entretanto, este efeito pode ser também atribuído à inativação dos fatores antinutricionais.

WU et al. (1996) também avaliaram o efeito do processamento térmico na biodisponibilidade de aminoácidos individuais de feijão vermelho (*red kidney bean*). Resumidamente, foram avaliados o efeito de nove tratamentos (feijão vermelho cru, cozido em casa, enlatado, 121°C/10, 20, 40, 60 e 90 min e

128°C/20 min), sendo as dietas formuladas e administradas a 44 ratos de 60 ± 5 g, em condições controladas. Os aminoácidos sulfurados, metionina e cistina (Met + Cys) foram os limitantes e tiveram a menor biodisponibilidade de todos os aminoácidos dos nove tratamentos. A autoclavagem a 121°C por 10 a 90 min provocou uma redução gradativa nos aminoácidos Met + Cys.

BALANDRÁN-QUINTANA et al. (1998) examinaram os efeitos das condições de extrusão (temperatura, umidade do produto e velocidade do parafuso) sobre as propriedades funcionais e nutricionais de uma refeição de feijões *pinto*. Os resultados mostraram que a extrusão, em todas as condições utilizadas (refeições com umidades de 18, 20 e 22%; temperaturas de extrusão de 140, 160 e 180°C), foi efetiva na inibição dos inibidores de tripsina e permitiu um aumento da digestibilidade *in vitro* da proteína. A digestibilidade protéica da refeição de feijão *pinto* cru foi de 72,7%, atingindo um valor de 81% após a extrusão, em todas as condições experimentais. Seu valor aumentou até a temperatura de extrusão de 160°C, declinando levemente até 180°C. Este declínio não era esperado, uma vez que o processamento térmico usualmente melhora a digestibilidade protéica. Entretanto, o cozimento excessivo pode ter promovido a formação de ligação cruzada.

Pode-se, de qualquer forma, dizer que o problema está centrado na estrutura das moléculas protéicas, de como elas interagem entre si e com outros componentes, e como essas interações ocorrem.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Material

Foram utilizadas cinco amostras de farinhas de feijão no ensaio para avaliação da qualidade protéica. Quatro farinhas foram desidratadas por *spray dryer*, com os seguintes tratamentos: feijão cozido em tacho aberto e sem ajuste do pH (D1), feijão autoclavado e sem ajuste do pH (D2), feijão cozido em tacho aberto e com ajuste do pH do caldo para 7,0 (D3) e feijão autoclavado e com ajuste do pH do caldo para 7,0 (D4); e ainda uma amostra de farinha de feijão extrusado (D5), fornecida pela indústria Pink Alimentos, localizada em Belo Horizonte, Minas Gerais.

Os experimentos foram conduzidos nos laboratórios de Nutrição Experimental do Departamento de Nutrição e Saúde e de Análise de Alimentos do Departamento de Tecnologia de Alimentos.

3.2. Ensaio biológico

Foram utilizados no ensaio biológico 42 ratos (*Rattus norvegicus*, variedade *albinus*, Rodentia), machos, raça Wistar, provenientes do biotério da Universidade Federal de Viçosa. Os animais eram recém-desmamados, com cerca de 23 dias de idade, pesando entre 52 e 63 g, com média de 58,0 g. Os ratos foram divididos em sete grupos de seis animais, de forma sistemática, a

fim de possibilitar a menor variação possível intra e intergrupo, eles foram mantidos em gaiolas individuais, onde receberam água destilada e alimento *ad libitum* durante 14 dias, com ciclo de luz de 12 horas e temperatura entre $23 \pm 2^\circ\text{C}$, conforme recomendação da AOAC (1998).

O experimento constituído de 7 grupos, sendo um grupo controle com dieta livre de nitrogênio (LN) e outro com dieta padrão de caseína (CAS), os demais grupos foram constituídos de dietas, contendo como fonte protéica as farinhas de feijão. O teor protéico da dieta foi ajustado de modo a fornecer entre 9,0 e 10,0% de proteína. A dieta utilizada foi a AIN-93G modificada, cuja composição está expressa no Quadro 2. As dietas de farinhas de feijão não foram acrescidas de celulose em função do elevado teor de fibras alimentares desse ingrediente. Os Quadros 3 e 4 apresentam a composição das misturas vitamínica e mineral da dieta, respectivamente.

O teor de proteína das farinhas de feijão e das dietas foram determinados pelo método de semi-micro *Kjeldahl* (AOAC, 1998), multiplicando-se o teor de nitrogênio pelo fator 6,25.

O consumo alimentar e o peso corporal dos animais foram registrados semanalmente. A ingestão alimentar foi utilizada para o cálculo do coeficiente de eficiência alimentar, bem como o cálculo de digestibilidade das fontes protéicas.

3.3. Digestibilidade *in vivo*

Para determinação da digestibilidade, as dietas foram marcadas com índigo carmim, na proporção de 100 mg de índigo carmim/100 g de dieta, e oferecidas aos animais no 7^o e 10^o dia do experimento.

As fezes foram coletadas entre o 8^o e 11^o dias, armazenadas em recipientes individuais, e mantidas sob refrigeração até o período de análise. Ao término do experimento, as fezes foram secas em estufa (marca Fanem) com circulação de ar a 105°C por 24 h, logo resfriadas em dessecador, trituradas em multiprocessador (marca Arno), pesadas em balança analítica e o nitrogênio fecal foi determinado pelo método semi-micro *Kjeldahl* (AOAC, 1988).

Quadro 2 – Dieta AIN-93G modificada, para ensaio biológico de qualidade protéica

Ingredientes (g/100g)	Dietas						
	LN	CAS	D1	D2	D3	D4	D5
Caseína	-	11,40	-	-	-	-	-
Far. Feijão atomizado (tacho aberto e s/ ajuste de pH)	-	-	45,74	-	-	-	-
Far. Feijão atomizado (autoclave e s/ ajuste de pH)	-	-	-	44,93	-	-	-
Far. Feijão atomizado (tacho aberto e c/ ajuste de pH)	-	-	-	-	45,54	-	-
Far. Feijão atomizado (autoclave e c/ ajuste de pH)	-	-	-	-	-	45,74	-
Farinha de feijão extrusado	-	-	-	-	-	-	38,33
Maltodextrina	13,2	13,2	13,2	13,2	13,2	13,2	13,2
Celulose microfina	5,0	5,0	-	-	-	-	-
Sacarose	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Óleo de soja	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0
Mistura salínica	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
Mistura vitamínica	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
L-cistina	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Bitartarato de colina	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Amido de milho (q.s.p.)	59,75	48,35	19,01	19,82	19,21	19,01	26,42
Proteína (%)	-	9,93	10,04	10,01	10,10	10,17	10,01

O cálculo da digestibilidade verdadeira (DV) é feito de acordo com a fórmula abaixo:

$$DV(\%) = \frac{I - (F - F_k)}{I} \times 100$$

Onde:

DV = digestibilidade verdadeira

I = nitrogênio ingerido (mg) pelo grupo-teste

F= nitrogênio fecal (mg) do grupo-teste; e

F_k= nitrogênio fecal (mg) do grupo com dieta aprotéica

Quadro 3 – Composição da mistura de vitaminas (AIN-93G-VX)

Ingredientes	g/kg da mistura
Ácido Nicotínico	3,000
Pantotenato de Cálcio	1,600
Piridoxina-HCl	0,700
Tiamina-HCl	0,600
Riboflavina	0,600
Ácido Fólico	0,200
D-Biotina	0,020
Vitamina B12 (cianocobalamina: 0,1% em manitol)	2,500
Vitamina E (all-rac-A-acetato de tocoferila: 500 UI/g)	15,00
Vitamina A (all-trans-palmitato de retinil: 500.000 UI/g)	0,800
Vitamina D (colecalfiferol: 400.000 UI/g)	0,250
Vitamina K (filoquinona)	0,075
Sacarose	974,655

Fonte: REEVES et al. (1993)

A digestibilidade verdadeira relativa é expressa como:

$$\text{DV relativa} = \frac{\text{DV do grupo-teste}}{\text{DV da caseína}}$$

3.4. PER (*Protein Efficiency Ratio*) e Coeficiente de eficácia alimentar (CEA)

O PER foi determinado no 14º dia do experimento, considerando-se o ganho de peso do animal em relação à proteína ingerida por este.

Para o cálculo do PER, utiliza-se a seguinte fórmula (HEGSTED, 1977):

$$\text{PER} = \frac{\text{ganho de peso (g) do grupo-teste}}{\text{proteína consumida (g) pelo grupo-teste}}$$

Quadro 4 – Composição da mistura de minerais (AIN-93G-MX).

