

ERNANDES RODRIGUES DE ALENCAR

**EFEITOS DAS CONDIÇÕES DE ARMAZENAGEM SOBRE A QUALIDADE
DA SOJA (*Glycine max* (L.) MERRILL) E DO ÓLEO BRUTO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2006

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

T

A368e
2006

Alencar, Ernandes Rodrigues de, 1980-
Efeitos das condições de armazenagem sobre a
qualidade da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) e do
óleo bruto / Ernandes Rodrigues de Alencar.
– Viçosa : UFV, 2006.
xiii, 102f. : il. ; 29cm.

Inclui apêndice.
Orientador: Lêda Rita D'Antonino Faroni.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de
Viçosa.
Referências bibliográficas: f. 81-91.

1. Grãos - Armazenamento - Doenças e danos.
2. Soja - Armazenamento. 3. Soja - Controle de qualidade.
4. Óleo de soja - Controle de qualidade. I. Universidade
Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22.ed. 631.568

ERNANDES RODRIGUES DE ALENCAR

**EFEITOS DAS CONDIÇÕES DE ARMAZENAGEM SOBRE A QUALIDADE
DA SOJA (*Glycine max* (L.) MERRILL) E DO ÓLEO BRUTO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*

Aprovada: 28 de julho de 2006

Prof. Luís César da Silva

Prof Marcio Arêdes Martins

Ds. Sérgio Maurício Lopes Donzeles

Prof. Adílio Flauzino de Lacerda Filho
(Co-Orientador)

Profª Lêda Rita D'Antonino Faroni
(Orientadora)

""Algo só é impossível até que alguém duvide e acabe provando o contrário!" (Albert Einstein)."

Aos que lutam incansavelmente por um mundo melhor e seguem seus ideais,

dedico.

AGRADECIMENTOS

A DEUS, que sempre me deu forças para não desanimar.

Aos meus pais, que mesmo muito longe, deram-me apoio na difícil caminhada.

Aos grandes amigos Ana Paula, Gustavo, Madrith, Júlio, Taís Bacon, Denilce, Soraya, Eni, Mariella, presentes nos momentos bons e transformadores dos momentos ruins.

Aos amigos Flávio, Carlos Romero, Zé Roberto, André, Fátima, Samira, Manuela, Laíne, Clarice, Elaine, Silma, pela amizade e ajuda.

À professora Lêda, pelo incentivo.

Aos professores Adílio, Peternelli e Marco Túlio, pelo que fizeram para que este trabalho fosse desenvolvido.

A Cargill Agrícola S/A.

A Gilmar Teixeira, por toda atenção prestada.

Ao CNPq, pela bolsa de estudo concedida.

À Universidade Federal de Viçosa, cujas portas abriu para que eu chegasse até aqui.

BIOGRAFIA

ERNANDES RODRIGUES DE ALENCAR, filho de Antônio Pereira de Alencar e Eva Coelho Rodrigues, nasceu em Grajaú, Estado do Maranhão, no dia 25 de julho de 1980.

Ingressou no curso de Engenharia Agrícola e Ambiental em 2000 e graduou-se em julho de 2004.

Em outubro de 2000 iniciou estágio no Estágio no Setor de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas do Departamento de Engenharia Agrícola, passando a ser bolsista de iniciação científica a partir de 2001.

Em agosto de 2004, ingressou no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, em nível de Mestrado no Setor de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas, na Universidade Federal de Viçosa.

