

RENDIMENTO E PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE OKARA DE SOJA ENVELHECIDA

BRUNA YUMI YOSHIDA*
SANDRA HELENA PRUDENCIO**

Objetivou-se investigar o efeito do envelhecimento acelerado de soja sobre o rendimento e as propriedades físico-químicas de *okara*. Os grãos foram armazenados a 30 °C e 84% UR durante seis meses. Grãos controle foram armazenados a -18 °C. Produziram-se extratos e *okara*. Os *okara* foram secos, moídos (farinhas integrais) e desengordurados (farinhas desengorduradas). Determinaram-se as composições químicas dos grãos, farinhas integrais e desengorduradas de *okara* e os rendimentos dos extratos, *okara* úmido, farinhas integrais e desengorduradas de *okara*. Cor, pH e perfil de solubilidade proteica em diferentes pHs das farinhas desengorduradas foram analisadas. Com envelhecimento, os grãos apresentaram decréscimo no teor de proteínas e lipídios e aumento de umidade. O conteúdo de água absorvida pelos grãos, durante a maceração, diminuiu, a massa de *okara* úmido aumentou, porém não houve diferença do volume do extrato. O rendimento da farinha integral de *okara* aumentou. As farinhas desengorduradas de *okara* tornaram-se mais escuras e vermelhas e seu conteúdo proteico aumentou de 23,47 (controle) para 37,77 g/100 g, b.s. (seis meses de armazenamento). Houve redução do pH e da solubilidade proteica em diferentes pHs das farinhas desengorduradas de *okara*. O envelhecimento da soja aumenta o rendimento e altera as propriedades físico-químicas de *okara*.

PALAVRAS-CHAVE: GLYCINE MAX; ARMAZENAMENTO; EXTRATO DE SOJA; COR; PH; SOLUBILIDADE PROTEICA.

1 INTRODUÇÃO

Okara é o coproduto da produção de extrato de soja e *tofu*, sendo que a cada quilo de soja são gerados 1,1 Kg de *okara* fresco (O'TOOLE, 1999). Embora seja um material de baixo valor comercial, o *okara* possui constituintes com potencial nutricional e tecnofuncional. Em base seca, apresenta 42 a 58% de fibras, 15 a 33% de proteínas, 8 a 11% de lipídeos, 3 a 5% de carboidratos e 3 a 4,5% de cinzas (LI, QIAO e LU, 2012). O *okara* é destinado, principalmente, à ração de animais, mas por manter parte dos compostos da soja, como o elevado teor de proteínas, é uma opção de fonte proteica de baixo custo para alimentação humana. Há alguns estudos de aplicação do coproduto como ingrediente em pães (BOWLES e DEMIATE, 2006), biscoitos (GRIZOTTO et al., 2010), barras alimentícias (CUNHA et al., 2010) e produtos cárneos como salsichas (GRIZOTTO et al., 2012).

O conteúdo de umidade e integridade dos grãos, a presença de materiais estranhos e a temperatura e umidade relativa (UR) do ambiente são fatores que devem ser controlados durante a estocagem da soja para preservação da qualidade (HOU e CHANG, 2004a, 2004b; KONG et al., 2008; ALENCAR et al., 2010; KAMIZAKE, YAMASHITA e PRUDENCIO, 2014). As condições seguras de armazenamento de grãos são temperatura inferior a 22 °C e UR entre 55 a 60%, que corresponde à umidade inicial nos grãos de 8 a 10% (KONG et al., 2008). Em regiões tropicais como o Brasil e Sul e Sudeste asiático, onde a temperatura média anual é de 27 °C e a UR é de 80%, a manutenção da qualidade dos grãos durante o armazenamento prolongado pode ser prejudicada. Esta perda de qualidade devido às alterações fisiológicas e bioquímicas nos grãos é denominada envelhecimento e também leva à perda de qualidade de seus produtos (HOU e CHANG, 2004b; KONG et al., 2008; KAMIZAKE, YAMASHITA e PRUDENCIO, 2014).

Grãos envelhecidos apresentam alterações na estrutura anatômica do tegumento e na capacidade de hidratação, são mais escuros, ácidos e duros (grãos crus e cozidos), e as proteínas são menos solúveis, quando comparados com grãos recém-colhidos (HOU e CHANG, 2004b; SILVA, VIEIRA e SANTOS, 2008; ALENCAR et al., 2010; KAMIZAKE, YAMASHITA e PRUDENCIO, 2014).

O uso de soja envelhecida como matéria prima gera o extrato e *tofu* mais escuros em decorrência da presença de produtos de reações de escurecimento ocorridas durante o armazenamento dos grãos. Provavelmente reações de escurecimento enzimático, envolvendo substratos fenólicos e o oxigênio e posterior polimerização de compostos fenólicos, e não enzimático (reação de *Maillard*), que ocorre entre proteínas e açúcares levando a formação de compostos escuros (NARAYAN, CHAUHAN e VERMA, 1988; HOU e CHANG, 2004b; LIU e CHANG, 2012). Extratos de soja mais ácidos é outra consequência característica da utilização de grãos envelhecidos. Durante o armazenamento ocorrem reações hidrolíticas de triacilgliceróis e oxidação de ácidos graxos insaturados. Os produtos gerados destas reações são responsáveis pelo aumento da acidez ou diminuição do pH no grão e consequentemente de seus produtos (THOMAS, DEMAN e DEMAN, 1989; KONG et al., 2008). A redução da solubilidade proteica em grãos envelhecidos tem sido relacionada ao aumento de acidez no tecido que causa a desnaturação e/ou agregação (HOU e CHANG, 2004a; KONG e CHANG, 2013; KAMIZAKE, YAMASHITA e PRUDENCIO, 2014), reduzindo sua extração, resultando em menor rendimento e menor conteúdo proteico no extrato hidrossolúvel e *tofu* (THOMAS, DEMAN e DEMAN, 1989; KONG et al., 2008; KONG e CHANG, 2013) e, consequentemente aumentando seu conteúdo na fração residual, ou seja, no *okara* (THOMAS, DEMAN e DEMAN, 1989).