Ingredientes	g/kg de mistura
Elementos Minerais Essenciais	
Carbonato de cálcio anidro (40,04%)	357,00
Fosfato de Potássio monobásico (22,76% P; 23,73% K)	196,00
Citrato de Potássio, tri-potássio, monohidrato (36,16% K)	70,78
Cloreto de Sódio (39,34% Na, 60,66% Cl)	74,00
Sulfato de Potássio (44,87% K; 18,39% S)	46,60
Óxido de Magnésio (60,32% Mg)	24,00
Citrato de Ferro (16,5% Fe)	6,06
Carbonato de Zinco (52,14% Zn)	1,65
Carbonato de Manganês (47,79% Mn)	0,63
Carbonato de Cobre (57,47% Cu)	0,30
Iodato de Potássio (59,3% I)	0,01
Selenato de Sódio anidro (41,79% Se)	0,01025
Paramolibdato de amônio tetrahidratado (54,34% Mo)	0,00795
Elementos Minerais Potencialmente Benéficos	
Meta Silicato de Sódio eneahidratado (9,88% Si)	1,45
Sulfato de Cromo e Potássio dodecahidratado (10,42% Cr)	0,275
Cloreto de Lítio (16,38% Li)	0,0174
Ácido Bórico (17,5% B)	0,0815
Fluoreto de Sódio (45,24% F)	0,0635
Carbonato de Níquel (45% Ni)	0,0318
Vanadato de Amônio (43,55% V)	0,0066
Sacarose	221,026

Fonte: REEVES et al. (1993).

Os valores obtidos podem ser expressos como percentual em relação ao valor obtido para a dieta de caseína, que é considerada 100%. Este percentual é denominado PER relativo (RPER).

O coeficiente de eficácia alimentar também foi determinado no 14^o dia do experimento e é definido como:

$$CEA = \frac{\text{ganho de peso (g) do grupo teste} \times 100}{\text{consumo alimentar (g) do grupo teste}}$$

3.5. NPR (*Net Protein Ratio*)

O NPR foi determinado no 14º dia do experimento com ratos, levando-se em consideração o ganho de peso do grupo teste, mais a perda de peso do grupo de dieta aprotéica, em relação ao consumo de proteína do grupo teste, de acordo com BENDER e DOELL (1957).

$$\text{NPR} = \frac{\text{ganho de peso (g) grupo-teste} + \text{perda de peso (g) do grupo aprotéico}}{\text{proteína consumida (g) do grupo-teste}}$$

O valor de NPR das dieta dos grupo-teste expresso como percentual em relação à caseína é denominados NPR relativo (RNPER).

3.6. Análises Estatísticas

Os resultados obtidos, a partir do experimento no delineamento em blocos casualizados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de erro de 5% de probabilidade, com o auxílio do programa SAEG-UFV 8.0.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Conteúdo protéico, coeficiente de eficácia alimentar, PER e NPR

O teor de proteína encontrado para as farinhas de feijão variou de 22,49 a 26,39% (Quadro 5). A farinha de feijão extrusado apresentou teor de proteína superior ($p < 0,05$) aos obtidos para as farinhas de feijão desidratadas por atomização.

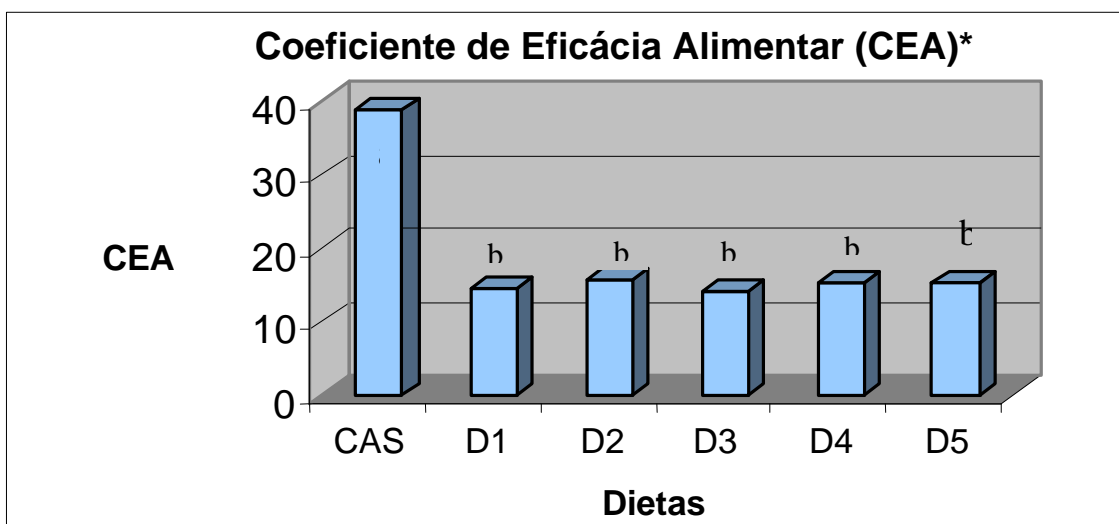
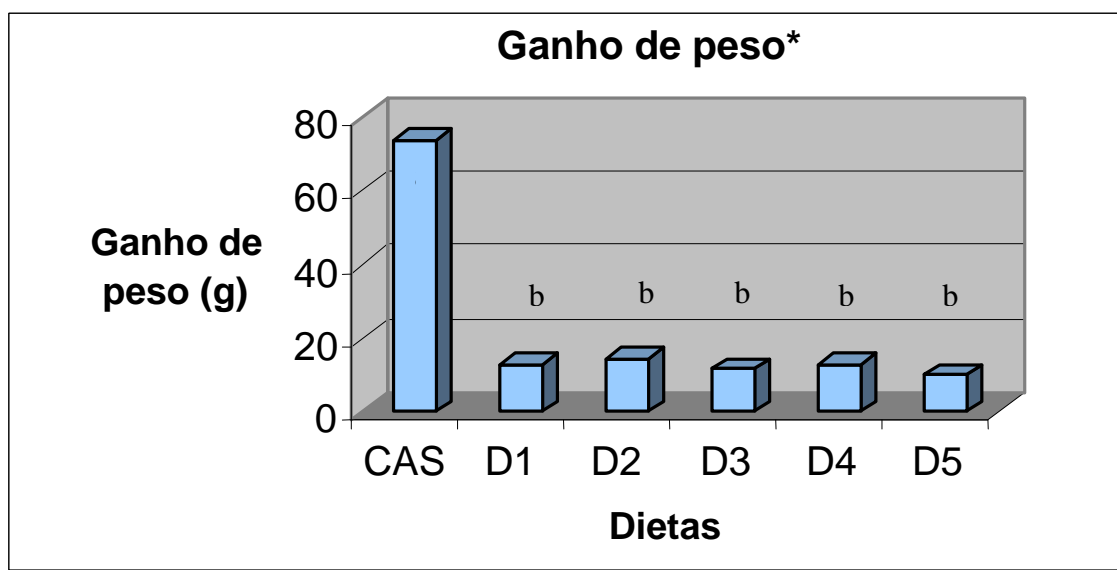
Quadro 5 – Teor de proteína das de farinhas de feijão utilizadas na composição das dietas dos animais.

Tratamentos	Teor de Proteína*
D5	26,39 % a
D1	23,02 % b
D2	22,82 % bc
D4	22,49 % c
D3	22,41 % c

* As médias de tratamentos seguidas de mesmas letras, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Os ratos alimentados com as dietas controle e experimentais apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) com relação ao ganho de peso e ao coeficiente de eficácia alimentar, durante o ensaio biológico. Contatou-se um menor ganho de peso para os animais alimentados com as dietas à base de feijão, mostrando-se que as proteínas do feijão por serem de origem vegetal são menos eficazes na promoção de crescimento de ratos quando comparado

com a caseína de origem animal. Este fato tem sido atribuído, em parte, à ausência de fibra nos alimentos de origem animal, que faz com que seja menor o tempo de trânsito do conteúdo intestinal e, em consequência, se tenha maior absorção dos nutrientes (Marshall et al., 1979, citados por LUJÁN, 2004). O ganho de peso dos animais foi de 9,33 g para a alimentação com dieta de farinha de feijão extrusado e variou de 10,0 a 14,33 g para os animais alimentados com farinhas de feijão atomizadas. O coeficiente de eficácia alimentar para as dietas de farinha variou de 14,22 a 15,62 g de ganho de peso/100 g de dieta consumida (Figura 1).



* As colunas do histograma com mesmas letras, não diferem entre si, pelo teste de Tukey (5%).

Figura 1 – Ganho de peso e coeficiente de eficácia alimentar médio por grupo de animais após os 14 dias do experimento.

Os resultados obtidos de PER e RPER, NPR e RNPR são apresentados no Quadro 6.

Quadro 6 – Médias de PER, RPER, NPR e RNPR dos diferentes tratamentos com dietas à base de farinha de feijão e caseína.

Dieta	PER *	RPER *	NPR *	RNPR *
Caseína	3,85 a	100 a	4,42 a	100 a
D1	1,44 b	37,11 b	2,67 b	60,15 b
D2	1,56 b	40,24 b	2,72 b	61,44 b
D3	1,39 b	35,89 b	2,65 b	59,76 b
D4	1,49 b	38,61 b	2,75 b	62,15 b
D5	1,12 b	28,98 b	2,42 b	54,53 b

* As médias seguidas da mesma letra, dentro da mesma coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey (5%).

A caseína apresentou valores de PER, RPER, NPR e RNPR superiores ($p > 0,05$) aos encontrados nas farinhas de feijão. Entretanto, não houve variação significativa entre as dietas formuladas com farinha de feijão, quanto as estes índices de qualidade protéica. Indicando que, tanto a adição de carbonato de sódio, como o tipo de cozimento utilizado na elaboração de farinha de feijão desidratada por *spray dryer*, não influenciaram na qualidade proteína no que se refere ao ganho de peso em função da quantidade de proteína ingerida (PER), nem quanto à utilização desta proteína para manutenção e crescimento (NPR). Também não houve diferença significativa entre as dietas com farinha de feijão desidratadas por *spray dryer* e a extrusada.