ÍNDICE

	página
RESUMO	ix
ABSTRACT	xii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	5
2.1. HISTÓRICO DA SOJA NO BRASIL	5
2.2. ARMAZENAMENTO DE GRÃOS	6
2.2.1. Qualidade dos grãos armazenados	6
2.2.2. Fatores que afetam qualidade durante o armazenamento	7
2.2.3. Parâmetros qualitativos de grãos armazenados	9
2.2.3.1. Massa específica aparente	9
2.2.3.2. Germinação	9
2.2.3.3. Condutividade elétrica	10
2.2.3.4. Cor	11
2.3. ÓLEO DE SOJA	11
2.3.1. Parâmetros qualitativos de óleos	12
2.3.1.1. Índice de iodo	12
2.3.1.2. Ácidos graxos livres	13

2.3.1.3. Índice de peróxido	13
2.3.1.4. Cor do óleo	14
3. MATERIAIS E MÉTODOS	16
3.1. Acondicionamento dos grãos	17
3.2. Análises dos grãos de soja armazenados com diferentes teores de água e combinações de temperatura e umidade relativa	21
3.2.1. Teor de água	21
3.2.2. Classificação dos grãos	21
3.2.3. Massa específica aparente	21
3.2.4. Germinação	21
3.2.5. Condutividade elétrica	21
3.2.6. Avaliação da Cor	22
3.2.7. Determinação do teor de lipídios	24
3.3. Análises qualitativas realizadas no óleo extraído dos grãos de soja armazenados com diferentes teores de água e diferentes combinações de temperatura e umidade relativa	25
3.3.1. Índice de iodo	25
3.3.2. Ácidos graxos livres	25
3.3.3. Índice de peróxido	26
3.3.4. Índice fotométrico de cor	26
3.4. Delineamento experimental	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
4.1. Análises dos grãos de soja armazenados com diferentes teores de água e combinações de temperatura e umidade relativa	28
4.1.1. Teor de água	28
4.1.2. Classificação dos grãos	30
4.1.3. Massa específica aparente	33
4.1.4. Germinação	36
4.1.5. Condutividade elétrica	39
4.1.6. Avaliação da Cor	42
4.1.7. Teor de lipídios	52

4.2. Análises qualitativas do óleo bruto extraído de grãos de soja armazenados com diferentes teores de água e temperaturas	55
4.2.1. Índice de iodo	55
4.2.2. Ácidos graxos livres	55
4.2.3. Índice de peróxido	61
4.2.4. Índice fotométrico de cor	65
4.3. Relação entre qualidade dos grãos de soja armazenados em diferentes condições e do óleo bruto extraído desses grãos	69
5. RESUMO E CONCLUSÕES	78
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81
APÊNDICE	92

RESUMO

ALENCAR, Ernandes Rodrigues de, M.S. Universidade Federal de Viçosa, julho de 2006. **Efeitos das condições de armazenagem sobre a qualidade da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) e do óleo bruto.** Orientadora: Lêda Rita D'Antonino Faroni. Co-Orientadores: Luiz Alexandre Peternelli, Marco Túlio Coelho Silva e Adílio Flauzino Lacerda Filho.

A estimativa para a safra de grãos 2005/06 no Brasil é de cerca de 120 milhões de toneladas. Desse total, o Brasil deve produzir 53 milhões de toneladas de grãos de soja, ou seja, 44% da produção nacional. Entretanto, a produção agrícola brasileira precisa ir ao encontro das exigências internacionais para alcançar o mercado externo, e para isso a manutenção da qualidade dos grãos é essencial. Os grãos de soja apresentam cerca de 20% de teor lipídico e são susceptíveis ao processo de deterioração qualitativa, quando armazenados de forma inadequada, podendo acarretar sérios problemas, como danos à qualidade do óleo bruto, refinado, branqueado e desodorizado. Objetivou-se com este trabalho avaliar as principais alterações qualitativas dos grãos de soja durante o armazenamento e a influência dessas alterações na qualidade do óleo bruto extraído. Utilizaram-se grãos de soja colhidos com teor de água em torno de 18% b.u., que foram secos em secador de camada fixa com ar natural, até teores de água de 11,2, 12,8 e 14,8% b.u.