Não há relatos sobre o efeito do envelhecimento da soja sobre o *okara*. Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do envelhecimento da soja BRS 257, isenta das lipoxigenases L1, L2 e L3, sobre o rendimento e características físicas-químicas do *okara*.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 MATERIAL

O experimento foi realizado nos Laboratórios do Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Estadual de Londrina. Estudou-se a soja BRS 257 da safra de 2012/13, cultivada na região de Mauá da Serra-PR, Brasil, fornecida pela SL Alimentos.

2.1.1 ARMAZENAMENTO DOS GRÃOS DE SOJA

Para o controle, a soja recém-colhida foi armazenada em freezer a -18 °C. Para o envelhecimento acelerado a soja foi armazenada em estufa (B.O.D Termal TE 391) em temperatura de 30 °C e UR de 84%, durante seis meses, conforme Hou e Chang (2004b), Kamizake, Yamashita e Prudencio (2014) e Kamizake, Varéa e Prudencio (2014). A umidade realtiva e temperatura foram monitoradas por um termo-higrômetro. As amostras foram retiradas da estufa em intervalos de um mês e transferidas para freezer a -18 °C para as posteriores análises.

2.2 MÉTODOS

2.2.1 PRODUÇÃO DE EXTRATO E OKARA

O extrato e *okara* foram produzidos segundo Ciabotti et al. (2007), com algumas modificações. Foram lavados 1000 g de grãos e hidratados com água destilada na proporção de 1:5 (m/v) durante 12 horas. Após a maceração, fez-se a drenagem e pesagem dos grãos. Em seguida, os grãos foram triturados com água destilada na proporção de 1:8 (m/v) em liquidificador Arno Alegro na velocidade máxima, por 3 minutos. O extrato foi separado do resíduo (*okara*) por meio de filtração em tecido voal duplo. O extrato foi pasteurizado a 95 °C por 5 minutos e seu volume medido. O *okara* úmido foi pesado e disposto em bandejas para secagem em estufa a 40 °C por 24 horas. O *okara* seco foi moído em moinho de facas IKA A11 Basic, sendo denominado farinha integral de *okara*. A farinha integral de *okara* foi desengordurada com hexano pelo método de Ogunwolu et al. (2009). A farinha desengordurada foi filtrada sob vácuo utilizando papel de filtro e seca em temperatura ambiente (≈ 25 °C) por 12 horas.

2.2.2 ABSORÇÃO DE ÁGUA PELOS GRÃOS DE SOJA DURANTE A MACERAÇÃO

A absorção de água pelos grãos durante a etapa de maceração da produção de *okara* foi calculada pela diferença entre a massa dos grãos macerados e a massa inicial. Foi expressa em g de água absorvida/1000 g de grãos (BENASSI, BENASSI e PRUDENCIO, 2011).

2.2.3 COMPOSIÇÃO QUÍMICA

O conteúdo de umidade, proteínas (N x 6,25), lipídeos e cinzas foram determinados segundo a AOAC (1995). Os carboidratos foram determinados por diferença. Os resultados foram expressos em base seca (b.s.), exceto umidade, em g/100 g de amostra.

2.2.4 RENDIMENTO DAS FARINHAS INTEGRAL E DESENGORDURADA DE OKARA

O rendimento das farinhas integral ou desengordurada de *okara* foi determinado como porcentagem da farinha em relação à massa inicial de grãos.

2.2.5 MEDIDAS DE COR

Os parâmetros de cor L* (luminosidade), a* (componente vermelho-verde) e b* (componente amarelo-azul) das farinhas desengorduradas de *okara* foram determinadas em colorímetro (Konica

Minolta CR 400), com geometria 45/0 e iluminante CIE D65. A tonalidade cromática, h° , foi calculada pela equação $h^\circ = \arctan(b^*/a^*)$.

2.2.6 SOLUBILIDADE DAS PROTEÍNAS DA FARINHA DESENGORDURADA DE OKARA EM DIFERENTES PHS

Para a avaliação da solubilidade proteica em diferentes pHs, um grama de amostra foi suspenso em 50 mL de água destilada, ajustando-se o pH de 2 a 10 com HCl 1N ou NaOH 1N e a suspensão foi agitada por 30 minutos em mesa agitadora orbital MA 140 CFT (125 rpm à temperatura ambiente), centrifugada a 5000 x g por 20 minutos e filtrada em papel filtro. As proteínas foram determinadas pelo método de Kjeldahl (N x 6,25) (KAMIZAKE, VARÉA e PRUDENCIO, 2014). O resultado foi expresso como g de proteína solúvel por 100 g de proteínas totais na amostra.

2.2.7 PH DAS FARINHAS DESENGORDURADAS DE OKARA

O pH das farinhas homogeneizadas em água foi determinado em um potenciômetro digital (HANNA, HI 3220) previamente calibrado com soluções tampão fosfato de pH 4,0 e 7,0 (KAMIZAKE, VARÉA e PRUDENCIO, 2014).