Os baixos valores obtidos para as dietas à base de farinha de feijão podem ser atribuídos aos fatores antinutricionais presentes nesta leguminosa e à deficiência de aminoácidos sulfurados.

Observa-se que os valores de RPER das amostras de farinhas de feijão foram muito inferiores ao de RNPR quando comparados à caseína. Isto é

explicado pelo fato do PER não levar em conta a utilização de proteína para manutenção, só para a promoção do crescimento, tendendo a subestimar a qualidade de proteínas inferiores e, por este motivo, realça diferenças existentes entre proteínas de maior e menor valor nutricional, ao contrário do NPR (SGARBIERI, 1987).

Os valores de PER variaram entre 1,12 e 1,56 para as farinhas de feijão, enquanto o RPER ficou entre 28,98 e 40,24%, sendo estes índices superiores aos obtidos por ANTUNES e SGARBIERI (1980) para o feijão Rosinha G2. Eles avaliaram isolado protéico, albumina e globulina, submetidos a 121°C por 7,5; 15 e 30 minutos e encontraram PER variando de 0,2 a 0,7, e RPER de 5,8 a 20,5%.

GOYCOOLEA et al. (1990) verificaram que a maceração *per se*, ou através de suas interações com o tipo de cozimento, não mostrou efeito significativo sobre o PER de feijão comum.

CHIARADIA (1997) avaliando feijão preto com tegumento cozido e feijão preto cozido com retirada parcial do tegumento após cocção, encontrou valores de RPER respectivamente de 37,1 e 29,1% , e RNPR de 49,2 e 48,5%.

Entretanto, os valores de PER, RPER, NPR e RNPR das farinhas foram inferiores aos de misturas de cereais e leguminosas co-extrudadas analisadas por MENSA-WILMOT et al. (2001), que obtiveram valores de PER, RPER, NPR e RNPR variando respectivamente entre 2,5 e 2,9; 80,6 e 93,5%; 3,0 e 3,3; e 85,7 e 94,3%, indicando a complementariedade das proteínas destes dois tipos de alimentos, quanto à composição aminoacídica.

4.2. Digestibilidade

O Quadro 7 apresenta o valores de digestibilidade verdadeira e digestibilidade verdadeira relativa à caseína.

O primeiro fator que afeta a eficiência da utilização da dieta é o grau de hidrólise no trato digestivo. A utilização protéica é medida, determinando-se a digestibilidade da proteína ingerida, que é definida como a fração de nitrogênio ingerido que é absorvido. Então, quando certas ligações peptídicas não são

Quadro 7 – Médias de DV e DV relativados diferentes tratamentos com dietas à base de farinha de feijão e caseína

Dieta	DV *	DV relativa *
Caseína	94,52 a	100 a
D1	74,38 cd	78,68 cd
D2	80,77 bc	85,44 bc
D3	76,13 bcd	80,54 bcd
D4	71,66 d	75,81d
D5	81,81 d	86,55 b

* As médias seguidas da mesma letra, dentro da mesma coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey (5%).

hidrolisadas no processo digestivo, parte da proteína é excretada nas fezes ou metabolizada pelos microorganismos no intestino grosso (DUARTE, 1999).

Os aminoácidos contidos na porção não digerível das proteínas não estarão disponíveis para as reações do metabolismo celular, portanto, indisponíveis biologicamente. De acordo com SGARBIERI (1989), os aminoácidos estão mais disponíveis nas proteínas de origem animal que nas de origem vegetal, o que se atribui à ausência de fibra nos alimentos de origem animal, à estrutura das proteínas animais e aos fatores antinutricionais.

A digestibilidade é o primeiro fator que afeta a eficiência da utilização protéica da dieta. Quando certas ligações peptídicas não são hidrolizadas no processo digestivo, parte da proteína é excretada nas fezes, ou transformada em produtos do metabolismo pelos microrganismos do intestino grosso (SGARBIERI e WHITAKER, 1982). BOONVISUT e WHITAKER (1976) acrescentam que a estrutura terciária da proteína afeta a digestibilidade e pode não ser facilmente destruída pelo tratamento térmico. Registram ainda, que o inibidor da enzima proteolítica do feijão é conhecido por conter ligações dissulfídicas, as quais contribuem para a estabilização da estrutura terciária da proteína.

O feijão contém elementos que reduzem a sua digestibilidade. Um melhor conhecimento sobre as causas dessa baixa digestibilidade pode contribuir significativamente para sua melhor utilização. Por esse motivo, avaliou-se a sua digestibilidade *in vivo*.

Diferenças na digestibilidade de proteínas podem se originar de diferenças inerentes à natureza da proteína (configuração de proteína, aminoácidos constituintes), à presença de constituintes não-protéicos (fibras, taninos e fitatos) e à presença de fatores antinutricionais ou de condições de processamento que alteram a liberação de aminoácidos da proteína por processos enzimáticos (FAO/WHO, 1989).

A digestibilidade verdadeira da dieta de caseína foi superior ($p < 0,05$) às dietas formuladas com as farinhas de feijão, indicando maior absorção de nitrogênio em relação à quantidade de proteína ingerida. Dentre estas dietas, a digestibilidade de farinha de feijão extrusado (D5), foi maior que a da farinha de feijão atomizado cozido em tacho aberto e sem ajuste de pH (D1) e também a da farinha de feijão atomizado, autoclavado e com ajuste de pH do caldo (D4).

A melhoria da capacidade de digestão não implica necessariamente no aumento da qualidade protéica, pois os aminoácidos podem estar sendo bem absorvidos, e não estar participando da síntese protéica em virtude da deficiência de alguns aminoácidos essenciais (PEREIRA e COSTA, 2002). Confirmando esta afirmação, a Dieta 5, obtida a partir de feijão extrusado, apresentou valores de digestibilidade estatisticamente superior ($p < 0,05$) às Dietas 1 e 4, mas os valores de PER e NPR da D5 foram os mais baixos dentre as dietas, apesar de não haverem diferenças significativas quanto a estes dois índices.

A cocção, utilizando-se de temperatura elevada, provoca desnaturação de proteínas que atuam como fatores antinutricionais nos vegetais. Estas proteínas, uma vez desnaturadas, vão contribuir para elevar o valor nutricional das proteínas, sendo inconveniente eliminá-las dos alimentos (CHIARADIA et al., 1999).

Os alimentos de origem animal apresentam maior digestibilidade que os de origem vegetal. A estrutura terciária das proteínas animais é menos complexa que a dos vegetais, sendo, portanto, mais facilmente digerida pelas enzimas intestinais (SGARBIERI, 1996).

Segundo SGARBIERI (1996), vários fatores contribuem para a menor digestibilidade das proteínas nos alimentos vegetais, dentre eles a presença de compostos fenólicos, inibidores de enzimas digestivas, componentes da fibra alimentar, pigmentos, produtos da oxidação de ácidos graxos insaturados, açúcares redutores, e outras substâncias, que podem reagir com as proteínas, formando derivados protéicos que são menos digeríveis que as proteínas vegetais.

Tem sido relatado que o valor nutritivo de um alimento depende da concentração, do balanço e da biodisponibilidade dos nutrientes nele contidos que, por sua vez, é influenciado pela presença de fatores antinutricionais (SGARBIERI, 1987). Dentre estes antinutrientes do feijão, os polifenóis se localizam principalmente no tegumento do grão e nas variedades coloridas, levando a formação de complexos com a proteína, tornando-as insolúveis e de baixa digestibilidade, podendo modificar a estrutura do epitélio intestinal, causando degeneração do vilos epitelial e diminuição da capacidade absorptiva do organismo (BLANCO e BRESSANI, 1991).

WU et al. (1995) comentam que o aumento do nitrogênio fecal em ratos alimentados com leguminosas tem sido atribuído à presença residual de fatores antinutricionais e digestibilidade reduzida da proteína. Porém, pode também ser decorrente de um acentuado *turnover* celular e aumento da atividade microbiana no intestino.

Métodos de processamento tendem a modificar a composição e disponibilidade de nutrientes nas matérias-primas (VAN DER POEL, 1990; DELLA VALLE et al., 1994). Dentre estes, a extrusão é um dos mais promissores. Um dos benefícios provenientes deste tratamento térmico é a parcial ou total destruição de fatores potencialmente antinutricionais, especialmente inibidores de proteases, hemaglutininas, taninos e fitatos, que limitam a utilização de nutrientes em leguminosas (CAMPBELL e VAN DER POEL, 1998; ALONSO et al., 2000a). Entretanto, alterações químicas produzidas por tratamento térmico podem também resultar em redução da assimilação de nutrientes, incluindo a absorção aparente de certos minerais (ALONSO et al., 2000b).

WU et al. (1995), ao submeterem feijão *kidney* a nove tratamentos térmicos, identificaram valores de digestibilidade aparente e verdadeira entre

67,9 e 78,8% e entre 72,6 e 82,1%, respectivamente. De acordo com CARIAS et al. (1995) a digestibilidade verdadeira é sempre maior que a aparente, isto porque esta última não considera as perdas obrigatórias de nitrogênio nas fezes.