Após a secagem, os grãos foram acondicionados em recipientes de plástico de aproximadamente 3,0 L e armazenados em câmaras do tipo B.O.D., nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C. Para garantir o mesmo teor de água dos grãos de soja durante o armazenamento em diferentes temperaturas, manteve-se a umidade relativa de equilíbrio (UR_e) previamente calculada para cada combinação de temperatura e teor de água, dentro de cada B.O.D. Utilizou-se um sistema computacional denominado *1-wireTM* para aquisição e armazenamento de dados de umidade relativa. A cada 45 dias até 180 dias de armazenamento, foram realizadas análises qualitativas dos grãos e do óleo bruto extraído. Os parâmetros qualitativos dos grãos de soja armazenados com diferentes teores de água e combinações de temperatura e umidade relativa analisados foram: teor de água, classificação, massa específica aparente, condutividade elétrica, germinação, cor e teor de lipídios. A qualidade de óleo bruto extraído dos grãos de soja foi avaliada pelas análises índice de iodo, ácidos graxos livres, índice de peróxido e índice fotométrico de cor. Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, em parcelas subdivididas, com três repetições. Os tratamentos, combinações de temperatura (20, 30 e 40 °C) e teor de água (11,2, 12,8 e 14,8% b.u.) foram alocados na parcela, enquanto que a subparcela correspondeu ao período de armazenamento (0, 45, 90, 135, 180 dias), fazendo com que a estrutura de tratamentos correspondesse ao fatorial 3×3×5. As análises dos dados e a interpretação dos resultados obtidos relacionados aos grãos permitiram as seguintes conclusões: para fins de certificação, o armazenamento de soja não é recomendado nas seguintes combinações de teor de água e temperatura: 11,2% b.u. a 40 °C; 12,8% b.u. a 30 e 40 °C; e 14,8% b.u. a 20, 30 e 40 °C; para comercialização de soja dentro dos limites da referência básica, é possível armazenar durante 180 dias grãos com teor de água de até 14,8% b.u. nas temperaturas de 20 e 30 °C; na temperatura de 40 °C, somente os grãos com teor de água de 11,2% b.u. poderão ser armazenados por 180 dias; grãos com teor de água de 12,8 e 14,8% b.u. a 40 °C poderão ser armazenados por 90 e 45 dias, respectivamente. Conclui-se, a partir dos dados obtidos dos parâmetros qualitativos do óleo obtido dos grãos de soja armazenados nas diferentes condições que: o armazenamento de grãos de soja com teor de água de até 14,8% b.u. a 20 °C não afeta qualitativamente o óleo bruto extraído desses

grãos; o óleo bruto obtido de grãos de soja armazenados com teor de água de até 12,8% b.u. a 30 °C permanece com qualidade satisfatória até 180 dias; não é possível obter óleo bruto, dentro dos padrões de qualidade exigidos para comercialização, de grãos de soja armazenados com teor de água superior a 11,0% b.u., na temperatura de 40 °C; as características qualitativas dos grãos de soja afetam a qualidade do óleo bruto extraído desses grãos. Como medidas preventivas de manuseio pós-colheita que permitam reduzir os riscos de perdas qualitativas dos grãos e subprodutos de soja, propõe-se: armazenar, a 20 °C, soja com teor de água de até 15,0% b.u. sem risco de deterioração por até 180 dias; em regiões com temperaturas em torno de 30 °C, armazenar soja com teor de água de até 13,0% b.u.; não armazenar soja com teor de água superior a 11,0% b.u. em regiões em que a temperatura da massa de grãos possa alcançar 40 °C, sob o risco de ser acelerado o processo de deterioração dos grãos e subprodutos.

ABSTRACT

ALENCAR, Ernandes Rodrigues de, M.S. Universidade Federal de Viçosa, July, 2006. **Effects of storage conditions on the quality of soybean grains (*Glycine max* (L.) Merrill) and crude oil.** Advisor: Lêda Rita D'Antonino Faroni. Co-Advisors: Luiz Alexandre Peternelli, Marco Túlio Coelho Silva and Adílio Flauzino Lacerda Filho.

