



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

ELISA NOEMBERG LAZZARI

**ANÁLISE DE ÁCIDO FÍTICO E MINERAIS NOS PROCESSOS
DE MACERAÇÃO E COCÇÃO DE SOJA**

Londrina
2006

ELISA NOEMBERG LAZZARI

**ANÁLISE DE ÁCIDO FÍTICO E MINERAIS NOS PROCESSOS
DE MACERAÇÃO E COCÇÃO DE SOJA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial ao título de Mestre em Ciência e Alimentos.

Orientadora: Profa.Dra. Adelaide Beléia

Londrina
2006

ELISA NOEMBERG LAZZARI

**ANÁLISE DE ÁCIDO FÍTICO E MINERAIS NOS PROCESSOS
DE MACERAÇÃO E COCÇÃO DE SOJA**

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof.^a Dr.^a Adelaide del Pino Beléia

Londrina, 12 de abril de 2006.

DEDICATÓRIA

A Deus, porque *“todas as nossa obras,
tu as fazes por nós”*.

AGRADECIMENTOS

À Profa. Adelaide Beléia pela orientação e estímulo, por me oferecer desafios e oportunidades de crescimento.

À Embrapa Soja e IAPAR, pelas amostras e análise de minerais.

Aos professores do Departamento de Tecnologia de Alimentos e Medicamentos - TAM da Universidade Estadual de Londrina, por instigar ainda mais minha curiosidade e vontade de aprender.

Aos queridos amigos do TAM, que marcaram minha vida em apenas dois anos.

À Franciele Perseguelo, pela imensa ajuda e amizade no laboratório.

Aos queridos Glenn, Michelle, Conrado e Thomas; Rodrigo e Mariana, e Pedro, por terem sido minha família em Londrina.

Às minhas amadas irmãs, Fernanda e Flávia, pelo amor e amizade.

Aos meus amados pais, Flávio e Sonia, exemplos na vida e na ciência.

Ao meu amado marido, Daniel, por me acompanhar do começo ao fim, oferecendo apoio, consolo e encorajamento.

LAZZARI, Elisa Noemberg. **Análise de ácido fítico e minerais nos processos de maceração e cocção de soja**. Dissertação (Mestre em Ciência de Alimentos). Universidade Estadual de Londrina, Londrina. 2006.

RESUMO

Devido ao crescente estímulo ao consumo de soja pela presença de diversos compostos bioativos, é importante conhecer os componentes do grão e sua variação ao longo do processamento. O ácido fítico (AF) tem sido alvo de muita pesquisa por ser considerado quelante de minerais essenciais, porém potente antioxidante e agente anticarcinogênico. O objetivo desta pesquisa foi avaliar a variação de ácido fítico (AF), fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg), zinco (Zn) e ferro (Fe) ao longo dos processos de maceração e cocção de cultivares de soja para consumo humano. As cultivares analisadas foram: BR 36, BRS 213, BRS 216, BRS 232, BRS 155 e Embrapa 48, procedentes da região de Londrina-PR. Foi determinada a cinética de cocção de cada cultivar: após a maceração (12 h, a temperatura ambiente) as amostras foram cozidas por 200 min e foram retiradas alíquotas a cada 10 min para medição da dureza em texturômetro TA.XT2i (Stable Micro Systems). Foi feita a conversão fracional dos dados e encontrada uma fração de primeiro grau para cada cultivar. Com base na dureza ideal conhecida de 23 N, foi determinado o tempo ótimo de cocção. Uma amostra de cada cultivar foi macerada e cozida pelo tempo determinado e foram separadas alíquotas de cada etapa para determinação de AF, P, Ca, Mg, Zn e Fe. O teor de AF na soja crua, macerada e cozida variou de 1,19-1,81; 0,76-1,40 e 1,04-1,50 g/100 g bs, respectivamente. A redução durante a maceração foi significativa, mas não durante a cocção. O teor de P nas três etapas variou de 6,6-8,9; 6,1-10,6 e 7,1-8,7 g/kg; o teor de Ca variou de 1,4-2,9; 1,6-3,8 e 2,1-3,9 g/kg; o teor de Mg variou de 2,3-2,6; 2,9-4,0 e 2,5-3,1 g/kg; o teor de Zn variou de 44,5-56,2; 54,2-73,9 e 59,9-69,3 mg/kg; e o teor de Fe variou de 96,2-135,8; 136,3-171,3 e 112,1-155,8 mg/kg. O tempo de cocção não apresentou correlação com o teor de AF ou com algum mineral estudado. A constante de amaciamento, porém, apresentou correlação negativa com o teor de P e Zn na soja macerada. A razão molar AF:Zn foi de 20, indicando possível dificuldade de absorção do mineral, porém a razão AF:Fe de 8 está abaixo do limiar de risco.

Palavras-chave: Soja. Ácido fítico. Minerais. Cinética.

LAZZARI, Elisa Noemberg. **Analysis of phytic acid and minerals during soaking and cooking of soybeans.** Dissertation (Master's Degree in Food Science) – State University of Londrina, Londrina, 2006

ABSTRACT

With the increase in soy consumption due to its bioactive compounds, there is great importance in knowing the grain's constituents and their variation during processing. Phytic acid (PA) has been the aim of much research. It chelates essential minerals but also has strong antioxidant and anticarcinogenic effects. This study evaluated the variation of PA, phosphorus (P), calcium (Ca), magnesium (Mg), zinc (Zn) and iron (Fe) during soaking and cooking of soybeans. Cultivars (BR 36, BRS 213, BRS 216, BRS 232, BRS 155 and Embrapa 48) selected for food use, were grown in Londrina, Parana State. The cooking kinetics of each cultivar was determined. After soaking for 12 h at room temperature, the grains were cooked for 200 min. Samples were collected every 10 min to determine the hardness of the grains using a TA.XT2i texture analyzer (Stable Micro Systems). The data was treated using the fractional conversion technique and a first order equation was found for each cultivar. Considering an optimal texture of 23 N, the cooking time was calculated. A sample of each cultivar was soaked and cooked for the optimal time. PA, P, Ca, Mg, Zn and Fe were determined in raw, soaked and cooked grains. PA in the three phases varied from 1.19-1.81; 0.76-1.40 and 1.04-1.50 g/100 g (dry basis). Soaking caused a significant reduction in PA level, but cooking caused no further reduction. The variation of P, Ca, Mg, Zn and Fe in raw, soaked and cooked grains was of, respectively, 6.6-8.9; 6.1-10.6 and 7.1-8.7 g/kg; 1.4-2.9; 1.6-3.8 and 2.1-3.9 g/kg; 2.3-2.6; 2.9-4.0 and 2.5-3.1 g/kg; 44.5-56.2; 54.2-73.9 and 59.9-69.3 mg/kg; and 96.2-135.8; 136.3-171.3 and 112.1-155.8 mg/kg. There was no correlation between cooking time and PA or any of the analyzed minerals. The softening constant, however, was negatively correlated with P and Zn in soaked grains. The AF:Zn molar ratio was 20, indicating that zinc absorption could be impaired. The AF:Fe molar ratio was 8, below the risk levels.

Key words: Soybean. Phytic acid. Minerals. Kinetics.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Composição centesimal do grão inteiro de soja.....	15
Tabela 2 –	Dureza inicial e residual das seis cultivares de soja avaliadas	30
Tabela 3 –	Constantes de amaciamento (k), r^2 ajustado, faixa de tempo e tempo ótimo de cocção das seis cultivares de soja testadas.....	33
Tabela 4 –	Peso de mil grãos (g) das seis cultivares de soja estudadas.....	34
Tabela 5 –	Teor de umidade das amostras cruas, maceradas e cozidas.....	36
Tabela 6 –	Balanço de massa, AF, P total, P fítico e percentagem do P total na forma de P fítico durante o processo de maceração e cocção*.....	38
Tabela 7 –	Teores de P, Ca, Mg, Zn e Fe em 60 g de soja crua <i>in natura</i> e teores após maceração e cocção.	40
Tabela 8 –	Coefficientes de correlação (r) entre AF nas três etapas de processamento e parâmetros de cocção.	43
Tabela 9 –	Coefficientes de correlação (r) entre k e P, Ca, Mg, Zn e Fe na soja crua, macerada e cozida.....	43

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-	Fluxograma de maceração, cocção e análise das amostras de soja...	26
Figura 2 –	Perda de dureza da cultivar BRS 213 ao longo de 200 min de cocção.	31
Figura 3 –	Plotagem do $\ln(1-f)$ versus tempo de cocção das seis cultivares de soja: BRS 155 (a), BR 36 (b), Embrapa 48 (c), BRS 213 (d), BRS 216 (e) e BRS 232 (f).	32
Figura 4-	Comparação das cultivares de soja BRS 155, BR 36, Embrapa 48, BRS 213, BRS 216 e BRS 232 quanto a dureza inicial, dureza final, tempo ótimo de cocção e peso de mil grãos.	35

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	13
2.1 OBJETIVO GERAL	13
2.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS	13
3 REVISÃO DE LITERATURA	14
3.1 ASPECTOS GERAIS DA SOJA	14
3.1.1 Origem e difusão da cultura da soja	14
3.1.2 Estrutura do grão e composição	14
3.2 A SOJA COMO FONTE DE COMPOSTOS BIOATIVOS	16
3.3 ÁCIDOS FÍTICO	18
3.3.1 Ocorrência	18
3.3.2 Complexação a proteínas e minerais e impacto nutricional	19
3.3.3 Efeitos benéficos do AF	20
3.4 HIDRATAÇÃO E COCÇÃO DO GRÃO DE SOJA	21
4 METODOLOGIA	24
4.1 SELEÇÃO DAS AMOSTRAS	24
4.2 DETERMINAÇÃO DA CINÉTICA DE COCÇÃO E TEMPO ÓTIMO DE COCÇÃO	24
4.3 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DA SOJA CRUA, MACERADA E COZIDA	26
4.3.1 Peso de mil grãos	27
4.3.2 Determinação de umidade	27
4.3.3 Teor de AF	27
4.3.4 Determinação de sólidos totais	28
4.3.5 Teor de P, Ca, Mg, Zn e Fe	28
4.3.6 Cálculo da razão molar AF:Zn e AF:Fe	28
4.4 ANÁLISE DOS DADOS	29

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
5.1 CINÉTICA E TEMPO DE COCÇÃO	30
5.2 ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICAS NA SOJA CRUA, MACERADA E COZIDA	34
5.2.1 Peso de mil grãos.....	34
5.2.2 Determinação do teor de umidade	35
5.2.3 Variação e efeito do processamento nos teores de AF, P total e P fítico.....	36
5.2.4. Variação e efeito do processamento nos teores de P, Ca, Mg, Zn e Fe	40
5.3 ANÁLISE DE CORRELAÇÃO	43
6 CONCLUSÕES	45
REFERÊNCIAS	46

1 INTRODUÇÃO

A produção brasileira de soja na safra 2005/2006 está estimada em 58,18 milhões de toneladas, sendo que apenas cerca de 1% é utilizado diretamente na alimentação humana (BRASIL, 2006; SÁ *et al.*, 2004). Em 1999, o *Food and Drug Administration* (FDA) norte-americano aprovou a relação entre o consumo de proteína de soja e a diminuição do risco de doenças coronarianas, sugerindo um consumo de 25 g/dia (FDA, 2000). Vários outros compostos da soja têm chamado atenção devido a seus efeitos fisiológicos benéficos, principalmente na prevenção de doenças crônico-degenerativas (BROUNS, 2002; PATEL *et al.*, 2001; JENAB & THOMPSON, 2002). Além dos compostos biologicamente ativos, a composição da soja em aminoácidos, ácidos graxos e fibras alimentares por si só já justifica um incentivo ao consumo (SACKS *et al.*, 2006).

A soja destinada ao uso direto na alimentação como grão maduro deve apresentar algumas características, tais como sabor agradável (conferido por baixo teor ou ausência de lipoxigenase), tegumento e hilo claros e grãos de tamanho uniforme (TOKOMIZO & VELLO, 2000; DESTRO *et al.*, 2002). Outra característica importante é o tempo de cocção. Selecionar cultivares que atingem a maciez desejada em menor tempo representa não somente uma economia de recursos, mas também um estímulo ao preparo.

A influência do teor de ácido fítico (AF) no tempo de cocção de leguminosas ainda não está bem esclarecida. Estudos indicam que ao quelar cátions divalentes, estes estariam impedidos de se ligar à pectina. Sem estar ligada a pectatos, a pectina é facilmente solubilizada durante o tratamento térmico e o tecido adquire maciez. Há dados para ervilhas e lentilhas, indicando que maiores níveis de ácido fítico resultam em grãos que amaciam mais rapidamente (LIU, 1995; BHATTY & SLINKARD, 1989). Não foram encontrados na literatura dados específicos para soja, relacionando teor de ácido fítico com o tempo de cocção. O levantamento dessa informação representa uma contribuição para o estudo da soja para alimentação humana.