EL-HADY e HABIBA (2003), avaliando o efeito da maceração e extrusão sobre feijões *kidney*, faba, ervilha e grão-de-bico, concluíram que a extrusão de leguminosas previamente maceradas em água por 16 horas, é recomendada para aumentar o valor nutritivo destas leguminosas a fim de estender sua utilização na nutrição humana e animal quando consumida diretamente ou como um ingrediente de certas formulações.

JOOD et al. (1989) constataram que a digestibilidade *in vitro* da proteína de leguminosas cozidas era maior quando os grãos sofriam maceração, o que também foi constatado por BARAMPAMA e SIMARD (1994), em estudo realizado com feijão Carioca. SHARMA e SEHGAL (1992) mostraram que a maceração por 12 horas reduzia o teor de taninos de 42 a 51%, respectivamente, em duas variedades indianas de *Vicia faba*. SGARBIERI et al. (1983) demonstraram que utilizando o cultivar Carioca 80 (*Phaseolus vulgaris*), para os grãos macerados por 12 horas e cozidos com água de maceração, a digestibilidade da proteína caía de 72% para 70% e o valor biológico de 81 para 72%, em relação ao feijão macerado cuja água de maceração foi eliminada. Embora a literatura existente trate especialmente da eliminação de fatores antinutricionais e fatores de flatulência existentes no feijão-comum e seus efeitos sobre o valor nutritivo, há também que se considerar que o processo de maceração causa a perda por lixiviação de importantes nutrientes solúveis, como proteínas, vitaminas e minerais (KATARIA et al., 1992; BARAMPAMA e SIMARD, 1995).

5. CONCLUSÕES

As farinha de feijões obtidas apresentaram teores de proteína variando de 22,40 a 26,39%, o que mostra o potencial dessa leguminosa como fonte protéica. A farinha de feijão extrusado apresentou maior teor de proteína ($p < 0,05$) do que as atomizadas.

Os valores de PER, PER relativo, NPR e NPR relativo foram inferiores ($p < 0,05$) aos obtidos para a caseína. Não houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre as dietas formuladas com farinha de feijão em relação a estes índices, indicando que tanto o cozimento, quanto a variação de pH e o método de secagem não influenciaram a utilização das dietas pelos ratos para manutenção e crescimento, havendo diferença somente quanto às fontes protéicas.

A digestibilidade verdadeira (DV) da caseína foi superior ($p < 0,05$) a das dietas formuladas com farinhas de feijão, indicando maior absorção de nitrogênio em relação à quantidade de proteína ingerida. A digestibilidade da farinha de feijão extrusado foi maior que a da farinha de feijão atomizado cozido em tacho aberto e sem ajuste de pH (D1) e da farinha de feijão atomizado, autoclavado e com ajuste de pH do caldo (D4). Portanto, a melhoria da capacidade de digestão não implica necessariamente no aumento da qualidade protéica, pois os aminoácidos podem estar sendo bem absorvidos, mas não estarem participando da síntese protéica em virtude da deficiência em alguns aminoácidos essenciais.

Considerando estes resultados podemos inferir que, quanto ao aspecto nutricional, as farinhas desenvolvidas apresentaram uma baixa qualidade protéica, apresentando valores PER, NPR e digestibilidade inferiores à caseína, sugerindo a necessidade de complementação com outra fonte protéica na dieta, como por exemplo, os cereais que contêm adequado teor de aminoácidos sulfurados e tem sua deficiência em lisina suprida pelas proteínas de feijão.

As farinhas de feijão atomizadas representam bons veículos para a suplementação vitamínica e mineral, devido a sua estabilidade, boas características de conservação e são alimentos de consumo cotidiano da população.

CONCLUSÕES GERAIS

As farinhas de feijão desenvolvidas, prestam-se, muitas vezes, à elaboração de produtos formulados semi-prontos (sopas, caldos dentre outros) que, por sua vez, têm como uma de suas características principais a praticidade e rapidez de preparo, que são atributos essenciais para o consumidor e que tornam esses produtos competitivos no mercado. As farinhas podem também ser utilizadas como ingredientes em diversas formulações e constituem boa alternativa para enriquecimento de minerais e vitaminas haja vista sua elevada aceitação e consumo junto à população.

Dentre os tratamentos avaliados, sob o ponto de vista técnico, a farinha de feijão autoclavada, com ajuste de pH para 7,0 e desidratada em *spray dryer*, (Tratamento 4) parece ser a mais indicada em virtude de suas características funcionais, como uma melhor atividade emulsificante, boa estabilidade de emulsão e a maior capacidade de formação de espuma dentre os processamentos avaliados, além do fato da autoclavagem ser preferível ao cozimento em tacho aberto, sobretudo por possibilitar uma maior produtividade, pelo menor tempo gasto no processamento.

Com relação à qualidade protéica, não houve diferenças significativas ($p>0,05$) entre os valores de PER, RPER, NPR e RNPR das dietas à base de farinha de feijão. Entretanto, estes valores foram inferiores aos da dieta de caseína, utilizada como referência. Os valores de RPER e RNPER, calculados em relação à caseína, variaram de 28,98 a 40,24% e de 54,53 a 62,15%, respectivamente, indicando que a proteína da farinha não é efetiva para

promoção de crescimento, sendo recomendado a inclusão de outras fontes protéicas na dieta para suprir as deficiências, principalmente em aminoácidos sulfurados.

A produção de farinha de feijão por atomização representa uma boa alternativa de processamento de feijão para a indústria alimentícia, haja vista o alto valor agregado do produto e melhores características sensoriais que a farinha extrusada disponível comercialmente, além de adequadas condições microbiológicas, que associada à baixa atividade de água sugere uma prolongada vida de prateleira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALONSO, R., AGUIRRE, A., MARZO, F. Effect of extrusion and traditional processing methods on antinutritents and *in vitro* digestibility of protein and starch in faba and kidney beans. **Food Chem.**, v.68, p.159–165, 2000a.
- ALONSO, R., GRANT, G., DEWEY, P., MARZO, F. Nutritional assessment *in vitro* and *in vitro* of raw and extruded peas (*Pisum sativum* L.). **J. Agric. Food Chem.**, v.68, p.2286-2290, 2000b.
- ALONSO, G. L., SANCHEZ, M. A., SALINAS, M. R., NAVARRO, E. Análisis de color em azafran. **Alimentaria**, v.1, n.2, p.115-127, 1997.
- AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS, AACC, 2000. In: **Dietary Reference Intakes: proposed definition of dietary fiber**. Institute of Medicine. Washington, DC, 2001. 64p.
- ANTUNES, P. L., SGARBIERI, V. C. Effect of heat treatment on toxicity and nutritive value of dry bean (*Phaseolus vulgaris* var. Rosinha G2) proteins. **J. Agric. Food Chem.**, n.28, p.935-938, 1980.
- ARAÚJO, J. M. A. **Química de Alimentos: teoria e prática**. 2. ed. Viçosa: UFV, Impr. Univ., 1999. 416 p.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALITICAL CHEMISTS. **Official Methods of Analysis of the AOAC**. 16th ed. Washington, DC, 1998.

AUGUSTIN, J., BECK, C. B., KALBFLEISH, G. et al. Variation in the vitamin and mineral content of raw and cooked commercial *Phaseolus vulgaris* classes. **J. Food Sci.**, v.46, p. 1701-1706, 1981.

AW, T. L., SWANSON, B. G. Influence of tannin on *Phaseolus vulgaris* protein digestibility and quality. **J. Food Sci.**, v.50, n.1, p.67-71, 1985

BALANDRÁN-QUINTANA, R. R., BARBOSA-CÁNOVAS, G. V., ZAZUETA-MORALES, J. J, ANZALDÚA-MORALES, A., QUINTERO-RAMOS, A. Functional and nutritional properties of extruded whole pinto bean meal (*Phaseolus vulgaris* L.). **J. Food Sci.**, v.63, n.1, p.113-116, 1998.

BALBACH, A. **As hortaliças na medicina doméstica**. 6^a ed. EDEL. São Paulo, 1975. 398 p.

BARAMPAMA, Z.; SIMARD, R. E. Oligosaccharides, antinutritional factors and protein digestibility of dry beans as affected by processing. **J. Food Sci.**, v.59, n.4, p.833-838, 1994

BARAMPAMA, Z., SIMARD, R. E. Effects of soaking, cooking and fermentation on composition, in vitro starch digestibility and nutritive value of common beans. **Plant Foods Hum. Nutr.**, v.48, n.4, p.349-365, 1995.

BARBOSA-CÁNOVAS, G., BARLETTA, B. **Food engineering laboratory manual**. Technomic Publishing CO. INC, Pennsylvania, 1997. 141p.