Brazil's 2005/06-grain production is forecast at approximately 123 million tons. Of this total, Brazil should produce 57 million tons of soybean grains, i.e., 46% of the national production. Brazilian agricultural production, however, needs to meet the international demands in order to gain foreign markets, maintaining good quality of grains is therefore essential. Soybean grains have a lipid content of approximately 20% and are susceptible to quality deterioration when inadequately stored, which can lead to serious problems such as damages to the quality of crude, refined, bleached and deodorized oil. The objective of this work was to evaluate the main qualitative changes in soybean grains during storage and the influence of these changes on the quality of the extracted crude oil. Grains, with approximately 18% moisture content at harvest, dried in a fixed bed dryer with natural air to moisture contents of 11.2, 12.8 and 14.8% w.b. were used in the experiment. After drying, the grains were stored in plastic containers of approximately 3.0 L and taken to BOD incubators, at 20, 30

and 40 °C. To guarantee the same grain moisture content during storage at different temperatures, the Equilibrium Relative Humidity (RHe), previously calculated for each temperature combination and moisture content inside each BOD. Acquisition and storing of relative humidity data was performed by a 1-wireTM system. Qualitative analyses of grains and crude oil were carried out every 45 days, within a period of 180 days of storage. The qualitative parameters of soybean grains stored with different moisture contents and combinations of different temperature and relative humidity were moisture content, classification, apparent specific mass, electrical conductivity, germination, lipid content and color. The quality of extracted crude oil was evaluated through the analyses of iodice value, free fatty acid, peroxide value and photometric color index. The experiment was arranged in completely randomized split-plots, with three repetitions. The treatments, temperature combinations (20, 30 and 40 °C) and moisture content (11.2, 12.8 and 14.8% w.b.) were allocated in the main plot, whereas the subplot consisted of the storage periods (0, 45, 90, 135, 180 days), with the treatments arranged into a 3×3×5 factorial design. Data analyses and interpretation of results led to the following conclusions: for certification purposes, soybean storage is not recommended in the following combinations of moisture content and temperature: 11.2% w.b. at 40 °C; 12.8% w.b. at 30 and 40 °C; and 14.8% w.b. at 20, 30 and 40 °C; for soybean commercialization within the limits of base reference, it is possible to store grains with moisture content up to 14.8% w.b. at 20 and 30 °C for 180 days; at 40 °C, only grains with moisture content of 11.2% w.b. can be stored for 180 days; grains with moisture content of 12.8 and 14.8% w.b. at 40 °C can be stored for 90 and 45 days, respectively. The results of qualitative parameters of oil from grains stored in the different conditions led to the conclusion that storage of grains with moisture content up to 14.8% w.b. at 20 °C does not affect the quality of crude oil; crude oil extracted from grains stored with moisture content up to 12.8% w.b. at 30 °C keeps satisfactory quality up to 180 days; it is not possible to obtain crude oil that complies with the quality standards demanded for commercialization from grains stored with moisture content above 11% w.b. at 40 °C; qualitative traits of soybean grains affect the quality of the extracted crude oil. Proposed preventive measures of post-harvest handling to reduce risks of quality loss in soybean grains and

byproducts are: store soybean grains with moisture content up to 15% w.b. at 20 °C without risk of deterioration up to 180 days; in regions with temperatures around 30 °C, store soybean with moisture content up to 13% w.b.; do not store soybean with moisture content above 11% w.b. in regions where the grain mass temperature can reach 40 °C with the risk of accelerating deterioration of grains and byproducts.

1. INTRODUÇÃO

Estima-se que a safra de grãos 2005/06 no Brasil seja de cerca de 120 milhões de toneladas, um recorde para a agricultura brasileira. Desse total, o Brasil deve produzir 53 milhões de toneladas de grãos de soja, ou seja, 44% da produção nacional (BRASIL, 2006).

A qualidade dos grãos é um importante parâmetro para comercialização e processamento, podendo afetar o valor do produto. Apesar de toda a tecnologia disponível à agricultura brasileira, as perdas qualitativas e quantitativas, originadas durante o processo de pós-colheita, ainda não são bem controladas e, durante o armazenamento, a massa de grãos é constantemente submetida a fatores externos. Esses fatores podem ser físicos, como temperatura e umidade; químicos, como fornecimento de oxigênio; e biológicos, como bactérias, fungos, insetos e roedores (BROOKER et al., 1992). Para VILLA e ROA (1979), os parâmetros temperatura, teor de água, tempo de armazenamento e percentagem de grãos quebrados podem acelerar ou retardar o processo de deterioração do produto.

