



**UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA**

MICHELE ROSSET

**DISTRIBUIÇÃO DE ÁCIDO FÍTICO E MINERAIS DURANTE
O PROCESSAMENTO DE EXTRATO HIDROSSOLÚVEL DE
SOJA E TOFU**

Londrina
2007

MICHELE ROSSET

**DISTRIBUIÇÃO DE ÁCIDO FÍTICO E MINERAIS DURANTE
O PROCESSAMENTO DE EXTRATO HIDROSSOLÚVEL DE
SOJA E TOFU**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado e Doutorado em Ciência de Alimentos da Universidade Estadual de Londrina, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciência de Alimentos.

Orientadora: Profa. Dra. Adelaide Del Pino Beléia

Londrina
2007

MICHELE ROSSET

**DISTRIBUIÇÃO DE ÁCIDO FÍTICO E MINERAIS DURANTE
O PROCESSAMENTO DE EXTRATO HIDROSSOLÚVEL DE
SOJA E TOFU**

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Adelaide Del Pino Beléia
Universidade Estadual de Londrina

Prof. Dr. Fábio Yamashita
Universidade Estadual de Londrina

Prof. Dra. Terezinha de Jesus Faria
Universidade Estadual de Londrina

Londrina, 8 de maio de 2007.

DEDICATÓRIA

A Deus e à minha
maravilhosa família.

AGRADECIMENTOS

À Profa. Dra. Adelaide Del Pino Beléia pela sua amizade, apoio e atenciosa orientação.

À EMBRAPA SOJA e IAPAR, pelas amostras e análise de minerais.

Aos professores do Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos – DCTA da Universidade Estadual de Londrina, pela atenção e conhecimentos transmitidos.

À Profa. Dra. Elza Youssef Youssef Matulaitis, aos técnicos Berenice Figueiredo, Marli Piologo Pereira Pinto e Nelson Heitor Fuzinato, e demais funcionários pelo auxílio sempre que solicitado.

Aos verdadeiros amigos que fiz nestes dois anos de mestrado.

Aos amigos Daniele Cristina Adão, Eduardo Niehues, Marcela Zanetti Corraza e Renata Zacarias Noale, com os quais pude contar por mais estes dois anos e com certeza por toda a minha vida.

Às minhas maravilhosas irmãs, Márcia e Silvana, pelo amor e amizade e por acreditarem em mim.

Aos meus amados pais, Onório e Maria Ely, pelo amor, carinho e incentivo em mais uma etapa de minha vida.

Em especial a Deus, sem o qual nada seria possível....

*“O único lugar em que o sucesso
vem antes do trabalho é no dicionário.”*

Albert Einstein

ROSSET, Michele. **Distribuição de Ácido Fítico e Minerais durante o Processamento de Extrato Hidrossolúvel de Soja e Tofu**. 2007. 71f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2007.

RESUMO

O ácido fítico (AF) ou *mio*-inositol 1,2,3,4,5,6-*hexakis* (diidrogeno fosfato) é um componente encontrado na maioria das leguminosas, grãos de cereais e tubérculos, apresentando-se como reserva primária de fósforo. O AF é considerado um agente quelante formando complexos insolúveis com cátions divalentes, como cálcio, ferro e magnésio, reduzindo a biodisponibilidade destes íons no organismo. Algumas funções da ingestão do AF são consideradas importantes para se ter uma vida saudável, como a redução do nível do colesterol e diminuição do risco de cânceres. O extrato hidrossolúvel de soja (EHS) e tofu são alimentos tipicamente orientais, porém largamente consumidos no Ocidente, em que a concentração de AF presente nestes produtos, assim como a transferência deste ácido dos grãos para seus derivados, são importantes na caracterização destes. O AF tem sido estudado pois pode influenciar na textura do tofu. O objetivo desta pesquisa foi descrever a distribuição de AF e minerais nos grãos e seus derivados e determinar se sua presença influenciou na textura dos tofus. O conteúdo de AF dos grãos das cultivares BRS 213, BRS 267 e soja comercial Orgânica foram 1,22, 1,63 e 1,16 g/100 g (b.s), respectivamente, e foi observado que não houve correlação entre dureza e quantidade de AF presente nos grãos. A partir de 150 g de grãos e 800 g de EHS foram calculados teores de recuperação de sólidos, proteínas e AF dos EHS e tofus, respectivamente. O EHS da soja comercial Orgânica apresentou o maior teor de recuperação com 59,2% de sólidos totais dos grãos no EHS. Em relação ao teor de recuperação do EHS para o tofu, a maior taxa de recuperação de sólidos totais foi da cultivar BRS 267 (72,6%). Os teores de proteína recuperados durante o processo de obtenção do EHS das variedades BRS 213, BRS 267 e soja comercial Orgânica foram 72,4%, 67,1% e 69,4%, respectivamente. Os teores de P fítico recuperados nos tofus foram de 85,2%, 92,2% e 84,9% para as cultivares BRS 213, BRS 267 e soja comercial Orgânica, respectivamente. A dureza dos tofus apresentou uma correlação negativa com o teor de umidade dos tofus (-0,77) e não foi influenciada pelo teor protéico presente nos EHS. Dentre os grãos estudados, a cultivar BRS 213 não foi desejável para a produção de tofu, devido à característica amarelada da cor.

Palavras-chave: Textura. Cor. Proteína recuperada. Ácido fítico recuperado.

ROSSET, Michele. **Phytic Acid and Minerals Distribution during Soymilk and Tofu.** 2007. 71f. Dissertation (Master Degree in food Science) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2007.

ABSTRACT

Phytic acid (PA) or myoinositol 1, 2, 3, 4, 5, 6-hexakis (dihydrogen phosphate) is a food component widely distributed in cereals, legume grains and tubers, being the primary reserve of phosphorus. PA is considered a chelating agent forming insoluble complexes with divalente cations, like calcium, iron and magnesium, probably reducing bio-disponibility of these minerals. Some roles attributed to PA intake are considered important for good health, like cholesterol reduction and decreased risk of cancer. Soymilk and tofu are typical oriental foods, but widely consumed in the occident, and PA concentration in these products, as well as how it migrates from grain to product is important in characterizing the products. PA has being studied for its role in tofu texture. The objective of this research was to describe the distribution of PA and minerals from the grain to the products, and to determine whether its presence affected the texture of tofus. PA content of soy grains cultivars BRS 213 and BRS 267 and a commercial soy identified as Organic were 1,22, 1,63 e 1,16 g/100 g (b.s), and no correlation was observed between hardness of the tofu and PA present in the grain. Based on 150 g of grain used to produce soymilk (800 mL) and tofu, recovery of solids, protein, PA from the soymilk and tofus were calculated. Soymilk from the Organic grain had the highest recovery with 59,2% of the grain solids in the soymilk. From the soymilk to the tofu the highest solids recovery was from cultivar BRS 267 (72,6%). Protein recovery from grain to soymilk from cultivars BRS 213 and BRS 267 and the Organic soy was 72,4%, 67,1% e 69,4%. Phytic phosphorus recovered in the tofus was 85,2, 92,2 and 84,9 % from cultivars BRS 213 and BRS 267 and the Organic grain. Tofu hardness was negatively correlated to moisture (-0,77) content and was not influenced by soymilk protein content. Among the studied grains, cultivar BRS 213 was not desirable for tofu production because of the yellow character of its color.

Keywords: Texture. Color. Protein recovery. PA recovery.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura do ácido fítico	56
Figura 2 – Mecanismo de formação de gel durante o processo de coagulação das proteínas de soja na presença de GDL ou CaSO_4	25
Figura 3 – Efeito da concentração de AF presente no EHS na dureza do tofu coagulado com CaSO_4	32
Figura 4 – Diagrama de produção de EHS e tofu	40
Figura 5 – Rótulo nutricional do tofu produzido a partir da soja comercial Orgânica	62
Figura 6 – Rótulo nutricional do EHS produzido a partir da soja comercial Orgânica	62
Figura 7 – Rótulo nutricional do tofu produzido a partir cultivar BRS 213	63
Figura 8 – Rótulo nutricional do EHS produzido a partir cultivar BRS 213.....	63
Figura 9 – Rótulo nutricional do tofu produzido a partir cultivar BRS 267.....	64
Figura 10 – Rótulo nutricional do EHS produzido a partir cultivar BRS 267	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Massa de cem grãos das cultivares de soja	45
Tabela 2 – Rendimentos de EHS e tofus produzidos a partir das cultivares analisadas	46
Tabela 3 – Umidade, cinzas e proteínas no grão, EHS e tofu de cada cultivar analisada ...	48
Tabela 4 – Distribuição de minerais dos grãos de cada cultivar analisada e de seus respectivos produtos	51
Tabela 5 – P total, P fítico e AF no grão, EHS e tofu de cada cultivar analisada	53
Tabela 6 – Recuperação de P fítico, proteínas e sólidos totais no EHS e Tofu produzidos a partir das cultivares de soja analisadas	56
Tabela 7 – Propriedades mecânicas dos tofus	57
Tabela 8 – Parâmetros colorimétricos CIE LAB para tofu	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AF	ácido fítico
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
AOAC	Association of Official Analytical Chemists
b.s	base seca
b.u	base úmida
Ca	Cálcio
DP	desvio-padrão
EHS	extrato hidrossolúvel de soja
Fe	Ferro
g	Gramma
gf	grama-força
GDL	glucona-delta-lactona
Gy	Gray
h	Hora
K	Potássio
Mg	Magnésio
mg	Miligramma
N	Newtons
Na	Sódio
P	Fósforo
P fítico	fósforo fítico
P total	fósforo total
PM	peso molecular
r	coeficiente de correlação
rpm	rotação por minuto
s	Segundos
TCA	ácido tricloroacético
UR	umidade relativa
µg	Microgramma
Zn	Zinco

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	15
2.1 OBJETIVO GERAL	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1 ÁCIDO FÍTICO.....	16
3.1.1 Características Gerais.....	16
3.1.2 Aspectos Nutricionais do Ácido Fítico	18
3.1.2.1 Efeitos Deletérios do Ácido Fítico	18
3.1.2.2 Efeitos Benéficos do Ácido Fítico	20
3.1.2.3 Ação Antioxidante do Ácido Fítico	22
3.1.3 Extração e Quantificação de Ácido Fítico	23
3.2 TOFU	24
3.2.1 Características Gerais.....	24
3.2.2 Mecanismo de aquecimento do EHS e coagulação do tofu	25
3.2.3 Métodos de Preparo de Tofu	26
3.2.4 Tipos de Tofu	26
3.2.5 Fatores que Influenciam na Produção de Tofu	27
3.2.5.1 Qualidade do Extrato Hidrossolúvel de Soja	27
3.2.5.1.1 Variedade e Composição da Soja.....	27
3.2.5.1.2 Processo de Coagulação	33
4 METODOLOGIA	38
4.1 MATÉRIA-PRIMA	38
4.2 REAGENTES.....	38
4.3 PREPARO DO EXTRATO HIDROSSOLÚVEL DE SOJA E TOFU	38
4.4 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DA SOJA, EXTRATO HIDROSSOLÚVEL DE SOJA E TOFU	41
4.4.1 Massa de Cem Grãos.....	41
4.4.2 Determinação de Umidade	41

4.4.3 Determinação de Cinzas.....	41
4.4.4 Determinação de Minerais.....	41
4.4.5 Determinação de Proteínas	42
4.4.6 Propriedades Mecânicas do Tofu	42
4.4.7 Análise de Cor do Tofu	43
4.4.8 Extração de Fósforo Fítico	43
4.4.9 Quantificação de Fósforo Fítico	44
4.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	44
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
5.1 TAMANHO DOS GRÃOS	45
5.2 RENDIMENTO DO EHS E TOFU	46
5.3 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DA SOJA, EHS E TOFU	48
5.3.1 Determinação do Teor de Umidade, Cinzas e Proteínas	48
5.3.2 Determinação de Minerais nos Grãos, EHS e Tofu	50
5.3.3 Determinação de P Total, P Fítico e AF.....	52
5.3.4 Recuperação de Sólidos Totais, Proteínas e P Fítico	55
5.3.5 Propriedades Mecânicas do Tofu	57
5.3.6 Determinação de Cor do Tofu	60
5.4 ROTULAGEM NUTRICIONAL.....	61
6 CONCLUSÕES.....	65
REFERÊNCIAS.....	66

1 INTRODUÇÃO

Os fitatos representam uma complexa classe de compostos de ocorrência natural que podem influenciar nas propriedades funcionais e nutricionais dos alimentos. Há mais de um século, os fitatos têm representado uma área de grande interesse pelos pesquisadores, para se verificar seus efeitos deletérios (OATWAY et al., 2001, FREDLUND et al., 2006) e benéficos (MASSEY et al., 2005, YANG & SHAMSUDDIN, 1995, SAKAMOTO et al., 1993, VERGHESE et al., 2006, VUCENIK et al., 1997).

Desde a sua descoberta, o ácido fítico (AF) tem sido categorizado como um componente antinutricional em cereais e leguminosas. Estudos têm focado como sendo a única estrutura capaz de quelar minerais como Ca, Zn e Fe (ZHOU & ERDMAN, 1995) e se combinar com proteínas e amido, resultando na redução da biodisponibilidade destes nutrientes para o organismo (OATWAY et al., 2001); porém novas pesquisas têm mostrado os efeitos benéficos do ácido fítico para a saúde humana, como a diminuição do risco de doenças cardiovasculares e diversos tipos de cânceres (VUCENIK et al., 1997).

O ácido fítico encontra-se amplamente distribuído nos vegetais, principalmente em cereais e leguminosas. Na soja, a concentração de AF varia de 1,0 a 1,47% (MAGA, 1982); já em seus derivados, como tofu e extrato hidrossolúvel de soja (EHS), foi verificado em estudos que há 1,68-1,83 e 1,5-2,88 g AF / 100 g (b.s), respectivamente (ANDERSON & WOLF, 1995).

O tofu foi produzido originalmente na China, há 2.000 anos e hoje é feito em quase 40 mil fábricas no Japão. Como alimento tradicional, é indispensável à dieta diária japonesa, podendo ser consumido em inúmeros pratos dessa culinária. Devido ao seu valor nutritivo, também está se tornando popular nos países ocidentais e vem gradativamente ganhando popularidade como um substituto para ovos, queijos, carnes e outros alimentos de origem animal. Em 2000, foi observado um aumento considerável no consumo de tofu nos Estados Unidos e na Europa (AGRONIPPO, 2006).

O tofu é facilmente encontrado no Brasil em supermercados ou lojas especializadas em produtos de origem japonesa e devido a uma significativa população de descendentes de imigrantes orientais, seu consumo é acentuado, estando presente na dieta não só dos apreciadores da cozinha oriental, mas também dos vegetarianos e macrobióticos (AGRONIPPO, 2006). Em um estudo desenvolvido por Behruns & Silva (2004), em

Campinas (Brasil), foi observado que dentre os produtos derivados de soja, o tofu e o EHS são os mais conhecidos pelos entrevistados (60%).

O consumidor, em busca de uma alimentação isenta de colesterol, encontra no tofu uma alternativa de alimentação saudável, pois como é de origem vegetal (grãos de soja), não apresenta colesterol. Além disso, o tofu apresenta-se como um alimento versátil, podendo ser consumido cru, cozido, grelhado, frito, doce ou salgado (AGRONIPO, 2006; ECOBRAS, 2006).

Estudos prévios verificaram a presença de ácido fítico em tofu (ANDERSON & WOLF, 1995) e uma relação na ingestão de AF com a diminuição no risco de doenças cardiovasculares e índice de colesterol e triglicérides, formação de cálculos renais (MASSEY et al., 2005) e ação contra alguns tipos de cânceres (VUCENIK et al., 1997).

O EHS é um alimento tradicionalmente oriental, o qual começou a ser produzido pelos chineses no período de 179 a.C a 122 a.C.; o aumento no consumo deste produto foi de 21% ao ano na década passada; em 2001 o mercado observou um aumento nas vendas de EHS em 45%, projetando uma expectativa de ganho de 1 bilhão de dólares nos próximos 3 a 5 anos (MIN et al., 2005).

O consumo de EHS tem aumentado no Brasil em função de novos produtos à base deste extrato, em combinação com sucos de frutas, que vêm sendo comercializados com sucesso no mercado nacional desde o final da década de 90. Estes produtos possuem sabor agradável e que pouco lembra o sabor característico de soja. A presença e a expansão da linha destes produtos no mercado brasileiro nos últimos anos indicam que os consumidores foram receptivos e os incorporaram a seus hábitos alimentares (BEHRUNS & SILVA, 2004). Portanto, o aumento do consumo de derivados de soja no Brasil tornou importante o conhecimento de micronutrientes e o estudo das propriedades tecnológicas relacionadas a estes produtos.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo desta pesquisa foi analisar a distribuição de ácido fítico na produção dos derivados EHS e tofu, assim como de minerais a partir de cultivares de soja.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar as características físico-químicas dos grãos e seus respectivos produtos, extratos hidrossolúveis de soja e tofus.

Verificar o teor de recuperação de sólidos totais, AF e proteínas nos produtos derivados de cada cultivar de soja.

Determinar as propriedades mecânicas do tofu.

Analisar as características de cor dos tofus derivados de cada cultivar.

Analisar e comparar os resultados obtidos no laboratório com três produtos comerciais.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 ÁCIDO FÍTICO

3.1.1 Características Gerais

O ácido fítico (Figura 1) ou ácido *mio*-inositol hexafosfórico ou 1,2,3,4,5,6,-*hexakis* (diidrogeno fosfato) *mio*-inositol (IUPAC-IUB, 1968), é encontrado na maioria das leguminosas, cereais e nos tubérculos, representando a reserva primária de fósforo. O ácido fítico pode existir na forma de ácido livre, fitato (sal de cálcio do AF) ou fitina (sal de cálcio/magnésio do AF) dependendo do pH e íons metálicos presentes. A completa hidrólise do ácido fítico resulta em inositol e fosfatos inorgânicos (OATWAY et al., 2001).

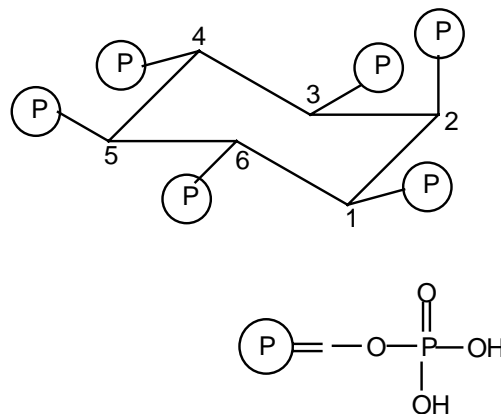


Figura 1 – Estrutura do ácido fítico (Costello et al., 1976)

O AF é um composto inerte e estável; em isolados de soja, foi observado que são necessários 4h a 115°C para hidrólise do ácido fítico (MAGA, 1982). A hidrólise enzimática, decorrente de fosfatases denominadas fitases, ou química (aquecimento em condições ácidas ou alcalinas) resultou na formação dos seguintes produtos de degradação: inositol pentafofato (IP₅), inositol tetrafofato (IP₄), inositol trifosfato (IP₃), inositol bifosfato (IP₂) e inositol monofosfato (IP₁) (COSGROVE, 1966).