- BATTY, R. S. Albumin proteins of eight edible grain legume species: eletroforetic patterns and aminoacid composition. **J. Agri. Food Chem.**, v.30, p.620-622, 1982.
- BENDER, A. E., DOELL, B. H. Note on the determination of net protein utilization by carcass analysis. **Brit. J. Nutr.**, v. 11, p.138-143, 1957.
- BETSCHART, A. A., FONG, R. Y., HANAMOTO, M. M. Safflower protein isolates: functional properties in simple systems and bread. **J. Food Sci.**, v.44, n.4, p.1022-1026, 1979.
- BEUCHARD, L. R. Functional and eletroforetic characteristics of succinylated peanut flour proteins. **J. Agri. Food Chem.**, v. 25. p. 258, 1977.
- BLANCO, A., BRESSANI, R. Biodisponibilidad de aminoácidos em el frijol (*Phaseolus vulgaris*). **Arch. Latinoam. Nutr.**, v.41, n.1, p. 38-51, 1991.
- BOONVISUT, S., WHITAKER, J. R. Effect of heat, amylase and disulfide bond cleavage on the *in vitro* digestibility of soybean proteins. **J. Agric. Food Chem.**, v.24, n.6, p.1120-1135, 1976.
- BOREJSZO, Z., KHAN, K. Reduction of flatulence-causing sugars by temperature extrusion of pinto bean high starch fractions. **J. Food Sci.**, v.57, n.4, p.771-772, 1992.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Norma de identidade, qualidade, apresentação e embalagem de feijão. Portaria n. 161, de 24 de julho de 1987. **Lex: Diário Oficial da União**, Poder Executivo, de 28 de julho de 1987, Brasília. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/>>. Acesso em: 11 out. 2004.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Regulamento técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos. Resolução RDC n. 12, de 02 de janeiro de 2001. **Lex: Diário Oficial da União**, Poder Executivo, de 10 de janeiro de 2001, Brasília. Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br>>. Acesso em: 01 dez. 2004.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Regulamento Técnico para Rotulagem Nutricional Obrigatória de Alimentos e Bebidas Embalados. Resolução RDC n. 40, de 21 de março de 2001. **Lex: Diário Oficial da União**, Poder Executivo, de 22 de março de 2001, Brasília. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br>>. Acesso em: 30 dez. 2004.

BRESSANI, R. Grain quality of common beans. **Food Rev. Int.**, v.9, p.237–297, 1993.

BRESSANI, R., ELIAS, L. G. The nutritional role of polyphenols in beans. In: HULSE, J. H. **Polyphenols in cereals and legumes**, Ottawa, Canada, 1980. p.61-72.

BRESSANI, R., MORA, D. R., FLORES, R. et al. Evaluation de dos métodos para establecer el contenido de polifenoles en frijol crudo y cocido y efecto que esto provocan en la digestibilidad de la proteína. **Arch. Latinoam. Nutr.**, v.41, n.4, p.569-583, 1991.

CAMPBELL, G. I., VAN DER POEL, A. F. B. Use of enzymes and process technology to inactive antinutritional factors in legume seeds and rapeseed. In: JANSMAN, A. J. M., HILL, G. D., HUISMAN, J., VAN DER POEL, A. F. B. (Eds.) **Recent advances of research in antinutritional factors in legume seeds and rapeseed**. Wageningen Press, Wageningen, The Netherlands, 1998. p.377-386.

- CARIAS, D., CIOCCIA, A. M., HEVIA, P. Grado de concordância entre la digestibilidad de proteínas animales y vegetales medidas *in vivo* e *in vitro* y su efecto sobre el cómputo químico. **Arch. Latinoam. Nutr.**, v.45, n.2, p.111-116, 1995.
- CARNEIRO, J. C. S. **Processamento industrial de feijão, avaliação sensorial descritiva e mapa de preferência**. Viçosa, MG: UFV, 2001. 90p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa, 2001.
- CASTELLANOS, J. Z., GUZMAN-MALDONADO, H., MEJÍA, E. G., ACOSTA-GALLEGOS, J. A. Efecto de la localidad de siembra sobre la aceptación sensorial y otras características nutricionales y de calidad del grano em frijol comum (*Phaseolus vulgaris* L.). **Arch. Latinoam. Nutr.**, v.45, n.1, p.50-55, 1995.
- CEPEDA, E., VILLARÁN, M. C., ARANGUIZ, N. Functional properties of faba bean (*Vicia faba*) protein flour dried by spray drying and freeze drying. **J. Food Engineer.** v.36, p.303-310, 1998.
- CHANG, K. C., SATTERLEE, L.D. Isolation and characterization of the major protein from Great Northern beans (*Phaseolus vulgaris*). **J. Food Sci.**, v.46, n.4, p.1368-1373, 1981.
- CHAVES, J. B. P., SPROESSER, R. L. **Práticas de laboratório de análise sensorial de alimentos e bebidas**. Viçosa, MG: Impr. Univ., UFV, 1996, 81p.
- CHEFTEL, J. C., CUQ, J. L., LORIENT, D. Aminoacids, peptides and proteins. ch. 5. In: FENNEMA, O. R. **Food Chemistry**. 2. ed. Marcel Dekker: New York, p.229, 1985.

- CHIARADIA, A. C. N. **Determinação da estrutura de pigmentos de feijão e estudo da sua ação na qualidade protéica.** Viçosa, MG: UFV, 1997. 107p. Tese (Doutorado em Ciências e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa, 1997.
- CHIARADIA, A. C. N., COSTA, N. M. B., GOMES, J. C. Retirada do tegumento e da extração dos pigmentos na qualidade protéica de feijão-preto. **Rev. Nutr.**, Campinas, v.12, n.2, p.131-136, 1999.
- CHIARADIA, A. C. N., GOMES, J. C. **Feijão: química, nutrição e tecnologia.** Viçosa: Fundação Arthur Bernardes, 1997. 180p.
- COELHO, R. C. Considerações sobre as proteínas do feijão. **Rev. Nutr.**, Campinas, v.4, n.1, p.122-145, 1991.
- COELHO, J. V., LAJOLO, F.M. Evolução dos fenólicos totais e taninos condensados (proantocianidinas) durante o desenvolvimento das sementes do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Arch. Latinoam. Nutr.** ,v.43, n.1, p.61-65, 1993.
- COFFMANN, C. N., GARCIA, V. V. Functional properties and amino acid content of a protein isolated from mung bean flour. **J. Food Tech.**, v.12, p.473, 1977.
- CONAB – **Centro Nacional de Abastecimento**, 2002. Disponível em <<http://www.conab.gov.br>> Acesso em fevereiro de 2003.
- COOPER, T. G. **The tools of biochemistry.** New York: John Wiley & Sons, 1977. 423p.
- CRUZ, G. A. D. R. **Avaliação da qualidade e digestibilidade *in vivo* da proteína de cultivares de feijão.** Viçosa, MG: UFV, 2000. 68p. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) – Universidade Federal de Viçosa, 2000.

- DAMODARAN, S. Functional properties. In: NAKAI, S. MODLER, H. W. (ed). **Food Proteins: properties and characterization**. New York; VCH Publishers, Inc., 1996. p.167-234.
- DELLA VALLE, G., QUILLIEN, L., GUEGUEN, J. Relationships between processing conditions and starch and protein modifications during extrusion-cooking of pea flour. **J. Sci. Food Agric.**, v.64, p.509-517, 1994.
- DEMETRIADES, K.; COUPLAND, J.N.; McCLEMENTS, D. J. Physical properties of whey protein stabilized emulsions as related to pH and NaCl. **J. Food Sci.**, v. 62, n. 2, p.342-347, 1997.
- DESHPANDE, S. S., CHERYAN, M. Evaluation of vanillin assay for tannin analysis of dry beans. **J. Food Sci.**, v.50, p.905-910, 1985.
- DESHPANDE, S. S., SATHE, S. K., SALUNKE, D. K. et al. Effects of dehulling on phytic acid, polyphenols and enzyme inhibitors of dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **J. Food Sci.**, v.47, n.6, p.1846-1850, 1982.
- DÍAZ, P. O., PÉREZ, L. A. B., ACEVEDO, E. A., TORRES, A. V. TOVAR, J., LÓPEZ, O. P. *In vitro* digestibility and resistant starch content of some industrialized commercial beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Food Chem.**, v. 78, p.333-337, 2002.
- DONADEL, M. E., PRUDENCIO-FERREIRA, S. H. Propriedades funcionais de concentrado protéico de feijão envelhecido. **Ciênc. Tecn. Alim.**, v.19, n.3, 1999.
- DUARTE, M. S. L. **Digestibilidade *in vivo* e *in vitro* de proteínas de feijão preto**. Viçosa, MG: UFV, 1999. 63p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa, 1999.

- DZUDIE, T., HARDY, J. Physicochemical and functional properties of flours prepared from common beans and green mung beans. **J. Agric. Food Chem.**, v.44, p.3029-3032, 1996.
- DZUDIE, T., SCHER, J., HARDY, J. Common bean flour as an extender in beef sausages. **J. Food Engineer.**, v.52, p.143-147, 2002.
- EGGUM, B. O. The influence of dietary fiber on protein digestion and utilization. In: SCHWEIZER, T. F., EDDWARDS, C. A. **Dietary fiber – a component of food**. Londres: Springer-Verlag, 1992. p.153-156.
- EICHER, N. J., SATERLEE, L. D. Nutritional quality of Great Northern bean proteins processed at varying pH. **J. Food Sci.**, v. 53, p. 1139-1143, 1988.
- EL HADY, E. A. A., HABIBA, R. A. Effect of soaking and extrusion conditions on antinutrients and protein digestibility of legume seeds. **Lebensm.-Wiss. U.-Tech.**, v. 36, p.285-293, 2003.
- ELIAS, L. G., FERNANDEZ, D. G., BRESSANI, R. Possible effects of seed coat polyphenolics in the nutritional quality of bean protein. **J. Food Sci.**, v.44, n.2, p.524-527, 1979.
- ERDMAN, E. W. Jr. Oilseed phytates: nutritional implications. **J. Amer. Oil Chem. Soc.**, v.56, p.736-741, 1979.
- FAO/WHO. **Report of ad hoc expert committee on energy and protein requirement**. FAO, Roma, 1973.
- FAO/WHO. **Energy and protein requirements**. Genova. World Health Organization, 1985. (WHO – Technical Report Series, 724).
- FAO/WHO. **Protein quality evaluation: preliminar report of a joint**. FAO, Washington, D.C., 1989.