O AF é encontrado nos cotilédones do grão de soja e representa até 2,3% do peso seco do grão. Sua função é de reserva de fósforo na semente, sendo mobilizado para germinação e crescimento da planta (LOTT *et al.*, 2002). Em sua

estrutura encontram-se 12 hidrogênios dissociáveis, conferindo ao AF alta capacidade quelante e antioxidante (FUKUJI, 2005). Sua ação quelante de minerais está relacionada à deficiência de zinco e ferro em populações que se alimentam principalmente de fontes vegetais e é também uma preocupação para grupos mais vulneráveis a deficiências nutricionais (crianças, adolescentes, gestantes e idosos), mesmo em populações de países desenvolvidos (WEAVER & KANNAN, 2002).

Mais recentemente, o AF tem chamado atenção por seu efeito antioxidante, anticarcinogênico e redutor dos níveis de colesterol, sendo intensas as pesquisas buscando confirmar o valor benéfico do AF (JENAB & THOMPSON, 2002). Nesse contraponto entre efeitos deletérios e benéficos à saúde humana, fica clara a importância de se conhecer mais profundamente os compostos bioativos da soja, suas interações e alterações ao longo do processamento. Somente de posse desse conhecimento é que alguma recomendação pode futuramente ser feita.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo dessa pesquisa foi avaliar a variação de ácido fítico e de alguns minerais ao longo dos processos de maceração e cocção de diferentes cultivares de soja para consumo humano.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar a cinética de cocção de seis cultivares de soja.

Determinar o tempo de cocção de cada cultivar.

Avaliar a variação nos teores de ácido fítico, fósforo, cálcio, magnésio, zinco e ferro ao longo das etapas de maceração e cocção da soja.

Determinar a razão molar entre ácido fítico e zinco e ácido fítico e ferro.

Determinar os coeficientes de correlação entre o tempo de cocção, o teor de ácido fítico e de alguns minerais.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 ASPECTOS GERAIS DA SOJA

3.1.1 Origem e difusão da cultura da soja

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) (Fabaceae) é originária da China, tendo surgido há 4000-5000 anos. Amplamente utilizada no oriente, a planta foi introduzida na Europa apenas em 1712, onde seu cultivo sempre foi limitado. A soja foi trazida à América no final do século XVIII, porém seu cultivo em larga escala começou apenas por volta de 1920, nos Estados Unidos (LIU, 1997).

A introdução da soja no Brasil foi em 1882, na Bahia, quando foram realizados experimentos de campo com algumas cultivares. Em 1914 começou a ser produzida no Rio Grande do Sul como cultura de verão nas áreas de cultivo de trigo (BRASIL, 2002).

Na década de 1970, o governo brasileiro investiu na expansão do cultivo da soja, com incentivos fiscais e à pesquisa. Começaram então a ser desenvolvidas cultivares adaptadas para diversas regiões do país. Com a descoberta e utilização dos alelos para período juvenil longo e florescimento tardio, a soja pode ser cultivada a baixas latitudes, inclusive na linha do equador (DESTRO *et al.*, 2001). O resultado é uma área plantada atualmente de cerca de 22 milhões de hectares (BRASIL, 2006).

3.1.2 Estrutura do grão e composição

O grão de soja é colhido, armazenado e comercializado com teor de umidade entre 8 e 11%. Sua composição média em base seca está demonstrada na Tabela 1. O teor dos compostos é bastante variável, sofrendo influência de fatores

tais como cultivar, época do plantio, localização geográfica e estresse ambiental (LIU, 1997).

TABELA 1 - Composição centesimal do grão inteiro de soja.

COMPOSIÇÃO (g por 100g b.s.)	
Proteínas	40,5
Lipídeos totais	22,1
Carboidratos totais	22,1
Fibra alimentar total	21,7
Cinzas	5,6

Fonte: Tabela Brasileira de Composição de Alimentos-USP. Versão 4.1., 1998.

O grão de soja é recoberto externamente pela casca, que é uma importante barreira para a entrada de água no grão, influenciando seu grau de hidratação durante a maceração. A casca representa cerca de 8% do peso do grão, contém 86% de carboidratos insolúveis e tem coloração que varia entre tons de amarelo, verde, marrom e preto. Apesar de ser sub-produto da produção de óleo e concentrados protéicos, a casca tem valor como fibra alimentar e também como fonte de ferro na alimentação humana (LIU, 1997).

A casca mantém unidos os dois cotilédones da soja. As células dos cotilédones são caracterizadas pela parede celular, que é composta por hemicelulose (50%), pectina (30%) e celulose (20%) (KIKUCHI *et al.*, 1971 apud LIU, 1997); presença de corpos protéicos cercados por pequenos e numerosos corpos lipídicos, e pela ausência de grânulos de amido no grão maduro.

Os corpos protéicos são envoltos por uma membrana frágil e representam 60-70% do total de proteína do grão. A maior parte da proteína de reserva é composta por glicinina e β -conglucina. Dentro dos corpos protéicos encontra-se o ácido fítico, na forma de inclusões globóides (SNYDER & KWON, 1987; LIU, 1997).

Os corpos lipídicos, ou esferossomas, contêm principalmente triacilgliceróis, sendo que o ácido linoléico é o ácido graxo mais abundante (cerca de 53%, podendo porém variar de 25 a 60%)(LIU, 1997).

No ocidente a soja é cultivada visando principalmente a produção de farelo, óleo e farinha integral. O farelo é utilizado em rações animais e transformado em produtos como proteína de soja concentrada, isolada e texturizada. O óleo é utilizado na indústria de gorduras alimentícias e a farinha integral, principalmente na indústria de panificação. No oriente, porém, e agora em crescente demanda no ocidente, a soja é utilizada diretamente para consumo humano. Assim, ao longo dos anos foram desenvolvidas cultivares específicas para o uso direto como alimento, sendo cultivadas com identidade preservada e com valor de mercado superior às cultivares convencionais (LIU, 1997). No Brasil, a Embrapa lançou as cultivares BRS 155, BRS 216 e BRS 213, especiais para consumo humano (CARRÃO-PANIZZI *et al.*, 1998, 2002a, 2002b).

3.2 A SOJA COMO FONTE DE COMPOSTOS BIOATIVOS

A partir da metade do século XX tiveram início as primeiras observações da baixa incidência de câncer de mama e próstata em populações do sudeste asiático, comparada à população norte-americana. Observou-se também que em imigrantes asiáticos nos Estados Unidos essa diferença logo desaparecia. Investigações apontaram a mudança no padrão alimentar como o principal fator, e o consumo de soja e seus produtos como a diferença mais dramática (BOERSMA *et al.*, 2001; YAMAMOTO, 2003).

Desde então estão sendo desenvolvidas pesquisas intensivas por todo o mundo, buscando os compostos ativos responsáveis não apenas pela proteção contra o câncer, mas também contra diversas doenças crônico-degenerativas, dentre as quais hipercolesterolemia e aterosclerose. Atualmente os compostos considerados os principais responsáveis pelos efeitos benéficos da soja são as isoflavonas, a proteína da soja, os ácidos graxos essenciais e os oligossacarídeos.

As isoflavonas são flavonóides encontrados quase que exclusivamente nas leguminosas e fabáceas (TAPIERO *et al.*, 2002). Na soja as principais são a genisteína, daidzeína e gliciteína. Sua estrutura é similar à do estrógeno, sendo capaz de se ligar aos receptores para esse hormônio exercendo

efeito de modulador seletivo: em alguns tecidos desencadeiam efeito estrogênico, enquanto em outros o efeito é anti-estrogênico (MESSINA & LOPRINZI, 2001). A genisteína tem efeito reconhecido na inibição da enzima tirosina proteína quinase, envolvida no desenvolvimento exacerbado de células cancerosas (HUANG & DILLON, 2000, YAMAMOTO *et al.* 2003). Em ratos, COTRONEO *et al.* (2002) concluíram que a exposição pré-pubertal à genisteína conferiu proteção contra o câncer de mama quimicamente induzido. A genisteína tem sido relacionada também com o aumento da densidade óssea de mulheres na pós-menopausa e com redução da oxidação do LDL, implicando na redução de doenças cardiovasculares (BROUNS, 2002).

Segundo SACKS *et al.* (2006), mesmo com a aprovação do FDA em relacionar proteína de soja com diminuição do risco de doenças cardiovasculares, as pesquisas ainda não são conclusivas. Os autores discutem que alguns resultados são melhores com o uso da farinha de soja integral e não com o isolado protéico, demonstrando um efeito sinérgico entre os diferentes compostos do grão. ISHIHARA *et al.* (2003) encontraram que alimentando ratos diabéticos com hidrolisado protéico de soja houve menor absorção de gordura e maior utilização pós-prandial de carboidratos.

A rafinose e a estaquiose são os principais oligossacarídeos da soja. Esses carboidratos não são digeridos pelo organismo humano pela ausência da enzima α -galactosidase, sendo então fermentados no intestino grosso, podendo causar flatulência. Apesar desse efeito negativo, são vários os efeitos positivos dos oligossacarídeos. LIU (1997) cita como um dos benefícios o efeito de promover o aumento da população de bífidobactérias no cólon. Tal aumento acarreta em supressão da atividade de bactérias putrefativas e patogênicas (prevenindo contra diarreia), além da elevada produção de ácidos graxos de cadeia curta (prevenindo contra constipação). Redução da pressão sanguínea e efeito anticarcinogênico também foram associados aos oligossacarídeos da soja.

A função do AF como composto bioativo é discutida no item 3.3.

3.3 ÁCIDO FÍTICO

3.3.1 Ocorrência

O AF (mio-inositol 1,2,3,4,5,6-hexakis (dihidrogenofosfato) ou mio-inositol hexafosfato) está amplamente distribuído em vegetais e é encontrado em altas concentrações em grãos e sementes de oleaginosas (FEBLES *et al.*, 2002). O AF representa a principal forma de armazenamento de fósforo (P) (de 50 a 70% do P total), que é acumulado durante a maturação e mobilizado para a germinação da planta (PRAZERES *et al.*, 2004; REDDY, 2002). Na soja os teores variam entre 1 e 3% do peso seco do grão (REDDY, 2002). A AF é encontrado em altas concentrações em sementes de gergelim (4,71%) e linhaça (3,69%). Na aveia no trigo a concentração é de 1,02% (LOTT *et al.* 2002).

O AF é encontrado nos cotilédones das leguminosas como inclusões nos corpos protéicos. Nesses, o AF encontra-se na forma de ácido livre e também complexado a proteínas e minerais, principalmente cátions de potássio (K), magnésio (Mg), cálcio (Ca), ferro (Fe) e zinco (Zn) (LIU, 1995; LIU *et al.*, 2005). O sal de AF pode receber o nome fitato e quando complexado a Ca e Mg, é comum ser chamado de fitina (SATHE & REDDY, 2002; LIU, 1997). A degradação do AF por ação da fitase (mioinositol hexafosfato fosfohidrolase) ou processamento térmico drástico produz P inorgânico, cátions e inositóis com diferentes graus de fosforilação (LIU, 1995; BELÉIA *et al.*, 1990; FEIL & FOSSATI, 1997; PRAZERES *et al.*, 2004). A fitase encontrada na soja tem temperatura ótima de 58°C e permanece estável até 60°C, perdendo sua atividade a temperaturas mais altas. A atividade máxima da enzima é obtida a pH entre 4,5 e 5 (HEGEMAN & GRABAU, 2001).

Há grande flutuação no teor de AF em soja em função de variações nas características físico-químicas do solo, aplicação de fertilizantes, condições ambientais e diferenças entre cultivares. Maiores teores de P no solo e pH próximo de neutro implicam em maior teor de AF nos grãos (KUMAR *et al.*, 2005). A variação de AF está fortemente e positivamente correlacionada com a variação do P total (RABOY *et al.*, 2002).

3.3.2 Complexação de proteínas e minerais e impacto nutricional

Na estrutura do AF encontram-se 12 hidrogênios dissociáveis. Em valores de pH comuns à maioria dos alimentos (pH 4-7), o AF adquire carga negativa, conferindo à molécula alto poder de complexação a moléculas de carga positiva. Em pH menor que 3 o AF forma ligações eletrostáticas com proteínas de carga positiva, resultando em complexos solúveis. Em pH acima do ponto isoelétrico da proteína a ligação depende muito da presença de íons minerais de carga positiva (CHERYAN, 1980; WEAVER & KANNAN, 2002).

O complexo formado pelo AF e íons minerais é insolúvel, afetando a biodisponibilidade dos minerais. Quando o complexo inclui proteína, a proteína envolvida também poderá apresentar absorção reduzida (WEAVER & KANNAN, 2002).

Há fortes evidências de que o AF pode conduzir à deficiência crônica e severa de minerais em populações que se alimentam basicamente de cereais e leguminosas (LIU *et al.*, 2005; LESTIENNE *et al.*, 2005a; DUHAN *et al.*, 2002; FEIL & FOSSATI, 1997; KAMCHAN *et al.*, 2004). WEAVER & KANNAN (2002) defendem que a preocupação deve incluir grupos populacionais mais vulneráveis (crianças e gestantes, por exemplo), nos quais é comum a ingestão inadequada de Ca, Fe, Zn e Mg.