A predição da deterioração qualitativa em grãos, segundo TANG et al. (1999), é de suma importância, uma vez que se costuma armazenar de um ano para o outro, e o tempo de armazenamento seguro é dependente da relação

quantitativa entre taxa de deterioração, qualidade e condições de armazenagem dos grãos.

O armazenamento seguro, para BAILEY (1974), mantém os aspectos qualitativos e quantitativos dos grãos, proporcionando condições desfavoráveis ao desenvolvimento de insetos, roedores e microorganismos. O armazenamento de grãos em ambiente natural em regiões tropicais, de acordo com ABBA e LOVATO (1999), apresenta maiores problemas em decorrência das condições de temperatura e umidade relativa, se comparado com as regiões de clima temperado ou frio. Os parâmetros temperatura e umidade relativa, durante o armazenamento, são determinantes no processo de perda de viabilidade das sementes, alterações na coloração e composição do produto (WHIGHAM e MINOR, 1978; LIU, 1997; LACERDA et al., 2003). Para CLARK e SNYDER (1991), as sementes sofrem, naturalmente, redução de vigor e de germinação durante o armazenamento, em decorrência da peroxidação de lipídios. Em regiões tropicais, como as do Brasil, onde são observadas temperaturas ambientes de armazenamento acima de 20 °C, o decréscimo do percentual de vigor e de germinação é mais acentuado (DHINGRA et al., 2001).

A aparência dos grãos é, também, considerada fator crítico e determinante durante o processo de comercialização. Alterações na coloração dos grãos de soja podem ocorrer durante o processo de armazenagem, segundo SINCLAIR (1995), devido principalmente a fatores biológicos. A descoloração dos grãos de soja atribuída à presença de fungos está relacionada à qualidade pelo *U.S. Official Standards* (WILSON, et al., 1995).

Os cereais e derivados armazenados em condições inadequadas estão sujeitos à rancidez hidrolítica, e o resultado da hidrólise é manifestado pelo aumento da acidez, aumento da sensibilidade dos ácidos graxos à oxidação e pela alteração das propriedades funcionais (ARAÚJO, 2004).

Nos grãos de soja existem cerca de 20% de teor lipídico susceptível ao processo de deterioração qualitativa, sob forma de degradação destas substâncias, quando armazenados de forma inadequada, podendo acarretar sérios prejuízos para a indústria alimentícia. De acordo com NARAYAN et al. (1988a), alterações físicas, químicas e bioquímicas podem ocorrer nos grãos de soja, dependendo das condições e tempo de armazenagem.

As alterações qualitativas dos grãos de soja durante o armazenamento contribuem para a perda de qualidade do óleo e farelo (ORTHOEFER, 1978). A armazenagem de grãos de soja com teor de água elevado propicia danos à qualidade do óleo bruto, refinado, branqueado e desodorizado. Análises como a do teor de ácidos graxos livres, índice de peróxido e de iodo, dentre outras, são utilizadas para avaliar danos nos grãos e a qualidade do óleo extraído (FRANKEL et al., 1987; REGITANODARCE, et al., 1994). Além disso, a degomagem do óleo bruto extraído de grãos severamente danificados é dificultada e o óleo refinado é mais escuro que aquele obtido de grãos sadios, além de ocorrer maior perda no refino (LIST et al., 1977). A qualidade da soja pode influenciar parâmetros qualitativos de outros derivados, como pH, sólidos totais, cor do extrato hidrossolúvel de soja, dureza e rendimento do tofu (NARAYAN et al., 1988b; LIU, 1997; HOU e CHANG, 1998).