2.2.8 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Os experimentos foram conduzidos de acordo com o delineamento inteiramente casualizado, com duas repetições e as determinações realizadas em triplicata em cada repetição do experimento. Os dados foram submetidos à ANOVA e teste de comparação de médias de Tukey, cujo nível de significância foi de 5%, utilizando o programa *Statistica 7.0* (StatSoft, Tulsa, USA).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS GRÃOS DE SOJA

O conteúdo de umidade dos grãos aumentou ao longo do envelhecimento (Tabela 1), provavelmente devido ao equilíbrio higroscópico com o ambiente de alta umidade (84%) do armazenamento (PACHECO, 1998). A adsorção de água pelos grãos manteve-se estável entre o quinto e sexto mês. Estes resultados estão condizentes aos relatados por Hou e Chang (2004b), Kong et al. (2008) e Kamizake, Yamashita e Prudencio (2014). O menor conteúdo de proteínas foi observado nos grãos com seis meses de armazenamento. Liu et al. (2008) notaram, em soja armazenada a 88% UR e 30 °C, redução a partir do terceiro mês de envelhecimento, sendo mais acentuada no sexto mês. Considerando-se as mesmas condições do presente estudo, Hou e Chang (2004b) verificaram pequenas variações durante o armazenamento, embora não tenha sido confirmada nenhuma tendência de aumento ou diminuição, e enquanto que Kamizake, Yamashita e Prudencio (2014) notaram aumento no oitavo e nono mês para cultivar Coodetec 214 e nenhuma variação para BRS 267.

Houve redução no teor de lipídeos, que pode ter ocorrido devido a sua decomposição por oxidação ou hidrólise durante o armazenamento (ALENCAR et al., 2010). Em pesquisas empregando-se as mesmas condições de armazenamento, foi observado o mesmo comportamento por Kamizake, Varéa e Prudencio (2014), e comportamento inverso por Hou e Chang (2004b), onde houve aumento do conteúdo lipídico.

O conteúdo de carboidratos aumentou e o de cinzas variou ao longo do envelhecimento, porém não apresentou nenhuma tendência. Kamizake, Varéa e Prudencio (2014) também observaram aumento no conteúdo de carboidratos para cultivar BRS 267 a partir do oitavo mês de envelhecimento (30 °C e 84% UR), no entanto houve comportamento distinto do presente estudo para o conteúdo de cinzas, no qual os autores relataram aumento no oitavo mês.

TABELA 1. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS GRÃOS DE SOJA BRS 257 ⁽¹⁾ CONTROLE ⁽²⁾ E ENVELHECIDA EM DIFERENTES TEMPOS ⁽³⁾.

TEMPO (mês)	Umidade	Proteínas	Lipídeos	Cinzas	Carboidratos
Controle	9,70 ^e ± 0,22	42,38 ^a ± 1,03	24,36 ^a ± 1,33	5,20 ^c ± 0,04	28,06 ^b ± 1,68
1	14,98 ^d ± 0,12	42,16 ^a ± 0,74	22,16 ^{ab} ± 1,54	5,14 ^{cd} ± 0,05	30,54 ^b ± 1,71
2	14,73 ^d ± 0,07	42,32 ^a ± 1,83	22,52 ^a ± 0,46	5,03 ^d ± 0,12	30,13 ^b ± 1,89
3	16,31 ^{bc} ± 0,31	42,62 ^a ± 2,38	21,54 ^{ab} ± 1,29	5,52 ^b ± 0,12	30,32 ^b ± 2,71
4	16,06 ^c ± 0,56	42,84 ^a ± 0,90	21,89 ^{ab} ± 1,38	5,74 ^a ± 0,09	29,53 ^b ± 1,65
5	16,99 ^a ± 0,19	41,27 ^{ab} ± 0,57	20,04 ^b ± 1,22	5,05 ^{cd} ± 0,09	33,64 ^a ± 1,35
6	16,79 ^{ab} ± 0,09	39,78 ^b ± 0,64	20,38 ^b ± 0,49	5,44 ^b ± 0,05	34,40 ^a ± 0,81

⁽¹⁾ Médias de duas repetições e três determinações em cada repetição. Carboidratos obtidos por diferença. Resultados expressos em g/100 g de amostra em base seca (exceto umidade). Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa (teste de Tukey, $p \leq 0,05$). ⁽²⁾ Controle: -18 °C. ⁽³⁾ Envelhecimento acelerado: 30 °C e 84% UR.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DE EXTRATO DE SOJA E OKARA

Em grãos controle, a absorção de água após 12 horas de hidratação (Tabela 2) foram semelhantes aos observados por Benassi, Benassi e Prudencio (2011) após a maceração de grãos da mesma variedade estudada (BRS 257) durante a produção de *tofu* (130 g de água/100 g de grão) e por Kamizake (2012) nas cultivares BRS 267 e Coodetec 214 (≈113 g de água/100g de grão e ≈130 g de água/100 g de grão, respectivamente). Em grãos armazenados, notou-se o decréscimo de absorção desde o primeiro mês (Tabela 2), conforme os estudos de Kong et al. (2008). O decréscimo de absorção de água pode estar relacionado a alterações morfológicas nos tecidos dos grãos, ocorridas durante o armazenamento (CAVARIANI et al., 2009).

Em estudos anteriores, empregando-se eletromicrografias de varredura (MEV), foram relatadas alterações na espessura das camadas das células paliádicas, hipodérmicas e parenquimáticas do tegumento e na superfície das células paliádicas dos cotilédones de grãos de soja armazenados em elevada temperatura e UR. Danos causados à membrana celular, além de diminuir a pressão de turgência, também permitem a lixiviação de minerais para água de maceração. Outros fatores como a desnaturação proteica também podem ter contribuído para menor absorção de água pelos grãos envelhecidos durante a maceração (LIU, 1995; SILVA, VIEIRA e SANTOS, 2008; KAMIZAKE, YAMASHITA e PRUDENCIO, 2014).