Segundo TORRE *et al.* (1991), estudos *in vivo* e *in vitro* destacam alguns fatores que afetam a disponibilidade de minerais: o conteúdo de AF; concentração do mineral e valência; associações do AF com proteínas; tratamento térmico do alimento; pH; e presença de outros íons metálicos. Além desses, há também influência de compostos encontrados no alimento, como fibras, β -caroteno, ácido ascórbico e frutooligossacarídeos (WEAVER & KANNAN, 2002; DAVIDSSON *et al.*, 2004).

A razão molar de AF para o mineral parece ser fator importante na absorção do mineral. DENDOUGUI & SCHWEDT (2004) encontraram em farinha de soja razão molar de 1 mol de AF para 3,23 mol de Ca, implicando em biodisponibilidade de menos de 10% do Ca presente. Em recém-nascidos alimentados com fórmulas à base de soja, a razão AF:Zn maior que 1,5 inibiu a disponibilidade de Zn. Após seis meses de vida, a razão AF:Zn deve ser acima de 8

para promover inibição (BOSSCHER *et al.*, 2001). Em adultos, razão molar AF:Zn maior que 10 limita absorção de Zn, e razão AF:Fe maior que 14 reduz absorção de Fe (LESTIENNE *et al.*, 2005b; ADEYEYE *et al.*, 2000).

3.3.3 Efeitos benéficos do AF

Pesquisas recentes têm atribuído ao AF efeitos anti-cancerígenos, antioxidantes e preventivos contra doença coronariana. Na década de 1980, a literatura médica relatava a ação anti-neoplásica da fibra de trigo, chegando mais tarde a isolar o AF como componente responsável. (FOX *et al.*, 2002; LIU *et al.*, 2005).

O efeito biológico do AF baseia-se em diversos mecanismos. Um mecanismo estudado é o efeito do AF consumido na dieta de inibir a ação de amilases, reduzindo, portanto, a digestão do amido. O amido não digerido iria para o cólon, sendo fermentado a ácidos graxos de cadeia curta, principalmente butirato, com ação comprovada na proteção contra câncer de cólon. Tal mecanismo também tem reflexo no controle do diabetes (JENAB & THOMPSON, 2002).

Outro mecanismo é a quelação de Fe, inibindo reações oxidativas mediadas pelo Fe e limitando o dano ao DNA. Pela supressão da formação de espécies reativas, o AF limita o crescimento de tumores. Tal ação é reforçada com a quelação de Mg e Zn, críticos para a proliferação de células cancerosas (FOX *et al.*, 2002).

O efeito do AF nas doenças coronarianas ainda requer muito estudo, mas há trabalhos que mostram redução nos níveis de colesterol e indícios de que a quelação de cálcio pelo AF pode reduzir a calcificação da aorta (JENAB & THOMPSON, 2002).

Há discussões com relação à forma de administração do AF. A suplementação da dieta com AF purificado adicionado à água é uma opção. Outra seria a ingestão de fibras com alto teor de AF (como o farelo de trigo) que traria outros benefícios, mas também pode significar menor disponibilidade de AF para exercer efeito sobre os enterócitos (JENAB & THOMPSON, 2002).

Diante do quadro traçado têm se levantado grande controvérsia: como conciliar efeitos antioxidantes e anti-cancerígenos com indisponibilidade de minerais essenciais? Muitos autores concordam com a necessidade de se estabelecer as doses e encontrar um nível onde seja possível manter os efeitos benéficos, sem grande alteração na biodisponibilidade de minerais (FEBLES *et al.*, 2002; FOX & EBERL, 2002; LIU *et al.*, 2005).

3.4 HIDRATAÇÃO E COCÇÃO DO GRÃO DE SOJA

A maceração do grão de soja é uma etapa muito comum que precede a cocção. HWA *et al.* (1979) descreveram que grãos de soja previamente macerados e depois cozidos por 1h atingem maciez equivalente a grãos não macerados cozidos por 1½ h. PAN & TANGRATANAVALEE (2003) citaram que a absorção máxima de água para a soja é de 140% do peso inicial, mas 100% de hidratação basta para melhorar a textura dos grãos cozidos. Os autores relataram que aumentando a temperatura da água de maceração de 10 para 40°C a velocidade de absorção aumenta, porém a perda de sólidos também. Após 8 h, a perda de sólidos foi de 2,5% para a soja macerada a 10°C e de 5,7% para a soja macerada a 40°C. HWA *et al.* (1979) encontraram perda de 10,4% de sólidos macerando por 24 h a 37°C. A 20°C a perda foi de 5%.

LESTIENNE *et al.* (2005a) maceraram grãos de soja em água 5:1 (v/p) por 24 h a 30°C e agitação de 60 rpm. Nessas condições a redução de AF foi de 23%, porém não foi encontrado AF na água de maceração, sugerindo ação da fitase. Os autores encontraram também perda significativa de ferro durante a maceração, mas não de zinco.

Em outra pesquisa, LESTIENNE *et al.* (2005b) maceraram grãos de soja nas mesmas condições do anterior, encontrando novamente 23% de redução de AF com a maceração, redução de Fe e nenhuma mudança no Zn. Apesar da perda de Fe para a água de maceração, a razão AF:Fe sofreu redução apenas de 10,4 para 9,4 porque o AF também foi degradado.

EGOUNTETY & AWORTH (2003) maceraram soja em água 3:1 (v/p) por 12-14 h e em seguida os grãos foram descascados e cozidos. Na etapa de

cocção houve perda de 9,9% de AF. Como o AF é termo-resistente, não há degradação com a cocção, porém pode haver perda se houver lixiviação para o líquido de cocção e esse for descartado, ou se houver ação da fitase nas etapas iniciais da cocção (SATHE & VENKATACHALAM, 2002).

A cocção de grãos refere-se à separação celular pela desintegração da lamela média (interface entre duas células vizinhas). A solubilização da pectina ocorre por despolimerização através da β -eliminação e o tecido adquire maciez. O teor de AF influencia diretamente a solubilização da pectina, uma vez que a saturação da pectina com cátions divalentes impede sua solubilização. Na presença de AF, este quela os cátions, impedindo sua ligação com a pectina.

Há diversos estudos com ervilhas e lentilhas investigando a relação do teor de AF com a capacidade de cocção. Muitos tentaram explicar o defeito *hard to cook* (relacionado a condições de calor e umidade no armazenamento) e não encontram boa correlação, mas no que se refere à cocção concorda-se que menor teor de AF implica em grãos mais resistentes ao amaciamento (LIU, 1995; BHATTY & SLINKARD, 1989).

A cocção pode ser medida pelo tempo necessário para atingir certa porcentagem (em geral 50%) de sementes cozidas ou pela força de punção necessária para comprimir uma ou um grupo de sementes após dado tempo (LIU, 1995). A medição pode ser subjetiva, analisando sensorialmente a textura de uma amostra de grãos, conferindo uma nota de acordo com uma escala de textura (FERREIRA, 2002).

Outro método é a utilização do aparelho de Mattson modificado, desenvolvido para acompanhar o amaciamento de feijões. O aparelho consiste de 25 hastes com pontas de peso determinado (75 ou 90 g). Sob cada uma coloca-se um grão e inicia-se a cocção colocando o aparelho em água fervente. À medida que os grãos forem amaciando, as pontas penetram nos grãos. Quando 13 pontas tiverem perfurado os grãos, fica sendo esse o tempo de cocção (LIU, 1995; MENEGUCE *et al.*, 2004). Outros métodos incluem ainda a utilização de um texturômetro (de MORAIS *et al.*, 2001).

Testando 34 genótipos de soja cultivados em Londrina-PR, MENEGUCE *et al.* (2004) usaram o aparelho de Mattson modificado e encontraram tempos de cocção variando de 25 a 67 minutos, com média de 38 minutos. Os autores mencionam a importância de estudos para selecionar cultivares voltadas ao

consumo humano, que apresentem menor tempo de cocção. Destro *et al.* (2003), também utilizaram o aparelho de Mattson modificado para determinar o tempo de cocção de 24 genótipos de soja. Os autores maceraram os grãos a 20°C em água 5:1 por 18 h e obtiveram tempos de cocção variando de 62,7 a 124,3 minutos, com média de 87,7 minutos.

Segundo XIE *et al.* (1998), a cinética da mudança da textura de leguminosas durante o processamento térmico tem sido bastante estudada. A degradação de textura é comumente explicada como sendo uma reação de primeira ordem, porém só é válida para curtos períodos de aquecimento. Com o aquecimento prolongado um modelo de dois mecanismos é aplicado, explicando a degradação da textura como duas reações de primeira ordem, uma primeira de alteração rápida, seguido de uma segunda de velocidade de reação mais baixa (RIZVI & TONG, 1997; SEFA-DEDEH *et al.*, 1978; SEFA-DEDEH & STANLEY, 1979; ANZALDÚA-MORALES *et al.*, 1996).

RIZVI & TONG (1997) propuseram que para longos tempos de aquecimento, a segunda reação equivale à região de textura residual, quando é atingido o máximo possível de perda de textura e a variação é devida ao erro experimental normal à análise de textura. Para essa abordagem os autores propõem a conversão fracional dos dados, transformando o valor obtido de textura em fração de textura perdida, variando de 0 a 1.

4 METODOLOGIA

4.1 SELEÇÃO DAS AMOSTRAS

Foram selecionadas seis cultivares de soja destinadas ao consumo humano: Embrapa 48, BR 36, BRS 213, BRS 216, BRS 232 e BRS 155. A cultivar BRS 155 foi adquirida no comércio local de Londrina-PR, com a identificação da cultivar na embalagem, enquanto as demais amostras foram fornecidas pela Embrapa Soja e tinham tempo pós-colheita de cerca de 10 meses.

A cultivar BRS 213 é caracterizada pela ausência da enzima lipoxigenase, resultando em um grão de sabor superior e permitindo seu uso sem branqueamento prévio. A cultivar 216 é um grão pequeno, destinado à produção de natô, um alimento oriental composto do grão inteiro de soja fermentado. A cultivar BRS 232 apresenta elevada resistência a nematóides de galha e de cisto, resultando em boa produtividade. A cultivar BRS 155 apresenta baixo teor do inibidor de tripsina, sendo um grão de melhor digestibilidade e que exige menor tratamento térmico. A cultivar BR 36 é um grão muito exportado para ser usado na produção de tofu. A cultivar Embrapa 48 é atualmente a preferida pela indústria de processamento de soja no Brasil, pelo alto rendimento e pelo hilo claro (CARRÃO-PANIZZI *et al.*, 2002a; CARRÃO-PANIZZI *et al.*, 2002b; CARRÃO-PANIZZI *et al.*, 1998).

4.2 DETERMINAÇÃO DA CINÉTICA DE COCÇÃO E TEMPO ÓTIMO DE COCÇÃO

A cinética de cocção das cultivares foi determinada para acompanhar a perda de dureza ao longo da cocção e obter uma equação pela qual foi calculado o tempo ótimo de cocção de cada cultivar. As amostras foram maceradas em água 3:1 (v/p) em recipiente fechado, a temperatura ambiente por 12 h. Após escorrer a água de maceração, a soja foi transferida para um béquer com água fervente (8:1 v/p). A cada 10 min (começando no $t=0$ até $t=200$ min) foram retiradas alíquotas de

10 grãos íntegros, resfriados em béquer em banho de gelo e depois medida a dureza usando texturômetro TA.XT2i (Stable Micro Systems). A ponta de prova utilizada foi um cilindro de alumínio de 25 mm de diâmetro, velocidade de teste 2 mm.s⁻¹, força 0,05 N e taxa de compressão de aproximadamente 57% (distância de penetração de 3,2 mm), com base nas condições utilizadas por COELHO (2004) para feijões. Por se tratar de um grão menor, a distância de penetração utilizada para a cultivar BRS 216 foi de 2,0 mm, buscando manter a taxa de compressão relativamente constante. A força máxima de resistência à compressão do grão pela ponta de prova representa sua dureza. Cada cultivar foi cozida e avaliada em duplicata.

Foi feita conversão fracional dos dados, seguindo a metodologia proposta por RIZVI & TONG (1997) para descrever o amaciamento de vegetais por períodos prolongados de aquecimento como uma reação de primeira ordem. Para isso considera-se que a propriedade física em questão (no caso, a dureza) atinge o equilíbrio sem atingir um valor nulo, ou seja, há um máximo possível de perda de dureza. A textura obtida a 200 min de cozimento foi considerada a textura residual dos grãos de soja, o máximo de perda de dureza. Com base nisso, calculou-se a fração de perda de dureza (f), utilizando a seguinte equação:

$$f = \frac{D_0 - D_t}{D_0 - D_\infty} \quad (1)$$

Onde:

f = fração de perda de dureza;

D_0 = dureza inicial no tempo 0;

D_t = dureza no tempo t ;

D_∞ = dureza residual.