A degradação do AF ocorre durante o processamento do alimento e também no trato gastrointestinal. Esta degradação é de grande importância nutricional, pois a ligação do AF com minerais diminui, aumentando a solubilidade quando os grupos fosfatos são removidos do anel inositol e conseqüentemente aumenta a biodisponibilidade dos íons (SANDBERG, 2002).

Quando um alimento é submetido a um processo de hidratação, cozimento, extrusão, irradiação, fermentação entre outros, a quantidade de fitato diminui, dependendo do tipo e da maneira como o processo é aplicado. No caso do processo de hidratação, o AF é solúvel em água ocorrendo uma redução no teor de AF se a água de hidratação for descartada. Já no processo de extrusão, a degradação do AF não é alta (< 30%), pois o alimento é submetido a altas temperaturas por um curto tempo. Em muitos casos, a redução do fitato não é completa, portanto o ácido fítico restante pode alterar as características funcionais do alimento (SATHE & REDDY, 2002).

Devido ao ácido fítico ocorrer de forma simultânea com seus sais em muitos grãos, os pesquisadores não fazem distinção entre estas duas formas. O ácido fítico é um agente quelante de minerais como cobre, cálcio, magnésio, zinco e ferro. A habilidade quelante deste ácido o torna importante para a nutrição animal e humana. A maioria dos complexos minerais formados com o ácido fítico é insolúvel, tornando-os indisponíveis para a absorção em condições fisiológicas normais (SATHE & REDDY, 2002).

Pelo fato do AF apresentar natureza iônica, pode se ligar diretamente com grupos carregados positivamente ou indiretamente com grupos carregados negativamente de proteínas, mediado com uma carga positiva do íon mineral, como por exemplo, cálcio. Os complexos resultantes, proteína-fitato e fitato-mineral-proteína, são insolúveis, dificultando a hidrólise durante a digestão, diminuindo a digestibilidade e biodisponibilidade da proteína. O fitato também é capaz de se combinar com o amido através de ligações de pontes de hidrogênio com o grupo fosfato, resultando no decréscimo de sua solubilidade e biodisponibilidade (SATHE & REDDY, 2002).

Thompson & Yoon (1984) realizaram testes de diálise *in vitro* para verificar o efeito do ácido fítico na digestibilidade do amido. Foi observada uma redução de 28% e 60% em 1 h e 5 h de diálise, respectivamente. Neste caso, o ácido fítico pode ter quelado o cálcio, que é essencial para estabilizar a ação da α -amilase.

Deshpande & Cheryan (1984) estudaram os efeitos do AF, cátions divalentes (Ca^{2+} e Mg^{2+}), e suas interações na atividade da α -amilase. Foi observado que a atividade da enzima diminuiu com o tempo de incubação com AF e também com a

concentração do ácido. Durante 1h de incubação em elevadas concentrações de AF (4,0 e 6,0 mM), houve uma redução de 90% da atividade enzimática; em 2 h de incubação, o AF, mesmo em concentrações baixas (0,5 e 1,0 mM), diminuiu a atividade da enzima. Os autores também verificaram uma diminuição na atividade da α -amilase na presença dos íons cálcio e magnésio, devido a interação destes íons com o AF.

3.1.2 Aspectos Nutricionais do Ácido Fítico

3.1.2.1 Efeitos deletérios do ácido fítico

O aspecto antinutricional característico do AF é devido a sua capacidade quelante; deste modo estudos investigam a ação do AF na digestibilidade, solubilidade e funcionalidade do alimento (OATWAY et al., 2001). Pesquisas indicaram que a absorção de cálcio no organismo aumenta com a redução no conteúdo de ácido fítico na soja (HEANEY et al., 1991).

Há diversos trabalhos que estudam a redução da biodisponibilidade de zinco em alimentos (FREDLUND et al., 2006, ADEYEYE et al., 2000, MA et al., 2005). O conteúdo de cálcio na dieta é de fundamental importância para o impacto negativo do ácido fítico sobre o zinco. A adição extra de cálcio na suplementação alimentar favorece a formação do complexo insolúvel cálcio – AF – zinco (ZHOU & ERDMAN, 1995).

Fredlund et al. (2006) estudaram o efeito do AF na absorção do zinco e retenção do cálcio em 28 mulheres e 12 homens. Foram servidos aos participantes dois bolinhos de trigo branco; um sem fitato e outro com quantidade conhecida de fitato de sódio (25-250 mg). O conteúdo de zinco e cálcio presente em cada refeição foi de 3,1 e 266 mg, respectivamente. Foram servidas 105 refeições, das quais 36 sem adição de fitato e 9-10 refeições para cada concentração de fitato.

A absorção do zinco em cada concentração de fitato adicionada 0, 25, 50, 75, 100, 140, 175 e 250 mg foi de 22%, 16%, 14%, 11%, 7%, 7%, 7% e 6%, respectivamente. A adição acima de 50 mg de fitato diminuiu significativamente ($p = 0,01$) a absorção do zinco, quando comparado aos valores obtidos da refeição sem adição de fitato. A retenção do cálcio durante 7 dias na mesma refeição foi de 31%, 28%, 27%, 26%, 22%, 19%, 14% e 11%.

A adição de 100 mg de fitato diminuiu significativamente ($p = 0,03$) a retenção de cálcio quando comparado a refeição sem adição de fitato. Deste modo, os pesquisadores concluíram que o AF apresenta efeito inibitório na absorção de zinco e retenção de cálcio, dependendo da concentração de ácido presente (FREDLUND et al., 2006).

Adeyeye et al. (2000) determinaram o conteúdo de cálcio, zinco e AF e suas inter-relações em alimentos de maior consumo na Nigéria. Foram analisados 35 alimentos, divididos em quatro grupos, legumes, cereais, temperos e tubérculos/raízes. Os níveis de cálcio (mg/100g b.s) foram de 29-45 (legumes), 17-49 (cereais), 17-187 (temperos) e 38-155 (raízes/tubérculos), enquanto que para zinco (mg/100g b.s) foram de 0,55-2,00 (legumes), 0,67-1,84 (cereais), 0,34-4,92 (temperos) e 1,35-7,07 (raízes/tubérculos). Os níveis de fitato (mg/100g b.s) foram: 14-344 (legumes), 112-287 (cereais), 35-184 (temperos) e 0,0-1070 (raízes/tubérculos).

Um indicador da biodisponibilidade de zinco é através do cálculo da razão molar fitato: Zn, esta razão também depende do nível de cálcio presente, pois existe um sinergismo cinético entre cálcio e zinco que torna o complexo Ca : Zn : fitato menos solúvel quando comparado aos complexos formados com cada íon. Deste modo foram calculadas as razões molares fitato:Zn para os legumes, cereais, temperos e raízes/tubérculos e observaram-se valores superiores a 20:1. Foram calculadas também as razões fitato: Ca e observaram-se razões menores as fitato:Zn; portanto, os autores concluíram que a baixa biodisponibilidade de zinco nos alimentos nigerianos analisados é devido à alta quantidade de AF presente (ADEYEYE et al., 2000).

Ma et al. (2005) analisaram os níveis de cálcio, zinco, ferro e fitato e suas razões molares em 60 alimentos (arroz, soja, trigo, milho e seus derivados e alimentos produzidos a partir de amido) consumidos na China. O teor de fitato foi determinado por coluna de troca aniônica (AG1-X4) e os minerais por espectroscopia de absorção atômica.

Os alimentos produzidos a partir de grãos de soja apresentaram maior quantidade de fitato, assim como zinco, ferro e cálcio, quando comparados aos demais alimentos. A concentração de fitato encontrada foi de 130-1878 mg /100 g do produto (b.u). Os níveis (mg/100g b.u) de cálcio, ferro e zinco encontrados foram 12,55-760; 0,37-6,13 e 0,37-3,50, respectivamente. A faixa das razões molares de fitato:cálcio, fitato:zinco, fitato:ferro e fitato x cálcio:zinco foram 0,06-0,63, 15,68-61,35, 34,72-68,06 e 10,89-1025,07, respectivamente. Dentre os 14 produtos derivados de soja, 8 alimentos apresentaram a razão molar fitato:cálcio superior ao nível crítico (0,2) e 7 alimentos apresentaram razão molar fitato x cálcio:zinco maior que 200 (MA et al., 2005).

Poneros & Erdman (1988) estudaram a biodisponibilidade de íons cálcio presente em tofu, tortillas, leite em pó desengordurado e queijo tipo mussarela, usando ratos como animais experimentais; além disso, verificaram o efeito da suplementação com ácido ascórbico (0,05%). O conteúdo de fósforo total e ácido fítico foi determinado através do método de Thompson & Erdman (1982). Foi observado que a biodisponibilidade de cálcio foi maior no tofu, seguido do leite em pó desengordurado e tortillas; o queijo tipo mussarela não apresentou diferença significativa em relação ao tofu. O ácido ascórbico não influenciou na biodisponibilidade do cálcio provenientes de todas as fontes. O teor de AF presente no tofu e tortillas, 0,28% e 0,25% (b.s), respectivamente, não interferiu na biodisponibilidade do cálcio, embora é conhecido que o AF apresenta a capacidade de formar complexos e precipitados insolúveis com este tipo de mineral, reduzindo sua biodisponibilidade, porém esta baixa quantidade do ácido não foi suficiente para causar este tipo de efeito sobre o cálcio.

3.1.2.2 Efeitos benéficos do ácido fítico

Recentes pesquisas têm sido focadas nos possíveis efeitos benéficos dos alimentos contendo fitato para a saúde. Dentre estes efeitos podem ser citados a diminuição no risco de doenças cardiovasculares, do índice de colesterol e de triglicérides (JARIWALLA et al., 1990 apud ZHOU & ERDMAN, 1995), da formação de cálculos renais (MASSEY et al., 2005) e ação contra alguns tipos de cânceres (YANG & SHAMSUDDIN, 1995, SAKAMOTO et al., 1993, VERGHESE et al., 2006, VUCENIK et al., 1993, VUCENIK et al., 1997).

Vucenik et al. (1993) verificaram o efeito do AF na inibição de câncer de mama em ratas. Os testes foram conduzidos à base de água, com ausência e adição de 15 mM de AF, 15 mM de inositol, 15 mM AF + 15 mM inositol. Foi concedida aos animais, uma dose de 20 mg de agente cancerígeno. Foi observado uma redução de 19% na incidência de tumores em ratas tratadas com AF+inositol e os tumores tratados eram 16% menores aos tumores das ratas que não receberam a dose de AF+inositol.

Vucenik et al. (1997) verificaram uma diminuição de velocidade no crescimento de células cancerígenas de colo de útero, tanto em humanos como em testes *in vitro*.

Yang & Shamsuddin (1995) estudaram o efeito do AF na inibição do crescimento de células cancerígenas em cólon humano através da análise da dependência tempo-dosagem (1-6 dias de tratamento e 0,33-20 mM AF). Foi observado que houve inibição significativa ($p < 0,05$) já no primeiro dia de tratamento na concentração de 1mM de AF. Sakamoto et al. (1993) também verificaram o efeito anticarcinogênico em humanos e observaram que o AF, ao contrário do inositol e inositol hexasulfato, inibiu a proliferação de células cancerígenas em cólon humano.

Existe uma relação inversa entre a ingestão de alimento rico em fibras que contenha AF e câncer de cólon. Também foi sugerido que a alta ingestão de ácido fítico de produtos derivados de soja pode ser um fator responsável pelo baixo índice de mortalidade de homens e mulheres japonesas em relação ao câncer de próstata e mama (ZHOU & ERDMAN, 1995).

O aumento da ingestão de alimentos contendo AF pode ser benéfico, pois irá diminuir a biodisponibilidade do íon ferro, já que a elevada concentração deste mineral no organismo pode estar associada com o aumento no risco de doenças cardíacas, provavelmente devido ao ferro mediar a formação de radical livre e conseqüentemente a peroxidação lipídica (GRAF & EATON, 1990).

Estudos têm indicado que o ácido fítico, como um componente da fibra, pode diminuir o nível de colesterol através da absorção dos íons zinco e cobre, diminuindo o risco de hipercolesterolemia, que é um fator importante para as doenças cardíacas. Pesquisas realizadas com ratos demonstraram que uma dieta suplementada com ácido fítico resultou numa diminuição do nível de colesterol e triglicérides (JARIWALLA et al., 1990 apud ZHOU & ERDMAN, 1995).

Evidências experimentais indicaram que o AF apresenta efeito inibitório na formação de cristais de hidroxapatita, responsáveis pela formação de cálculos renais. Massey et al. (2005) estudaram a concentração de fitato presente em 40 tipos de alimentos derivados de soja, dos quais pode-se destacar o tofu e EHS. A quantidade de fitato variou entre 0,89 a 6,21 mg/g (b.u) em 11 das 19 amostras de tofu e de 0,8 a 1,33 mg/g (b.u) em EHS.

Neste estudo, os alimentos apresentaram 76 a 528 mg de AF / porção (1 porção equivale a 85 g). Nosso organismo absorve e excreta menos de 1 % do fitato ingerido, ou seja, diariamente a excreção deverá ser entre 0,76-5,3 mg após a ingestão destes produtos. Grases et al. (2000) verificaram que pessoas com cálculos renais excretaram uma quantidade de AF menor comparando a pessoas não formadoras de cálculos renais, $2,01 \pm 0,34$ e $3,27 \pm 0,41$ mg, respectivamente. Os autores concluíram que alimentos a base de soja, contendo

moderadas concentrações de fitato podem auxiliar na prevenção do risco de formação de cálculos renais, pois o AF inibe a formação de cristais de cálcio (MASSEY et al., 2005).

O AF apresenta uma atividade inibitória na digestão e absorção de amido, pois através de ligações de hidrogênio, é capaz de se combinar com o amido, de forma indireta, via proteínas, ou combinando-se com amilase ou seus cofatores como Ca^{2+} . Estudos têm revelado que, o aumento na ingestão de AF, através de cereais e leguminosas, está relacionado de forma negativa com o índice glicêmico, sugerindo que o AF pode diminuir a digestão e absorção do amido (JENAB & THOMPSON, 2002).

3.1.2.3 Ação antioxidante do ácido fítico

A propriedade quelante do AF é de grande importância, pois é responsável pela ação antioxidante (GRAF et al., 1984, GRAF & EMPSON, 1987, GRAF & EATON, 1990, MINIHANE & RIMBACH, 2002, AHN et al., 2003, AHN et al., 2004). Por exemplo, quando o fitato forma um complexo com os íons, ferro, cobre, zinco ou magnésio, age como antioxidante, pois estes íons são responsáveis por acelerar a ocorrência de reações de oxireduções no organismo, catalisando oxidações lipídicas (GRAF & EATON, 1990).

Um alimento rico em lipídios insaturados e que apresenta uma quantidade de íons ferro, sofre um efeito negativo na presença de oxigênio. Concentrações menores que 1% de oxigênio são capazes de provocar mudanças no sabor e cor do alimento, além de causar perdas nutricionais; deste modo, é necessário adicionar um antioxidante. O ácido fítico é um antioxidante de ocorrência natural, sendo um poderoso inibidor da formação do radical hidroxila (EMPSON et al., 1991).

Empson et al. (1991) verificaram a capacidade antioxidante do ácido fítico. O estudo sugeriu que a oxidação provocada pelos íons Fe^{3+} pode ser inibida através da adição de pequenas quantidades de ácido fítico. Este composto (1mM) reduziu a taxa de degradação do ácido ascórbico e a peroxidação lipídica de emulsões óleo-água em frangos cozidos e congelados.

Ahn et al. (2003) estudaram a atividade antioxidante do AF em emulsões água-óleo sob estocagem por 2 semanas a 37°C e também a degradação do ácido fítico em água deionizada submetido a diferentes níveis de irradiação. Foram estudadas três concentrações de AF, 100, 200 e 400 $\mu\text{g/mL}$ as quais foram submetidas a diferentes níveis de irradiação, 0,

5, 10, 15, 20 kGy. A solução de 100 µg/mL foi degradada em 70% quando irradiada com 5kGy, nos demais níveis a irradiação, a degradação ficou entre 84-87%, no entanto, as soluções de 200 e 400 µg/mL apresentaram menores índices de degradação, 11-68% e 1-11%, respectivamente. Os autores também observaram a capacidade antioxidante do AF em sistema lipídico.

Ahn et al. (2004) estudaram a atividade antioxidante do ácido fítico irradiado (100, 200, 400 e 800 mM) e de diferentes antioxidantes, incluindo ácido ascórbico, tocoferol e anisol hidroxil butilato (BHA) em diferentes níveis de irradiação (0, 10 e 20kGy). Foi observada uma maior capacidade antioxidante do AF em relação aos demais em sistemas lipídicos (emulsão água-óleo), especialmente quando irradiado com 20kGy na concentração de 800 mM.

3.1.3 Extração e Quantificação de Ácido Fítico

Thompson & Erdman (1982) desenvolveram um estudo com o propósito de determinar ácido fítico utilizando três métodos de análise: precipitação, separação em coluna de troca aniônica e por diferença de sobrenadante.

No procedimento analítico de precipitação com cloreto férrico, a extração do AF foi realizada com solução de TCA 3% + Na₂SO₄ 10% ou HCl 1,2%. A precipitação do AF foi realizada com cloreto férrico (0,2%), aquecido por 75 minutos em água a 100°C, com posterior lavagem do precipitado utilizando solução de HCl 0,6% e Na₂SO₄ 2,5% e mineralização por digestão nitrosulfúrica e então o conteúdo fósforo foi analisado.

No método por diferença de sobrenadante, a quantidade de ácido fítico foi determinada a partir da diferença entre a análise do sobrenadante (após precipitação com cloreto férrico) e 1,0 mL de amostra do extrato inicial (antes da precipitação) e no método de separação e análise por coluna de troca aniônica, a amostra foi extraída com HCl 1,2% sob agitação mecânica, seguida de eluição em coluna (Bio-Rad AGI-X8) contendo 0,15 g de resina (200-400 mesh, na forma de cloreto).

Thompson & Erdman (1982) compararam estes três métodos em que, três amostras foram extraídas com 100 mL de HCl 1,2 % ou TCA 3 % + Na₂SO₄ 10 %. Foi verificado que os teores de AF se mostraram semelhantes na extração com HCl 1,2 % no

método por diferença de sobrenadante ($1,41\% \pm 0,03$) e coluna de troca aniônica ($1,43\% \pm 0,03$), enquanto que na análise por precipitação, a quantidade de ácido fítico foi menor ($1,12\% \pm 0,02$). Na extração com TCA 3,0 % + Na_2SO_4 10 %, a % AF se mostrou semelhante entre os métodos por precipitação ($1,40\% \pm 0,02$) e coluna de troca aniônica ($1,42\% \pm 0,03$). Já pelo método de diferença de sobrenadante o valor foi mais alto ($1,61\% \pm 0,01$).