Não houve diferença de volume obtido de extrato ao longo do envelhecimento da soja, apesar da diferença de 865 mL entre o volume de extrato do controle e de seis meses de armazenamento (Tabela 2), possivelmente causada pela variabilidade entre as repetições do processo de elaboração do produto. A quantidade de *okara* produzido a partir de 1000 g de soja controle foi o esperado, pois para cada quilo de grãos empregado para produção de extrato de soja, estima-se 1100 g de *okara* fresco (O'TOOLE, 1999). Somente os grãos envelhecidos por seis meses geraram maior quantidade de *okara* úmido. Notou-se o mesmo comportamento na farinha integral (*okara* seco), ou seja, houve maior rendimento de farinha de grãos envelhecidos por seis meses. Tem sido relatado que extratos de soja envelhecida apresentam menor conteúdo de sólidos, tais como proteínas, carboidratos e lipídeos (KONG et al., 2008; KONG e CHANG, 2013). Portanto, pode-se inferir que os sólidos ficaram retidos no *okara*, conforme indicado por Thomas, deMan e deMan (1989).

Dentre os componentes sólidos, as proteínas são de grande importância nutricional e tecnológica. Notou-se seu menor conteúdo nos extratos, e maior retenção na farinha integral de *okara* com o envelhecimento dos grãos a partir do quinto e quarto mês, respectivamente para cada produto. A menor extração de proteínas a partir de soja envelhecida tem sido relatada por alguns estudos (THOMAS, DEMAN e DEMAN, 1989; KONG et al., 2008; KONG e CHANG, 2013). Thomas,

deMan e deMan (1989) também constataram maior conteúdo proteico em *okara* de soja velha. A menor extração de proteínas pode ser justificada pela sua desnaturação e ou agregação causada pelo aumento de acidez no tecido a partir de compostos originados de processos fisiológicos como oxidação e hidrólise de lipídeos durante o envelhecimento (HOU e CHANG, 2004a; Kong et al., 2008; KONG e CHANG, 2013; KAMIZAKE, YAMASHITA e PRUDENCIO, 2014).

TABELA 2. ABSORÇÃO DE ÁGUA PELOS GRÃOS, E RENDIMENTO E CONTEÚDO PROTEICO DE EXTRATOS E OKARA ⁽¹⁾ DE SOJA CONTROLE ⁽²⁾ E ENVELHECIDA EM DIFERENTES TEMPOS ⁽³⁾.

TEMPO (mês)	Absorção de água pelos grãos (g/1000 g de grãos)	Volume de extrato (mL)	Massa de <i>okara</i> úmido (g)	Rendimento de farinha integral de <i>okara</i> (%)	Proteínas (g/100 g, b.s.)	
					Extrato de soja	Farinha integral de <i>okara</i>
Controle	1259,02 ^a ± 14,34	9575,00 ^a ± 35,36	1137,86 ^b ± 104,11	20,38 ^b ± 1,37	36,81 ^a ± 1,74	21,56 ^c ± 0,16
1	1077,34 ^{bc} ± 23,00	9480,00 ^a ± 678,82	1036,93 ^b ± 55,68	19,82 ^b ± 1,47	35,59 ^a ± 3,64	21,66 ^c ± 0,47
2	1105,22 ^b ± 18,48	9690,00 ^a ± 339,41	1054,02 ^b ± 33,98	20,39 ^b ± 0,66	37,47 ^a ± 3,53	22,15 ^c ± 0,36
3	1035,94 ^{cd} ± 4,50	9075,00 ^a ± 148,49	1009,46 ^b ± 8,27	19,53 ^b ± 0,51	37,42 ^a ± 3,49	23,21 ^c ± 0,86
4	988,71 ^{de} ± 2,65	8870,00 ^a ± 42,43	1117,82 ^b ± 33,49	22,17 ^{ab} ± 1,51	34,40 ^a ± 2,62	25,52 ^b ± 1,04
5	930,68 ^f ± 12,47	9010,00 ^a ± 226,27	1203,77 ^b ± 31,81	23,77 ^{ab} ± 2,46	26,34 ^b ± 1,60	27,13 ^b ± 0,74
6	952,55 ^{ef} ± 7,31	8710,00 ^a ± 127,28	1586,51 ^a ± 0,78	28,93 ^a ± 3,18	17,09 ^c ± 1,03	33,38 ^a ± 1,88

⁽¹⁾ Médias de duas repetições, exceto proteínas. Proteínas (extrato de soja e farinha integral): médias com duas repetições e três determinações em cada repetição. Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa (teste de Tukey, $p \leq 0,05$). ⁽²⁾ Controle: -18 °C.

⁽³⁾ Envelhecimento acelerado: 30 °C e 84% UR.

3.3 COR DAS FARINHAS DESENGORDURADAS DE OKARA

A partir do quinto mês de armazenamento dos grãos, as farinhas apresentaram menores valores de L*, enquanto que a redução nos valores de h° ocorreu a partir do terceiro mês (Tabela 3). Estes resultados indicam que as farinhas obtidas de grãos mais velhos eram mais escuras e vermelhas.

O envelhecimento leva ao escurecimento dos grãos devido a reações de escurecimento enzimático e não enzimático (NARAYAN, CHAUHAN e VERMA, 1988; HOU e CHANG, 2004b; KAMIZAKE, YAMASHITA e PRUDENCIO, 2014; YOUSIF, 2014) e de seus produtos (extrato de soja e *tofu*) (THOMAS, DEMAN e DEMAN, 1989; HOU e CHANG, 2004b; LIU e CHANG, 2012).