A degradação de lipídios pode ser ocasionada por oxidação, hidrólise, polimerização, pirólise e absorção de sabores e odores estranhos (ARAÚJO, 2004). As reações de oxidação podem ser influenciadas por diversos fatores como luz, calor, reações de ionização, traços de metais, pelas metaloproteínas e lipoxigenases, estando associadas à reação do oxigênio com lipídios insaturados, por mecanismos químicos e enzimáticos, como a auto-oxidação, fotoxidação e lipoxigenase. De acordo com KIRK (1984) e OLIVEIRA (2003), a oxidação de lipídios em alimentos pode ocasionar a destruição dos ácidos linoléico e linolênico, vitamina A e carotenóides, tocoferóis e da vitamina C. Segundo ATHIÉ et al. (1998), durante o armazenamento, os lipídios são hidrolisados pelas lipases em ácidos graxos livres e glicerol, principalmente quando a temperatura e teor de água são elevados. Essa alteração é acelerada pelo desenvolvimento de fungos devido à elevada atividade lipolítica desses microorganismos. A armazenagem de soja com teores de água entre 13 e 14% b.u., para CHRISTENSEN (1967), permite infecção por fungos, ocasionando acréscimo do teor de ácidos graxos livres.

Em vista do exposto, objetiva-se com este trabalho: (a) avaliar as alterações qualitativas dos grãos de soja armazenados com diferentes teores de água e em diferentes combinações de temperatura e umidade relativa; (b) avaliar a qualidade do óleo bruto extraído dos grãos de soja armazenados; (c)

estabelecer possíveis relações entre a qualidade dos grãos de soja e a qualidade do óleo bruto extraído; e (d) propor medidas preventivas de manuseio pós-colheita que permitam a redução dos riscos de perdas qualitativas dos grãos de soja durante o armazenamento.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. HISTÓRICO DA SOJA NO BRASIL

No final da década de 60, dois fatores internos levaram o Brasil a tratar a soja como um produto comercial, fato que mais tarde influenciaria o cenário mundial de produção do grão. O trigo era a principal cultura do Sul do Brasil e a soja surgia como opção de verão, em sucessão ao trigo. Nesta época, o Brasil iniciava a produção econômica de suínos e aves, gerando demanda por farelo de soja. Em 1966, a produção comercial de soja já era uma necessidade estratégica e eram produzidas cerca de 500 mil toneladas no País. O incremento no preço da soja no mercado mundial, em meados de 1970, despertou ainda mais os agricultores e o próprio governo brasileiro. O País foi beneficiado pela vantagem competitiva em relação a outros países produtores: o escoamento da safra brasileira ocorre na entressafra americana, quando os preços atingem as maiores cotações. Desde então, o país passou a investir em tecnologia para adaptação da cultura às condições brasileiras, processo liderado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. Atualmente, os líderes mundiais na produção de soja são os Estados Unidos, Brasil, Argentina, China, Índia e Paraguai (EMBRAPA, 2006).

Na Figura 1 observa-se a evolução da produção de soja no Brasil, segundo dados da BRASIL (2006), referente ao período compreendido entre 1977 e 2006.