Em tofu, Thompson & Erdman (1982) utilizaram a metodologia da diferença de sobrenadante. Observou-se um conteúdo de $5850 \mu\text{g P/g}$ (b.s) e baixa quantidade de fósforo sobrenadante ($340 \mu\text{g P/g}$ (b.s)). Foi observado também que a precipitação do fitato férrico do extrato do tofu ocorreu imediatamente após aquecimento e adição de FeCl_3 , enquanto que nos demais produtos derivados de soja como, isolado e *tempeh*, não foi observada nenhuma precipitação nos primeiros 30 minutos de aquecimento.

Deste modo, os autores concluíram que a análise por precipitação após extração com TCA 3% + Na_2SO_4 10 % e método por diferença de sobrenadante após extração com HCl 1,2 % estão de acordo com o método de coluna de troca aniônica, e métodos rápidos, baseados na análise de fósforo são mais aceitos, embora o novo método através da diferença do sobrenadante forneça mais informações que os demais métodos, conseqüentemente este é o método rápido preferencial (THOMPSON & ERDMAN, 1982).

3.2 TOFU

3.2.1 Características Gerais

O tofu é feito a partir da coagulação do EHS aquecido, adicionado de um coagulante, seguido de uma moldagem e prensagem do coágulo; consiste no principal alimento derivado da soja presente na dieta oriental e devido ao seu sabor suave, as características de textura são as que principalmente influenciam na qualidade do tofu e na aceitabilidade pelo consumidor (KARIM et al., 1999). Ainda é difícil produzir, domesticamente, uma massa com qualidade uniforme devido à grande diversidade de variedades de soja (TODA et al., 2004); o tofu contém em média, 88% de água, 6% de proteína, 3,5% de lipídeos, 1,9% de carboidratos e 0,6% de cinzas (MIN et al., 2005).

3.2.2 Mecanismo de Aquecimento do EHS e Coagulação do Tofu

O aquecimento do EHS é importante não apenas para melhorar seu valor nutricional e reduzir o sabor característico dos produtos derivados de soja (*beany flavour*), mas também para que ocorra a desnaturação protéica promovendo a coagulação do EHS na presença de um coagulante (LIU, 1997).

O processo de coagulação do tofu ocorre em duas etapas (Figura 2); na primeira, a desnaturação protéica é causada pelo aquecimento do EHS e coagulação hidrofóbica promovida pelos prótons do coagulante glucona-delta-lactona (GDL) ou cátions do sulfato de cálcio. Antes do aquecimento do EHS, estes grupos hidrofóbicos estão nos seus estados nativos, localizados para dentro da estrutura molecular. Com a ação do calor, estas regiões são expostas e os grupos SH (carregados negativamente), são neutralizados pelos prótons do GDL ou cátions do sulfato de cálcio (segunda etapa). Deste modo, as interações hidrofóbicas das moléculas protéicas neutralizadas tornam-se predominantes, conduzindo a coagulação. O gel é formado a partir da agregação destas moléculas e se torna denso quando ocorre próximo ao ponto isoelétrico, que é atingido com a queda do pH durante a adição do coagulante (KOHYAMA et al., 1995).

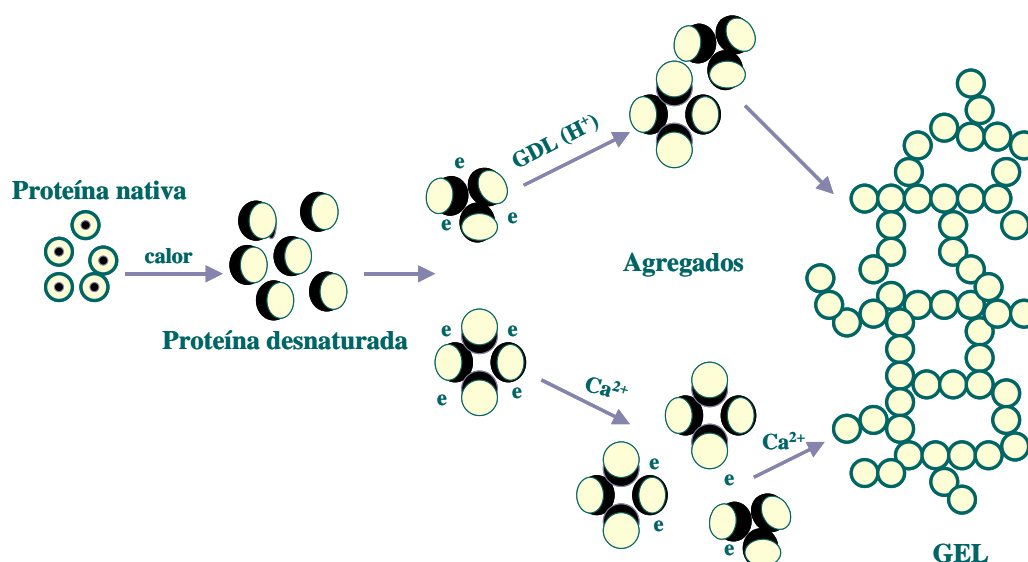


Figura 2 – Mecanismo de formação de gel durante o processo de coagulação das proteínas de soja na presença de GDL ou CaSO₄. Círculos: moléculas de proteínas; áreas em preto: regiões hidrofóbicas. (Kohyama et al., 1995)

3.2.3 Métodos de Preparo de Tofu

No Oriente, a produção de tofu tem sido considerada uma arte, pois é necessário um mínimo de conhecimento sobre este produto para produzir um tofu de boa qualidade (LIU, 1997).

O método tradicional baseia-se na lavagem, hidratação, drenagem e moagem dos grãos. A suspensão obtida é filtrada, obtendo-se o EHS e Okara (resíduo retido). O extrato é aquecido a 100°C por 10 minutos e adicionado de um coagulante (sulfato de cálcio ou magnésio) a 78°C, ocorrendo a formação do coágulo, o qual é prensado para separar o soro do tofu por 30 minutos. O grau de firmeza do tofu varia de acordo com a pressão aplicada. Em seguida o tofu é submetido a um resfriamento e acondicionado num recipiente contendo água fria. O tofu fresco pode ser estocado de 1-14 dias, dependendo das condições de refrigeração (LIU, 1997).

Existem outras maneiras de produzir tofu, baseando-se em modificações do método tradicional; algumas são adaptadas para produção em escala laboratorial e outros para produção em escala industrial, porém a base é a mesma: extração aquosa dos grãos de soja, produzindo EHS o qual é coagulado com sal ou ácido, resultando no tofu. As variações que ocorrem na produção de tofu referem-se ao método de extração do EHS, coagulação das proteínas de soja, prensagem e estocagem do tofu. Além disto, em escala de produção industrial, o tipo de equipamento, a maneira como o tofu é estocado e modo de conservação (pasteurização ou agentes químicos) alteram a qualidade do produto final (LIU, 1997).

3.2.4 Tipos de Tofu

Existem diferentes tipos de tofu no mercado. Baseando-se no conteúdo de água e propriedades de textura, o tofu é geralmente classificado em *soft* (silken), firme e extra-firme. Basicamente estes tofus são similares, variando apenas na razão água/grão, tipo e concentração de coagulante e quantidade de soro liberado durante a prensagem (LIU, 1997).

O tofu tipo *soft* ou silken contém aproximadamente 88-90% de água e 6,0% de proteínas, apresentando uma textura macia, porém firme o suficiente para conservar sua forma após o corte. Esta variedade de tofu é produzida a partir de EHS contendo,

aproximadamente, 10-12% de sólidos. Após a filtração, o EHS é resfriado a 60-70°C e misturado com CaSO₄; durante um período de 30-60 minutos, um coágulo firme e macio é formado. Este coágulo não é prensado nem cortado. No Japão, este tipo de tofu é denominado de *kinugoshi-tofu* (LIU, 1997).

A produção comercial de tofu tipo *soft* também é feita utilizando principalmente como agente coagulante a glucona-delta-lactona (GDL). Neste processo, o coagulante e o EHS resfriado são misturados num recipiente o qual é selado e deixado imerso em água (80-95°C) por 50 minutos para que ocorra a coagulação das proteínas da soja. O coágulo resultante é resfriado e submetido à refrigeração (LIU, 1997).

Os tofus do tipo firme e extra-firme são prensados. Existem duas maneiras de se produzir estas variedades de tofu; na primeira, o coagulante é adicionado no EHS quente de maneira brusca e na segunda, o coágulo é quebrado e prensado. Neste caso, quanto maior a pressão aplicada sobre o tofu, maior será a firmeza (LIU, 1997).

3.2.5 Fatores que Influenciam na Produção de Tofu

Diversos estudos têm mostrado que a qualidade e rendimento do tofu são influenciados pela qualidade do EHS e pelo processo de coagulação. A qualidade do EHS depende da variedade da soja e das condições de preparo, enquanto que o processo de coagulação depende da concentração e temperatura do EHS, do tipo e quantidade relativa de coagulante e do método e tempo de agitação (LIU, 1997).

3.2.5.1 Qualidade do extrato hidrossolúvel de soja

3.2.5.1.1 Variedade e composição da soja

Existem diversas variações nas características físico-químicas entre as diferentes cultivares de soja, como cor, tamanho e forma do grão e a cor do hilo e cotilédone. Tradicionalmente, o EHS e tofu são preparados com grãos de soja grandes e claros

apresentando hilo claro. A justificativa em se trabalhar com grãos claros seria a obtenção de produtos derivados de soja com cor clara (LIU, 1997). Em relação à preferência por grãos grandes é devido a menor quantidade de casca presente quando comparado à grãos menores, que pode influenciar de forma negativa o rendimento e qualidade do tofu.

Wang & Chang (1995) avaliaram os efeitos do tamanho dos grãos da cultivar Proto. Foram avaliados grãos grandes (501 grãos / 100 g soja) e grãos pequenos (622 grãos /100 g soja) e concluíram que o tamanho dos grãos não influenciou nos rendimentos dos tofus.

Pelo fato do sabor, textura e rendimento serem os principais atributos de qualidade do EHS e tofu, respectivamente, a composição química dos grãos de soja deve ser mais importante que a aparência física dos grãos. Para se estabelecer algum tipo de relação, produtores de alimentos à base de soja e cientistas de alimentos pesquisaram os efeitos da composição química dos grãos, como razão de proteína 7S/11S, conteúdo e solubilidade de proteína e conteúdo de fitato, na produção de tofu (LIU, 1997).

Shen et al. (1991) estudaram os efeitos de nove cultivares de soja e das características do EHS no rendimento e qualidade do tofu produzido com GDL (gluconadelta-lactona). Foram estudados tofus prensados e não prensados. O rendimento do tofu não foi influenciado pelo tamanho dos grãos. O conteúdo protéico do EHS foi diretamente proporcional com o teor protéico dos grãos. O rendimento do tofu prensado foi diretamente proporcional ao teor protéico dos grãos.

Wang et al. (1983) analisaram os efeitos de dez variedades de soja no rendimento e qualidade do tofu. O tofu produzido com todas as variedades apresentou sabor suave, textura macia e cor branca-creme. No entanto, o tofu produzido a partir de grãos de soja com hilo escuro apresentou uma cor menos atrativa, sobressaindo a cor cinza em relação a tradicional cor branca-creme.

A quantidade de água absorvida pelos grãos durante a hidratação foi aproximadamente 1,3 vezes a massa original dos grãos; os grãos de soja maiores absorveram maior quantidade de água, porém o tamanho e quantidade de água absorvida pelos grãos não influenciaram no rendimento e qualidade do tofu (WANG et al., 1983).

Os tofus preparados com cada variedade de soja não apresentaram diferenças significativas no rendimento e também não houve correlação entre o conteúdo protéico dos grãos de soja e o rendimento do tofu. Por outro lado, o rendimento do tofu foi correlacionado com a porcentagem de proteínas recuperadas durante o processo (WANG et al., 1983).

Min et al. (2005) determinaram os efeitos de cinco variedades de soja (HS90-3456, HS90-3515, HS90-3518, HS90-3608 e Conrad) cultivadas em dois locais distintos (Columbus e Lakeview, Ohio, EUA) sobre as propriedades físicas e químicas do tofu e EHS. Foi observado que a variedade e o local de cultivo de soja apresentaram efeitos significativos ($p < 0,05$) no teor protéico do grão, tofu e do EHS; rendimento do tofu e cor do EHS. Observaram que o teor de umidade do tofu influenciou na dureza e rendimento do tofu e que o conteúdo de sólidos totais do EHS foi diretamente proporcional ao conteúdo protéico.

As análises de variância mostraram que, o local de crescimento das variedades de soja Columbus e Lakeview, apresentou diferença significativa no conteúdo protéico, rendimento do tofu e também em sua dureza ($p < 0,05$). O teor de umidade do tofu apresentou uma correlação significativa sobre a dureza e rendimento do tofu. No geral foi observado que o conteúdo protéico da soja foi o fator determinante na qualidade do tofu e EHS (MIN et al., 2005).

- **Proteínas**

Toda et al. (2004) verificaram a relação do conteúdo de AF e proteínas presentes na soja com a consistência do tofu. Neste trabalho o tofu foi preparado a partir do homogeneizado cru do EHS, sob aquecimento e adição de $MgCl_2$ em várias concentrações como agente coagulante. A consistência do tofu foi avaliada medindo a força de deformação do tofu, ou seja, foi quantificado o valor da força aplicada sobre o tofu durante o corte. Esta força aumentou quando a concentração de $MgCl_2$ do EHS atingiu um valor máximo de 0,40%.

Houve uma correlação positiva entre o conteúdo protéico e a força aplicada sobre o tofu, contudo, a força aplicada no tofu preparado com 0,25% de $MgCl_2$ apresentou uma menor correlação com o conteúdo protéico. Para identificar o componente que apresenta efeito tamponante sobre a coagulação, o estudo foi focado no ácido fítico, o qual apresenta seis grupos fosfatos que podem atuar como agente quelante para coagulantes. Deste modo, o teor de AF foi estimado através da medida de fósforo e verificou-se uma correlação negativa deste ácido com a força de deformação do tofu, preparado com 0,25 % de $MgCl_2$, que sugere o efeito tamponante do ácido fítico (TODA et al., 2004).

- **Ácido Fítico**

Mais de 2/3 do fósforo contido no grão de soja está na forma de ácido fítico. Durante o preparo do tofu, o ácido fítico é extraído para o EHS e coprecipitado com as proteínas durante a coagulação (LIU, 1997).

Durante o processo de coagulação, o AF pode interagir com as proteínas e com os íons Ca^{2+} e Mg^{2+} do coagulante formando um precipitado coloidal responsável pela retenção da água, resultando num tofu de textura macia (SAIO, 1979 apud WANG & CHANG, 1995).

Mahfuz et al. (2004) reportaram que o coagulante GDL apresentou menor interação com o AF durante o processo de coagulação. Foi observado que o tofu coagulado com GDL apresentou maior quantidade de sal de ácido fítico livre que o tofu preparado com coagulantes contendo Ca^{2+} ou Mg^{2+} e que a maior parte deste sal se apresentava na forma de fitato de potássio, devido a grande quantidade de K^+ presente na soja.

Hou & Chang (2003) desenvolveram um estudo para investigar a degradação de ácido fítico durante a estocagem dos grãos de soja e os efeitos no rendimento e propriedades texturais do tofu. As condições de estocagem foram classificadas da seguinte forma: condições adversas (84% UR, 30°C), condições moderadas (57% UR, 20°C) e condições frias (3-4°C) e um ambiente com condições de temperatura e umidade não controláveis (garagem). O conteúdo de ácido fítico dos grãos de soja decresceu com o aumento do tempo de estocagem nas condições adversas. Este comportamento também foi observado no EHS obtido dos grãos. Quanto maior o tempo de estocagem, menor foi o conteúdo de sólidos no EHS e conseqüentemente, menor o rendimento de tofu.

Sob as condições adversas, o conteúdo de AF presente nos grãos de soja apresentou correlação positiva com o teor de AF presente nos EHS ($r= 0,93$) e tofus ($r= 0,93$). Foi observado também que o conteúdo de AF e acidez titulável apresentaram correlação negativa ($r= -0,97$). Estes resultados indicam que, sob condições adversas, o conteúdo de ácido fítico diminuiu com o aumento da acidez titulável nos grãos e no EHS (HOU & CHANG, 2003).

O conteúdo de AF nos grãos de soja não se alterou sob condições moderadas durante 12 meses; porém quando estes grãos foram submetidos ao tempo de 18 meses de estocagem, houve um decréscimo de 10% em relação ao tempo inicial (13,32 mg AF/g grãos de soja, b.u). No EHS, o conteúdo de ácido fítico não sofreu mudanças

significativas. O conteúdo de ácido fítico recuperado pelo EHS dos grãos de soja se manteve entre 83-88%. Em relação ao tofu, o conteúdo de ácido fítico se manteve praticamente inalterado durante os 18 meses de estocagem e a quantidade de AF recuperada pelo tofu foi de 79-83% (HOU & CHANG, 2003).

Sob as condições frias, o teor de AF do grão apresentou uma redução de 13% após 18 meses de estocagem em relação à quantidade inicial (13,32 mg/g (bs) para 11,60 mg/g (b.s)). O conteúdo de AF do tofu e do EHS não apresentou mudanças significativas; a recuperação de AF pelo EHS e tofu foi de 82-88% e 78-88%, respectivamente. Já sob condições ambientais não controladas (garagem), a quantidade de AF do grão reduziu 9,0% após 18 meses de estocagem (13,32 para 12,19 mg/g) e a recuperação pelo EHS foi de 82-89%. No tofu, a recuperação de AF se mostrou similar às condições moderadas e frias (HOU & CHANG, 2003).

A qualidade do tofu diminuiu com o aumento de tempo de estocagem dos grãos. O decréscimo de sólidos e proteínas no EHS foi proporcional ao decréscimo do rendimento e aumento da dureza. Este decréscimo de rendimento e qualidades texturais do tofu também foi proporcional ao decréscimo do AF, porém inversamente correlacionado com a acidez titulável. Este fenômeno indica que, quanto maior o tempo de estocagem dos grãos, menor será a quantidade de AF, maior será a acidez dos grãos e menor o rendimento do tofu.