No presente estudo foi observado o mesmo comportamento para o *okara*, apesar de que para sua obtenção, os grãos foram submetidos aos procedimentos de extração, secagem, moagem e desengorduramento.

TABELA 3. PARÂMETROS DE COR DAS FARINHAS DESENGORDURADAS DE OKARA ⁽¹⁾ DE SOJA CONTROLE ⁽²⁾ E ENVELHECIDA EM DIFERENTES TEMPOS ⁽³⁾.

TEMPO (mês)	Parâmetros	
	L*	h°
Controle	67,27 ^a ± 2,55	84,25 ^a ± 0,32
1	67,33 ^a ± 1,43	83,56 ^{ab} ± 0,15
2	65,37 ^a ± 2,20	83,49 ^b ± 0,71
3	65,95 ^a ± 1,21	82,44 ^c ± 0,49
4	66,06 ^a ± 1,59	82,15 ^c ± 0,63
5	59,59 ^b ± 0,82	81,28 ^d ± 0,32
6	60,56 ^b ± 2,43	80,33 ^e ± 0,56

⁽¹⁾ Médias com duas repetições e três determinações em cada repetição. Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa (teste de Tukey, $p \leq 0,05$). L* = luminosidade (0 = preto; 100 = branco); h° (tonalidade cromática) = $\arctan(b^*/a^*)$ (0° = vermelho puro; 90° = amarelo puro; 180° = verde puro; 270° = azul puro). ⁽²⁾ Controle: -18 °C. ⁽³⁾ Envelhecimento acelerado: 30 °C e 84% UR.

3.4 RENDIMENTO E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS FARINHAS DESENGORDURADAS DE OKARA

Não houve diferença de rendimento de farinha desengordurada de *okara* entre os tempos de envelhecimento, incluindo o controle (Tabela 4), provavelmente devido à variabilidade ocorrida entre as repetições do experimento e/ou menor conteúdo de lipídeos a partir do quarto mês, que podem ter sido decompostos por reações enzimáticas e não enzimáticas durante o envelhecimento dos grãos (ALENCAR et al., 2010). Com o envelhecimento dos grãos, notou-se também redução no conteúdo de umidade, cinzas e carboidratos nas farinhas desengorduradas de *okara*.

O conteúdo de proteínas das farinhas desengorduradas de *okara* foi maior a partir do quarto mês de armazenamento dos grãos, sendo que no sexto mês este valor foi 61% superior ao do controle, seguindo a mesma tendência observada na farinha integral (Tabela 2).

TABELA 4. RENDIMENTO E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS FARINHAS DESENGORDURADAS DE OKARA ⁽¹⁾ DE SOJA CONTROLE ⁽²⁾ E ENVELHECIDA EM DIFERENTES TEMPOS ⁽³⁾.

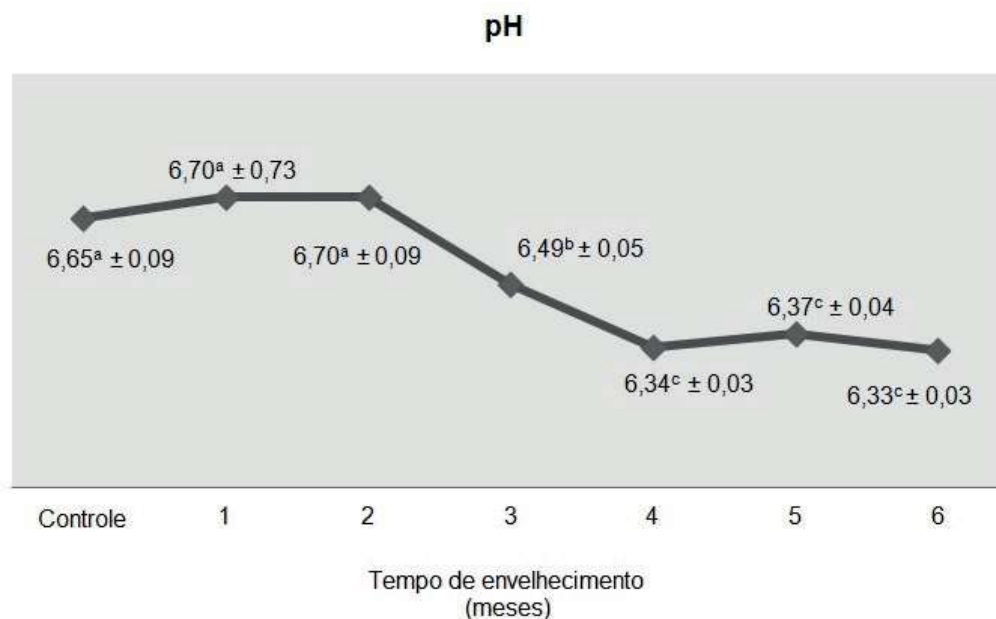
TEMPO (mês)	Rendimento (%)	Umidade	Proteínas	Lipídeos	Cinzas	Carboidratos
Controle	17,08 ^a ± 0,95	12,39 ^a ± 1,61	23,47 ^c ± 0,25	1,52 ^a ± 0,37	4,79 ^a ± 0,20	70,22 ^a ± 0,49
1	18,12 ^a ± 1,49	10,26 ^c ± 0,63	23,48 ^c ± 0,81	1,97 ^a ± 0,56	4,22 ^b ± 0,24	70,33 ^a ± 1,01
2	18,18 ^a ± 0,38	10,56 ^{bc} ± 0,62	24,82 ^c ± 0,56	1,56 ^a ± 1,13	4,18 ^b ± 0,15	69,44 ^a ± 1,27
3	18,00 ^a ± 0,33	11,18 ^{abc} ± 0,25	24,82 ^c ± 1,10	1,46 ^a ± 0,63	4,00 ^b ± 0,15	69,72 ^a ± 1,28
4	20,38 ^a ± 1,78	11,45 ^{abc} ± 0,47	27,93 ^b ± 0,88	0,04 ^b ± 0,07	3,78 ^{cd} ± 0,19	68,25 ^a ± 0,90
5	20,90 ^a ± 1,54	11,82 ^{ab} ± 0,35	29,70 ^b ± 2,41	0,00 ^b ± 0,00	3,17 ^e ± 0,13	67,13 ^a ± 2,41
6	24,54 ^a ± 3,51	10,57 ^{bc} ± 0,64	37,77 ^a ± 1,66	0,00 ^b ± 0,00	3,76 ^d ± 0,10	58,47 ^b ± 1,66