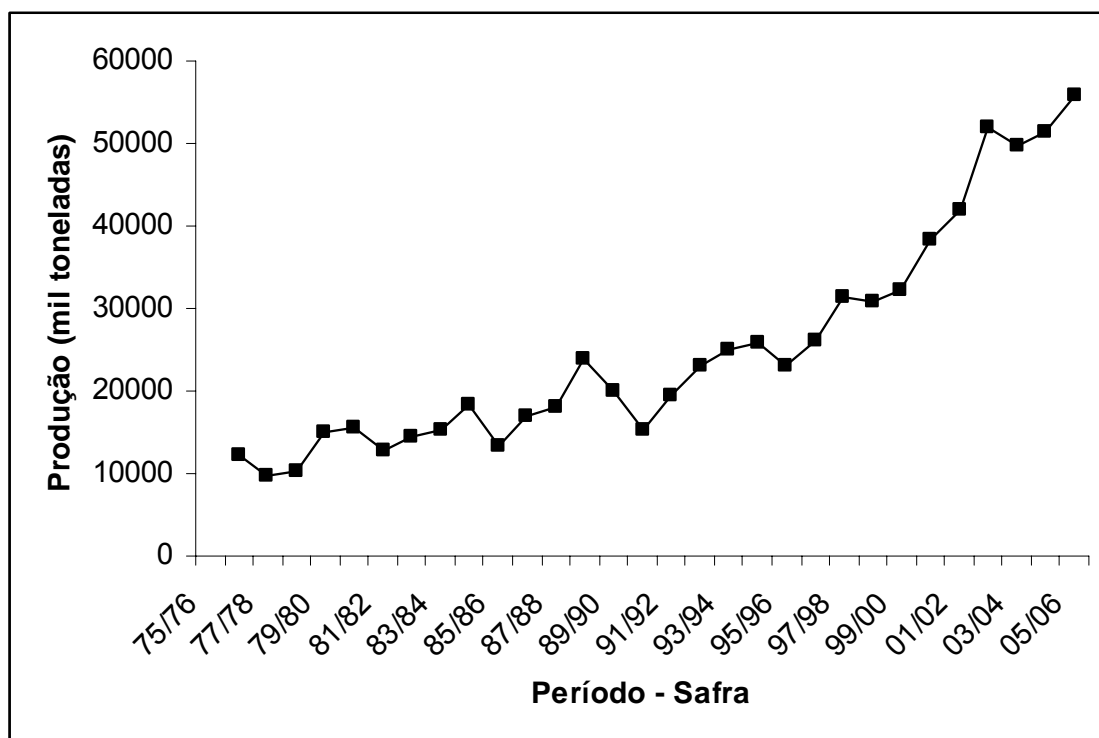


Figura 1 – Evolução da produção de soja no Brasil entre 1976 e 2006.

Fonte: Brasil (2006)

2.2. ARMAZENAMENTO DE GRÃOS

O objetivo do armazenamento é preservar as características que os grãos apresentam após a colheita. A vitalidade dos grãos pode ser preservada e a qualidade de moagem e das propriedades nutritivas como alimento pode ser mantida (BROOKER et al., 1992).

2.2.1. Qualidade dos grãos armazenados

A busca por qualidade dos grãos e seus subprodutos deve ser prioridade dos produtores, processadores e para os distribuidores desses produtos. Segundo BROOKER et al. (1992), as principais características que determinam a qualidade dos grãos são: teor de água baixo e uniforme; percentuais reduzidos de material estranho, de descoloração, de susceptibilidade à quebra, de danos pelo calor (trincas internas), danos causados por insetos e fungos; valores elevados de massa específica, concentração de óleos e proteínas e

viabilidade das sementes. Alguns fatores podem afetar estas características como as condições ambientais durante a formação dos grãos ainda na planta, época e sistema de colheita, sistema de secagem, técnicas de armazenamento, transporte e características da espécie e da variedade.

A massa de grãos é um sistema ecológico em que a deterioração é resultado da interação entre variáveis físicas, químicas e biológicas (externas e internas). O índice de deterioração depende da taxa de variação dessas variáveis, que são afetadas diretamente pela temperatura e teor de água, e ainda pela inter-relação delas com o grão e com a estrutura de armazenagem (SINHA e MUIR, 1973).

Insetos, ácaros, roedores e fungos são os principais responsáveis pelas perdas qualitativas dos grãos armazenados, sendo o desenvolvimento desses organismos influenciados por fatores ambientais (PADÍN et al., 2002). Durante o consumo de grãos pelo inseto-praga, ocorre produção de calor como resultado de processos metabólicos. Quando a infestação é suficiente para produzir grande quantidade de calor, este pode não ser dissipado, formando-se “bolsas de calor” na massa de grãos. Isso é mais provável de ocorrer onde bolsas de ar estão presentes ou em áreas onde materiais finos e sujos acumularam devido às grandes infestações de insetos. Outra consequência da presença de insetos em grãos armazenados é a diminuição do percentual de germinação. Os fungos podem causar, além de hidrólise e oxidação, diminuição do nível de nutrientes ou originar substâncias tóxicas como micotoxinas (Hower, citado por FARONI, 1997 e por MOINO et al., 1998).