Para observar a influência do AF nas qualidades de textura do tofu, uma quantidade extra de AF foi adicionada ao EHS produzido a partir dos grãos estocados por 4 meses sob condições adversas. Em relação ao rendimento, não houve diferenças entre o tratamento com adição e sem adição de AF durante os dois meses iniciais. No terceiro e quarto mês, a adição de AF conduziu a um rendimento menor em relação ao tratamento sem adição de AF, que pode ter sido causada pela diminuição do pH. No terceiro e quarto mês, o pH do EHS era de 6,52 e 6,42, respectivamente, decaindo para 6,39 e 6,24, respectivamente, com adição de AF. Em relação às características de textura, a fraturabilidade diminuiu e a dureza foi maior no terceiro e quarto mês com a adição de AF. O aumento da dureza foi oposto ao rendimento (HOU & CHANG, 2003).

Para se entender melhor os efeitos do AF na qualidade e textura do tofu, Hou & Chang (2003), adicionaram de 4-50% em relação à quantidade original de AF no EHS e verificaram que não houve diferenças significativas no rendimento, dureza e fraturabilidade do tofu. Uma explicação para este tipo de comportamento é que com adição de AF, o processo de coagulação se torna mais lento, pois o AF compete com as proteínas pelos íons Ca^{2+} , que são fundamentais no processo de coagulação. Entretanto, o decréscimo da

velocidade de coagulação não interferiu na matriz proteína-cálcio, deste modo não prejudicou as propriedades de textura e o rendimento.

Ishiguro et al. (2006) desenvolveram um estudo com 27 variedades de soja, cultivadas em diferentes condições ambientais. Foi observado que o conteúdo de AF de algumas variedades de soja variou devido a fatores ambientais. Conseqüentemente, os efeitos do AF foram estudados no EHS e na textura do tofu; dois tipos de coagulante foram utilizados, um tipo salino (sal de cálcio ou magnésio) e outro tipo ácido (glucona-delta-lactona). Para o preparo do tofu com CaSO_4 e GDL, foram utilizados EHS com as seguintes concentrações de AF: 0,20, 0,30 e 0,40%. O teste de compressão aplicado foi necessário para medir a tensão de deformação e o índice de deformação na ruptura do tofu.

Em concentrações de 10 a 20 mM de CaSO_4 , a tensão de deformação diminuiu com o aumento da concentração de AF, deste modo, em concentrações inferiores a 20 mM de CaSO_4 , o EHS com grande quantidade de AF produziu um tofu macio. Entre 20 e 40 mM, a concentração de AF apresentou um efeito mínimo na tensão de deformação. Em concentrações superiores a 50 mM de CaSO_4 , o EHS contendo 0,20% de AF não formou tofu, devido à imediata coagulação do EHS durante a adição do coagulante antes da agitação (Figura 3). Deste modo, os resultados mostraram que o efeito da concentração de AF na textura do tofu variou de acordo com a concentração do coagulante. Estes resultados concordam com os propostos por Hou & Chang (2003), em que observaram que a textura do tofu não foi influenciada pela adição de AF.

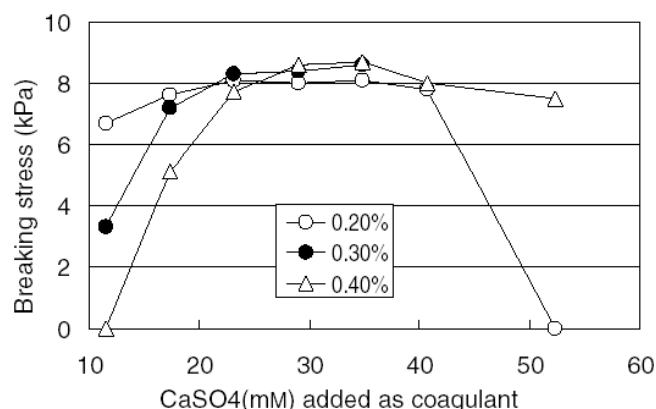


Figura 3 – Efeito da concentração de AF presente no EHS na dureza do tofu coagulado com CaSO_4 (ISHIGURO et al., 2006).

No caso do tofu preparado com GDL, a coagulação é resultante da queda do pH, já que GDL é um coagulante tipo ácido. A tensão de deformação diminuiu com o aumento da concentração de AF em todas as concentrações de coagulantes e aumentou com a concentração de GDL em cada concentração de AF (ISHIGURO et al., 2006).

O índice de deformação do tofu produzido com GDL diminuiu com o aumento da concentração de AF, assim como na força de deformação. Devido à força de resistência expressar a resistência do coágulo, o AF apresenta grande influência nesta força. Mais coagulante teve que ser adicionado ao EHS contendo maiores concentrações de AF para resultar numa resistência de coágulo constante (ISHIGURO et al., 2006).

3.2.5.1.2 Processo de coagulação

A coagulação é considerada a principal etapa no processo de produção de tofu. Nesta fase, o tipo e concentração do coagulante, temperatura do EHS na qual o coagulante deverá ser adicionado, velocidade de agitação e maneira de misturar e acrescentar este coagulante são fatores que devem ser considerados. Dentre estes, o tipo de coagulante deve ser o primeiro fator a ser decidido pelo produtor do tofu (LIU, 1997).

- **Tipos e Concentrações de Coagulantes**

Basicamente, existem três tipos de substâncias capazes de coagular proteínas: sal, ácido e enzimas. Os coagulantes mais utilizados na produção de tofu são: CaSO_4 , nigari, GDL (LIU, 1997).

- **Coagulantes Salinos**

O coagulante mais utilizado na produção de tofu é o sulfato de cálcio, podendo ser utilizado no preparo de vários tipos de tofu (*silken*, firme e extra-firme). Devido a

sua habilidade de incorporar água ao tofu, o uso deste coagulante resulta num rendimento maior quando comparado ao uso do coagulante nigari, no entanto, o tofu produzido a partir de CaSO_4 apresenta menor consistência quando comparado ao tofu nigari, isto acontece porque o sulfato de cálcio forma uma suspensão instável na presença de água, devido a sua solubilidade ser limitada, dificultando a mistura. Além disso, a eficiência do coagulante diminuiu com o tempo de estocagem principalmente na presença de água. Deste modo, durante o preparo do tofu, o coagulante deverá ser misturado com a água minutos antes de ser adicionado ao EHS (LIU, 1997).

Sun & Breene (1991) estudaram a influência da concentração de sulfato de cálcio no rendimento e qualidade do tofu em cinco diferentes variedades de soja. As concentrações finais do coagulante no EHS foram: 0,01, 0,02, 0,03, 0,05 e 0,06 N de CaSO_4 , requerendo 0,63, 1,26, 1,89, 3,15 e 3,78 g de CaSO_4 em 40 mL de água, respectivamente.

Foi verificada uma correlação negativa entre o rendimento do tofu e a concentração de CaSO_4 . O decréscimo do rendimento com o aumento da concentração do coagulante pode ter ocorrido devido ao efeito da sinérese e perda de soro durante a prensagem do coágulo. O teor protéico também diminuiu com o aumento da concentração do coagulante, indicando um aumento na sinérese e perda de proteínas solúveis com a água (SUN & BREENE, 1991).

Neste mesmo estudo, foi observado que a concentração ideal para a recuperação total de sólidos e proteína foi de 0,02N. Em concentrações muito baixas (0,01N) não há formação de gel, pois não há íons de cálcio suficientes para se ligar às proteínas. Por outro lado, em altas concentrações, aumentará a ligação de íons e proteínas tornando a matriz de gel muito compacta facilitando o processo de sinérese, resultando na perda de água e proteínas solúveis do soro (SUN & BREENE, 1991).

Kao et al. (2003) estudaram o efeito da concentração de sulfato de cálcio no EHS e na microestrutura do tofu e nos constituintes do soro. As concentrações finais do coagulante no EHS foram: 0,20, 0,25, 0,30, 0,35, 0,40, 0,45 e 0,50% (m/v). A microestrutura do tofu feito com 0,2% de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ revelou-se de forma grossa e descontínua. O aumento na concentração do coagulante para 0,3% diminuiu a porosidade e aumentou a regularidade e uniformidade da rede de gel do tofu. A microestrutura do tofu com 0,4% de sulfato de cálcio mostrou-se a mais contínua e uniforme. Quando a concentração do coagulante aumentou para 0,5%, a rede de gel do tofu tornou-se muito porosa e compacta.

Neste estudo, foi observado também que na concentração de 0,4 % de coagulante o rendimento do tofu (253 g de tofu /100 g de grãos de soja) foi maior que nas

demais concentrações, além de apresentar também a maior porcentagem de recuperação de sólidos (55,2%), proteínas (70,9%) e habilidade de retenção de água (77,2%). Todos os parâmetros aumentaram significativamente com o aumento da concentração do coagulante entre 0,2-0,4%, porém diminuíram quando a concentração do coagulante variou de 0,4 para 0,5%. Em baixas concentrações de CaSO_4 , a interação das moléculas de proteínas e íons cálcio não é forte o suficiente para formar um gel firme. A exclusão de proteínas não coaguladas e outros sólidos solúveis com a água durante a etapa de prensagem do tofu resultou num menor rendimento e menor teor de sólidos e proteínas recuperado, no entanto, em concentrações muito elevadas (0,5% de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), ocorrem ligações fortes entre proteínas e íons de cálcio, tornando a rede muito compacta e porosa, favorecendo o processo de sinérese, induzindo a perda de água, substâncias solúveis e proteínas do soro (KAO et al., 2003).

Em relação à textura do tofu, a dureza, coesividade, gomosidade, mastigabilidade e elasticidade, aumentaram quando a concentração do coagulante aumentou de 0,2 para 0,4%, e se mantiveram constante de 0,4 para 0,5%. Uma estrutura mais densa e compacta é mantida através de ligações cálcio-proteínas e hidrogênio. Portanto, em concentrações mais elevadas, a dureza e elasticidade do tofu serão maiores (KAO et al., 2003).

O nigari, ou cloreto de sais incluem nigari natural, nigari refinado e cloreto de cálcio. O nigari natural é extraído da água do mar, envolvendo a remoção de NaCl (cloreto de sódio) e da água. A mistura dos minerais naturais presentes na água do mar consiste principalmente de cloreto de magnésio. O nigari refinado é a forma mais pura de cristais de $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (cloreto de magnésio hexaidratado). O cloreto de cálcio não é um coagulante tipo nigari, pois não é encontrado na água do mar, porém é muito utilizado pelos produtores de tofu na América do Norte (LIU, 1997).

No preparo de tofu utilizando nigari, o sabor e aroma se tornam mais doces. Entretanto, a textura do tofu não é tão macia quanto ao tofu preparado com sulfato de cálcio e não se recomenda o uso deste coagulante no preparo de tofu tipo *silken*, além disso, não apresenta facilidade de incorporar água ao tofu, diminuindo o rendimento. No caso de estar utilizando nigari são necessários alguns cuidados na hora do preparo, pois como há uma concentração ótima de nigari e o processo de coagulação ocorre de forma rápida, é recomendado que se adicione o coagulante de forma lenta, por várias vezes. Os tofus preparados no Japão são, em grande maioria, produzidos a partir de nigari em combinação com GDL ou sulfato de cálcio (LIU, 1997).

- **Coagulantes Ácidos**

Glucona-delta-lactona (GDL) é o coagulante ácido mais utilizado; apresenta-se na forma de pó fino, com cor branca, inodoro e gosto adocicado. Este coagulante é preparado a partir de amido de milho seguido de um processo fermentativo. Quando dissolvido em água, inicialmente com pH 3,6, ocorre sua hidrólise a ácido glutâmico (pH 2,5) (LIU, 1997).

O coagulante GDL se diferencia dos demais coagulantes (sais de sulfato e cloreto) devido à coagulação ser melhor com uso de ácidos a sais. Sua grande vantagem é permitir ser misturado com EHS frio e então colocado num recipiente contendo água quente sob incubação. Após sua imersão, começará o processo de coagulação, resultado da hidrólise de GDL em ácido glutâmico. GDL é muito utilizado na produção de tofu tipo *silken* (sem remoção de soro), resultando num tofu de textura macia e fina e com rendimento alto, já que não há dessoragem, no entanto, sob ponto de vista nutricional, os coagulantes de sais de cálcio apresentam quantidades extras de cálcio, deste modo, pode-se estar utilizando GDL em misturas com sais de cálcio (LIU, 1997).

Vários ácidos como, ácido láctico, sucos de frutas cítricas (suco de limão) e vinagre são utilizados como agentes coagulantes. O ácido láctico produz um tofu macio e de sabor agradável enquanto que o suco de limão resulta num tofu de textura e rendimento menos atrativo quando comparado aos demais coagulantes (LIU, 1997).

- **Temperatura, Velocidade e Tempo de Agitação no Processo de Coagulação**

Hou et al. (1997) estudaram os efeitos no rendimento e qualidade de tofus produzidos com dois diferentes coagulantes, sulfato de cálcio e nigari, em diferentes tempos (5, 10, 15, 20, 25 e 30 s) e velocidades de agitação (137, 207 e 285 rpm) no método de coagulação. Foi observado que a velocidade de 137 rpm não coagulou o EHS, mesmo durante o tempo máximo de agitação de 30 segundos, ou seja, em baixas velocidades de agitação, não é possível produzir tofu, pois como o coagulante é uma suspensão instável, é necessário que se tenha uma velocidade suficiente para manter uma distribuição uniforme do coagulante no EHS e assim permitir uma coagulação das proteínas, no entanto, os tofus produzidos em

velocidade máxima (285 rpm) apresentaram menores rendimentos, porém maior dureza que tofus produzidos a 207 rpm e o rendimento dos tofus diminuíram em 30 s de agitação. Deste modo, os autores concluíram que o tempo apropriado para se produzir tofu seria menor que 25 s em velocidade de 207 e 285 rpm.

Shih et al. (1997) também desenvolveram um estudo para otimizar o processo de produção do tofu tipo Soft. O estudo baseou-se na metodologia de superfície de resposta para otimizar a combinação de quatro fatores, conteúdo de sólidos do EHS (10, 11, 12, 13, 14 °Brix), concentração do coagulante (0,25, 0,29, 0,33, 0,37, 0,41 % m/v), temperatura de adição do coagulante (75, 79, 83, 87, 91 °C) e tempo de agitação (5, 10, 15, 20, 25 s).

Foi observado que o rendimento do tofu foi influenciado pelo conteúdo de sólidos do EHS e concentração do coagulante. O teor protéico e conteúdo de sólidos do tofu foram influenciados pelo conteúdo de sólidos do EHS, concentração e temperatura de adição do coagulante. O conteúdo de sólidos do EHS foi o fator que mais influenciou na textura do tofu e os autores concluíram que a combinação ótima dos fatores para se produzir um tofu de boa qualidade seria: conteúdo de sólidos do EHS ente 11,8-12,3°Brix, concentração de coagulante entre 0,27-0,32% m/v, temperatura de adição do coagulante 85-91°C e tempo de agitação entre 5-11,3 segundos (SHIH et al., 1997).

4 METODOLOGIA

4.1 MATÉRIA-PRIMA

As variedades de soja BRS 213 (grãos pequenos e ausência da enzima lipoxigenase) e BRS 267 (grãos grandes), safra 2005/2006, foram fornecidas pela EMBRAPA – SOJA (Londrina – PR). A variedade comercial, denominada de “ORGÂNICA”, foi adquirida em loja de produtos naturais em Londrina (PR). Os produtos derivados da soja, EHS e tofus, foram produzidos no laboratório de Análise Sensorial, do Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos, da Universidade Estadual de Londrina.

Para comparar com os tofus produzidos no laboratório, foram adquiridos e analisados tofus comerciais da marca AGRONIPPO (tipo soft e extra-soft) e um comercial de produção caseira (produzido por Nelson Kikuchi & CIA Ltda, Londrina-PR). Os coagulantes apresentados em cada embalagem informados pelos fabricantes foram glucona-delta-lactona, sulfato de cálcio e sulfato de magnésio para o tipo “soft”, “extra-soft” e tipo “caseiro”, respectivamente. Os tofus foram adquiridos em rede de supermercado local (Londrina - PR).

4.2 REAGENTES

Os reagentes utilizados nesta pesquisa foram de pureza analítica de diferentes procedências (Synth, Nuclear, Biotec). No preparo dos tofus, foi utilizado $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ como agente coagulante da marca Kiminal – PR.

4.3 PREPARO DE EXTRATO HIDROSSOLÚVEL DE SOJA (EHS) E TOFU

O método de preparo do EHS e do tofu baseou-se no procedimento descrito por Min et al. (2005) com algumas modificações, onde 150 g de soja foram lavados e deixados sob imersão em 1500 mL de água deionizada por 16 h à temperatura ambiente. As

sojas hidratadas foram drenadas, lavadas e trituradas em liquidificador, adicionadas de água deionizada (1000 mL) a 100°C, por 3 minutos em velocidade máxima. Aproximadamente, 1300 g de suspensão de EHS foram produzidos. Esta suspensão foi filtrada a vácuo, separando o EHS (930 mL) de cascas e outros materiais insolúveis.

O EHS (800 mL) foi aquecido, até fervura, por 10 minutos. Quando a temperatura do EHS atingiu 75°C, 40 mL de uma suspensão de água e sulfato de cálcio (3,04 g) foram adicionados ao EHS. Em seguida a mistura foi agitada com bastão de vidro por 3 segundos.

Após o EHS coagulado ter ficado em repouso por 10 minutos, o coágulo de soja foi transferido para uma fôrma de preparo de tofu (13 cm x 8 cm x 5,7 cm) e sobre esta, foi colocada uma massa (675 g) para então pressionar o tofu (6,49 g/cm²), durante 2 horas com o objetivo de separar o soro do tofu. A fôrma de preparo apresentava poros de 4 mm de diâmetro.

O tofu foi produzido em triplicata para cada variedade de soja e seu rendimento foi determinado através da pesagem do tofu preparado. A seguir está apresentado um diagrama da produção de EHS e tofu (Figura 4).