Plotando \ln de $(1 - f)$ versus o tempo, foi possível descrever a perda de dureza como uma reação de primeira ordem, traçando uma reta de amaciamento para cada cultivar.

As retas de amaciamento obtidas foram utilizadas para determinar a faixa de tempo ótimo de cocção. Uma cultivar dentre as estudadas foi selecionada ao acaso, macerada por 12 h e cozida em béquer aberto até uma textura

considerada adequada pelo analista. A dureza neste ponto foi medida no texturômetro (nas mesmas condições descritas anteriormente), indicando dureza média de 23 N. Esse valor foi então convertido utilizando a Equação 1 e calculou-se para cada cultivar o tempo necessário para se obter tal textura. Para obter uma faixa de tempo o cálculo foi feito considerando a velocidade da reação (k, constante de amaciamento) somando e subtraindo o desvio padrão.

4.3 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DA SOJA CRUA, MACERADA E COZIDA

As seis cultivares estudadas foram maceradas e cozidas pelo tempo ótimo obtido na etapa anterior. Ao longo do processamento, realizado em duplicata para cada cultivar, foram retiradas alíquotas de grãos para acompanhamento dos teores de AF, P, Ca, Mg, Zn e Fe, conforme o fluxograma apresentado na Figura 1.

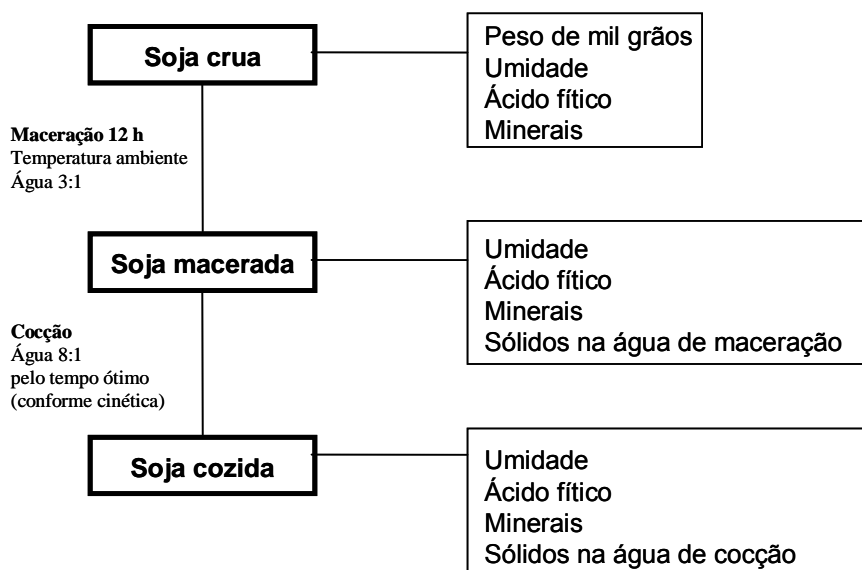


Figura 1 - Fluxograma de maceração, cocção e análise das amostras de soja.

4.3.1 Peso de mil grãos

Como há muita variabilidade no tamanho dos grãos entre as cultivares, o que pode influenciar o tempo de cocção, determinou-se o peso de mil grãos. Utilizando um contador de grãos, foram contados e pesados grupos de 1000 grãos. O procedimento foi realizado em triplicata para cada cultivar.

4.3.2 Determinação de umidade

A Determinação de umidade foi realizada na soja crua, macerada e cozida, em estufa a 105°C até peso constante, segundo técnica do Instituto Adolfo Lutz (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 1985).

4.3.3 Teor de AF

O teor de AF das amostras foi determinado seguindo a metodologia de precipitação com cloreto férrico de THOMPSON & ERDMAN (1982). A extração foi realizada com ácido tricloroacético (3%) nos grãos recém triturados em graal de cerâmica. A precipitação do AF foi realizada com cloreto férrico (0,2%) em banho-maria a 100°C, com posterior lavagem do precipitado e mineralização por digestão nitroperclórica. O material digerido foi analisado para teor de P, conforme CHEN *et al.* (1956) e considerando 28,2% de P na molécula de AF, foi feito o cálculo para obter o teor de AF.

4.3.4 Determinação de sólidos totais

Os sólidos nos líquidos de maceração e cocção foram determinados conforme técnica adaptada do Instituto Adolfo Lutz (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 1985), retirando uma alíquota de 10 mL (em triplicata), levada à estufa a 60°C até secura e calculando para o volume total de líquido.

4.3.5 Teor de P, Ca, Mg, Zn e Fe

Os minerais foram selecionados pela importância no mecanismo de amaciamento da parede celular e pela importância nutricional. Para a análise destes minerais as amostras foram digeridas em ácido nitroperclórico. Após a diluição adequada, a leitura foi realizada por espectrometria de emissão de plasma em aparelho Plasma ICAP 61E (Thermo Jarrel Ash Corporation). A análise foi feita em parceria com o Laboratório de Solos do Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR, Londrina-PR.

4.3.6 Cálculo da razão molar AF: Zn e AF:Fe

Para o cálculo da razão molar foi considerado o peso molecular do AF e dos minerais (AF=660 Da; Zn =65 Da e Fe = 56 Da) e seu teor em 1 kg de soja cozida. Foi aplicada a seguinte relação:

$$\frac{AF / PM_{AF}}{\min / PM_{\min}}$$

Onde:

AF = teor de ácido fítico em 1 kg

PM_{AF} = peso molecular do AF

min = teor do mineral (Zn ou Fe) em 1 kg

PM_{min} = peso molecular do mineral

4.4 ANÁLISE DOS DADOS

Foi realizada a análise de correlação de Pearson a fim de verificar se há correlação entre o teor de ácido fítico e o tempo de cocção das seis cultivares de soja estudadas. A análise envolveu também outros parâmetros levantados (dureza residual, constante de amaciamento, minerais) buscando outras correlações que pudessem elucidar os processos de maceração e cocção.

Para todas as análises as amostras e a ordem de análise foram escolhidas inteiramente ao acaso. Foram feitas duas repetições verdadeiras na determinação da cinética e no acompanhamento das etapas de maceração e cocção.

Utilizou-se o programa Estatística 6.0 (StatSoft) para realizar as análises de regressão e obtenção das equações da cinética de cocção. O programa foi também utilizado para realizar a análise de variância, teste de Tukey (para os dados que apresentassem diferença) e para a análise de correlação entre os parâmetros estudados (nível de significância de 5% para todos os casos).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CINÉTICA E TEMPO DE COCÇÃO

A dureza inicial da soja macerada e a dureza residual após 200 min de cocção são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Dureza inicial e residual das seis cultivares de soja avaliadas

CULTIVAR	DUREZA INICIAL* (N) ± DP	DUREZA RESIDUAL** (N) ± DP
BRS 155	51,4 ± 6,6 ^b	9,4 ± 2,9 ^a
BR 36	62,5 ± 11,2 ^a	7,9 ± 2,0 ^{ab}
Embrapa 48	52,8 ± 4,8 ^b	5,8 ± 0,8 ^c
BRS 213	51,8 ± 7,4 ^b	8,4 ± 2,6 ^{ab}
BRS 216	34,3 ± 4,9 ^c	5,2 ± 1,1 ^c
BRS 232	47,8 ± 11,3 ^b	6,6 ± 1,6 ^{bc}
Média	50,1	7,2
CV (%)	23	33

Letras diferentes na mesma coluna representam diferença significativa ($p \leq 0,05$)

* soja macerada 24 h a temperatura ambiente

**após cocção por 200 min

A dureza inicial variou de 34,3 a 62,5 N, com média de 50,1 N. A cultivar BR 36 diferiu das demais, apresentando a maior dureza após a maceração. A cocção por 200 min provocou uma redução média de 86% na dureza das amostras, que variou de 5,2 a 9,4 N. A cultivar BRS 155 apresentou a maior dureza residual em função do menor percentual de redução de dureza (82%). Já a cultivar Embrapa 48 teve a maior redução de dureza (89%) e apresentou os menores valores de dureza residual juntamente com as cultivares BRS 216 e BRS 232. Os resultados aproximam-se daqueles obtidos por XIE *et al.* (1998), que em um teste de compressão muito semelhante, obtiveram dureza residual de 4,6 N para ervilhas secas cozidas por 240 min.

O coeficiente de variação (CV) médio foi de 23% na determinação da dureza inicial e 33% na dureza residual, valores dentro do usual para análises de textura.

Um gráfico típico de cocção prolongada de leguminosas está demonstrado na Figura 2, referente à cocção da cultivar BRS 213. Após cerca de 100 min de cocção a textura praticamente não varia, indicando que foi atingido o ponto máximo de perda de dureza, conforme proposto por RIZVI & TONG (1997). Aplicando a metodologia da conversão fracional, foi possível linearizar os dados (Figura 3 (a-f)). O ajuste a uma equação de primeiro grau é bom, com o r^2 ajustado superior a 0,77 para todas as amostras. Os desvios da textura aumentam à medida que a soja cozinha, pois cada grão tem um comportamento diferente na cocção quanto à degradação de textura e coagulação de proteínas.

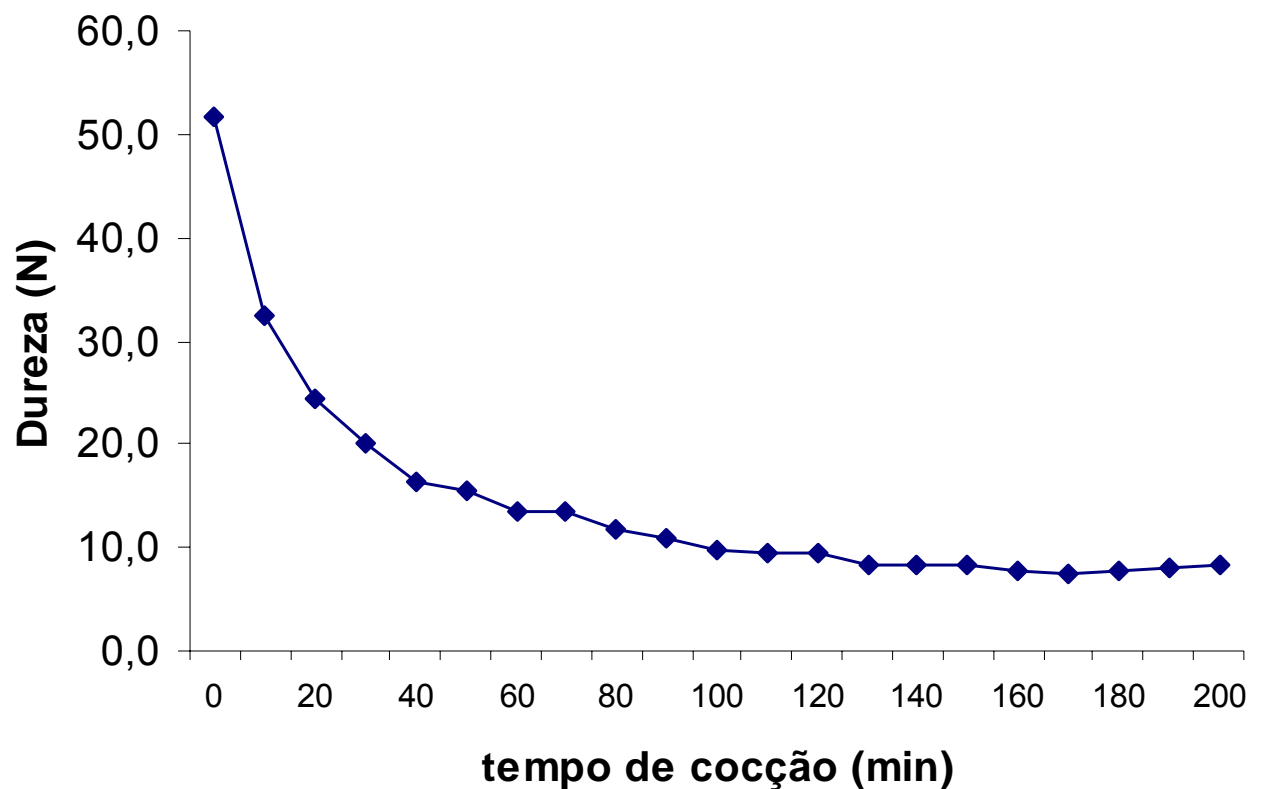


Figura 2 – Perda de dureza da cultivar BRS 213 ao longo de 200 min de cocção.