⁽¹⁾ Médias com duas repetições e três determinações em cada repetição, exceto rendimento. Rendimento: médias de duas repetições. Carboidratos por diferença. Resultados expressos em g/100 g de amostra em base seca (exceto umidade). Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa (teste de Tukey, $p \leq 0,05$). ⁽²⁾ Controle: -18 °C. ⁽³⁾ Envelhecimento acelerado: 30 °C e 84% UR.

3.5 PH DAS FARINHAS DESENGORDURADAS DE OKARA

Com aumento do tempo de envelhecimento dos grãos, notou-se redução do pH das farinhas desengorduradas de *okara* (Figura 1). Estudos demonstram que durante o envelhecimento, há aumento de acidez ou redução de pH nos tecidos dos grãos e de modo consequente, nos extratos de soja (THOMAS, DEMAN e DEMAN, 1989; LIU, 1995; KONG et al., 2008).

FIGURA 1. PH DAS FARINHAS DESENGORDURADAS DE OKARA ⁽¹⁾ DE SOJA CONTROLE ⁽²⁾ E ENVELHECIDA EM DIFERENTES TEMPOS ⁽³⁾.



⁽¹⁾ Médias com duas repetições e três determinações em cada repetição.

Letras diferentes em cada tempo de envelhecimento indicam diferença significativa (teste de Tukey, $p \leq 0,05$).

⁽²⁾ Controle: - 18 °C. ⁽³⁾ Envelhecimento acelerado: 30 °C e 84% UR.

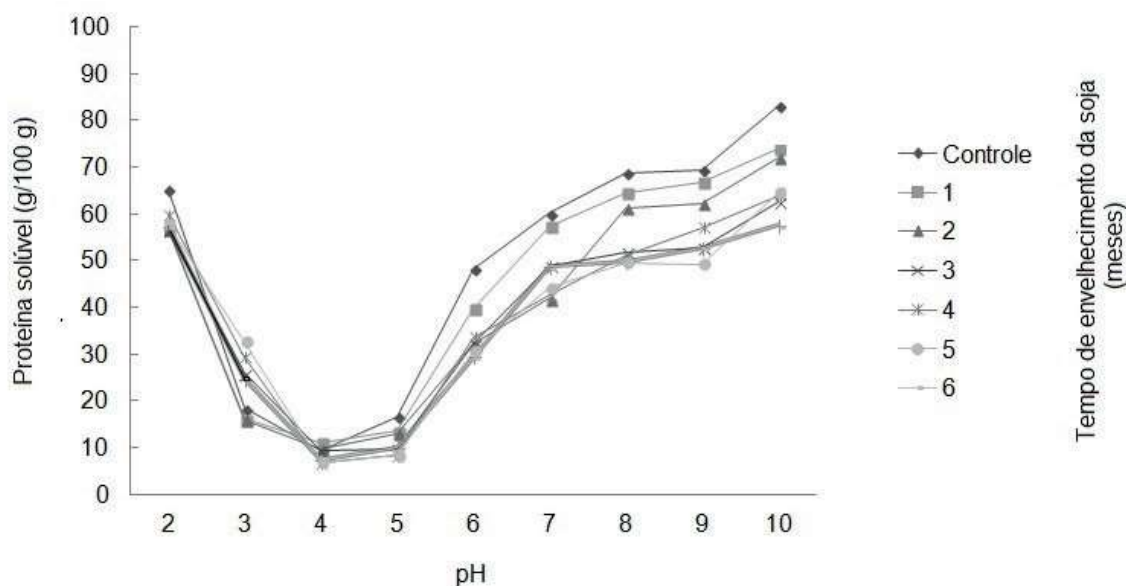
Alguns processos fisiológicos que ocorrem durante o envelhecimento podem levar a formação de compostos ácidos nos grãos e consequentemente serem transferidos em seus produtos (KONG et al., 2008; ALENCAR e FARONI, 2011; KAMIZAKE, VARÉA e PRUDENCIO, 2014). Durante o armazenamento, ocorre a oxidação lipídica levando a formação de hidroperóxidos que são rapidamente decompostos em aldeídos, cetonas, álcoois, hidrocarbonetos e ésteres. A fração lipídica dos grãos também pode sofrer hidrólise pela água ou por enzimas lipolíticas ocasionando o rompimento de ligações ésteres dos triacilgliceróis, que resultam na formação de ácidos graxos livres. Outros fatores, como a hidrólise da fitina e das proteínas, também podem contribuir para redução do pH (LIU, 1995).