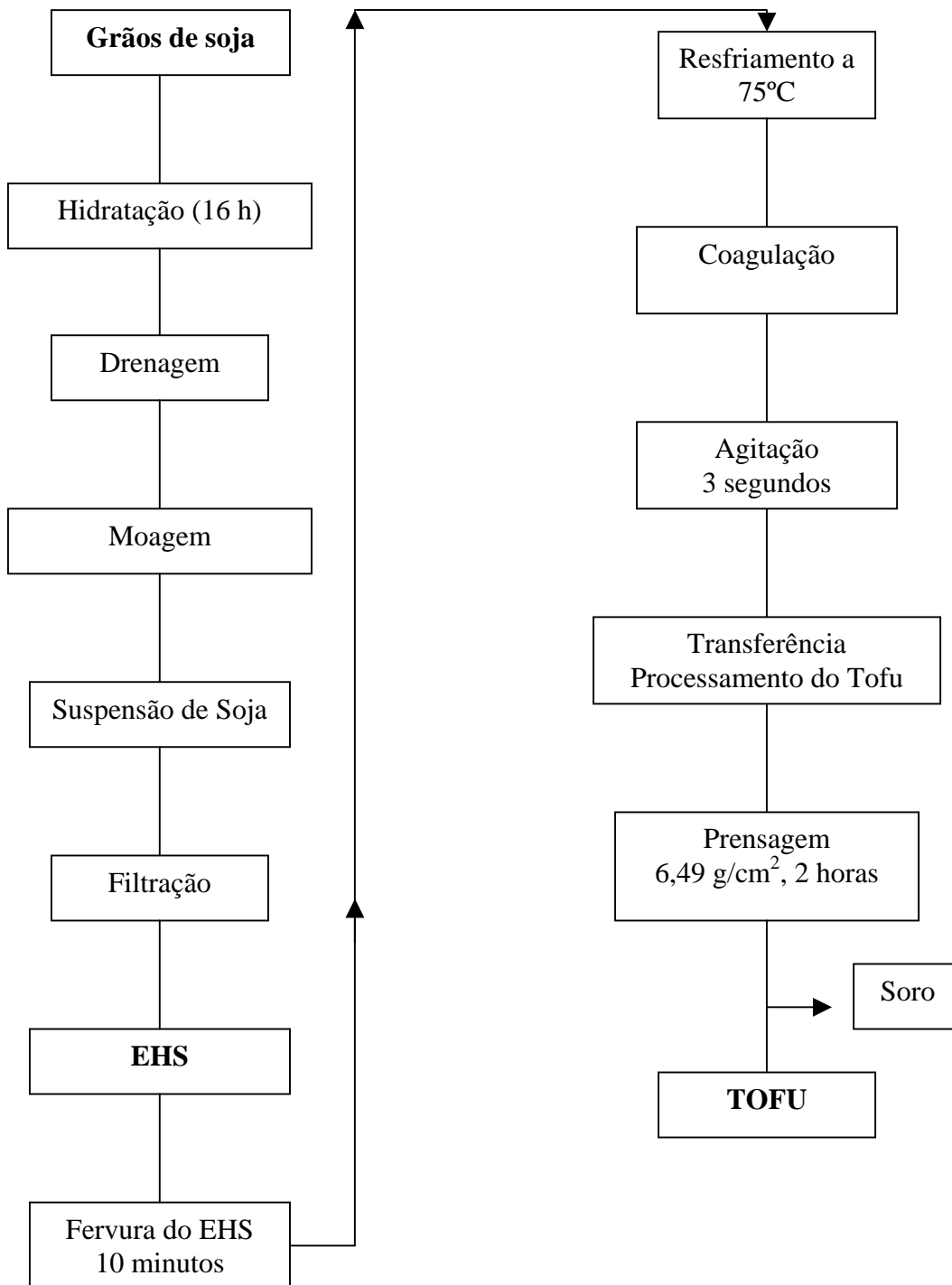


Figura 4 – Diagrama de produção de EHS e tofu (Min et al.,2005).

4.4 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DA SOJA, EHS E TOFU

4.4.1 Massa de Cem Grãos

Como há variabilidade no tamanho dos grãos em diferentes cultivares, foi determinada a massa de cem grãos (contados manualmente) para verificar a influência do tamanho do grão no rendimento do tofu. O procedimento foi realizado em triplicata para cada cultivar de soja.

4.4.2 Determinação de Umidade

O teor de umidade da soja e de seus derivados foi determinado utilizando estufa regulada a 105°C, conforme descrição da Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 1998).

4.4.3 Determinação de Cinzas

O teor de cinzas da soja e de seus derivados foi determinado conforme descrição da AOAC (1998) utilizando a incineração seguida da calcinação da amostra em mufla a 550°C.

4.4.4 Determinação de Minerais

Foram analisados os teores de Ca, Mg, Na, K, Fe e P nos grãos de soja e seus derivados. As análises de Fe, Ca e Mg foram necessárias devido a habilidade quelante que o AF apresenta sobre estes minerais. O teor de Na é importante devido à exigência de

estar presente em rótulos de alimentos; já a determinação de K foi necessária pois é um mineral que é característico da soja. A determinação de P é importante, pois representa a soma do teor de P orgânico e inorgânico; e o P fítico está contido na fração orgânica.

Para a análise destes minerais as amostras foram digeridas em solução nitroperclórica ($\text{HNO}_3:\text{HClO}_4$ /3:1). Após a diluição adequada, a leitura de Ca, Mg, Fe e P foi realizada por espectrometria de emissão de plasma (ICP- ICAP 61E, Thermo Jarrel Ash Corporation) e para Na e K em Fotômetro de Chama (Micronal). As análises foram feitas no laboratório de Solos do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR, Londrina - PR).

4.4.5 Determinação de Proteínas

O teor de proteína do grão, EHS e tofu foi determinado conforme o método descrito da AOAC (1998) através da técnica de Kjeldahl para análise de nitrogênio total (fator de conversão N x 6,25).

4.4.6 Propriedades Mecânicas do Tofu

Os parâmetros utilizados para analisar as propriedades mecânicas dos tofus foram definidos por Szczesniak (2002). A dureza é definida como a força necessária para produzir uma deformação; a elasticidade é a velocidade na qual um material deformado volta à condição não deformada depois que a força de deformação é removida; a coesividade é a extensão a qual um material pode ser deformado antes da ruptura e a mastigabilidade (dureza x coesividade x elasticidade) é a energia necessária para mastigar um alimento sólido até a deglutição.

Os parâmetros de textura foram determinados em amostras de tofu cilíndricas, com 3 cm de diâmetro e 2,2 cm de altura. As amostras foram comprimidas em 73% de deformação. As velocidades de pré-teste, teste e pós-teste foram de 2,0, 2,0 e 4,0 mm/s respectivamente, conforme Karim et al. (1999). As análises foram realizadas no texturômetro modelo TA.XT2i, com probe de alumínio cilíndrico P35, em triplicata para cada amostra de tofu.

4.4.7 Análise de Cor do Tofu

As características de cor da superfície do tofu foram definidas pelos parâmetros do sistema CIE-LAB, L* (luminosidade), + a* (vermelho) para - a* (verde) e +b* (amarelo) para - b* (azul). As análises foram feitas no colorímetro Color Reader, CR –10, Konica Minolta, em triplicata.

4.4.8 Extração de Fósforo Fítico

A técnica utilizada para a extração de P fítico dos grãos, EHS e tofus seguiu o procedimento descrito por Thompson & Erdman (1982). A extração foi realizada com 100 mL de solução TCA 3% +Na₂SO₄ 10% sob agitação mecânica por 2 h a 100 rpm (Shaker MA 830/A, MARCONI). Em seguida, filtrou-se em papel filtro qualitativo, coletou-se o extrato e desprezou-se o material retido.

Em um tubo de centrífuga, foram adicionados 10mL do extrato, 10mL H₂O deionizada e 12mL de FeCl₃, colocou-se em banho-maria a 100°C por 75 minutos. Deixou-se resfriar à temperatura ambiente e centrifugou-se por 15 min a 5800 rpm (Harrier 15/80). O sobrenadante foi descartado (P inorgânico) e ao precipitado, foram adicionados 5mL HCl 0,6%+Na₂SO₄ 2,5% e centrifugou-se por 15 minutos. Novamente descartou-se o sobrenadante e repetiu o processo mais 3 vezes, totalizando quatro lavagens. Após descartar o último sobrenadante, o precipitado foi lavado com 7 mL de solução digestora (HNO₃/HClO₄ 4:1), transferindo-o para tubos de ensaio de alta resistência.

Os tubos foram colocados no bloco digestor (Tecnal – TE 007D) a 50°C elevando-se a temperatura gradativamente até 200°C. Após a digestão e diluição adequada das amostras, o fósforo fítico foi determinado colorimetricamente, segundo Chen et al. (1956) e foi utilizado o fator 3,55, referente aos 28,2% de P presente na molécula de AF, para converter o fósforo fítico em ácido fítico.

4.4.9 Quantificação de Fósforo Fítico

A quantificação seguiu o procedimento descrito por Chen et al. (1956). O procedimento consistiu na construção de uma curva padrão que variou de 0,9 a 9,0 µg de fósforo. A curva foi preparada a partir de uma solução estoque (0,05g de K_2HPO_4 em 200 mL H_2O) e solução de trabalho (2 mL da solução estoque em 10 mL H_2O). O reagente de cor utilizado consistiu numa solução de água deionizada, molibdato de amônio 2,5%, ácido ascórbico 10% e ácido sulfúrico 6N (2:1:1:1). A leitura da amostra foi realizada em espectrofotômetro UV-VIS (820 nm), Cintra 20.

4.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados foram analisados através do programa STATISTICA 5.0 (StatSoft). Para diferenciação de médias, os resultados foram analisados pelo teste de Tukey (nível de significância de 5% para todos os casos). As análises foram realizadas em triplicata, com três repetições.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 TAMANHO DOS GRÃOS

As cultivares BRS 267, BRS 213 e soja comercial ORGÂNICA apresentaram diferenças de tamanho de grãos entre si (Tabela 1). A amostra BRS 213 apresentou a menor massa em 100 grãos (10,5 g).

Tabela 1 – Massa de cem grãos das cultivares de soja*

CULTIVAR	MASSA DE CEM GRÃOS (g) ± DP
ORGÂNICA	20,0 ± 0,1 ^b
BRS 213	10,5 ± 0,5 ^c
BRS 267	22,6 ± 0,2 ^a

*Valores médios ± DP de triplicatas.

As letras minúsculas indicam diferença significativa (Tukey, $p < 0,05$).

Os resultados das três cultivares estão de acordo com valores encontrados na literatura. Wang et al. (1983) reportaram massa de cem grãos de 10 cultivares de soja, variando de 15,2 a 35,5 g. Sun & Breene (1991) analisaram 5 cultivares de soja, cujas massas de 100 grãos variaram de 16,2 a 23,0 g e Shen et al. (1991) verificaram, em 9 variedades de soja, massas de 8,7 a 41,3 g em 100 grãos.

Na produção industrial de tofu, grãos maiores de soja são preferíveis a grãos menores, entretanto não há nenhum estudo que comprove que o tamanho dos grãos influencia na qualidade e rendimento do tofu; apenas é descrito que a quantidade de casca influencia de forma negativa no rendimento e qualidade do tofu e sua quantidade em grãos menores é superior a grãos maiores.

5.2 RENDIMENTO DO EHS E TOFU

Para preparar os EHS e tofus foram utilizados, 150 g de grãos de soja e 1,0 L de água deionizada. Foi verificado que não houve diferença entre os rendimentos dos EHS e tofus das três cultivares (Tabela 2) e que o tamanho dos grãos não influenciou nos rendimentos dos tofus; estes resultados concordam com os propostos por Shen et al. (1991), Wang et al. (1983) e Wang & Chang (1995).

Tabela 2 – Rendimentos de EHS e tofus produzidos a partir das cultivares analisadas*

ETAPA	ORGÂNICA	BRS 213	BRS 267
GRÃOS (g)	150	150	150
GRÃOS HIDRATADOS (g)**	335,0 ± 2,2 ^c	387,6 ± 3,4 ^a	360,4 ± 4,7 ^b
SUSPENSÃO (g)	1282,7 ± 10,0 ^c	1340,0 ± 2,0 ^a	1306,3 ± 4,5 ^b
RENDIMENTO EHS (mL)	931,7 ± 10,4 ^a	921,7 ± 12,6 ^a	928,3 ± 12,6 ^a
RENDIMENTO TOFU (g)***	280,5 ± 15,1 ^a	280,8 ± 8,38 ^a	280,4 ± 25,1 ^a

*Valores médios de três determinações.

**Massa obtida após 16 horas de hidratação dos grãos.

*** Rendimento obtido a partir de 800 g de EHS.

As letras minúsculas na mesma linha indicam diferença significativa (Tukey, $p < 0,05$).

Durante o processo de produção de tofu, existe a etapa em que se realiza a filtragem da suspensão, obtendo-se então o EHS e o okara (cascas e materiais insolúveis). Analisando os resultados da tabela 2 é possível determinar a quantidade de okara obtida de cada cultivar calculando a diferença entre a quantidade de suspensão e EHS. Deste modo foi verificado que a cultivar BRS 213 apresentou a maior quantidade de okara (418,3 g), seguida da cultivar BRS 267 (378,0 g) e da soja comercial ORGÂNICA (351,0 g). Através destes resultados pode-se confirmar que quanto menor o tamanho dos grãos, neste caso da BRS 213, maior será a quantidade de cascas e materiais insolúveis, os quais contribuem para o rendimento do okara, o que é indesejável para a indústria produtora de tofus, justificando a preferência por grãos maiores a menores. Desta maneira é possível afirmar que, em relação ao tamanho, os melhores grãos para se produzir um tofu seriam da variedade BRS 267 e da soja comercial ORGÂNICA.

Na completa hidratação (após 16 h), a quantidade de água absorvida pelos grãos foi de aproximadamente 2,4 vezes a massa original dos grãos, semelhante aos propostos por Cai et al. (1997) (2,2 vezes), Poysa & Woodrow (2002) (2,3 vezes) e Kao et al. (2003) (2,2 vezes). Foi observado que a massa dos 150 grãos após 16 horas de hidratação se diferenciou entre as três cultivares. A cultivar BRS 213 com a menor massa de cem grãos (10,5 g), apresentou a maior massa de grãos hidratados (387,6 g). A quantidade de água absorvida pelos grãos não influenciou nos rendimentos do tofus, concordando com Wang et al. (1983).

Cai et al. (1997) analisaram a diferença entre o método de preparo de tofu laboratorial e industrial. Foi observado que o tipo do método influenciou nos rendimentos e propriedades dos tofus. No método laboratorial, os autores verificaram rendimentos de 351 à 552 g/100 g soja, enquanto que no industrial os rendimentos ficaram na faixa de 347 à 438 g/100g soja. Os tofus obtidos a partir das cultivares BRS 213, BRS 267 e soja comercial ORGÂNICA foram produzidos em laboratório e apresentaram rendimentos de 280 g/800g EHS, que é inferior quando comparado com os obtidos pelo método laboratorial de Cai et al. (1997); isto pode ter ocorrido devido as diferenças no método de produção dos tofus. Enquanto que neste trabalho é realizada apenas uma etapa de filtração para obtenção do EHS, Cai et al. (1997) realizaram duas filtrações, ou seja, após a primeira os pesquisadores adicionaram água ao resíduo (okara) e realizaram uma nova extração. Em geral, os tofus obtidos pelo método industrial apresentam rendimentos menores em relação aos tofus de produção laboratorial, pois durante o processo industrial, alta pressão (101,4 e 152,1 g/cm²) é utilizada para a remoção da água quando comparada à pressão utilizada no método laboratorial (43,6 e 65,4 g/cm²).

Os tofus obtidos das cultivares BRS 267, BRS 213 e da soja comercial ORGÂNICA podem ser classificados como tipo “firme”, de acordo com Liu (1997) e Murphy et al. (1997), pois o coagulante utilizado no preparo foi sulfato de cálcio e durante o processamento ocorreu a etapa de dessoragem, a qual não está presente nos tofus do tipo “soft” ou “kinugoshi”.

A escolha da concentração (0,4% baseado na quantidade de EHS utilizada para o preparo dos tofus) e tipo de coagulante (CaSO₄.2H₂O) para o preparo dos tofus das cultivares BRS 213, BRS 267 e soja comercial ORGÂNICA foi satisfatória. Prabhakaran et al. (2006) estudaram a influência do tipo e concentração de coagulante no rendimento e qualidade do tofu; os pesquisadores utilizaram diversos tipos de coagulantes, dentre os quais o CaSO₄.2H₂O nas concentrações de 0,4% e 0,5% baseadas na quantidade de EHS utilizada

para o preparo dos tofus, e verificaram que a concentração de 0,4% resultou num rendimento maior (232,5 g/500g EHS) quando comparado ao rendimento de 0,5% de sulfato de cálcio (225,4 g/500g EHS). Kao et al. (2003) também observaram que a melhor concentração de coagulante (CaSO₄) responsável por um maior rendimento foi de 0,4% (m/v).

5.3 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DA SOJA, EHS E TOFU

5.3.1 Determinação do Teor de Umidade, Cinzas, Proteínas

Os teores de umidade, cinzas e proteínas de cada cultivar e de seus respectivos produtos estão expressos na tabela 3. A umidade dos grãos da soja comercial ORGÂNICA se diferenciou das demais cultivares, apresentando o maior valor (10,7%). Wang et al. (1983) reportaram valores entre 7,7-8,2% em 10 cultivares analisadas, e Shen et al. (1991) verificaram, em 9 cultivares de soja, teores de umidade entre 7,1-11,9%. Cai et al. (1997) reportaram valores entre 6,2 % a 8,7% entre 13 variedades de soja norte-americanas.

Tabela 3 – Umidade, cinzas e proteínas no grão, EHS e tofu de cada cultivar analisada*

ANÁLISE		ORGÂNICA	BRS 213	BRS 267
UMIDADE ± DP (%)	Grão	10,7 ± 0,4 ^a	8,4 ± 0,1 ^b	8,5 ± 0,2 ^b
	EHS	91,5 ± 0,1 ^c	92,1 ± 0,1 ^a	91,7 ± 0,1 ^b
	Tofu	84,0 ± 0,9 ^a	84,9 ± 0,7 ^a	83,4 ± 0,7 ^a
CINZAS ± DP **	Grão	4,0 ± 0,1 ^c	4,9 ± 0,0 ^b	5,2 ± 0,1 ^a
	EHS	0,4 ± 0,0 ^b	0,4 ± 0,0 ^b	0,5 ± 0,0 ^a
	Tofu	0,7 ± 0,0 ^c	0,8 ± 0,0 ^b	0,9 ± 0,0 ^a
PROTEÍNAS ± DP**	Grão	36,4 ± 0,2 ^c	37,7 ± 0,1 ^b	42,6 ± 0,3 ^a
	EHS	4,1 ± 0,1 ^b	4,4 ± 0,3 ^{a,b}	4,5 ± 0,1 ^a
	Tofu	9,0 ± 0,7 ^a	8,7 ± 0,4 ^a	10,0 ± 0,6 ^a

* Valores médios obtidos de triplicatas com 3 repetições. ** g/100g em base úmida. Letras diferentes na mesma linha indicam diferença entre as cultivares (Tukey, p < 0,05).

As três cultivares apresentaram diferenças entre si em relação à umidade do EHS; no entanto, o teor de água dos tofus não apresentou diferença entre as cultivares (Tabela 3). Min et al. (2005) reportaram teores de umidade de 93,2-93,7% e 80,4-85,3% para EHS e tofus, respectivamente, produzidos a partir de 100 g de grãos de soja e 1,0 L de água deionizada. Os teores de umidade do EHS são maiores quando comparados as cultivares BRS 213, BRS 267 e soja comercial ORGÂNICA, pois Min et al. (2005) utilizaram menor quantidade de grãos (100 g) no preparo do EHS para a mesma quantidade de água (1,0 L) utilizada no preparo dos EHS deste trabalho (150 g em 1,0 L de água); já os conteúdos de sólidos totais dos tofus das variedades BRS 213, BRS 267 e soja comercial ORGÂNICA são similares aos propostos pelos autores. Ciabotti et al. (2006) verificaram para a cultivar BRS 213 um teor de umidade de 9,3%, já em relação aos seus produtos derivados, os autores observaram valores de 93,8% para o EHS e 83,5% para o tofus, semelhantes aos obtidos nesta pesquisa.