- FELLOWS, P. J. **Food Processing Technology**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2000. 575p.
- FENNEMA, O. R. **Food Chemistry**. 3. ed. New York: Marcel Dekker, Inc., 1996. 1069p.
- FORKLER, H., JORGENSEN, T., ROSENDAL, A., TONSGAARD, M., BARKHOLT, V. Antinutritional and allergenic proteins. In: SHAIDI, F. (Ed.). **Antinutrients and Phytochemicals in Food**. Washington, DC., 1997. p.44-60.
- FRANCIS, F. J. A new group of food colorants. **Trends Food Sci. Tech.**, v.3, p.27-30, 1992.
- FUKUDA, G., ELIAS, L. G., BRESSANI, R. Significado de algunos factores antifisiologicos y nutricionales en la evaluacion biologica de diferentes cultivares de frijol comum (*Phaseolus sp.*). **Arch. Latinoam. Nutr.**, v.32, n.4, p.945-960, 1982.
- GAVA, A. J. **Princípios de tecnologia de alimentos**. 8. ed. São Paulo: Nobel, 1998, 284p.
- GEIL, P. B., ANDERSON, J. W. Nutrition and health implications of dry beans: a review. **J. Amer. Coll. Nutr.**, v.13, n.6, p.549-558, 1994.
- GENOVESE, M. I., LAJOLO, F. M. Atividade inibitória de tripsina do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.): avaliação crítica dos métodos de determinação. **Arch. Latinoam. Nutr.**, v.51, n.4, p.386-394, 2001.
- GOMES, J. C. **Elaboração de farinhas de feijão**. Departamento de Tecnologia de Alimentos, UFV. Viçosa, 1999 (projeto de pesquisa – texto não publicado).

- GOMES, J. C.; SILVA, C. O. Elaboração e análises físico-químicas de farinhas de feijão. **Rev. Ceres**. v.50, n.292, p.687–697, 2003.
- GOMES, J. C., SILVA, M. H. L, SILVA, C. O. **Análise de Alimentos**. 2. ed. revista e atualizada. Viçosa: Fundação Arthur Bernardes, 2003. 154p.
- GONZÁLEZ, R.J.; TORRES, R.L.; DE GREEF, D.M.; GORDO, N.A. Evaluación de almidón de maíz precocido por extrusión-cocción. **Rev. Agroq. y Tecn. de Alimentos**, v.26, n.4, p.552-564, 1986.
- GOYCOOLEA, F., GONZALEZ-de-MEJIA, E., BARRON, J. M., VALENCIA, M. E. Efecto de los tratamientos caseros en la preparación de frijol pinto (*Phaseolus vulgaris* L.) sobre el contenido de tanino y valor nutritivo de las proteínas. **Arch. Latinoam. Nutr.**, v.40, n.2, p.263-274, 1990.
- GUALBERTO, D. G. **Avaliação nutricional e sensorial de mistura de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e soja (*Glycine Max* L.) processados por extrusão**. Viçosa, MG: UFV. 1981. 57p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa, 1981.
- GUJSKA, E., KHAN, K. Functional properties of extrudates from high starch fractions of navy and pinto beans and corn meal blended with legume high protein fractions. **J. Food Sci.**, v.56, n.3, p.431-435, 1991.
- GUPTA, Y. P. Antinutritional and toxic factors in food legumes: a review. **Plant Foods Hum. Nutr.**, v.37, p.201, 1987.
- HALL, G. M. **Methods of testing protein functionality**. 1 ed. London: Chapman e Hall, 1996. p.1-10.
- HEGSTED, D. M. Protein Quality and its Determination. In: WHITAKER, J. R., TANNENBAUUM, S. R. (Eds.). **Food Proteins**. Westport: AVI Publishing, 1977, 654p.

- HERNANDEZ, T., HERNANDEZ, A., MARTINEZ, C. Polyphenols in alfalfa leaf concentrates. **J. Food Agric. Food Chem.**, v.39, p.1120-1122, 1991.
- HILL, S. E. Emulsions. In: HALL, G. M. **Methods of testing protein functionality**. 1 ed. London: Chapman e Hall, 1996. p.153-185.
- HOLM, H., RESELAND, J. E., THORSEN, L. I., FLATMARK, A., HANSEEN, L. E. Raw soybeans stimulate human pancreatic proteinase secretion. **J. Nutr.**, v.122, p.1407-1416, 1992.
- HUJSKA, E., CZARNECKI, Z., KHAN, K. High temperature extrusion of pinto bean (*Phaseolus vulgaris*) and filed pea (*Pisum sativum*) flours. **Polish J. Food Nutr. Sci.**, v.46, n.1, p.51-60, 1996.
- IADEROZA, M., SALES, A. M., BALDINI, V. L. S., SARTORI, M. R., FERREIRA, V. L. P. Atividade de polifenoloxidase e alterações da cor e dos teores de taninos condensados em novas cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris*) durante o armazenamento. **Colet. Inst. Tecn. Alim.**, v.19, n.2, p.154-164, 1989.
- JAFFÉ, W. G., FLORES, M. E. La cocción de frijoles (*Phaseolus vulgaris*) **Arch. Latinoam. Nutr.**, v. 25, n. 1, p. 79-90, 1975.
- JOOD, S., CHAUHAN, B. M., KAPOOR, A. C. Protein digestibility (in vitro) of chickpea and blackgram seeds as affected by domestic processing and cooking. **Plant Foods Hum. Nutr.**, v.39, n.2, p.149-154, 1989.
- KATARIA, A., CHAUHAN, B. M., PUNIA, D. Digestibility of proteins and starch *in vitro* of amphidiploids (black gram x mung bean) as affected by domestic processing and cooking. **Plant Foods Hum. Nutr.**, v.42, n.2, p.117-125, 1992.
- KRITCHEVSKI, D. Dietary fiber. **Ann. Rew. Nutr.**, v.8, p.301-328, 1988.

- KROKIDA, M. K., TSAMI, E., MAROULIS, Z. B. Kinetics in color changes during drying of some fruits and vegetables. **Drying Tech.**, v.16, n.3-5, p.667-685, 1998.
- KUTOS, T., GOLOB, T., KAC, M., PLENTENJAK, A. Dietary fiber content of dry and processed beans. **Food Chem.**, v.80, p.231-23, 2003.
- LIENER, I. E. Legume toxins in relation to protein digestibility. A review. **J. Food Sci.**, v.41, p.1076, 1976.
- LIENER, I. E. From soybeans to lectins: a trail of research revisited. **Carbohydr. Res.**, v.203, n.4, p.1-5, 1991.
- LIENER, I. Plant lectins: properties, nutritional significance and function. In: SHAIDI, F. (Ed). **Antinutrients and phytochemicals in food**, Washington, DC., 1997. p.31-42.
- LINDNER, E. **Toxicología de los alimentos**. Segunda Edición. Zaragoza (España): Acribia, 1995. 262p.
- LOLAS, G. M. MARKAKIS, P. Phytic acid and other phosphorus compounds of beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **J. Agric. Food Chem.**, v.23, p.13, 1975.
- LOMBARDI-BOCCIA, G., SANTIS, N., LULLO, G., CARNOVALE, E. Impact of processing on Fe dialysability from bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Food Chem.**, v.53, p.191-195, 1995.
- LONGO, D. S., SCHUCH, D. M., ROSSONI, E. M. M., HOFF, J. F., HATANO, K., ICHIKAWA, T., FIGUEIREDO, V. L. **Métodos de análise microbiológica para alimentos**. Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária. 2. ed. 1992. 136p.
- LOPEZ, A., WILLIAMS, H. L. Essential elements in dry and canned *kidney* beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **J. Food Protect.**, v.51, p.39-42, 1988.

- LUJÁN, D. L. B. **Variedades de feijão e seus efeitos na qualidade protéica, na glicemia e nos lipídios sanguíneos em ratos.** Viçosa, MG: UFV, 2004. 109p. Dissertação (Mestrado em Ciência da Nutrição) – Universidade Federal de Viçosa, 2004.
- MAHADEVAPPA, V. G., RAINA, P. L. Nature of some Indian legume lipids. **J. Agric. Food Chem.**, v.26, p.1241, 1978.
- MARQUEZ, M. L., LAJOLO, F.M. Composition and digestibility of albumins, globulins and glutelins from *Phaseolus vulgaris*. **J. Agric. Food Chem.**, v.29, n.8, p.1068-1074, 1981.
- MARTINEZ, D. B., IBAÑEZ, G. V., RINCÓN, L. F. Acído fítico: aspectos nutricionales e implicaciones analíticas. **Arch. Latinoam. Nutr.**, v.52, n.3, p.219-231, 2002.
- MASON, V. C. Metabolism of nitrogenous compounds in the large gut. **Proc. Nutr. Soc.**, v.43, p. 45-53, 1984.
- MATSUMURA, Y., MORI, T. Gelation. In: HALL, G. M. **Methods of testing protein functionality.** 1 ed. London: Chapman e Hall, 1996. p.76-109.
- MAZZA, G., BROUILARD, R. Color stability and structural transformations of cyaniding 3,5-diglucoside and four 3-deoxyanthocyanins in aqueous solutions. **J. Agric. Chem.**, v.35, n.3, p.422-426, 1987.
- MENSA-WILMOT, Y.; PHILLIPS, R. D.; HARGROVE, J. L. Protein quality evaluation of cowpea-based extrusion cooked cereal/legume weaning mixtures. **Nutr. Res.**, v.21, p.849-857, 2001.
- MILLER, D. S., BENDER, A. E. The determination of the net utilization of proteins by a shortened method. **Brit. J. Nutr.**, v.9, p. 382-388, 1955.