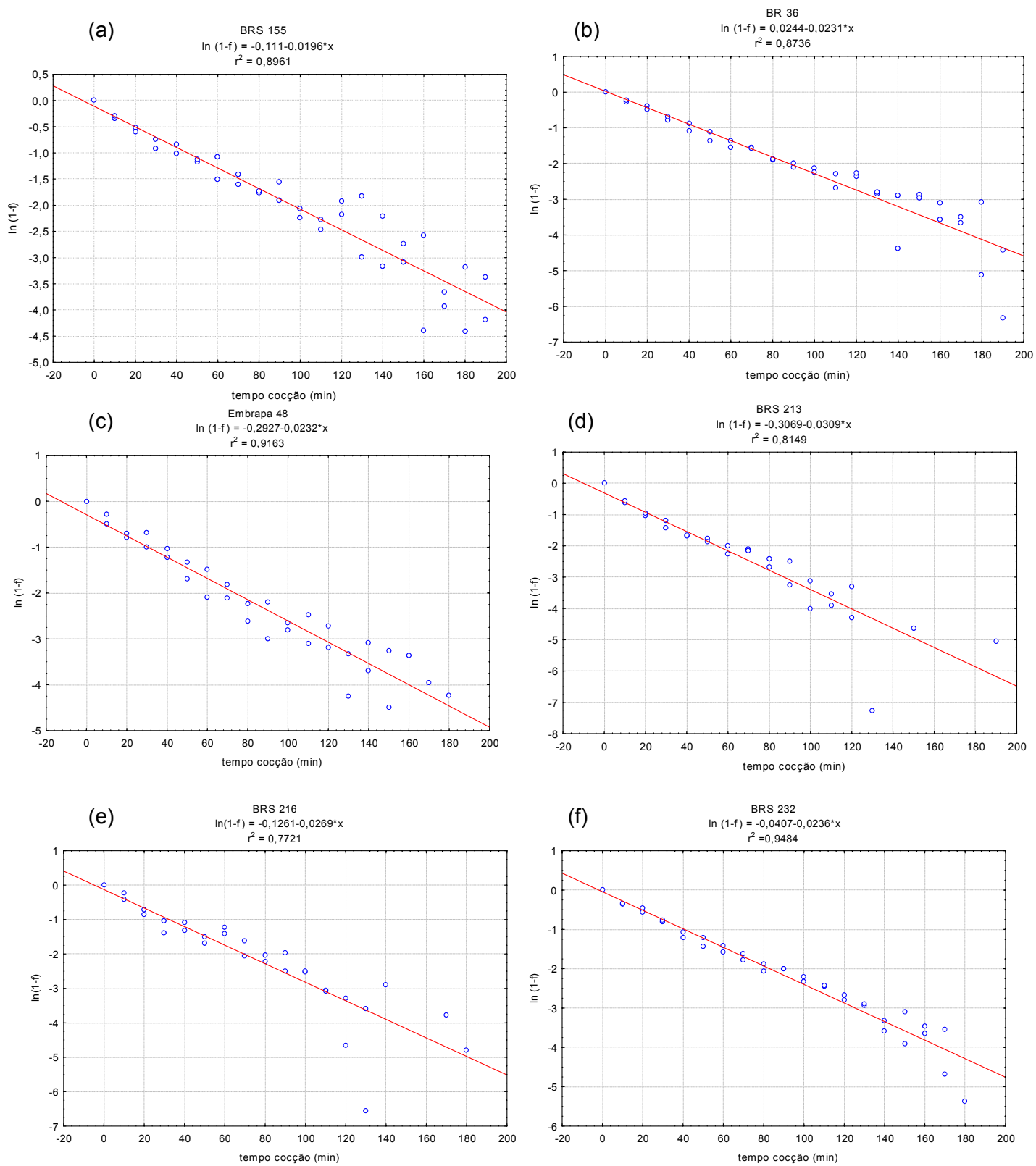


Figura 3 – Plotagem do $\ln(1-f)$ versus tempo de cocção das seis cultivares de soja: BRS 155 (a), BR 36 (b), Embrapa 48 (c), BRS 213 (d), BRS 216 (e) e BRS 232 (f).

Das retas traçadas foram obtidas as constantes de amaciamento (k) e, utilizando a equação de cada reta, foi obtido o tempo ótimo de cocção e a faixa de tempo ótimo (Tabela 3).

Tabela 3 – Constantes de amaciamento (k), r^2 ajustado, faixa de tempo e tempo ótimo de cocção das seis cultivares de soja testadas.

CULTIVAR	Constante de amaciamento (min^{-1}) \pm DP ($k \pm \text{DP}$) $\times 10^{-3}$	r^2 ajustado	Faixa de tempo ótimo de cocção** (min)	Tempo ótimo de cocção* (min)
BRS 155	-19,6 \pm 1,1	0,8961	50-55	52
BR 36	-23,1 \pm 1,4	0,8736	53-60	56
Embrapa 48	-23,2 \pm 1,2	0,9163	30-32	30
BRS 213	-30,9 \pm 2,8	0,8149	23-28	25
BRS 216	-26,9 \pm 2,7	0,7721	12-15	14
BRS 232	-23,6 \pm 0,9	0,9484	36-39	37

* tempo necessário para atingir a 23N de dureza.

** considerando o desvio padrão da constante de amaciamento

A cultivar BRS 216 apresentou o menor tempo de cocção (14 min) e a cultivar BR 36 o maior tempo (56 min). A média das seis cultivares foi de 36 min. Os tempos de cocção obtidos estão próximos àqueles apresentados por MENEGUCE *et al.* (2004), mesmo utilizando outro método. Testando 34 genótipos de soja, os autores relataram tempo de cocção de 25 a 67 min, com média de 38 min.

SHIMELIS & RAKSHIT (2005) determinaram o tempo ótimo de cocção de feijões utilizando o aparelho de Mattson e depois mediram a resistência à compressão em texturômetro (taxa de compressão 75%). Os autores encontraram dureza média de 148 Ng^{-1} , com tempos variando de 19,5 a 41,7 min. Expressando na mesma unidade, a textura ótima proposta de 23 N equivale a aproximadamente $146,5 \text{ Ng}^{-1}$, sendo, portanto, uma textura adequada para soja. COELHO (2004) utilizou as mesmas condições usadas nesta pesquisa em feijões preto e carioca, encontrando dureza média de 30,1N no ponto ideal de consumo.

A cultivar BRS 216 apresentou a menor dureza inicial e também o menor tempo de cocção, enquanto a cultivar BR 36 apresentou a maior dureza inicial e maior tempo de cocção. KAUR *et al.* (2005) realizaram uma análise de perfil de textura em grão de bico, onde a primeira fase da análise (equivalente à primeira mordida) mede a dureza (taxa de compressão de 80%). No grão de bico macerado a

dureza variou de 106,9 a 209,7 N e as cultivares de maior dureza apresentaram também maior tempo de cocção (que variou de 62,4 a 95 min). O comportamento foi o mesmo encontrado na soja, mesmo com a presença de amido no grão de bico.

5.2 ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICAS NA SOJA CRUA, MACERADA E COZIDA

5.2.1 Peso de mil grãos

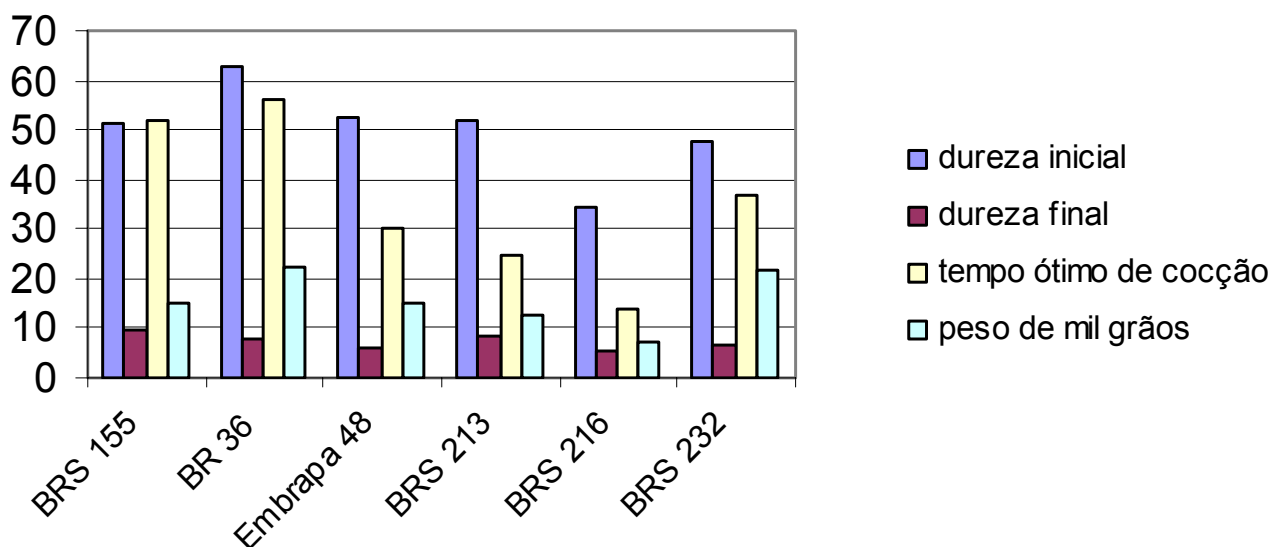
As amostras apresentaram grande variabilidade no peso de mil grãos (Tabela 4). A cultivar BR 36 apresentou a maior massa por 1000 grãos (225,1 g) e a cultivar BRS 216 apresentou uma massa 3 vezes menor (72,2 g). Essas duas cultivares foram também as de maior e menor (respectivamente) dureza quando maceradas e também maior e menor tempo de cocção. KAUR *et al.* (2005) obtiveram o mesmo padrão para grão de bico, explicando que o tamanho do grão governa a distância que a água terá que percorrer até atingir a região mais central do grão. DESTRO *et al.* (2003) obtiveram peso de mil grãos de soja variando de 112,8 a 360 g e houve correlação positiva entre o tamanho da semente e o tempo de cocção ($r=0,42$). Conforme CHERYAN (1986) apud SALUNKHE E DESHPANDE (1991), grãos menores cozinham mais rapidamente por terem mais superfície exposta por unidade de massa.

Tabela 4 – Peso de mil grãos (g) das seis cultivares de soja estudadas

CULTIVAR	PESO DE MIL GRÃOS (g) \pm DP*
BRS 155	151,0 \pm 1,0 ^c
BR 36	225,1 \pm 0,7 ^a
Embrapa 48	152,8 \pm 2,6 ^c
BRS 213	126,5 \pm 1,3 ^d
BRS 216	72,2 \pm 1,7 ^e
BRS 232	215,5 \pm 2,6 ^b
Média	157,2
CV (%)	34

*letras diferentes na mesma coluna indicam diferença (nível de significância 5%)

A Figura 4 apresenta uma comparação das 6 cultivares, envolvendo a dureza inicial, dureza final, tempo ótimo de cocção e peso de mil grãos. A preferência da indústria pela Embrapa 48 se justifica, já que a cultivar une as características de grãos médios, com baixo tempo de cocção e baixa dureza residual.



* Na figura foi utilizado o peso de 100 grãos, para manter a escala em uma ordem de grandeza compatível com os demais parâmetros.

Figura 4- Comparação das cultivares de soja BRS 155, BR 36, Embrapa 48, BRS 213, BRS 216 e BRS 232 quanto a dureza inicial, dureza final, tempo ótimo de cocção e peso de mil grãos.

5.2.2 Determinação do teor de umidade

A variação na umidade das amostras cruas, maceradas e cozidas está exposta na Tabela 5. Apesar de todas as cultivares apresentarem teor de umidade inicial semelhante (média de 9,9%), após a maceração apareceram diferenças. As cultivares BRS 216 e BRS 213 apresentaram os maiores teores de umidade nos grãos macerados (63,7 e 63,5%, respectivamente), enquanto que a cultivar BR 36 apresentou a menor umidade (58,1%).

Tabela 5 – Teor de umidade das amostras cruas, maceradas e cozidas

CULTIVAR	TEOR DE UMIDADE (%) \pm DP		
	CRUA	MACERADA	COZIDA**
BRS 155	9,7 \pm 0,2 ^{aA*}	62,8 \pm 0,3 ^{bB}	66,0 \pm 0,2 ^{aC}
BR 36	9,9 \pm 0,3 ^{aA}	58,1 \pm 0,4 ^{eB}	63,9 \pm 0,6 ^{bC}
Embrapa 48	9,7 \pm 0,2 ^{aA}	61,1 \pm 0,2 ^{cB}	63,9 \pm 0,2 ^{bC}
BRS 213	10,1 \pm 0,3 ^{aA}	63,5 \pm 0,7 ^{abB}	65,7 \pm 0,2 ^{aC}
BRS 216	10,0 \pm 0,2 ^{aA}	63,7 \pm 0,2 ^{aB}	65,5 \pm 0,2 ^{aC}
BRS 232	9,9 \pm 0,1 ^{aA}	59,8 \pm 0,5 ^{dB}	63,1 \pm 0,7 ^{bC}
Média	9,89	61,5	64,7
CV (%)	2,3	3,4	1,8

* letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença entre as cultivares, letras maiúsculas diferentes na mesma linha indicam diferença entre as etapas de processamento (nível de significância 5%)

**pelo tempo ótimo constante na Tabela 3

Todas as cultivares tiveram um aumento significativo na umidade com a cocção, partindo de uma umidade macerada média de 61,5% para uma média de 64,7% depois de cozidas. CABRAL *et al.* (1995) maceraram grãos de soja com teor de umidade inicial de 9,7% e após maceração por 12 h a 22°C chegaram a 62%, muito similar aos dados encontrados.