Os tofus produzidos no laboratório apresentaram teores de sólidos semelhantes ao comercial tipo “caseiro” (12,3%). Em relação aos industriais “soft” e “extra-soft”, cujos teores de sólidos foram de 11,7% e 9,7%, respectivamente, pode-se dizer que o método de preparo mecanizado tenha influenciado, produzindo tofus com teores de sólidos inferiores aos laboratoriais e comercial tipo “caseiro”. Estes resultados também foram reportados por Cai et al. (1997), em que os tofus obtidos pelo método industrial apresentaram teores de sólidos inferiores aos obtidos pelo método laboratorial (10,7-14,0% e 12,0-22,5%, respectivamente).

A variedade BRS 267 se diferenciou em relação ao conteúdo de cinzas das demais cultivares, tanto para o grão, EHS e tofu, apresentando os maiores valores 5,2; 0,5 e 0,9 g/100g (b.u); respectivamente (Tabela 3). Sun & Breene (1991) reportaram valores semelhantes em cinco variedades de grãos de soja (5,2-5,3% b.u). Shen et al. (1991) apresentaram resultados similares em relação ao teor de cinzas presentes em grãos (4,3 - 5,1% b.u), superiores em relação ao EHS (0,5-0,6% b.u) e inferiores em relação aos tofus (0,47 - 0,49% b.u) de 9 cultivares de soja. Estas diferenças devem-se principalmente ao diferente método de preparo de EHS e tofu utilizado pelos autores. Ciabotti et al. (2006) observaram na cultivar BRS 213 teores menores de cinzas nos grãos (3,84% b.u) e EHS (0,36% b.u), já em relação ao tofu, a quantidade foi semelhante (0,76 % b.u).

Os teores de cinzas dos EHS das cultivares BRS 213 (5,4% b.s) e BRS 267 (5,9% b.s), produzidos no laboratório, estão de acordo com os resultados obtidos por Cai et al. (1997), os quais observaram que em escala laboratorial, os EHS apresentaram maiores teores

de cinzas (5,4 – 6,4% b.s) quando comparados aos preparados em escala industrial (4,9 – 6,2% b.s), devido aos diferentes processos de extração, pois no processo laboratorial a razão água:grão foi de 8:1, enquanto que no processo industrial a razão foi de 6:1.

O conteúdo protéico dos grãos apresentou diferença entre as variedades ($p < 0,05$). A cultivar BRS 267 apresentou o maior teor protéico (42,6% b.u), no entanto, o teor presente no tofu não apresentou diferença com os demais tratamentos. O teor protéico dos EHS obtido a partir da soja comercial ORGÂNICA e cultivares BRS 213 e BRS 267, 4,1; 4,4 e 4,5 % b.u, respectivamente, aproximaram-se aos resultados propostos por Shen et al. (1991) (4,8-5,7 % b.u). Ciabotti et al. (2006) reportaram para a cultivar BRS 213 teores de proteínas para o grão (33,3 % b.u), EHS (3,3 % b.u) e tofu (9,5 % b.u) semelhantes aos obtidos neste trabalho.

Os teores protéicos dos EHS da cultivar BRS 213 e da soja comercial ORGÂNICA, 57,5% e 56,4% b.s, respectivamente, se aproximaram aos valores obtidos por Cai et al. (1997) em produção laboratorial (51,4%, b.s) e Shen et al. (1991) (49,2-56,2% b.s).

Em relação aos teores protéicos dos tofus comerciais tipo “soft”, “extra-soft” e tipo “caseiro”, 58,4%, 57,2% e 59,0% (b.s), respectivamente, foram semelhantes aos produzidos em laboratório a partir das cultivares BRS 267, BRS 213 e da soja comercial ORGÂNICA, 60,6%, 57,5% e 56,4%, respectivamente; ou seja, em relação ao conteúdo de proteínas, o método laboratorial se mostrou satisfatório.

O conteúdo protéico dos grãos apresentou uma correlação positiva ($r = 0,78$; $p < 0,05$) com o conteúdo protéico dos tofus e não influenciou nos rendimentos dos tofus, concordando com os resultados propostos por Wang et al. (1983); embora os dados de três cultivares não sejam suficientes para confirmar esta correlação. Min et al. (2005) e Mujoo et al. (2003) também observaram que o teor protéico dos grãos não influenciou no rendimento do tofu.

5.3.2 Determinação de Minerais nos Grãos, EHS e Tofu

A soja comercial ORGÂNICA e as cultivares BRS 213 e BRS 267 apresentaram diferenças em relação ao conteúdo de cálcio dos grãos; o teor de cálcio presente nos grãos da soja comercial ORGÂNICA foi o menor (0,17 g/100g b.s) em relação as cultivares BRS 213 (0,26 g/100g b.s) e BRS 267 (0,24 g/100g b.s) (Tabela 4). Shen et al.

(1991) reportaram valores semelhantes para grãos de diferentes cultivares (0,18 - 0,21 g/100g b.s), assim como Sun & Breene (1991) (0,24 - 0,27 g/100g b.s), Massey et al. (2005) (0,18 g/100g b.u) e Cai et al. (1997) (0,19 - 0,27 g/100g b.s).

Os EHS de cada cultivar analisada apresentaram diferenças entre si em relação ao teor de cálcio. O EHS da soja comercial ORGÂNICA apresentou o menor teor de cálcio (0,14 g/100g b.s) quando comparado às demais cultivares (0,18 e 0,19 g/100g b.s para BRS 213 e BRS 267, respectivamente) (Tabela 4). Estes resultados se aproximam aos propostos por Shen et al. (1991) (0,13 - 0,19 g/100g b.s). Em relação aos teores de cálcio dos tofus obtidos neste trabalho, foram observados valores superiores (0,84, 1,07 e 1,14 g/100g b.s) aos teores de cálcio propostos por Ciabotti et al. (2006) (0,48 e 0,51 g/100g b.s), pois os autores utilizaram como coagulante a glucona-delta-lactona para a produção dos tofus, enquanto que no presente trabalho foi utilizado como coagulante o sulfato de cálcio, logo é evidente que se tenha uma quantidade de cálcio maior devido a adição deste íon (Ca^{2+}).

Tabela 4 – Distribuição de minerais nos grãos de cada cultivar analisada e de seus respectivos produtos*

CULTIVAR		Ca**	Mg**	K**	Na**	Fe**
ORGÂNICA	Grão	170,8 ± 3,9 ^c	215,6 ± 3,9 ^a	1903,7 ± 0,0 ^b	36,4 ± 0,8 ^a	10,2 ± 0,9 ^a
	EHS	141,2 ± 0,0 ^c	235,3 ± 0,0 ^a	1882,4 ± 0,0 ^a	10,8 ± 0,3 ^a	5,7 ± 0,2 ^b
	Tofu	843,8 ± 0,0 ^b	143,8 ± 16,5 ^a	2500,0 ± 0,0 ^a	235,9 ± 2,2 ^a	6,2 ± 0,5 ^b
BRS 213	Grão	262,0 ± 0,0 ^a	207,4 ± 0,0 ^b	1965,1 ± 0,0 ^a	36,8 ± 1,8 ^a	9,8 ± 0,1 ^a
	EHS	181,4 ± 7,3 ^b	244,7 ± 7,3 ^a	1983,0 ± 73,0 ^a	11,2 ± 1,3 ^a	7,1 ± 0,1 ^a
	Tofu	1142,4 ± 70,2 ^a	158,9 ± 28,1 ^a	1986,8 ± 0,0 ^b	241,7 ± 3,3 ^a	8,6 ± 0,4 ^a
BRS 267	Grão	244,1 ± 6,3 ^b	193,1 ± 3,2 ^c	1857,9 ± 0,0 ^c	36,1 ± 0,9 ^a	9,2 ± 0,5 ^a
	EHS	192,8 ± 0,0 ^a	216,9 ± 0,0 ^b	1967,9 ± 69,6 ^a	10,6 ± 1,2 ^a	7,2 ± 0,0 ^a
	Tofu	1069,3 ± 63,9 ^a	144,6 ± 10,4 ^a	1807,2 ± 0,0 ^c	231,9 ± 8,5 ^a	9,8 ± 0,1 ^a

* Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença entre as cultivares em relação ao grão, EHS e tofu (Tukey, $p < 0,05$). ** mg/100g em base seca.

A cultivar BRS 267 se diferenciou das demais em relação ao teor de magnésio presente nos EHS (Tabela 4). Os teores de magnésio dos grãos da soja comercial ORGÂNICA (0,22 g/100g b.s) e BRS 213 (0,21 g/100g b.s) se aproximam aos valores

reportados por Shen et al. (1991) (0,21 e 0,23 g/100g b.s) e Cai et al. (1998) (0,23 e 0,24 g/100g b.s).

As cultivares BRS 213, BRS 267 e a soja comercial ORGÂNICA se diferenciaram em relação ao conteúdo de potássio presente nos grãos e nos tofus (Tabela 4). Os teores de potássio dos grãos (1,90, 1,97 e 1,86 g/100g b.s) são semelhantes aos reportados por Sun & Breene (1991) (1,95 - 2,04 g/100g b.s). Ciabotti et al. (2006) observaram para grãos da cultivar BRS 213 um teor de 2,09 g/100g b.s. Em relação aos EHS e tofus desta mesma cultivar, os autores verificaram teores de 2,30 e 0,79 g/100g b.s, respectivamente, os quais são inferiores aos resultados obtidos neste trabalho (1,99 e 1,99 g/100g b.s).

A análise de sódio dos grãos, EHS e tofus das cultivares BRS 213, BRS 267 e soja comercial ORGÂNICA mostrou que não há diferenças entre as cultivares tanto para os grãos como para os seus derivados (Tabela 4). Em relação ao teor de ferro, apenas o EHS e tofu da soja comercial ORGÂNICA apresentaram diferenças entre as cultivares analisadas (Tabela 4). Ma et al. (2005) analisaram teores de ferro em tofus comerciais e observaram valores de 3,42, 6,98 e 9,42 mg/100g b.s, semelhantes aos propostos neste trabalho (6,2, 8,6 e 9,8 mg/100g b.s). Ciabotti et al. (2006) reportaram teores de ferro para grãos e tofu da cultivar BRS 213, 8,70 e 7,33 mg/100g b.s, respectivamente, os quais se aproximam aos resultados propostos da mesma cultivar neste trabalho (9,8 e 8,6 mg/100g b.s).

5.3.3 Determinação de P total, P fítico e AF

As cultivares BRS 213, BRS 267 e soja comercial ORGÂNICA apresentaram diferenças entre si em relação ao teor de P total presente nos grãos (Tabela 5). A cultivar BRS 267 apresentou a maior quantidade de P total (0,77 g/100g b.s), seguida da BRS 213 (0,66 g/100g b.s) e soja comercial ORGÂNICA (0,56 g/100g b.s). O teor de P total da soja comercial ORGÂNICA se aproxima aos valores reportados por Sun & Breene (1991) (0,53, 0,54 e 0,57 g/100g b.s). Shen et al. (1991) reportaram valores semelhantes de P total em diferentes cultivares de soja (0,55 - 0,71 g/100g b.s). Ciabotti et al. (2006) observaram para grãos da cultivar BRS 213 teor de P total de 0,72 g/100g b.s).

Tabela 5 – P total, P fítico e AF no grão, EHS e tofu de cada cultivar analisada*

ANÁLISE		ORGÂNICA	BRS 213	BRS 267
P total ± DP **	Grão	0,54 ± 0,01 ^c	0,66 ± 0,00 ^b	0,77 ± 0,00 ^a
	EHS	0,65 ± 0,00 ^b	0,80 ± 0,03 ^a	0,87 ± 0,04 ^a
	Tofu	0,74 ± 0,03 ^b	1,01 ± 0,07 ^a	1,10 ± 0,02 ^a
P fítico ± DP **	Grão	0,33 ± 0,01 ^b	0,34 ± 0,01 ^b	0,46 ± 0,01 ^a
	EHS	0,21 ± 0,01 ^c	0,32 ± 0,01 ^b	0,48 ± 0,02 ^a
	Tofu	0,24 ± 0,01 ^c	0,41 ± 0,01 ^b	0,62 ± 0,01 ^a
AF **	Grão	1,16 ^b	1,22 ^b	1,63 ^a
	EHS	0,73 ^c	1,13 ^b	1,68 ^a
	Tofu	0,86 ^c	1,44 ^b	2,21 ^a

*Valores médios ± DP obtidos de triplicatas com 3 repetições. ** g/100g em base seca. Letras diferentes na mesma linha indicam diferença entre as cultivares (Tukey, $p < 0,05$).

Em relação aos produtos derivados, a soja comercial ORGÂNICA se diferenciou das demais cultivares em relação ao teor de fósforo do EHS e tofu (0,65 e 0,74 g/100g b.s, respectivamente). Os teores de P total dos EHS (0,65, 0,80 e 0,87 g/100g b.s) se aproximaram dos resultados propostos por Shen et al. (1991) (0,67 - 0,84 g/100g b.s). A quantidade de P total do tofu da soja comercial ORGÂNICA (0,65 g/100g b.s) foi semelhante aos resultados propostos por Shen et al. (0,63 - 0,67 g/100g b.s).

Os teores de P fítico e conseqüentemente de AF presente nos grãos da variedade BRS 213 e da soja comercial ORGÂNICA não se diferenciaram entre si. A cultivar BRS 267 se diferenciou das demais apresentando o maior teor de AF (1,63 g/100g b.s) (Tabela 5). Adeyeye et al. (2000) verificaram um teor de AF em grãos (1,57 g/100 g b.s) semelhante ao obtido pela cultivar BRS 267 (1,63 g/100 g, b.s). Massey et al. (2005) analisaram quarenta produtos a base de soja (marcas comerciais), dentre os quais a soja (grão), tofu e EHS. Em relação ao grão, foi observado que as duas marcas comerciais analisadas (C&W e Red Mill) apresentaram grande diferença entre si (0,2 e 1,3 g/100g b.u, respectivamente).

Anderson & Wolf (1995) reportaram teores de AF entre 1,0-1,5 g/100g (b.s), em 15 variedades de soja e 1,4-2,3 g/100g (b.s) em 38 variedades de soja. Wang & Chang (1995) observaram teores de 1,3 g/100g e 1,2 g/100g (b.s) em grãos maiores e

menores, respectivamente, da cultivar Proto. Beléia et al. (1990) analisaram a distribuição de fósforo e AF durante o processamento do EHS e verificaram um teor de 1,5 g/100g (b.s) de AF nos grãos de soja da variedade Davis-EMBRAPA.

Em relação ao conteúdo de AF dos EHS e tofu, houve diferença entre todas as cultivares analisadas (Tabela 5). O EHS da cultivar BRS 267 apresentou o maior teor de AF (1,68 g /100 g b.s), seguido da BRS 213 (1,13 g/100g b.s) e ORGÂNICA (0,73 g /100g b.s). Os índices de recuperação de AF no EHS a partir de 150 g de grãos foram de 57,5%, 49,6% e 36,0% (Tabela 6) para as cultivares BRS 267, BRS 213 e a soja comercial ORGÂNICA, respectivamente.

Massey et al. (2005) verificaram em duas marcas comerciais de EHS, teores de fitato com grande diferença, Pacific Soy (0,8 mg/g b.u) e Westsoy (1,33 mg/g b.u). Beléia et al. (1990) observaram um teor de 1,06 mg/g (b.s) para o EHS analisado.

Os teores de AF nos tofus seguiram o mesmo comportamento dos EHS (Tabela 5). O tofu da variedade BRS 267 apresentou o maior teor de AF (2,21 g/100g, b.s), seguido da variedade BRS 213 (1,44 g/100 b.s) e da soja comercial ORGÂNICA (0,86 g/100g b.s). A quantidade de AF presente no tofu está relacionada com o teor de recuperação deste ácido no tofu a partir de 800 g de EHS, e foi verificado que a cultivar BRS 267 apresentou a maior taxa de recuperação (92,2%).

Em tofus comerciais, com o mesmo tipo de coagulante (sulfato de cálcio), Massey et al. (2005) verificaram teores entre 0,9 mg/g e 1,0 mg/g (b.u) e Poneros & Erdman (1988) de 16,0 mg/g (b.u). Anderson & Wolf (1995) reportaram teores de AF entre 15-25 mg/g (b.s) e 19,6-28,8 mg/g (b.s) em diferentes tipos de tofus e Thompson & Erdman (1982) reportaram o teor de 1,96% (b.s). A partir destes resultados é possível afirmar que existe uma grande diferença entre os conteúdos de AF em tofus devido ao tipo de cultivar e métodos de produção de tofu, pois a taxa de recuperação de AF dos grãos para o tofu depende de como é desenvolvido o método de preparo.

Houve uma correlação entre o conteúdo de P fítico dos grãos e EHS ($r=0,89$; $p<0,05$), grãos e tofu ($r = 0,93$; $p<0,05$) e EHS e tofu ($r = 0,99$; $p<0,05$), observado também por Hou & Chang (2003), em que verificaram correlação positiva (de $r = 0,93$; $p<0,05$) do conteúdo de ácido fítico entre grãos de soja e EHS, e grãos de soja e tofu ($r = 0,93$; $p<0,05$).

Os teores de AF dos tofus comerciais do tipo “soft”, “extra-soft” e “caseiro”, 0,77%, 0,77% e 0,75%, respectivamente, foram considerados baixos em relação aos tofus produzidos no laboratório; isto pode estar relacionado com o tipo de cultivar

utilizada para o preparo dos tofus e também a maneira como são preparados, pois se parte do AF é perdido durante o processo de produção, significa que a taxa de recuperação deste ácido será baixa.

O ácido fítico, como já citado, apresenta a capacidade de quelar minerais como cálcio e ferro, diminuindo a biodisponibilidade destes no organismo. Através de cálculos de razões molares ($\text{mg AF:PM AF} / \text{mg Ca:PM Ca}$ e $\text{mg AF:PM AF} / \text{mg Fe:PM Fe}$) é possível determinar os valores críticos que indicam a biodisponibilidade destes íons no organismo. De acordo com Ma et al. (2005), valores superiores a 0,24 e 1,0, para cálcio e ferro respectivamente, indicam a possibilidade destes minerais não estarem disponíveis para absorção pelo organismo. Deste modo foram calculadas as razões molares de AF/Ca e AF/Fe para verificar a biodisponibilidade destes minerais presentes nos grãos, EHS e tofus. Foram observados valores superiores ao valor crítico ($> 0,24$) para todos os grãos de soja e EHS das cultivares analisadas. Apenas os tofus apresentaram razões molares inferiores (0,1; 0,0 e 0,1 para tofu da soja comercial ORGÂNICA e das cultivares BRS 213 e BRS 267, respectivamente) ao valor crítico (0,24), indicando a possibilidade do cálcio estar disponível para absorção no organismo. A diferença de biodisponibilidade do íon cálcio entre grãos, EHS e tofus é devido à adição do coagulante na forma de sal ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) durante o preparo dos tofus aumentando a quantidade de cálcio em relação ao teor de AF. Em relação à biodisponibilidade do Fe, tanto para os grãos, EHS e tofus, os valores das razões molares foram superiores ao valor crítico (1,0) indicando que, provavelmente, o ferro não está disponível para a absorção pelo organismo.