- MILLQVIST-FUREBY, A., ELOFSSON, U., BERGENSTAHL, B. Surface composition of spray-dried milk protein-stabilised emulsions in relation to pre-heat treatment of proteins. **Colloids and Surfaces: Biointerf.**, v.21, p.47-58, 2001.
- NIELSEN, S. S. Digestibility of legume proteins. **Food Tech.**, v.45, n.6, p. 112-114, 1991.
- OKEZIE, B., BELLO, A. B., Physico-chemical and functional properties of winged beans flour and isolated compared with soy isolated. **J. Food Sci.**, v. 53, p.450, 1988.
- OLIVEIRA, A. C., REIS, S. M. P. M. et al. Adições crescentes de ácido fólico a dieta não interferiram na digestibilidade da caseína e no ganho de peso em ratos. **Rev. Nutr.** , Campinas, v.16, n.2, p.211-217, 2003.
- OLIVEIRA, F. E. M. **Feijão: curvas de absorção de água e elaboração de farinhas**. Viçosa, MG: UFV, 1996. 63p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa, 1996.
- OSBORN, T. C. Genetic control of bean seed protein. **CRC Crit. Rev. Plant Sci.**, v.7, p.93-116, 1988.
- OSMAN, M., REID, P., WEBER, C. Thermal inactivation of therapy bean (*Phaseolus acutifolius*), soybean and lima bean protease inhibitors: Effect of acid and basic pH. **Food Chem.**, v.78, p.419-423, 2002.
- OSORIO-DÍAZ, P., BELLO-PÉREZ, L. A., AGAMA-ACEVEDO, E., VARGAS-TORRES, A., TOVAR, J., PAREDEZ-LOPES, O. *In vitro* digestibility and resistant starch content of some industrialized commercial beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Food Chem.**, v.78, p.333-337, 2002.

- PEREIRA, C. A. S. **Digestibilidade *in vitro* e *in vivo* de proteínas de feijão preto sem casca**. Viçosa, MG: UFV, 1998. 72p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa, 1998.
- PEREIRA, C. A. S., COSTA, N. M. B. Proteínas de feijão preto sem casca: digestibilidade em animais convencionais em animais convencionais e isentos de germes (germ-free). **Rev. Nutr.**, Campinas, v.15,n.1,p.5-14, 2002.
- PETTERSON, D. F., HARRIS, D. J., BLAKENEY, A. B., CHOCT, M. R. Methods for the analysis of premium livestock grains. Austral. **J. Agric. Res.**, v.50, n.5, p.775-788, 1999.
- POEL, T. F. B., BLONK, J., ZUILICHEM, D. J., OORT, M. G. Thermal inactivation of lectins and trypsin inhibitor activity during steam processing of dry beans (*Phaseolus vulgaris*) and effects on protein quality. **J. Sci. Food Agric.**, v.53, n.2, p.215-228, 1990.
- PORTUGAL, M. A. **Avaliação sensorial e inativação sensorial de mistura de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) processados por extrusão**. Viçosa, MG: UFV, 1989. 42p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa, 1989.
- PREGNOLATTO, W., PREGNOLATTO, N. P. **Normas Analíticas do Instituto Adolf Lutz**. São Paulo: Instituto Adolf Lutz, 1985, 533p.
- QUINTANA, R. R. B., CANOVAS, G. V. B., MORALES, J. J. Z., MORALES, A. A., RAMOS, A. Q. Functional and nutritional properties of extruded whole pinto bean meal (*Phaseolus vulgaris* L.). **J. Feed Sci.**, v.63, n.1, p.113–116, 1998.
- RAMALHO, M. A. P., ABREU, A. F. B. Cultivares. In: VIEIRA, C.; Jr., T. J. P., BORÉM, A. **Feijão: Aspectos gerais e cultura no estado de Minas Gerais**. 1.ed. Viçosa: Editora UFV, 1998. p.435-437.

- RAUP, D. S., SGARBIERI, V. C. Efeitos de frações fibrosas extraídas de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) na utilização de macro e micronutrientes da dieta pelo rato. **Ciênc. Tecn. Alim.**, v.16, n.2., p.100-107, 1996.
- REDDY, N. R., PIERSON, M. D., SATHE, S. K., et al. Chemical nutritional and physiological aspects of dry bean carbohydrates – A Review. **Food Chem.**, v.13, n.25, 1984.
- REDDY, N. R., PIERSON, M. D., SATHE, S. K., et al. Dry bean tannins: A review of nutritional implications. **J. Amer. Oil Chem. Soc.**, v.62, p.541-549, 1985.
- REEVES, P.G., NIELSEN, F.H., FAHEY, G. C. Jr. AIN-93 purified diets for laboratory rodents: final report of the American Institute of Nutrition Ad Hoc Writing Committee on the reformulation of the AIN-76 rodent diet. **J. Nutr.**, v.123, p. 1939-1951, 1993.
- REYES-MORENO, C., PAREDEZ-LÓPEZ, O. Hard-to-cook phenomenon in common beans – A Review. **CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr.**, v. 33, n.3, p.227-286, 1993.
- ROBINSON, D. **Food Biochemistry & Nutritional Value**, New York: Longman Scientific technical, 1987. 554p.
- ROCHA-GUZMÁN, N. E., GALLEGOS-INFANTE, J. A., GONZÁLEZ-LAREDO, R. F., CASTILLO-ANTONIO, P. A., DELGADO-LICON, E., IBARRA-PÉREZ, F. Functional properties of three common bean (*Phaseolus vulgaris*) cultivars stored under accelerated conditions followed by extrusion. **Lebensm.-Wiss. U.-Tech.**, article in press, 2005.
- RODRIGUEZ-SOSA, E. J., VILLAFANE-DE-COLOM, S., PARSI-ROS, O. Effect of processing on selected nutrients of beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **J. Agric. Univ. of Puerto Rico**. v.68, n.1, p.45-51, 1984.

- ROEBUCK, B. D. Trypsin inhibitors: potential concern for humans? **J. Food Nutr.**, v.117, n.9, p.389-400, 1987.
- SALUNKHE, D. K., JADHAV, S. J. KADAM, S. S. Chemical biochemical and niological significance of polyphenols in cereals and legumes. **CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr.**, v.17, n.3, p.277-305, 1982.
- SATHE, S. K. Dry bean protein functionality. **Cri. Rev. Biot.** v.22, n.2, p.175-223, 2002.
- SATHE, S. K., DESHPANDE, S. S., SALUNKHE, D. K. Functional properties of winged beans (*Psophoscarpus tetragonolobus* L.) proteins. **J. Food Sci.**, v.47, p.503-506, 1982.
- SATHE, S. K., DESHPANDE, S. S., SALUNKHE, D. K. Dry beans of *Phaseolus*: a review. I – Chemical composition: Proteins. **CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr.**, v.20, n.5, p.31-39, 1984.
- SATHE, S. K., SALUNKLE, D. K. Solubilization and electrophoretic characterization of the Great Northern bean (*Phaseolus vulgaris*) proteins. **J. Food Sci.**, v. 46, p.82-87, 1981.
- SATHE, S. K., SALUNKHE, D. K. Technology of removal of unwanted components of dry beans. **CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr.**, v.21, p.262, 1985.
- SAVELKOUL, F. H. M. G., VAN DER POEL, A. F. B., TAMMINGA, S. The presence and inactivation of trypsin inhibitors, tannins, lectins and amylase inhibitors in legume seeds during germination. A review. **Plants Foods for Hum. Nutr.**, v.42, p.71-85, 1992.

- SCHLEMMER, V., MULLER, H., JANY, K. D. The degradation of phytic acid in legumes prepared by different methods. **Eur. J. Clin. Nutr.**, v.49, n.35, p.S207-S210, 1995.
- SEGUEILHA, L., MOULIN, G., GALKZY, P., Reduction of phytate content in wheat brand and glandless cotton flour by *Schwanniomyces castelli*. **J. Agric. Food Chem.**, v.41, p.2451-2454, 1993.
- SGARBIERI, V. C. **Alimentação e nutrição: fator de saúde e desenvolvimento**. Campinas: UNICAMP, 1987. 387p.
- SGARBIERI, V. C. Composition and Nutritive value of beans. **World Rev. Nutr. Diet.**, v.60, n.1, p.132-198, 1989.
- SGARBIERI, V. C. **Proteínas em alimentos protéicos: propriedades, degradações, modificações**. São Paulo: Varela, 1996. 517p.
- SGARBIERI, V. C., TEZOTO, S., OLIVEIRA, A. C. Estudo da composição e do valor nutritivo de uma nova cultivar de feijão. In: Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 6., Brasília, 1983. **Resumos**, CBCTA, 1983, p.85-86.
- SGARBIERI, V. C., WHITAKER, J. R. Physical, chemical and nutritional properties of common bean (*Phaseolus vulgaris*) proteins. **Adv. Food Res.**, v.28, n.3, p.93-166, 1982.
- SHARMA, A., SEHGAL, S. Effect of domestic processing, cooking and germination on trypsin inhibitor activity and tannin content of faba bean (*Vicia faba*). **Plant Foods Hum. Nutr.**, v.42, n.2, p.127-133, 1992.
- SILVA, N., JUNQUEIRA, V. C. A. **Métodos de análise microbiológica de alimentos**. Campinas: ITAL, 1995. 228 p.