5.2.3 Variação e efeito do processo de maceração e cocção nos teores de AF, P total e P fítico.

A determinação de AF revelou que as cultivares analisadas são bastante homogêneas. Nas amostras cruas o teor de AF variou de 1,19 a 1,81 g/100g (cultivares BRS 155 e BRS 213, respectivamente) e apenas a cultivar BRS 155 diferiu das demais. Os valores encontrados dentro da amplitude de valores (0,89 a 2,30 g/100g) apresentada na literatura (LESTIENNE *et al.*, 2005a e 2005b; RABOY *et al.*, 1984; REDDY, 2002).

O teor de AF por 100 g de matéria seca não possibilita acompanhar adequadamente as variações ao longo do processamento, já que há perda de sólidos para os meios de maceração e cocção. Com base nisso foi feito o balanço de massa, apresentado na Tabela 6.

Considerando a perda de sólidos média de 4,5% durante a maceração, a redução de AF foi de 28%, variando de 23% na cultivar BRS 232 a 39% na BRS 155. A redução foi superior à redução de 23% determinada por LESTIENNE *et al.* (2005a), e 22% por BELÉIA *et al.* (1990).

Com o processo de cocção houve perda de sólidos, com média de 13,1%, variando de 10,6% na cultivar BRS 216 a 15,4% na BR 36. Considerando essa variação no peso seco das amostras, não houve alteração significativa do teor de AF durante o processo de cocção (pelo teste de Tukey, nível de significância 5%).

Tabela 6 – Balanço de massa, AF, P total, P fítico e percentagem do P total na forma de P fítico durante o processo de maceração e cocção*.

CULTIVAR		Peso (g)	Umidade (%)	Peso seco (g)	AF ± DP ** (g)	P total ± DP (g)	P fítico ± DP (g)	% Pt/Pf
	Crua	60,0	9,7	54,2	0,64 ± 0,08 ^a	0,36 ± 0,03 ^a	0,18 ± 0,02 ^a	50
	Macerada	139,1	62,8	51,8	0,39 ± 0,06 ^b (-39%)	0,32 ± 0,02 ^a	0,11 ± 0,02 ^b	34
BRS 155	Liq. Maceração***			4,6	nd	nd	nd	
	Cozida	128,8	66,1	43,7	0,45 ± 0,03 ^b (-28%)	0,31 ± 0,05 ^a	0,13 ± 0,01 ^b	42
	Liq. Cocção***			6,2	nd	nd	nd	
	Crua	60,0	9,9	54,1	0,89 ± 0,00 ^a	0,46 ± 0,00 ^a	0,26 ± 0,00 ^a	57
	Macerada	129,7	58,1	54,4	0,68 ± 0,04 ^b (-24%)	0,43 ± 0,03 ^{ab}	0,19 ± 0,01 ^b	44
BR 36	Liq. Maceração			1,1	nd	nd	nd	
	Cozida	128,8	63,9	46,6	0,68 ± 0,06 ^b (-24%)	0,38 ± 0,05 ^b	0,19 ± 0,02 ^b	50
	Liq. Cocção			7,2	nd	nd	nd	
	Crua	60,0	9,7	54,2	0,87 ± 0,03 ^a	0,42 ± 0,02 ^a	0,25 ± 0,01 ^a	59
	Macerada	136,3	61,1	53,1	0,63 ± 0,10 ^b (-28%)	0,41 ± 0,02 ^a	0,18 ± 0,03 ^b	44
Embrapa 48	Liq. Maceração			1,9	nd	nd	nd	
	Cozida	130,9	63,9	47,3	0,58 ± 0,09 ^b (-32%)	0,41 ± 0,03 ^a	0,17 ± 0,03 ^b	41
	Liq. Cocção			6,0	nd	nd	nd	
	Crua	60,0	9,7	53,9	0,98 ± 0,04 ^a	0,47 ± 0,02 ^a	0,28 ± 0,01 ^a	60
	Macerada	142,9	63,5	52,2	0,73 ± 0,02 ^b (-26%)	0,55 ± 0,12 ^a	0,21 ± 0,01 ^b	38
BRS 213	Liq. Maceração			2,3	nd	nd	nd	
	Cozida	140,0	65,8	47,9	0,72 ± 0,05 ^b (-27%)	0,41 ± 0,09 ^a	0,20 ± 0,01 ^b	49
	Liq. Cocção			6,1	nd	nd	nd	
	Crua	60,0	9,7	54,0	0,90 ± 0,06 ^a	0,44 ± 0,02 ^a	0,26 ± 0,02 ^a	59
	Macerada	142,9	63,7	51,9	0,65 ± 0,12 ^b (-30%)	0,41 ± 0,07 ^a	0,18 ± 0,03 ^b	44
BRS 216	Liq. Maceração			3,6	nd	nd	nd	
	Cozida	135,7	65,5	46,8	0,64 ± 0,04 ^b (-30%)	0,35 ± 0,04 ^a	0,18 ± 0,01 ^b	51
	Liq. Cocção			4,9	nd	nd	nd	
	Crua	60,0	9,7	54,1	0,91 ± 0,05 ^a	0,48 ± 0,04 ^a	0,26 ± 0,02 ^a	54
	Macerada	134,7	59,8	54,1	0,70 ± 0,04 ^b (-23%)	0,45 ± 0,05 ^a	0,20 ± 0,01 ^b	44
BRS 232	Liq. Maceração			1,2	nd	nd	nd	
	Cozida	131,6	63,1	48,6	0,73 ± 0,03 ^b (-20%)	0,42 ± 0,02 ^a	0,21 ± 0,01 ^b	50
	Liq. Cocção			6,4	nd	nd	nd	

nd = não determinado. Letras diferentes indicam diferença entre as etapas dentro da mesma cultivar ($p < 0,05$) *valores de massa são médias de duplicatas; AF, Pt, Pf são médias de 2 duplicatas x 3 repetições. ** valores entre parêntese se referem ao percentual de redução de AF com relação à amostra crua *** teor de sólidos nos líquidos de maceração e cocção.

As causas da redução de AF durante a maceração são lixiviação para a água de maceração e hidrólise por fitase endógena. SATHE & VENKATACHALAM (2002) afirmam que o AF é hidrossolúvel, podendo haver

redução significativa quando a água de maceração é descartada. LESTIENNE *et al.* (2005b) encontraram aumento do teor de P inorgânico nos grãos de soja macerados, mas não no líquido de maceração. Além disso, detectaram baixa atividade de fitase no líquido, sugerindo que a quebra do AF a inositóis de menor fosforilação e P inorgânico ocorre dentro do grão hidratado. BELÉIA *et al.* (1990) também encontraram maior aumento de P inorgânico no grão macerado que no líquido de maceração. Os resultados da Tabela 6 podem ser compreendidos pelos mecanismos descritos acima, já que não há perda de P total com o processamento, porém há perda de P fítico, sendo assim o P fítico seria hidrolisado a P inorgânico, que fica retido no grão.

O AF é termoestável, não sendo destruído por cocção a 100°C (LIU, 1997; EGOUNLETY & AWORTH, 2003). SATHE & VENKATACHALAM (2002) afirmam que pode haver redução de AF se houver ação da fitase nas etapas iniciais da cocção. Nas amostras analisadas isso não foi observado já que os grãos foram colocados diretamente em água fervente, sendo rápida a inativação da enzima. Segundo CHERYAN (1980), durante o processo de cocção o AF pode passar da forma de sal solúvel de potássio para um sal insolúvel ligado a cálcio e magnésio, assim a lixiviação seria limitada, não havendo redução no teor de AF na cocção.

LESTIENNE *et al.* (2005b) relataram aumento de 90% no teor de AF de farinha de soja integral macerada e cozida. Os autores afirmam que a cocção não é capaz de degradar o AF e ainda sugerem que durante o início do processo de cocção pode haver ação da enzima inositol 1,3,4,5,6 – pentakisfosfato quinase (temperatura ótima 42°C), sintetizando AF.

A percentagem de P total na forma de P fítico na soja crua foi de 56% em média. A cultivar BRS 155 apresentou a menor percentagem (50%) conforme esperado por ter apresentado teor de AF significativamente menor que as outras cultivares, mas teor de P equivalente à cultivar Embrapa 48 (apresentado mais adiante). Os valores estão de acordo com REDDY (2002), que cita percentagens de 50 a 70% para soja crua. Nos grãos macerados e cozidos, a percentagem de P total na forma de P fítico não parece ser um bom parâmetro. A percentagem flutua, mesmo não havendo variação significativa nos teores de P total nem P fítico durante a cocção.

Considerando a recomendação da FDA de ingestão de 25 g/dia de proteína de soja, pode-se saber quanto AF está sendo consumido. As cultivares de

soja cozidas apresentaram teor de proteína variando de 45,2 (BRS 213) a 52,9 g/100 g (BRS 155), com média de 48,6 g/100 g. Assim, seria necessário consumir aproximadamente 145 g de soja cozida (com cerca de 65% de umidade) para atender à recomendação da FDA, representando ingestão de 693 mg de AF. Tal valor é equivalente ao consumo médio de 689 mg/dia de AF nos Estados Unidos por homens e mulheres onívoros (REDDY, 2002).

5.2.4 Variação e efeito do processo de maceração e cocção nos teores de P, Ca, Mg, Zn e Fe.

Tabela 7 – Teores de P, Ca, Mg, Zn e Fe em 60 g de soja crua *in natura* e teores após maceração e cocção.

CULTIVAR		Peso seco (g)	P (mg) ± DP	Ca (mg) ± DP	Mg (mg) ± DP	Zn (mg) ± DP	Fe (mg) ± DP
BRS 155	Crua	54,2	360 ± 32 ^{aB}	158 ± 15 ^{aA}	125 ± 10 ^{bA}	2,5 ± 0,2 ^{aA}	6,1 ± 0,7 ^{bBC}
	Macerada	51,8	316 ± 24 ^{aB}	151 ± 9 ^{aAB}	150 ± 14 ^{aA}	3,1 ± 0,1 ^{aA}	8,9 ± 1,1 ^{aA}
	Cozida	43,7	308 ± 50 ^{aA}	172 ± 40 ^{aA}	120 ± 3 ^{bA}	3,0 ± 0,6 ^{aA}	5,7 ± 1,2 ^{bA}
BR 36	Crua	54,1	485 ± 5 ^{aA}	114 ± 5 ^{aB}	143 ± 6 ^{aA}	3,0 ± 0,6 ^{aA}	7,3 ± 0,6 ^{aA}
	Macerada	54,4	429 ± 29 ^{abB}	112 ± 15 ^{aBC}	157 ± 22 ^{aA}	3,1 ± 0,4 ^{aA}	8,4 ± 2,2 ^{aA}
	Cozida	46,6	377 ± 47 ^{bA}	109 ± 14 ^{aC}	125 ± 19 ^{aA}	3,0 ± 0,6 ^{aA}	7,2 ± 2,7 ^{aA}
Embrapa 48	Crua	54,2	421 ± 16 ^{aAB}	77 ± 6 ^{bC}	140 ± 10 ^{bA}	2,4 ± 0,2 ^{bA}	5,6 ± 0,5 ^{aC}
	Macerada	53,1	412 ± 22 ^{aB}	85 ± 4 ^{bC}	166 ± 12 ^{aA}	2,9 ± 0,2 ^{aA}	8,1 ± 1,0 ^{aA}
	Cozida	47,3	426 ± 29 ^{aA}	99 ± 4 ^{aC}	148 ± 12 ^{abA}	2,9 ± 0,1 ^{aA}	7,0 ± 1,9 ^{aA}
BRS 213	Crua	53,9	472 ± 21 ^{aA}	156 ± 14 ^{aA}	131 ± 14 ^{bA}	2,5 ± 0,1 ^{aA}	5,2 ± 0,3 ^{aC}
	Macerada	52,2	468 ± 108 ^{aA}	200 ± 48 ^{aA}	209 ± 47 ^{aA}	3,9 ± 1,0 ^{aA}	8,3 ± 1,7 ^{aA}
	Cozida	47,9	406 ± 91 ^{aA}	165 ± 27 ^{aAB}	137 ± 24 ^{bA}	2,9 ± 0,4 ^{aA}	5,5 ± 1,7 ^{aA}
BRS 216	Crua	54,0	440 ± 16 ^{aA}	133 ± 8 ^{aAB}	132 ± 7 ^{aA}	2,8 ± 0,1 ^{aA}	5,7 ± 0,2 ^{abC}
	Macerada	51,9	405 ± 71 ^{aB}	123 ± 25 ^{aBC}	155 ± 35 ^{aA}	3,7 ± 0,8 ^{aA}	7,1 ± 1,3 ^{aA}
	Cozida	46,8	350 ± 43 ^{aA}	127 ± 16 ^{aBC}	124 ± 15 ^{aA}	2,9 ± 0,4 ^{aA}	7,3 ± 1,4 ^{aA}
BRS 232	Crua	54,1	479 ± 38 ^{aA}	120 ± 8 ^{bB}	138 ± 10 ^{bA}	3,0 ± 0,7 ^{aA}	6,9 ± 0,3 ^{aAB}
	Macerada	54,1	450 ± 47 ^{aAB}	120 ± 13 ^{bBC}	183 ± 12 ^{aA}	3,3 ± 0,3 ^{aA}	7,4 ± 2,3 ^{aA}
	Cozida	48,6	425 ± 21 ^{aA}	145 ± 9 ^{aABC}	153 ± 13 ^{bA}	3,4 ± 0,4 ^{aA}	5,4 ± 1,6 ^{aA}

Letras minúsculas diferentes indicam diferença entre as etapas de processamento dentro da mesma cultivar, letras maiúsculas diferentes indicam diferença entre as cultivares na mesma etapa de processamento (considerando valores em mg/kg bs) ($p < 0,05$)

O efeito da maceração e cocção nos minerais analisados está exposto na Tabela 7. O teor de P da soja crua (média de 8,2 g/kg) é superior aos 6,38 g/kg reportados por DESTRO *et al.* (2002), que analisaram 72 genótipos de

soja para alimentação humana cultivadas na região de Londrina-PR. Os autores explicam que a escassez de água prejudica o acúmulo de fósforo. Segundo ROSSETTO *et al.* (2002), solos com alta disponibilidade de P resultam em maior concentração do mineral na semente.