5.3.4 Recuperação de Sólidos Totais, Proteínas e P fítico

A partir de 150 g de grãos e 800 g de EHS foram calculados teores de recuperação de sólidos, proteínas e P fítico dos EHS e tofus, respectivamente. O EHS da soja comercial ORGÂNICA apresentou o maior teor de recuperação de sólidos totais (59,2%), enquanto que para os tofus, o maior teor foi da variedade BRS 267 (72,6%) (Tabela 6). Kao et al. (2003) reportaram valores de sólidos recuperados do tofu em relação aos grãos de soja entre 45,9% à 55,2%.

Tabela 6 – Recuperação de P fítico, proteínas e sólidos totais nos EHS e tofus produzidos a partir das cultivares de soja analisadas*

CULTIVAR		Sólidos Totais	Proteínas	P fítico
		(%) recuperação	(%) recuperação	(%) recuperação
ORGÂNICA	EHS	59,2	69,4	36,0
	Tofu	65,6	77,9	84,9
BRS 213	EHS	53,1	72,4	49,6
	Tofu	67,1	72,7	85,2
BRS 267	EHS	55,8	67,1	57,5
	Tofu	72,6	78,2	92,2

* % recuperação a partir de 150 g de grãos e 800 g de EHS.

Os teores de proteína recuperados durante o processo de obtenção do EHS das variedades BRS 213, BRS 267 e soja comercial ORGÂNICA foram 72,4%, 67,1% e 69,4%, respectivamente. Estes resultados concordam com os propostos por Wang et al. (1983), em que dez cultivares de soja (cinco norte-americana e cinco japonesa) foram analisadas e os teores de proteína recuperados nas variedades norte-americanas e japonesas se encontraram na faixa de 68,3-72,0%.

Em relação aos tofus é possível observar que, os teores de proteína recuperados durante o processo são semelhantes entre as cultivares e se encontraram na faixa de 72,7-78,2%, superiores aos resultados apresentados por Kao et al. (2003), em que foram analisados sete tofus coagulados com diferentes concentrações de coagulantes, e os teores de proteína recuperados foram de 62,6% a 70,9%. Wang et al. (1983) reportaram valores em que a taxa de proteína recuperada dos tofus produzidos a partir de 400 mL de EHS e 50 g de grãos das variedades norte-americanas e japonesas se encontraram na faixa de 63,1-69,8% e 65,4-68,9%, respectivamente; estes valores também estão abaixo da quantidade de proteínas recuperadas nos tofus das cultivares BRS 213, BRS 267 e soja comercial ORGÂNICA. Deste modo é possível afirmar que, o processo de coagulação transferiu eficientemente as proteínas solúveis do EHS para o tofu.

Os teores de P fítico recuperados nos tofus preparados a partir dos grãos da cultivar BRS 213 e soja comercial ORGÂNICA (85,2% e 84,9%, respectivamente) foram similares aos apresentados por Hou & Chang (2003). Os pesquisadores estudaram a recuperação de fitato no tofu preparados a partir da cultivar Proto estocada em três diferentes

condições de temperatura e umidade, e quando analisado nas condições intermediárias (57%UR e 20°C), observaram uma recuperação de fitato dos grãos para o tofu na faixa de 79% a 83% (b.s).

Em relação à recuperação de P fítico do EHS, Hou & Chang (2003) observaram valores superiores de recuperação de AF (83% a 88%, b.s) quando comparado aos obtidos neste trabalho (Tabela 6). Considerando a probabilidade do ácido fítico ter ação benéfica no organismo pode-se afirmar que, quanto maior o índice de transferência do ácido presente nos grãos melhor será o produto final.

5.3.5 Propriedades Mecânicas do Tofu

As características texturais do tofu são importantes para a qualidade e aceitabilidade do produto. Deste modo, foram avaliados parâmetros de dureza, mastigabilidade, elasticidade e coesividade. Dentre estes parâmetros, a dureza e mastigabilidade foram influenciadas pela cultivar de soja (Tabela 7).

Tabela 7 – Propriedades mecânicas dos tofus*

PROPRIEDADE MECÂNICA	ORGÂNICA	BRS 213	BRS 267
DUREZA (N)	4,23 ± 0,20 ^a	2,87 ± 0,43 ^b	4,48 ± 0,63 ^a
MASTIGABILIDADE	2,39 ± 0,14 ^a	1,60 ± 0,25 ^b	2,55 ± 0,49 ^a
ELASTICIDADE	0,90 ± 0,02 ^a	0,90 ± 0,00 ^a	0,90 ± 0,00 ^a
COESIVIDADE	0,63 ± 0,01 ^a	0,62 ± 0,01 ^a	0,63 ± 0,01 ^a

* Valores médios de triplicatas com três repetições.

Letras diferentes na mesma linha indicam diferença entre as cultivares (Tukey, p < 0,05).

A dureza apresentou uma correlação negativa com os teores de umidade dos tofus e EHS (-0,77 e - 0,78; p<0,05, respectivamente), assim como proposto por Min et al. (2005), Wang et al. (1983) e Shih et al. (1997). O teor protéico presente nos EHS não influenciou na dureza do tofu, assim como foi reportado por Min et al. (2005), no entanto,

Shen et al. (1991) verificaram uma correlação positiva entre o teor protéico do EHS e a dureza do tofu.

O tofu da variedade BRS 213, caracterizada pelo seu tamanho de grãos pequenos, apresentou a menor dureza (2,87 N) (Tabela 7), assim como observado por Wang et al. (1983), onde o tofu da cultivar Weber, que apresentou o menor tamanho de grãos (15,24 g/100 grãos) dentre dez cultivares analisadas (15,24 – 24,7 g/100 grãos), apresentou também o menor valor de dureza (2,75 N) dentre os dez tofus produzidos (2,75 – 4,51 N). Apesar de Wang et al. (1983) utilizarem uma pressão maior (10 g/cm²) durante a produção de tofu comparada a deste trabalho (6,49 g/cm²), os valores apresentados pela cultivar BRS 267 (4,48 N) e soja comercial ORGÂNICA (4,23 N) se aproximaram aos resultados propostos pelos autores, pois no estudo desenvolvido pelos pesquisadores o tempo de compressão foi menor (1 h) comparado a deste trabalho (2 h). Os valores apresentados pela cultivar BRS 267 (4,48 N) e soja comercial ORGÂNICA (4,23 N) se aproximaram também ao valor obtido por Prabhakaran et al. (2005) (4,49 N) quando utilizaram o mesmo tipo e concentração de coagulante.

A mastigabilidade do tofu teve uma correlação negativa com a umidade do EHS ($r = -0,85$; $p < 0,05$). Os valores de mastigabilidade dos tofus da cultivar BRS 267 (2,55) e da soja comercial ORGÂNICA (2,39) se aproximam dos valores 2,54 e 2,39 obtidos por Prabhakaran et al. (2006), nos tofus preparados com CaSO₄ nas concentrações de 0,4 % e 0,5% (m/m em relação a 500 g de EHS utilizada no preparo dos tofus); já em relação aos valores de coesividade e elasticidade, todos se aproximaram aos valores obtidos por Prabhakaran et al. (2006) (0,64 e 0,35 para coesividade e 0,97 para elasticidade). Através da análise destes resultados é possível observar que a mastigabilidade do tofu da cultivar BRS 213 foi baixo (1,60) quando comparado aos demais; isto ocorreu devido a dureza do tofu ter sido inferior aos demais, já que a mastigabilidade é resultante do produto da dureza X elasticidade X coesividade, e estes dois últimos parâmetros não apresentaram diferenças entre as cultivares.

Foi observado que não houve correlação entre dureza e quantidade de AF presente nos grãos; estes resultados concordam com os propostos por Hou & Chang (2003), onde verificaram que a adição de fitato (4 - 50 % em relação à quantidade inicial de 1356 mg) ao EHS não influenciou na dureza do tofu; no entanto, Ishiguro et al. (2006) verificaram que o tofu se tornava mais macio com o aumento na concentração de fitato; porém este resultado é válido apenas quando a concentração do coagulante utilizada é inferior a 20mM, acima desta concentração, não foi verificado nenhuma influência do AF na textura do tofu (Figura 3),

concordando com Hou & Chang (2003). Isto pode ser explicado pelo fato do AF formar complexos com os íons Ca^{2+} capazes de absorver água resultando numa textura mais macia, porém quando a quantidade de Ca^{2+} é muito maior que a concentração de AF, não há fitato suficiente para formar estes complexos; deste modo é possível observar a influência da concentração do coagulante nos efeitos do AF sobre as propriedades texturais do tofu, confirmando os resultados propostos por Ishiguro et al. (2006).

Tanto nos estudos desenvolvidos por Hou & Chang (2003) e Ishiguro et al. (2006) uma quantidade extra de fitato foi adicionada ao EHS, o que pode ter influenciado a textura do tofu. No presente estudo não foi adicionada quantidade extra de AF, e sim avaliado a influência do AF presente naturalmente nos grãos na textura do tofu e deste modo, a quantidade de AF presente nos grãos não foi suficiente para influenciar na dureza do tofu. Além disso, a quantidade de coagulante utilizada no preparo dos tofus deste trabalho foi de 21 mM, ou seja, se encontra na faixa em que o AF não influencia nas propriedades de textura do tofu segundo Ishiguro et al. (2006), mostrando que os efeitos do AF na textura do tofu dependem da concentração do coagulante.

Os tofus comerciais tipo “soft”, “extra-soft” e “caseiro”, apresentaram valores de dureza (5,60 N, 4,59 N e 5,67 N, respectivamente) superiores aos tofus produzidos no laboratório. A diferença entre os comerciais e laboratoriais deve-se principalmente as condições de preparo dos tofus (por exemplo, tipo e concentração de coagulante, intensidade e tempo de prensagem do tofu, teor protéico), que são fundamentais nas características finais do produto. Cai et al. (1997) reportaram resultados semelhantes ao compararem a dureza de tofus preparados por método laboratorial e industrial e verificaram que no primeiro método os valores de dureza foram inferiores (14,3 N a 26,3 N) ao método industrial (20,2 N a 30,2 N). Estas diferenças de dureza entre os tofus produzidos no laboratório e os comerciais e também para os valores reportados por Cai et al. (1997) ocorrem devido a alta pressão utilizada no método industrial para a remoção do soro.

Comparando os resultados de dureza dos tofus produzidos em laboratório deste trabalho com os propostos por Cai et al. (1997) é possível observar que estes últimos apresentam valores de dureza bastante superiores aos apresentados neste trabalho, que pode ter ocorrido devido às subseqüentes prensagens (21,8 g/cm² durante 10 minutos; 43,6 g/cm² durante 10 minutos e 65,4 g/cm² durante 15 minutos) as quais não foram aplicadas nos tofus produzidos com as cultivares BRS 213, BRS 267 e soja comercial ORGÂNICA (6,49 g/cm² durante 2 horas).

5.3.6 Determinação de Cor do Tofu

A cor é uma característica determinante na qualidade do tofu, e para ter boa aceitabilidade, um tofu deverá apresentar cor branca ou amarela clara, o que irá depender da coloração do grão e de seu hilo, sendo preferível o uso de grãos claros com hilos claros na produção de tofu (LIU, 1997). A cultivar BRS 267 e a soja comercial ORGÂNICA apresentaram grãos claros com hilos claros, quando comparadas a cultivar BRS 213.

Tabela 8 – Parâmetros colorimétricos CIE LAB para tofu*

CULTIVAR	L*	a*	b*
ORGÂNICA	87,8 ± 0,9 ^a	-1,0 ± 0,4 ^a	14,1 ± 0,8 ^c
BRS 213	85,0 ± 0,5 ^b	0,3 ± 0,2 ^b	21,7 ± 1,9 ^a
BRS 267	88,0 ± 0,7 ^a	-1,1 ± 0,3 ^a	16,2 ± 0,4 ^b

* Valores médios de triplicatas com três repetições.

Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença entre as cultivares (Tukey, $p < 0,05$).

O tofu produzido a partir da cultivar BRS 213 se diferenciou dos demais em todos os parâmetros de cor (Tabela 8), apresentando uma cor amarelada (+b*) mais intensa em relação aos demais, e menor luminosidade (L*). Estas diferenças podem ser explicadas pelo fato do hilo desta variedade de soja ser mais escuro que os demais. Os tofus da variedade BRS 267 e ORGÂNICA, apresentaram diferenças apenas em relação ao valor de b* (16,2 e 14,1, respectivamente).

No & Meyers (2004) compararam tofus comerciais e verificaram valores de L* entre 88,9 a 89,9 e b* entre 15,3 a 15,5, os quais se aproximam aos valores de L* e b* dos tofus da soja ORGÂNICA (87,8 e 14,1, respectivamente) e da variedade BRS 267 (88,0 e 16,2, respectivamente).

Prabhakaran et al. (2006) determinaram os parâmetros de cor em 13 tofus, coagulados com diferentes concentrações de coagulantes. Nos tofus produzidos com sulfato de cálcio (o mesmo utilizado neste estudo), os valores de L* (85,7 e 85,8), se aproximaram ao valor da BRS 213 (85,0). Em relação ao valor de b*, apenas a cultivar BRS 213 apresentou resultados semelhantes aos propostos pelos autores (24,4 e 24,9).

Noh et al. (2005) caracterizaram pelo sistema Hunter tofus com tonalidade amarelo claro (11,8 a 12,5) e valores de L (82,7 a 83,3) caracterizando uma alta luminosidade.

Em relação aos parâmetros de cor dos tofus analisados e comparando com os parâmetros de qualidade estabelecidos por Noh et al. (2005), é possível afirmar que a cultivar BRS 213 não favorece as características ideais para um tofu, pois apresenta valor de b* muito elevado (21,7).

5.4 ROTULAGEM NUTRICIONAL

A partir das análises realizadas com os produtos derivados de soja foi possível realizar a rotulagem dos produtos de acordo com as normas de rotulagem de alimentos, as resoluções RDC nº 359, de 23 de dezembro de 2003 (BRASIL, 2003) e RDC nº 360, de 23 de dezembro de 2003 (BRASIL, 2003a), da ANVISA. Os teores de gorduras totais, gorduras saturadas e gorduras trans foram obtidos através de médias de valores de produtos comerciais semelhantes aos obtidos neste trabalho, pois a resolução RDC nº 360 permite uma tolerância de + ou - 20% com relação aos valores de nutrientes declarados nos rótulos. A seguir serão apresentados os rótulos dos EHS e tofus obtidos da soja comercial ORGÂNICA e das cultivares BRS 213 e BRS 267 (Figuras 5 a 10):

INFORMAÇÃO NUTRICIONAL		
Porção de 30 g (1 fatia)		
Quantidade por porção		% VD (*)
Valor Energético	25 kcal = 98 kJ	1 %
Carboidratos	0,6 g	0 %
Proteínas	2,7 g	3 %
Gorduras Totais	1,3	2 %
Gorduras Saturadas	0 g	0 %
Gorduras Trans	0 g	**
Colesterol	0 g	0 %
Fibra Alimentar	0 g	0 %
Cálcio	41 mg	4 %
Ferro	0,3 mg	2 %
Sódio	11 mg	1 %
Fósforo	35 mg	5 %
Magnésio	6,9 mg	3 %

* Valores Diários de Referência com base em uma dieta de 2.000 kcal ou 8.400 kJ.

Seus valores diários podem ser maiores ou menores dependendo de suas necessidades.

** VD não estabelecido

Figura 5 – Rótulo nutricional do tofu produzido a partir da soja comercial ORGÂNICA

INFORMAÇÃO NUTRICIONAL		
Porção de 200 ml (1 copo)		
Quantidade por porção		% VD (*)
Valor Energético	88 kcal = 351 kJ	4 %
Carboidratos	3,4 g	1 %
Proteínas	8,2 g	11 %
Gorduras Totais	4,6 g	8 %
Gorduras Saturadas	0 g	0 %
Gorduras Trans	0 g	**
Colesterol	0 g	0 %
Fibra Alimentar	0 g	0 %
Sódio	0 mg	0 %
Cálcio	24 mg	2 %
Ferro	0,9 mg	7 %
Fósforo	110 mg	16 %
Magnésio	40 mg	15 %

* Valores Diários de Referência com base em uma dieta de 2.000 kcal ou 8.400 kJ.

Seus valores diários podem ser maiores ou menores dependendo de suas necessidades.

** VD não estabelecido

Figura 6 – Rótulo nutricional do EHS produzido a partir da soja comercial ORGÂNICA

INFORMAÇÃO NUTRICIONAL		
Porção de 30 g (1 fatia)		
Quantidade por porção		% VD (*)
Valor Energético	23 kcal = 94 kJ	1 %
Carboidratos	0,4 g	0 %
Proteínas	2,6 g	3 %
Gorduras Totais	1,3 g	2 %
Gorduras Saturadas	0 g	0 %
Gorduras Trans	0 g	**
Colesterol	0 g	0 %
Fibra Alimentar	0 g	0 %
Cálcio	52 mg	5 %
Ferro	0,4 mg	3 %
Sódio	11 mg	1 %
Fósforo	46 mg	7 %
Magnésio	7,2 mg	3 %

* Valores Diários de Referência com base em uma dieta de 2.000 kcal ou 8.400 kJ.

Seus valores diários podem ser maiores ou menores dependendo de suas necessidades.

** VD não estabelecido

Figura 7 – Rótulo nutricional do tofu produzido a partir da cultivar BRS 213

INFORMAÇÃO NUTRICIONAL		
Porção de 200 ml (1 copo)		
Quantidade por porção		% VD (*)
Valor Energético	83 kcal = 332 kJ	4 %
Carboidratos	1,6 g	1 %
Proteínas	8,8 g	12 %
Gorduras Totais	4,6 g	8 %
Gorduras Saturadas	0 g	0 %
Gorduras Trans	0 g	**
Colesterol	0 g	0 %
Fibra Alimentar	0 g	0 %
Sódio	0 mg	0 %
Cálcio	29 mg	3 %
Ferro	1,1 mg	8 %
Fósforo	127 mg	18 %
Magnésio	39 mg	15 %

* Valores Diários de Referência com base em uma dieta de 2.000 kcal ou 8.400 kJ.