- SOSULSKI, F. Preparation and uses of vegetable food protein made by dry processes. In: **Proceeding of the world congress, vegetable protein utilization in human foods animal feed stuffs**. USA: T. H. Applewhite, 1988.
- SOSULSKI, F. W., MCCURDY, A. R. Functionality of flours, protein fractions and isolates from peas and faba beans. **J. Food Sci.**, v.52, p.1010, 1987.
- STANLEY, D. W., AGUILLERA, J. M. A review of textural defects in cooked reconstituted legumes – The influence of structure and composition. **J. Food Biochem.**, n.9, p.277-323, 1985.
- STOCKAMN, D. R., HALL, T. C., RYAN, D. S. Affinity chromatography of the major seed protein of the bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Plant Physiol.**, v.58, n.3, p.272-275, 1976.
- SZKUDELSKI, T. Phytic acid-its influence on organism. **J. Animal Feed Sci.**, v.6, p.427-438, 1997.
- TERCI, D. B. L., ROSSI A. V. Indicadores naturais de pH: usar papel ou solução? **Química Nova**, v.25, n.4, p.684-688, 2002.
- THOMPSON, L. V. SERRAINO, M. R. Effect of phytic acid reduction on rapessed protein digestibility and aminoacid absortion. **J. Agric. Food Chem.**, v.34, p.468-475, 1986.
- TOBELMANN, D. W. **Chemical, physical and functional properties of selected milk protein co-precipitates**. Michigan, Michigan State University, 1979. 115p. (Tese de Mestrado)
- TORRE, M., RODRIGUEZ, A. R., SAURA-CALIXTO, F. Effects of dietary fiber and phytic acid on mineral availability. **Food Sci. Nutr.**, v.1, n.1, p.1-22, 1991.

- TOVAR, J., BJORCK, I. M., ASP, N. G. Starch content and α -amylase rate in precooked legume flours. **J. Agric. Food Chem.**, v.38, p.1818-1823, 1990.
- TSUDA, T., OHSIMA, K., KAWAKISHI, S. Antioxidative pigments isolated from the seeds of *Phaseolus vulgaris* L. **J. Agric. Food Chem.**, v.42, n.9, p.248-251, 1994.
- VAN BUREN, J. P., ROBINSON, W. B. Formation of complexes between protein protein and tannic acid. **J. Agric. Food. Chem.**, v.17, p.772-777, 1969.
- VAN DER POEL, A. F. B. Effect of processing on antinutritional factors and protein nutritional value of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L). A review. **Anim. Feed Sci. Tech.**, v.29, 179–208, 1990.
- VIEIRA, C. Leguminosas de grãos: importância na agricultura e na alimentação humana. **Inf. Agropec.**, v.16, n.174, p.5-11, 1992.
- VILLANUEVA, J. A., LARRALDE, J. Papel de los polifenoles en el bajo valor nutritivo de la *Vicia faba*. **Arch. Latinoam. Nutr.**, v.37, n.2, p.324-332, 1987.
- VOJDANI, F. Solubility. In: HALL, G. M. **Methods of testing protein functionality**. 1 ed. London: Chapman e Hall, 1996. p.11-60.
- WALKER, A. F. The estimation of protein quality. In: HUDSON, B. J. F., **Developments in food proteins 2**. New York: Applied Science, 1983. p.293-323.
- WHITAKER, J. Enzymes. In: FENNEMA, O. R. **Food Chem.**, 3.ed. New York: Marcel Dekker, Inc. 1996. p.431-530.
- WILDE, P.J., CLARK, D.C. Foam formation and stability. In: HALL, G.M. (ed) **Methods of testing protein functionality**. 1. ed. London: Chapman e Hall, 1996. p.110-152.

WU, W., WILLIAMS, W. P., KUNKEL, M. E. True digestibility and digestibility corrected amino acid score of red kidney bean (*Phaseolus vulgaris*). **J. Food Chem.**, v.43, n.15, p.1295-1298, 1995.

WU, W., WILLIAMS, W. P., KUNKEL, M. E., ACTON, J. C., HUANG, Y., WARDLAW, F. B., GRIMES, L. W. Thermal effects on net protein ratio of red kidney beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **J. Sci. Food Agric.**, v. 71, p. 491-495, 1996.

WU, W., WILLIAMS, W. P., KUNKEL, W. M. E., ACTON, J. C., WARDLAW, F. B., HUANG, Y., GRIMES, L. W. Thermal effects on *in vitro* protein quality of red kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **J. Food Sci.**, v.59, n.6, p.1187-1191, 1994.

YASUMATSU, K. et al. Whipping and emulsifying properties of soy bean products, **J. Agric. Biol. Chem.**, v. 36, p.719, 1992.

ZIENA, H. M., YOUSSEF, M. M., EL-MAHDY, A. R. Amino acid composition and some nutritional factors of cooked faba beans (medamnins): Effects of cooking temperature and time. **J. Food Sci.**, v.56, n.5, p.1347-1349, 1991.

APÊNDICE

Quadro 1A – Resumo da análise de variância dos dados de umidade, atividade de água (Aw), pH e acidez

Fontes de Variação	GL	QM			
		Umidade	Aw	pH	Acidez
Tratamento	5	62,34*	0,149*	0,745*	48,57*
Resíduo	12	0,775	0,043	0,1546	0,94

* significativo, pelo teste F, a 5% de probabilidade.

Quadro 2A – Resumo da análise de variância da composição química de farinhas de feijão

Fontes de Variação	GL	QM			
		Proteínas	Lipídios	Cinzas	Carboidratos + Fibras
Tratamento	5	6,73*	0,474*	0,627*	9,44*
Resíduo	12	0,094	0,0064	0,036	0,080

* significativo, pelo teste F, a 5% de probabilidade.

Quadro 3A – Resumo da análise de variância dos dados de composição em minerais: sódio, potássio e cálcio

Fontes de Variação	GL	QM		
		Sódio	Potássio	Cálcio
Tratamento	5	9608225*	0,064*	158080*
Resíduo	12	104518	0,0092	6963

* significativo, pelo teste F, a 5% de probabilidade.

Quadro 4A – Resumo da análise de variância dos dados da composição em minerais: zinco, ferro e magnésio

Fontes de Variação	GL	QM		
		Zinco	Ferro	Magnésio
Tratamento	5	25,69*	8849,8*	0,0028*
Resíduo	12	3,61	129,1	0,00018

* significativo, pelo teste F, a 5% de probabilidade.

Quadro 5A – Resumo da análise de variância do índice de absorção de água (IAA), índice de absorção de óleo (IAO), densidade e capacidade formação de espuma (CFE)

Fontes de Variação	GL	QM			
		IAA	IAO	Densidade	CFE
Tratamento	5	0,729*	0,085 ^{n.s.}	0,869*	13,78*
Resíduo	12	0,021	0,030	0,028	1,700

* significativo, pelo teste F, a 5% de probabilidade.

n.s. = não significativo, pelo teste F, a 5% de probabilidade.

Quadro 6A – Resumo da análise de variância dos dados de atividade emulsificante (AE) e estabilidade de emulsão (EE)

Fontes de Variação	AE (t = 0 h)		AE (t = 24 h)		EE	
	GL	QM	GL	QM	GL	QM
Tratamento	5	6,13*	5	4144,70*	5	151,79 ^{n.s.}
Resíduo	29	0,078	29	52,62	12	69,49

* significativo, pelo teste F, a 5% de probabilidade.

n.s. = não significativo, pelo teste F, a 5% de probabilidade.

Quadro 7A – Resumo da análise de variância do teste de aceitação

Fontes de Variação	GL	QM		
		Sabor Característico	Aparência Global	Cor
Tratamento	4	30,13*	55,47*	62,60*
Resíduo	295	2,757	2,344	2,26

* significativo, pelo teste F, a 5% de probabilidade.

Quadro 8A – Resumo da análise de variância dos dados de PER, RPER, NPR e RNPR do experimento com ratos

Fontes de Variação	PER		RPER		NPR		RNPR	
	GL	QM	GL	QM	GL	QM	GL	QM
Tratamento	5	6,13*	5	4144,70*	5	3,18	5	1648,29*
Resíduo	29	0,078	29	52,62	27	0,072	27	36,83

* significativo, pelo teste F, a 5% de probabilidade.

Quadro 9A – Resumo da análise de variância dos dados de DV e DV relativa do experimento com ratos

Fontes de Variação	GL	QM	
		DV	DV relativa
Tratamento	5	380,75*	426,09*
Resíduo	27	13,68	15,31

* significativo, pelo teste F, a 5% de probabilidade.