Segundo RABOY *et al.* (2002), o teor de P acompanha o teor de AF. Pelos valores determinados nesta pesquisa, a cultivar com menor teor de AF (BRS 155) foi também a de menor teor de P. Com a maceração e cocção não houve variação nos teores de P, conforme observado na Tabela 6, que indica manutenção do teor de P total durante o processamento. Após a cocção de 60 g de soja *in natura*, o teor de fósforo variou de 308 a 426 mg (7,05 a 8,74 g/kg bs), não havendo diferença entre as cultivares.

A cultivar Embrapa 48 apresentou o menor teor de Ca na soja crua (77 mg em 60 g de soja *in natura*). Os valores em g/kg bs variam de 1,43 a 2,92 g/kg e aproximaram-se dos valores obtidos por RABOY *et al.* (1984) e DESTRO *et al.* (2002). Com a maceração não houve variação significativa, porém durante a cocção as cultivares Embrapa 48 e BRS 232 tiveram aumento no teor de cálcio. MOSCOSO *et al.* (1984), SALUNKHE & DESHPANDE (1991) e DUHAN *et al.* (2002) relataram retenção total de Ca durante a cocção de feijão cavalo, feijão comum e feijão guandu, respectivamente. É possível que a cocção das amostras em água de torneira (visando simular o preparo doméstico) tenha sido responsável pelo aumento nessas duas cultivares.

KAMCHAN *et al.* (2004) reportaram biodisponibilidade de 11,1% de Ca em grãos de soja cozidos, conferindo ao AF a causa da baixa percentagem do teor disponível deste elemento. Considerando a porção calculada de 145 g de soja cozida para o aporte de 25 g de proteína, a ingestão de Ca seria de 149 mg, com 16 mg biodisponíveis. Tal valor representa 1,6% da ingestão diária recomendada (IDR) de 1000mg, conforme RDC n.269 da ANVISA (BRASIL, 2005).

Embora em algumas cultivares não tenha sido significativo, todas as amostras apresentaram aumento no teor de Mg durante a maceração. É possível que o Mg presente na água de maceração tenha sido quelado e posteriormente tenha sido lixiviado durante a cocção, já que há decréscimo nesta última etapa, voltando ao teor inicial. O teor de Mg na soja crua variou de 2,31 (BRS 155) a 2,64 g/kg (BR 36), estando de acordo com a literatura (DESTRO *et al.*, 2002) e na soja cozida de 2,52 (BRS 155) a 3,14 g/kg (Embrapa 48 e BRS 232).

A soja crua apresentou teor de Zn médio de 49,8 mg/kg, variando de 44,47 na cultivar Embrapa 48 a 56,17 mg/kg na BRS 232. DESTRO *et al.* (2002) relatam média de 46,30 mg/kg. A maceração e cocção praticamente não causaram variação no teor de Zn. LESTIENNE *et al.* (2005a) e (2005b) relataram perda não significativa de Zn durante a maceração de grãos inteiros de soja. WEAVER & KANNAN (2002) mencionam que o Zn encontra-se fortemente associado às proteínas da soja.

Segundo WEAVER & KANNAN (2002), o complexo do AF com Zn é o mais estável, logo o Zn é o mineral mais afetado pelo poder quelante do AF. Com base na recomendação de 25g de proteína de soja, a ingestão de Zn seria de cerca de 3,3 mg, porém a absorção é difícil de ser estimada. A razão molar AF:Zn na soja cozida foi de 20, acima do limiar de 10, associado a deficiência do mineral (LESTIENNE *et al.*, 2005b; ADEYEYE *et al.*, 2000). É importante ressaltar, porém, que em uma dieta variada essa razão é facilmente alterada. Além disso, segundo WEAVER & KANNAN (2002), o pH se altera ao longo do trato gastrintestinal e as secreções endógenas diluem o conteúdo, resultando que o ambiente no local específico de absorção é o que determina a absorção.

O processamento não afetou o conteúdo de Fe das amostras de soja, exceto na cultivar BRS 155, que apresentou aumento durante a maceração e depois redução com a cocção. DUHAN *et al.* (2002) encontraram perda de Fe de apenas 3% durante a maceração e cocção de feijão guandu.

O teor de Fe encontrado nas amostras crua está de acordo com DESTRO *et al.* (2002) (111,81 mg/kg). A soja crua apresentou conteúdo de Fe variando de 96,2 (BRS 213) a 135,8 mg/kg (BRS 36). Na soja cozida não há diferença entre as amostras, com média de 135,9 mg/kg.

ZHOU & ERDMAN (1995) afirmam que o AF é o mais importante inibidor da absorção de Fe na dieta. Na porção de 145 g de soja cozida, a ingestão de Fe seria de 6,98 mg, considerando o fato de ser Fe não-heme, a absorção é de no máximo 10% (resultando em 0,7 mg, ou 5% da IDR). Somado a isso, a presença de AF em razão molar AF:Fe maior que 14 poderia ser causa de deficiência de Fe (LESTIENNE *et al.*, 2005b; ADEYEYE *et al.*, 2000). Nas amostras analisadas, a razão molar encontrada na soja cozida foi de 8, portanto adequado para boa absorção de Fe. As considerações feitas a respeito da absorção de Zn quanto à influência da dieta e sistema digestório são válidas também para o Fe. Inclusive,

DAVIDSSON *et al.* (2004) reportaram que em altas quantidades, o ácido ascórbico favorece a absorção de Fe, sobrepujando a ação inibitória do AF.

O coeficiente de variação (CV%) da determinação de minerais na soja crua foi de 11,1; 23,5; 7,6; 15,3 e 14,2% para P, Ca, Mg, Zn e Fe, respectivamente. Na soja macerada foi de 21,2; 33,3; 18,7; 35,2 e 31,8%, seguindo a mesma ordem e na soja cozida, também seguindo a mesma ordem, o CV foi de 14,4; 26,4; 14,8; 15,2 e 11,7%. Os valores estão dentro da variação geralmente aceita de 25%, exceto para Ca, Zn e Fe na soja macerada e Ca na soja cozida.

5.3 ANÁLISE DE CORRELAÇÃO

Mesmo com r alto entre a constante de amaciamento e o teor de AF na soja crua e macerada, nenhum dos coeficientes foi significativo ($p > 0,05$) (Tabela 8). Isso pode ser explicado pela homogeneidade no teor de AF das amostras. BHATTY & SLINKARD (1989) encontraram a mesma situação ao correlacionar o teor de AF de lentilhas com a força de cisalhamento, sendo que a pouca variação na força de cisalhamento resultou em r não significativos.

Tabela 8 – Coeficientes de correlação (r) entre AF nas três etapas de processamento e parâmetros de cocção.

	Ácido fítico		
	Crua	Macerada	Cozida
Tempo de cocção	-0,56	-0,52	-0,27
Constante de amaciamento (k)	-0,81	-0,80	-0,66
Dureza residual	-0,49	-0,45	-0,27

Tabela 9 – Coeficientes de correlação (r) entre k e P, Ca, Mg, Zn e Fe na soja crua, macerada e cozida.

	Constante de amaciamento (k)		
	SOJA CRUA	SOJA MACERADA	SOJA COZIDA
P	-0,57	-0,91 *	-0,37
Ca	-0,25	-0,54	0,01
Mg	0,00	-0,78	-0,15
Zn	0,09	-0,82 *	0,70
Fe	0,52	0,30	0,20

(*) indica coeficiente de correlação significativo ($p < 0,05$)

A Tabela 9 apresenta os coeficientes de correlação entre a constante de amaciamento e os minerais analisados. Houve coeficientes significativos entre o k e P ($r = -0,91$) e Zn ($r = -0,82$) na soja macerada. É interessante notar que essa correlação não existe na soja crua, mesmo não havendo alteração significativa no teor desses dois minerais durante a maceração. Apesar da análise de correlação não permitir conclusões de causa-efeito, os resultados indicam que quanto maior o teor de P e Zn na soja macerada, menor será o valor de k, ou seja, o grão amacia mais rapidamente.

Uma análise preliminar (não apresentada) abrangendo todos os parâmetros analisados indicou não haver correlação significativa entre o peso de mil grãos e o tempo de cocção das cultivares ($r=0,77$).

6 CONCLUSÕES

Foi possível constatar que a maceração dos grãos de soja resultou em perda significativa de AF, provavelmente por hidrólise a fósforo inorgânico. Nas condições adotadas neste experimento, a cocção não provocou perda de AF.

O teor de P total não variou ao longo do processamento, já para os outros minerais houve alguma variação, mas sem algum comportamento que se destacasse. Com base na razão molar de AF:Zn e AF:Fe encontrada nos grãos cozidos, com o consumo a absorção de Zn poderia ser dificultada, porém não a de Fe.

O tempo de cocção não apresentou correlação com o teor de AF ou com qualquer outro parâmetro estudado. A constante de amaciamento, porém, está correlacionada negativamente com o teor de P e Zn na soja macerada. Parece haver alguma relação entre o tamanho do grão, sua dureza após a maceração e o tempo de cocção, já que as mesmas cultivares foram os extremos destes parâmetros.

A cinética de cocção indicou que após 100 min de cocção é atingida a dureza residual da soja. Com base na cinética e na textura considerada ideal, os tempos de cocção obtidos foram compatíveis com aqueles citados na literatura para leguminosas.

Para experimentos futuros sugere-se medir o teor de AF e P também nos meios de maceração e cocção, para confirmar a hidrólise do AF.

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, 2000, p.435-441.

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.

BHATTY, R.S.; SLINKARD, A.E. Relationship between phytic acid and cooking quality in lentil. **Journal of the Canadian Institute of Food Science and Technology**, v.22, n. 2, p. 137-142, 1989.

BOERSMA, B.J.; BARNES, S.; KIRK, M.; WANG, C.C; SMITH, M.; KIM, H.; XU, J.; PATEL, R.; DARLEY-USMAR, V.M. Soy isoflavones and cancer – metabolism at the target site. **Mutation Research**, v. 480-481, p.121-127, 2001.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Embrapa, **Soja brasileira: sucesso de norte a sul**, folder, abr. 2002.

BRASIL. Resolução n. 269, de 22 de setembro de 2005. O regulamento técnico sobre a ingestão diária recomendada (IDR) de proteína, vitaminas e minerais. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 23 set. 2005.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Companhia Nacional de Abastecimento-CONAB. **Avaliação da safra de grãos 2005/2006**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 01 fev 2006.

BROUNS, F. Soja isoflavones: a new and promising ingredient for the health foods sector. **Food Research International**, v.35, p. 187-193, 2002.

CARRÃO-PANIZZI, M.C.; ALMEIDA, L.A., KIIHL, R.A.S.; MIRANDA, L.C., MANDARINO, J.M.G. Indicação da nova cultivar BRS 155 para o estado do Paraná. Reunião de Pesquisa de Soja da Região Central do Brasil, 20., 1998, Londrina, **Atas e Resumos...** Londrina: Embrapa CNPSo, 1998, p.304-305. (Embrapa CNPSo. Documentos, 121).

CARRÃO-PANIZZI, M.C.; ALMEIDA, L.A., MIRANDA, L.C.; KIIHL, R.A.S.; MANDARINO, J.M.G.; ARIAS, C.A.A.; YORINORI, J.T.; ALMEIDA, A.M.R.; TOLEDO, J.F.F. BRS 213 – Nova cultivar de soja para alimentação humana. **Resumos do II Congresso Brasileiro de Soja e Mercosoja 2002**. Londrina, Embrapa Soja, Documentos 181, p. 201, 2002a.