Seus valores diários podem ser maiores ou menores dependendo de suas necessidades.

** VD não estabelecido

Figura 8 – Rótulo nutricional do EHS produzido a partir da cultivar BRS 213

INFORMAÇÃO NUTRICIONAL		
Porção de 30 g (1 fatia)		
Quantidade por porção		% VD (*)
Valor Energético	25 kcal = 100 kJ	1 %
Carboidratos	0,5 g	0 %
Proteínas	3 g	4 %
Gorduras Totais	1,3 g	2 %
Gorduras Saturadas	0 g	0 %
Gorduras Trans	0 g	**
Colesterol	0 g	0 %
Fibra Alimentar	0 g	0 %
Sódio	12 mg	1 %
Cálcio	53 mg	5 %
Ferro	0,5 mg	3 %
Fósforo	55 mg	8 %
Magnésio	7,2 mg	3 %

* Valores Diários de Referência com base em uma dieta de 2.000 kcal ou 8.400 kJ.

Seus valores diários podem ser maiores ou menores dependendo de suas necessidades.

** VD não estabelecido

Figura 9 – Rótulo nutricional do tofu produzido a partir da cultivar BRS 267.

INFORMAÇÃO NUTRICIONAL		
Porção de 200 ml (1 copo)		
Quantidade por porção		% VD (*)
Valor Energético	85 kcal = 342 kJ	4 %
Carboidratos	2,0 g	0 %
Proteínas	9,0 g	6 %
Gorduras Totais	4,6 g	4 %
Gorduras Saturadas	0 g	0 %
Gorduras Trans	0 g	**
Colesterol	0 g	0 %
Fibra Alimentar	0 g	0 %
Sódio	0 mg	0 %
Cálcio	32 g	3 %
Ferro	1,2 mg	9 %
Fósforo	1,4 mg	21 %
Magnésio	36 mg	14 %

* Valores Diários de Referência com base em uma dieta de 2.000 kcal ou 8.400 kJ.

Seus valores diários podem ser maiores ou menores dependendo de suas necessidades.

** VD não estabelecido

Figura 10 – Rótulo nutricional do EHS produzido a partir da cultivar BRS 267.

6 CONCLUSÕES

A metodologia utilizada para a produção dos tofus e EHS foi satisfatória; os produtos obtidos apresentaram características semelhantes aos produtos comerciais. Durante o processo de obtenção dos EHS e tofus, os teores de recuperação de sólidos totais e proteínas a partir da soja e EHS, respectivamente, foram superiores a 50%. Os rendimentos em EHS e tofu foram semelhantes para as três cultivares.

A dureza dos tofus apresentou correlação negativa com os teores de água dos tofus e não foi influenciada pela quantidade de proteína dos EHS. Os teores de AF presentes nos grãos das cultivares BRS 213, BRS 267 e soja comercial ORGÂNICA não influenciaram na dureza dos tofus, pois seus efeitos estão relacionados com a concentração de coagulante utilizada. O teor médio de AF recuperado no processamento do tofu a partir do EHS foi 87%.

Durante o processamento dos derivados de soja houve um aumento no teor de cálcio do tofu em relação à quantidade presente no EHS, decorrente da adição de sulfato de cálcio como agente coagulante. Em relação ao teor de ferro dos grãos e derivados, há um provável efeito inibitório do AF na absorção destes íons.

A cultivar BRS 267 e soja comercial ORGÂNICA foram consideradas ideais para a produção de derivados de soja por terem grãos claros com hilos claros e tofus com tonalidade branco-bege claro, o que é desejado pelos consumidores. A produção de tofus a partir da cultivar BRS 213, grãos pequenos, não foi satisfatória, pois tinha maior quantidade de material insolúvel (cascas) e a cor escura dos hilos afetaram de forma negativa na coloração do produto final.

REFERÊNCIAS

ADEYEYE, E. I.; AROGUNDADE, L. A.; AKINTAYO, E. T.; AISIDA, O. A.; ALAO, P. A. Calcium, Zinc and Phytate Interrelationships in Some Foods of Major Consumption in Nigeria. **Food Chemistry**, v. 71, n. 4, p. 435-441, 2000.

AGRONIPPO. **Tofu**. Disponível em: <<http://www.tofu.com.br>>. Acesso em: 27 de agosto de 2006.

AHN, H. J.; KIM, J. H.; JO, C.; KIM, M. J.; BYUN, M. W. Comparison of Irradiated Phytic Acid and other Antioxidants for Antioxidant Activity. **Food Chemistry**, v. 88, n. 2, p. 173-178, 2004.

AHN, H. J.; KIM, J. H.; YOOK, H. S.; BYUN, M. W. Irradiation Effects on Free Radical Scavenging and Antioxidant Activity of Phytic Acid. **Journal of Food Science: Food Chemistry and Toxicology**, v. 68, n. 7, p. 2221-2224, 2003.

ANDERSON, R. L.; WOLF, W. J. Compositional Changes in Trypsin Inhibitors, Phytic Acid, Saponins and Isoflavones Related to Soybean Processing. **The Journal of Nutrition**, v. 125, n. 3, p. 581S-588S, 1995.

AOAC – ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 20 ed. Airlingtonn, 1998.

BEHRENS, J. H.; DA SILVA, M. A. A. P. Atitude do Consumidor em Relação à Soja e Produtos Derivados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 24, n. 3, p. 431-439, 2004.

BELÉIA A.; IDA, E. I.; LETHI, T. T. Distribuição de Fósforo e Ácido Fítico durante o Processamento de Extrato Hidrossolúvel de Soja. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, v. 33, n. 3, p. 623-629, 1990.

BRASIL. Resolução - RDC ANVISA, nº 359, de 23 de dezembro de 2003, aprova o **Regulamento Técnico de Porções de Alimentos Embalados para Fins de Rotulagem Nutricional**. Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br>>. Acesso em: 02 de Abril de 2007.

BRASIL. Resolução - RDC ANVISA, nº 360, de 23 de dezembro de 2003a, aprova o **Regulamento Técnico sobre Rotulagem Nutricional de Alimentos Embalados, tornando obrigatória a rotulagem nutricional**. Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br>>. Acesso em: 02 de Abril de 2007.

CAI, T. D.; CHANG, K. C.; SHIH, M. C.; HOU, H. J.; JI, M. Comparison of Bench and Production Scale Methods for Making Soymilk and Tofu from 13 Soybean Varieties. **Food Research International**, v. 30, n. 9, p. 659-668, 1997.

CHEN, P. S.; TORIBARA, T. Y.; WARNER, H. Microdetermination of Phosphorus. **Analytical Chemistry**, v. 28, n. 11, p. 1756-1758, 1956.

CIABOTTI, S.; BARCELLOS, M. F. P.; MANDARINO, J. M. C.; TARONE, A. G. Avaliações Químicas e Bioquímicas dos Grãos, Extratos e Tofus de Soja Comum e de Soja Livre de Lipoxigenase. **Ciênc. Agrotec.**, v. 30, n. 5, p. 920-929, 2006.

COSGROVE, D. J. The Chemistry and Biochemistry of Inositol Poliphosphates. **Pure and Applied Chemistry**, v. 16, p. 209-224, 1966.

COSTELLO, A. J. R.; GLONEK, T.; MYERS, T. C. ³¹P-Nuclear Magnetic Resonance – pH Titrations of Myo-Inositol Hexaphosphate. **Carbohydrate Research**, v. 46, n. 2, p. 159-171, 1976.

DESHPANDE S. S.; CHERYAN M. Effects of Phytic Acid, Divalent Cations, and their Interactions on α -Amylase Activity, **Journal of Food Science**, v.49, n. 2, p.516-519, 1984.

ECOBRAS. **Tofu Fresco**. Disponível em: <<http://www.ecobras.com.br>>. Acesso em: 27 de agosto de 2006.

EMPSON, K. L.; THEODORE, P. L.; GRAF, E. Phytic Acid as a Food Antioxidant. **Journal of Food Science**, v.56, n. 2, p.560-563, 1991.

FREDLUND, K.; ISAKSSON, M.; HULTHEN, L. R.; ALMGREN, A.; SANDBERG, A. S. Absorption of Zinc and Retention of Calcium: Dose-Dependent Inhibition by Phytate. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 20, n. 1, p. 49-57, 2006.

GRAF, E.; MAHONEY, J. R.; BRYANT R. G.; EATON, J. W. Iron-catalyzed Hydroxyl Radical Formation. **The Journal of Biological Chemistry**, v. 259, n. 6, p. 3620-3624, 1984.

GRAF, E.; EMPSON, K. L. Phytic Acid: A Natural Antioxidant. **The Journal of Biological Chemistry**, v. 262, n. 24, p. 11647-11650, 1987.

GRAF, E.; EATON, J. W. Antioxidant Functions of Phytic Acid. **Free Radical Biology and Medicine**, v. 8, n. 1, p. 61-69, 1990.

GRASES, F.; MARCH, J.; PRIETO, R.; SIMONET, B.; COSTA-BAUZA, A.; GARCIA-RAJA, A.; CONTE, A. Urinary Phytate in Calcium Oxalate Stone Formers and Healthy People. Dietary Effects on Phytate Excretion. *Scand. Journal of Urology and Nephrology*, v.34, n. 3, p. 162-164, 2000.

HEANEY, R. P.; WEAVER, C. M.; FITZSIMMONS, M. L. Soybean Phytate Content: Effect on Calcium Absorption. *American Journal of Clinical Nutrition*, v. 53, n. 3, p. 745-747, 1991.

HOU, H. J.; CHANG, K. C. Yield and Textural Properties of Tofu as Affected by the Changes of Phytate Content during Soybean Storage. *Journal of Food Science: Food Chemistry and Toxicology*, v.68, n. 4, p.1185-1191, 2003.

HOU, H. J.; CHANG, K. C.; SHIH, M. C. Yield and Textural Properties of Soft Tofu as Affected by Coagulation Method. *Journal of Food Science*, v.62, n. 4, p.824-827, 1997.

ISHIGURO, T.; ONO, T.; WADA, T.; TSUKAMOTO, C.; KONO, Y. Changes in Soybean Phytate Content as a Result of Field Growing Conditions and Influence on Tofu Texture. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*, v.70, n. 4, p.874-880, 2006.

IUPAC-IUB. *European Journal of Biochemistry*, v. 5, n. 1, 1968.

JENAB, M.; THOMPSON, L. U. Role of Phytic Acid in Cancer and Other Diseases. In: REDDY, N. R.; SATHE, S. K. (Ed.) *Food Phytates*, Florida: CRC Press, 2002, p. 225-248.

KAO, F. J.; SU, N. W.; LEE, M. H. Effect of Calcium Sulfate Concentration in Soymilk on the Microstructure of Firm Tofu and the Protein Constitutions in Tofu Whey. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 51, n. 21, p. 6211-6216, 2003.

KARIM, A. A.; SULEBELE, G. A.; AZHAR, M. E.; PING, C. Y. Effect of Carrageenan on Yield and Properties of Tofu. *Food Chemistry*, v. 66, n. 2, p. 159-165, 1999.

KOHYAMA, K.; SANO, Y.; DOI, E. Rheological Characteristics and Gelation Mechanism of Tofu (Soybean Curd). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 43, n. 7, p. 1808-1812, 1995.

LIU, K. *Soybeans: Chemistry, Technology and Utilization*. New York: Chapman & Hall, 537p, 1997.

MA, G.; JIN, Y.; PIAO, J.; KOK, F.; GUUSJE, B.; JACOBSEN, E. Phytate, Calcium, Iron and Zinc Contents and Their Molar Ratios in Foods Commonly Consumed in China. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, n. 26, p. 10285-10290, 2005.

MAGA, J. A. Phytate: Its Chemistry, Occurrence, Food Interactions, Nutritional Significance and Methods of Analysis. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 30, n. 1, p. 1-8, 1982.

MAHFUZ, A. A.; TSUKAMOTO, C.; ONO, T. The Decrease Mechanism of Undesirable Astringent Taste in Soymilk during Tofu Curd Formation. IV INTERNATIONAL SOYBEAN PROCESSING AND UTILIZATION CONFERENCE. In: *Proceedings...*, Foz do Iguassu, p. 1039-1046, Feb 29 to March 5, 2004.

MASSEY, L. K.; ISMAIL, A. AL-W.; HORNER, H. T.; PALMER, R. G.; REDDY, M. B. Oxalate and Phytate of Soy Foods. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, n. 14, p. 5670-5674, 2005.

MIN, S.; YU, Y.; MARTIN, S. ST. Effect of Soybean Varieties and Growing Locations on the Physical and Chemical Properties of Soymilk and Tofu. **Journal of Food Science: Food Chemistry and Toxicology**, v. 70, n. 1, p. C8-C12, 2005.

MINIHANE, A. M.; RIMBACH, G. Iron Absorption and the Iron Binding and Anti-Oxidant Properties of Phytic Acid. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 37, n. 7, p. 741-748, 2002.

MUJOO, R.; TRINH, D. T.; NG, P. K. W. Characterization of Storage Proteins in Different Soybean Varieties and Their Relationship to Tofu Yield and Texture. **Food Chemistry**, v. 82, n. 2, p. 265-273, 2003.

MURPHY, P. A.; CHEN, H. P.; HAUCK, C. C.; WILSON, L. A. Soybean Protein Composition and Tofu Quality. **Food Technology**, v. 51, n. 3, p. 86-88, 110, 1997.

NO, H. K.; MEYERS, S. P. Preparation of Tofu Using Chitosan as a Coagulant for Improved Shelf-life. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 39, n. 2, p. 133-141, 2004.

NOH, E. J.; PARK, S. Y.; PAK, J. I.; HONG, S. T.; YUN, S. E. Coagulation of Soymilk and Quality Tofu as Affected by Freeze Treatment of Soybeans. **Food Chemistry**, v. 91, n. 4, p. 715-721, 2005.

OATWAY, L.; VASANTHAN, T.; HELM, J. H. Phytic Acid. **Food Reviews International**, v. 17, n. 4, 2001.

PONEROS, A. G.; ERDMAN, J. W. Jr. Bioavailability of Calcium from Tofu, Tortillas, Non Fat Dry Milk and Mozzarella Cheese in Rats: Effect of Supplemental Ascorbic Acid. **Journal of Food Science**, v. 53, n. 1, p. 208-210, 1988.

POYSA, V.; WOODROW, L. Stability of Soybeans Seed Composition and its Effect on Soymilk and Tofu Yield and Quality. **Food Research International**, v. 35, n. 4, p. 337-345, 2002.

PRABHAKARAN, M. P.; PERERA, C. O.; VALIYAVEETIL, S. Effect of Different Coagulants on the Isoflavone Levels and Physical Properties of Prepared Firm Tofu. **Food Chemistry**, v. 99, n. 3, p. 492-499, 2006.

SAKAMOTO, K.; VENKATRAMAN, G.; SHAMSUDDIN, A. M. Growth-Inhibition and Differentiation of HT-29 Cells In-Vitro by Inositol Hexaphosphate (Phytic Acid). **Carcinogenesis**, v. 14, n. 9, p. 1815-1819, 1993.

SANDBERG, A. S. *In vitro* and *In vivo* Degradation of Phytate. In: REDDY, N. R.; SATHE, S. K. (Ed.) **Food Phytates**, Florida: CRC Press, 2002, p. 139-155.

SATHE, S. K.; REDDY, N. R. Introduction. In: REDDY, N. R.; SATHE, S. K. (Ed.) **Food Phytates**, Florida: CRC Press, 2002, p. 1-4.

SHEN, C. F.; MAN L.; BUZZELL, R. I.; MAN, J. M. Yield and Quality of Tofu as Affected by Soybean and Soymilk Characteristics: Gluconic-Delta-Lactone Coagulant. **Journal of Food Science**, v.56, n. 1, p.109-112, 1991.

SHIH, M. C.; HOU, H. J.; CHANG, K. C. Process Optimization for Soft Tofu. **Journal of Food Science**, v.62, n. 4, p.833-837, 1997.

SUN, N.; BREENE, W. M. Calcium Sulfate Concentration Influence on Yield and Quality of Tofu from Five Soybean Varieties. **Journal of Food Science**, v. 56, n. 6, p. 1604-1607, 1991.

SZCZESNIAK, A. S. Texture is a Sensory Property. **Food Quality and Preference**, v. 13, n. 4, p. 215-225, 2002.

THOMPSON, D. B.; ERDMAN JR, J. W. Phytic Acid in Soybeans. **Journal of Food Science**, v. 47, n. 2, p. 513-517, 1982.

THOMPSON, L. U.; YOON, J. H. Starch Digestibility as Affected by Polyphenols and Phytic Acid. **Journal of Food Science**, v. 49, n. 4, p. 1228-1229, 1984.

TODA, K.; ONO, T.; KITAMURA, K.; HAJIKA, M.; TAKAHASHI, K.; NAKAMURA, Y. Relationships of the Contents of Protein and Phytic Acid in Soybeans to the Consistency of Tofu. IV INTERNATIONAL SOYBEAN PROCESSING AND UTILIZATION CONFERENCE. In: *Proceedings...*, Foz do Iguaçu, p. 1047-1054, Feb 29 to March 5, 2004.

VERGHESE, M.; RAO, D. R.; CHAWAN, C. B.; WALKER, L. T.; SHACKELFORD, L. Anticarcinogenic Effect of Phytic Acid (IP6): Apoptosis as a Possible Mechanism of Action. **Food Science and Technology: LWT**, v. 39, n. 10, p. 1093-1098, 2006.

VUCENIK, I.; SAKAMOTO, K.; BANSAL, M.; SHAMSUDDIN, A. M. Inhibition of Rat Mammary Carcinogenesis by Inositol Hexaphosphate (Phytic Acid). A Pilot Study. **Cancer Letters**, v 75, n. 2, p. 95-102, 1993.

VUCENIK, I.; SHAMSUDDIN, A. M.; COLE, K. E. IP6: A novel Anti-Cancer Agente. **Life Science**, v. 61, n. 4, p. 343-354, 1997.

WANG, H. L.; SWAIN, E. W.; KWOLEK, W. F. Effect of Soybean Varieties on the Yield and Quality of Tofu. **Cereal Chemistry**, v. 60, n. 3, p. 245-248, 1983.

WANG, C. C. R.; CHANG, S. K. C. Physicochemical Properties and Tofu Quality of Soybean Cultivar Proto. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 43, n. 12, p. 3029-3034, 1995.

YANG, G. Y.; SHAMSUDDIN, A. M. IP6- Induced Growth Inhibition and Differentiation of HT-29 Human Colon Cancer Cells: Involvement of Intracellular Inositol Phosphates. **Anticancer Research**, v. 15, n. 6B, p. 2479-2487, 1995.

ZHOU, J. R.; ERDMAN, J. W. Jr. Phytic Acid in Health and Disease. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.35, n. 6, p. 495-508, 1995.