3.6 SOLUBILIDADE DAS PROTEÍNAS DAS FARINHAS DESENGORDURADAS DE OKARA EM DIFERENTES PHs

O perfil de solubilidade das proteínas das farinhas desengorduradas de *okara* (Figura 2) indicou maior solubilidade em pHs extremos (2 e 10) e menor solubilidade na faixa de 4 e 5, sendo semelhante aos das proteínas dos grãos (SEIBEL e BELÉIA, 2009). Em *okara* de grãos recém-colhidos, Grizotto et al. (2010) obtiveram a mesma tendência observada neste trabalho. Notou-se que na fração proteica do *okara*, a solubilidade em diferentes pHs diminuiu com o tempo de envelhecimento dos grãos, assim como ocorre com as proteínas totais dos grãos de soja (KAMIZAKE,

VARÉA e PRUDENCIO, 2014). Durante o armazenamento de grãos, em decorrência do aumento de acidez, as proteínas adquirem uma nova conformação. Alguns estudos sugerem uma desnaturação parcial, onde as moléculas desdobram ou expandem expondo mais grupamentos hidrofóbicos (KAMIZAKE, VARÉA e PRUDENCIO, 2014). Outros indicam uma conformação caracterizada por um maior dobramento e posterior agregação, que resulta na redução de solubilidade (HOU e CHANG, 2004a; KONG e CHANG, 2013). Tais diferenças podem estar relacionadas ao tempo, temperatura e UR de armazenamento.

FIGURA 2. PERFIL DE SOLUBILIDADE PROTEICA EM DIFERENTES PHS DAS FARINHAS DESENGORDURADAS DE OKARA DE SOJA CONTROLE ⁽¹⁾ E ENVELHECIDA EM DIFERENTES TEMPOS ⁽²⁾.



⁽¹⁾ Controle: - 18 °C. ⁽²⁾ Envelhecimento acelerado: 30 °C e 84% UR.

A solubilidade proteica é um parâmetro importante para avaliar a desnaturação por diferentes causas, além de ser um indicador do uso potencial do ingrediente (DAMODARAN, 2010), assim o *okara* de soja envelhecida pode ter sua aplicação mais limitada em sistemas alimentícios. Porém, ainda são necessários mais estudos com a finalidade de investigar se as alterações no pH, cor e solubilidade proteica identificadas no presente estudo podem, de fato, ocasionar variações significativas na aplicabilidade do coproduto como ingrediente em sistemas alimentícios e consequentemente sua aceitação.

4 CONCLUSÃO

O envelhecimento dos grãos de soja ocasiona alterações na composição química dos grãos, do extrato e das farinhas integral e desengordurada de *okara*. Provoca redução na absorção de água pelos grãos, sem alterar o volume de extrato, mas com maior rendimento de *okara* úmido e farinha integral, porém após o desengorduramento o rendimento é o mesmo. A farinha desengordurada de *okara* de soja envelhecida é mais escura, mais ácida, apresenta maior conteúdo proteico, mas sua solubilidade é menor que na farinha de soja nova.

ABSTRACT

YIELD AND PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF OKARA FROM AGED SOYBEAN

Abstract - This study aimed to investigate the effect of accelerated aging of soybean on yield and physicochemical properties of okara. The grains were stored at 30 °C and 84% RH for six months. Control grains were stored at -18 °C. Extracts and okara were produced. The okara were dried, ground (whole flour) and defatted (defatted flour). The chemical composition of grains, whole and defatted okara flours and the yields of soymilk, wet okara, whole and defatted okara flours were determined. Color, pH and protein solubility profile at different pH from defatted okara flours were analyzed. With aging of the soybeans, the grains showed decrease in protein and lipids content and an increase in moisture. The water content absorbed by the grain, during maceration, decreased, the mass of wet okara increased, but there was no difference in the soymilk volume. The yield of whole okara flour increased. The defatted okara flour became darker and red and the protein content increased from 23.47 (control) to 37.77 g/100 g, d.b. (six months of storage). There was a reduction of pH and protein solubility at different pHs of defatted okara flour. Soybean aging increases yield and change physico-chemical properties of okara.

KEYWORDS: GLYCINE MAX; STORAGE; SOYMILK; COLOR; PH; PROTEIN SOLUBILITY.