CARRÃO-PANIZZI, M.C.; ALMEIDA, L.A., MIRANDA, L.C.; KIIHL, R.A.S.; MANDARINO, J.M.G.; ARIAS, C.A.A.; YORINORI, J.T.; ALMEIDA, A.M.R.; TOLEDO, J.F.F. BRS 216 – Nova cultivar de soja para alimentação humana. **Resumos do II Congresso Brasileiro de Soja e Mercosoja 2002**. Londrina, Embrapa Soja, Documentos 181, p. 202, 2002b.

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

CHERYAN, M. Phytic acid interactions in food systems. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.13, n.4, 1980, p.297-335.

COELHO, S.R.M. **Alterações químicas, físico-químicas e físicas durante o envelhecimento natural e acelerado de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Tese de Doutorado em Ciência de Alimentos. Departamento de Tecnologia de Alimentos e Medicamentos, Universidade Estadual de Londrina, Londrina-Paraná, 2004, 235 p.

COTRONEO, M.S.; WANG, J.; FRITZ, W.A.; ELTOUM, I.; LAMARTINIERE, C.A. Genistein action in the prepubertal mammary gland in a chemoprevention model. **Carcinogenesis**, v.23, n.9, p.1467-1474, 2002.

DAVIDSSON, L.; ZIEGLER, E.E.; KASTENMAYER, P.; van DAEL, P.; BARCLAY, D. Dephytinisation of soybean protein isolate with low native phytic acid content has limited impact on mineral and trace element absorption in healthy infants. **British Journal of Nutrition**, v. 91, p.287-293, 2004.

DESTRO, D.; CARPENTIERI-PÍPOLO, V.; KIIHL, R.A. de S.; ALMEIDA, L.A. de Photoperiodism and genetic control of the long juvenile period in soybean: a review. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.1, n.1, p. 72-92, 2001.

DESTRO, D.; MIRANDA, Z. de F.S.; MARTINS, A.L.; MANDARINO, J.M.G.; MIRANDA, L.A.; de SOUZA, H.M.; FAVARETO, R.; MONTALVÁN, R. Agronomic and chemical characterization of soybean genotypes for human consumption. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.2, n.4, p. 599-608, 2002.

DESTRO, D.; BIZETI, H.S.; MAREGA FILHO, M.; de MORAIS, L.K.; TRÓIA, C.; MONTALVÁN, R. Genetic variability for traits related to cooking time in soybean. **Crop Breeding and Applied Biochemistry**, v.3, n.4, p. 275-280, 2003.

DUHAN, A.D.; KHETARPAUL, N.; BISHNOI, S. Content of phytic acid and HCl extractability of calcium, phosphorus and iron as affected by various domestic processing and cooking methods. **Food Chemistry**, v.78, p. 9-14, 2002.

EGOUNLETY, M.; AWORTH, O.C. Effect of soaking, dehulling, cooking and fermentation with *Rhizopus oligosporus* on the oligosaccharides, trypsin inhibitor, phytic acid and tannins of soybean (*Glycine max* Merr.), cowpea (*Vigna unguiculata*) and groundbean (*Macrotyloma geocarpa*). **Journal of Food Engineering**, v.56, 2003, p.249-254.

FDA - U.S. Food and Drug Administration, Center for Food Safety and Applied Nutrition, **A Food Labeling Guide**, última revisão: 2000. Disponível em: <http://www.cfsan.fda.gov/~dms/flq-6c.html> Acesso em: 01 mar 2006

FEBLES, C.I.; ARIAS, A.; HARDISSON, A.; RODRIGUEZ-ALVAREZ, C.; SIERRA, A. Phytic acid level in wheat flours. **Journal of Cereal Science**, v.36, p. 19-23, 2002.

FEIL, B.; FOSSATI, D. Phytic acid in triticale grains as affected by cultivar and environment. **Crop Science**, v. 37, p. 916-921, 1997.

FOX, C.H.; EBERL, M. Phytic acid (IP6), novel broad spectrum anti-neoplastic agent: a systematic review. **Complementary Therapies in Medicine**, v. 10, p. 229-234, 2002.

FUKUJI, T.S. **Ácido fítico de germe de milho híbrido e produtos derivados: processo de purificação e caracterização química parcial**. Dissertação de Mestrado em Ciência de Alimentos. Departamento de Tecnologia de Alimentos e Medicamentos, Universidade Estadual de Londrina, Londrina-Paraná, 2005.

HEGEMAN, C.E.; GRABAU, E.A. A novel phytase sequence similarity to purple acid phosphatase is expressed in cotyledons of germinating soybean seedlings. **Plant Physiology**, v.126, p. 1598-1608, 2001.

HUANG, R.Q.; DILLON, G.H. Direct inhibition of glycine receptors by genistein, a tyrosine kinase inhibitor. **Neuropharmacology**, v. 39, n. 11, p. 2195-2204, 2000.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do IAL**. v.1. 3.ed. São Paulo: O Instituto, 1985

ISHIHARA, K.; OYAIZU, S.; FUKUCHI, Y.; MIZUNOYA, W.; SEGAWA, K.; TAKAHASHI, M.; MITA, Y.; FUKUYA, Y.; FUSHIKI, Y.; YASUMOTO, K. A soybean peptide isolate diet promotes postprandial carbohydrate oxidation and energy expenditure in type II diabetic mice. **Journal of Nutrition**, v. 133, p. 752-757, 2003.

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.

KAMCHAN, A.; PUWASTIEN, P.; SIRICHAKWAL, P.P.; KONGKACHUICHAI, R. In vitro calcium bioavailability of vegetables, legumes and seeds. **Journal of Food Composition and Analysis**, v.17, p. 311-320, 2002.

KUMAR, V.; RANI, A.; RAIPAL, S.; SRIVASTAVA, G. RAMESH, A.; JOSHI, O.P. Phytic acid in Indian soybean: genotypic variability and influence of growing location. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 86, n. 9, p. 1523-1526, 2005.

LESTIENNE, I.; ICARD-VERNIÈRE, C.; MOUQUET, C.; PICQ, C.; TRÈCHE, S. Effects of soaking whole cereal and legume seeds on iron, zinc and phytate contents. **Food Chemistry**, v.89, n. 3, 2005a, p.421-425.

LESTIENNE, I.; MOUQUET-RIVIER, C.; ICARD-VERNIÈRE, C.; ROCHETTE, I.; TRÈCHE, S. The effects of soaking of whole, dehulled and ground millet and soybean seeds on phytate degradation and Phy:Fe and Phy:Zn molar ratios. **International Journal of Food Science and Technology**, v.40, 2005b, p.391-399.

LIU, K. Cellular, biological, and physicochemical basis for the hard-to-cook defect in legume seeds. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 35, n. 4, p. 263-298, 1995.

LIU, K. **Soybeans: chemistry, technology, and utilization**. New York: Chapman & Hall, 537p, 1997.

LIU, Z.; CHENG, F.; ZHANG, G. Grain phytic acid content in japonica rice as affected by cultivar and environment and its relation to protein content. **Food Chemistry**, v.89, n. 1, p.49-52, 2005.

LOTT, J.N.A.; OCKENDEN, I.; RABOY, V.; BATTEN, G.D. A global estimate of phytic acid and phosphorus in crop grains, seeds, and fruits. In: REDDY, N.R.; SATHE, S.K. (Ed.) **Food Phytates**, Florida: CRC Press, 2002, p. 7-24.

MENEGUCE, B.; DESTRO, D.; FARIA, A.; FARIA, R.T. Performance of cultivars and pure lines of food-type soybean to the trait grain cooking time. **Abstracts and Contributed Papers and Posters/ VII World Soybean Research Conference, IV International Soybean Processing and Utilization Conference, III Congresso Brasileiro de Soja**. Londrina: Embrapa Soybean, p.63, 2004.

MESSINA, M.J.; LOPRINZI, C.L. Soy for breast cancer survivors: a critical review of the literature. **The Journal of Nutrition**, v.131, p. 3095S-3108S, 2001.

MORAIS, L.K. de.; DESTRO, D.; FONSECA JUNIOR, N. da S.; CARBONELL, S.A.M.; MIRANDA, L.A.; PINHEIRO, J.B. Genotype x environment interaction and correlation among technological traits of soybean grains. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.1, n.3, p. 245-254, 2001.

PATEL, R.P.; BOERSMA, B.J.; CRAWFORD, J.H.; HOGG, N.; KIRK, M.; KALYNARAMAN, B.; PARKS, D.A.; BARNES, S.; DARLEY-USMAR, V. Antioxidant mechanisms of isoflavones in lipid systems: paradoxical effects of peroxil radical scavenging. **Free Radical Biology & Medicine**, v.31, n.12, p.1570-1581, 2001.

PRAZERES, J.N. dos; FERREIRA, C.V.; AOYAMA, H. Acid phosphatase activities during the germination of *Glycine max* seeds. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 42, p. 15-20, 2004.

RABOY, V.; DICKINSON, D.B.; BELOW, F.E. Variation in seed total phosphorus, phytic acid, zinc, calcium, magnesium, and protein among lines of *Glycine max* and *G. soja*. **Crop Science**, v. 24, n. 3, p. 431-434, 1984.

RABOY, V.; YOUNG, K.A.; LARSON, S.R.; COOK, A. Genetics of phytic acid synthesis and accumulation. In: REDDY, N.R.; SATHE, S.K. (Ed.) **Food Phytates**, Florida: CRC Press, 2002, p. 63-83.

REDDY, N.R. Occurrence, distribution, content, and dietary intake of phytate. In: REDDY, N.R.; SATHE, S.K. (Ed.) **Food Phytates**, Florida: CRC Press, 2002, p. 25-51.

RIZVI, A.F.; TONG, C.H. Fractional conversion for determining texture degradation kinetics of vegetables. **Journal of Food Science**, v.62, n.1, p. 1-7, 1997.

ROSSETTO, C.A.V.; KAUFMANN, L.; JACOB-NETO, J.; FRANCO, A.A. Embebição de sementes de soja em solução de fosfato de potássio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.3, p.385-392, 2002

SÁ, M.E.L. de; ARANTES, N.E.; MORAIS, F.C. Sensorial characterization of soybean genotypes. **Abstracts and Contributed Papers and Posters/ VII World Soybean Research Conference, IV International Soybean Processing and Utilization Conference, III Congresso Brasileiro de Soja**. Londrina: Embrapa Soybean, p.105, 2004.

SACKS, F.M.; LICHTENSTEIN, A.; VAN HORN, L.; HARRIS, W.; KRIS-ETHERTON, P.; WINSTON, M. Soy protein, isoflavones and cardiovascular health. An American Heart Association Science Advisory for Professionals From the Nutrition Committee. **Circulation**, v. 113, p. 1034-1044, 2006.

SATHE. S.; VENKATACHALAM, M. Influence of processing technologies on phytate and its removal. In: REDDY, N.R.; SATHE, S.K. (Ed.) **Food Phytates**, Florida: CRC Press, 2002, p. 157-188.

SHIMELIS, E.A.; RAKSHIT, S.K. Proximate composition and physico-chemical properties of improved dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties grown in Ethiopia. **LWT- Food Science and Technolgy**, v.38, p.331-338, 2005.

SNYDER, H.E.; KWON, T.W. **Soybean utilization**, New York: AVI, 1987, cap. 2, 6 e 11.

TAPIERO H.; NGUYEN BA, G.; TEW, K.D. Estrogens and environmental estrogens. **Biomedical Pharmacother**, v. 56, p.36-44, 2002.

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

TORRE, M.; RODRIGUEZ, A.R.; SAURA-CALIXTO, F. Effects of dietary fiber and phytic acid on mineral availability. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.1, n.1, p. 1-22, 1991.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Faculdade de Ciências Farmacêuticas. Departamento de Alimentos e Nutrição Experimental/BRASILFOODS (1998). **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos-USP. Versão 4.1**. Disponível em: <http://www.fcf.usp.br/tabela>. Acesso em: 13 dez 2005.

YOKOMIZO, G.K.; VELLO, N.A. Coeficiente de determinação genotípica e de diversidade genética em topocruzamentos de soja tipo alimento com tipo grão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 11, p. 2223-2228, 2000.

WEAVER, C.M.; KANNAN, S. Phytate and mineral bioavailability. In: REDDY, N.R.; SATHE, S.K. **Food Phytates**, Florida: CRC Press, 2002, p. 211-223.

YAMAMOTO, S.; SOBUE, T.; KOBAYASHI, M.; SASAKI, S. TSUGANE, S. Soy, isoflavones, and breast cancer risk in Japan. **Journal of the National Cancer Institute**, v.95, n. 12, p. 906-913, 2003.

ZHOU, J.R.; ERDMAN JR, J.W. Phytic acid in health and disease. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 35, n.6, p. 495-508, 1995.