REFERÊNCIAS

1. ALENCAR, E. R.; FARONI, L. R. D. Storage of soybeans and its effects on quality of soybean sub-products. In: KREZHOVA, D. **Recent trends for enhancing the diversity and quality of soybean products**. Croacia: InTechOpen, 2011. p. 47-66.
2. ALENCAR, E. R.; FARONI, L. R. D.; PETERNELLI, L. A.; SILVA, M. T. C.; COSTA, A. R. Influence of soybean storage conditions on crude oil quality. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n.3, p. 303-308, mar. 2010.
3. AOAC. **Official Methods of Analysis**. 16. ed. Washington, D.C.: Association of Official Analytical Chemists International, 1995.
4. BENASSI, V. T.; BENASSI, M. T.; PRUDENCIO, S. H. Cultivares brasileiras de soja: características para a produção de tofu e aceitação pelo mercado consumidor. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, n.1, p. 1901-1914, dez. 2011.
5. BOWLES, S.; DEMIATE, I. M. Caracterização físico-química de okara e aplicação em pães do tipo francês. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n.3, p. 652-659, jul. – set. 2006.
6. CAVARIANI, C.; TOLEDO, M. Z.; RODELLA, R. A.; FRANÇA NETO, J. B.; NAKAGAWA, J. Velocidade de hidratação em função de características do tegumento de sementes de soja de diferentes cultivares e localidades. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 31, n.1, p. 30-39, 2009.
7. CIABOTTI, S.; BARCELOS, M. F.; PINHEIRO, A. C. M.; CLEMENTE, P. R.; LIMA, M. A. C. Características sensoriais e físicas de extratos e tofus de soja comum processada termicamente e livre de lipoxigenase. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n.3, p. 643-648, jul. – set. 2007.
8. CUNHA, M. A. A.; ANDRADE, A. C. W.; FERMIANI, P. A.; BURATTO, A. P. Barras alimentícias formuladas com resíduo de soja. **Revista Brasileira de Pesquisa em Alimentos**, v. 1, n.2, p. 89-96, jul. – dez. 2010.
9. DAMODARAN, S. Aminoácidos, peptídeos e proteínas. In: DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. (4 Ed). **Química de Alimentos de Fennema**. Porto Alegre: Artmed, 2010. p. 169-262.
10. GRIZOTTO, R. K.; ANDRADE, J. C.; MIYAGUSKU, L.; YAMADA, E. A. Physical, chemical, technological and sensory characteristics of Frankfurter type sausage containing okara flour. **Ciência de Tecnologia de Alimentos**, v. 32, n.3, p. 538-546, jul. – set. 2012.
11. GRIZOTTO, R. K.; RUFI, R. G. C.; YAMADA, E. A.; VICENTE, E. Evaluation of the quality of a molded sweet biscuit enriched with okara flour. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, n.1, p. 270-275, maio 2010.

12. HOU, H. J.; CHANG, S. K. C. Structural characteristics of purified glycinin from soybeans stored under various conditions. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, n.12, p. 3792-3800, maio 2004a.
13. HOU, H. J.; CHANG, S. K. C. Storage conditions affect soybean color, chemical, composition and tofu qualities. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 28, p. 473-488, mar. 2004b.
14. KAMIZAKE, N. K. K. **Efeito do envelhecimento de soja (*Glycine max*) sobre as propriedades físicas e químicas dos grãos, extratos e tofus e características sensoriais dos tofus**. 2012. 178 f. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2012.
15. KAMIZAKE, N. K. K.; YAMASHITA, F.; PRUDENCIO, S. H. Physical alterations of soybean during accelerated and natural aging. **Food Research International**, v. 55, p. 55-61, jan. 2014.
16. KAMIZAKE, N. K. K.; VARÉA, G. S.; PRUDENCIO, S. H. Physicochemical properties of aged soybean components. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, v. 12, n.2, p. 263-268, abr. 2014.
17. KONG, F.; CHANG, S. K. C.; LIU, Z.; WILSON, L. A. Changes of soybean quality during storage as related to soymilk and tofu making. **Journal of Food Science**, v. 73, n.3, p. 134-144, abr. 2008.
18. KONG, F.; CHANG, S. K. C. Changes in protein characteristics during soybean storage under adverse conditions as related to *tofu* making. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 61, p. 387-393, nov. 2013.
19. LIU, Z. S.; CHANG, S. K. C. Characteristics of soymilk and tofu of five varieties of soybeans as affected by on-site storage. **Journal of Food Processing Preservation**, v. 36, n.6, p. 525-530, fev. 2012.
20. LI, B.; QIAO, M.; LU, F. Composition, nutrition, and utilization of okara (soybean residue). **Food Reviews International**, v. 28, n.3, p. 231-252, abr. 2012.
21. LIU, K. Cellular, biological, and physicochemical basis for the hard-to-cook defect in legumes seeds. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 35, p. 263-298, 1995.
22. LIU, C.; WANG, X.; MA, H.; ZHANG, Z.; GAO, W.; XIAO, L. Functional properties of protein isolates from soybeans stored under various conditions. **Food Chemistry**, v. 111, n.1, p. 29-37, nov. 2008.
23. NARAYAN, R.; CHAUHAN, G. S.; VERMA, N. S. Changes in the quality of soybean during storage. Part 1 - Effect of storage on some physico-chemical properties of soybean. **Food Chemistry**, v. 27, n.1, p. 13-23, 1988.
24. OGUNWOLU, S. O.; HENSHAW, F. O.; MOCK, H.; SANTROS, A.; AWONORIN, S. O. Functional properties of protein concentrates and isolates produced from cashew (*Anacardium occidentale* L.) nut. **Food Chemistry**, v. 115, n.3, p. 852-858, ago. 2009.
25. O'TOOLE, D. K. Characteristics and use of okara, the soybean residue from soy milk production- A review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 47, n.2, p. 363-371, fev. 1999.
26. PACHECO, I. A. **Conservação de grãos**. Campinas: Fundação Cargill, 1998. 236 p.
27. SEIBEL, N. F.; BELÉIA, A. D. P. Características químicas e funcionalidade tecnológica de ingredientes de soja [*Glycine Max* (L.) Merrill]: carboidratos e proteínas. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 12, n.2, p. 113-122, abr. - jun. 2009.
28. SILVA, M. A. D.; VIEIRA, R. D.; SANTOS, J. A. Influência do envelhecimento acelerado na anatomia da testa de sementes de soja, CV. MONSOY 8400¹. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 30, n.2, p. 91-99, 2008.
29. THOMAS, R.; DEMAN, J. M.; DEMAN, L. Soymilk and tofu properties as influenced by soybean storage conditions. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 66, n.6, p. 777-782, jun. 1989.
30. YOUSIF, A. M. Soybean grain storage adversely affects grain testa color, texture, and cooking quality. **Journal of Food Quality**, v. 37, n.1 p.18-28, fev. 2014.