2.2.2. Fatores que afetam a qualidade dos grãos durante o armazenamento

Três importantes fatores afetam a armazenabilidade dos grãos e de seus subprodutos: teor de água, temperatura e tempo de armazenamento (ACASIO, 1997).

O teor de água pode ser considerado o fator de maior importância sobre a qualidade dos grãos armazenados. Geralmente a soja é colhida com teor de água acima do recomendado para armazenamento. ACASIO (1997) sugeriu que grãos com teor de água acima de 13% b.u. devem ser secados para

reduzir os riscos de deterioração, na forma de perda de matéria seca pela respiração, ataque por fungos, produção de calor espontâneo e redução do percentual de germinação. Na Tabela 1 são apresentados os períodos de armazenamento seguro para os grãos de soja com diferentes teores de água de acordo com Barre, citado por ACASIO (1997).

Tabela 1 – Período de armazenamento seguro para grãos de soja

Teor de água (%) b.u.	Período de armazenamento seguro
10,0 – 11,0	4 anos
10,0 – 12,5	1-3 anos
12,5 – 14,0	6-9 meses
14,0 – 15,0	6 meses

Outro fator determinante na qualidade dos produtos armazenados é a temperatura. Em armazenagem de soja, além de afetar o desenvolvimento de fungos, pode favorecer alterações químicas, como processos oxidativos. Também podem ocorrer desenvolvimento e reprodução de insetos, e a temperatura ótima da maioria das espécies está compreendida entre 27 e 35 °C. Grãos de soja com teor de água entre 14 e 14,3% b.u. e mantidos em temperatura entre 5 e 8 °C podem ser armazenados por dois anos sem desenvolvimento de fungos, enquanto que grãos armazenados a 30 °C podem ser infectados por fungos em poucas semanas e severamente danificados em seis meses de armazenamento (ACASIO, 1997). Recentes estudos indicam que se pode armazenar soja com 10,5% b.u. em qualquer temperatura, sem que haja danos por fungos. Entretanto, grãos com esse teor de água podem sofrer infestação de insetos, caso sejam mantidos com temperatura acima de 20 °C. A temperatura, segundo FARONI (2006), está entre os fatores que mais influenciam o processo de respiração dos grãos resultando em aumento na intensidade do metabolismo proporcional ao aumento da temperatura, que é dependente do teor de água dos grãos. Sob alto valor de teor de água, superior a 13%, a respiração aumenta rapidamente na maioria dos cereais, o que causa deterioração.

2.2.3. Parâmetros qualitativos de grãos armazenados

2.2.3.1. Massa específica aparente

A massa específica aparente de grãos é definida como a relação entre a sua massa e o volume ocupado pela mesma (kg m^{-3}). Esse parâmetro aumenta, geralmente, com a diminuição do teor de água do produto, sendo este comportamento dependente da percentagem de grãos danificados, do teor inicial de água, da temperatura alcançada durante a secagem, do teor de água final e da variedade do grão (BROOKER et al., 1992).

A massa específica aparente pode ser utilizada como indicador qualitativo. Decréscimo no seu valor durante o armazenamento pode ser associado à perda de qualidade. Baixo valor na relação massa/volume (peso hectolítrico) em trigo indica a possibilidade de moagem pobre, baixo rendimento e qualidade inferior da farinha. SILVA (1997) afirmou que baixos valores de massa específica são encontrados em grãos que perderam, excessivamente, matéria seca devido a infestação de fungos e, ou de insetos no campo e, ou no armazenamento.

2.2.3.2. Germinação

A germinação é um fenômeno biológico, considerado pelos botânicos como a retomada do crescimento do embrião, com o subsequente rompimento do tegumento pela radícula. Entretanto, para os tecnologistas de sementes, a germinação é definida como a emergência e o desenvolvimento das estruturas essenciais do embrião, manifestando a sua capacidade para dar origem a uma plântula normal, sob condições ambientais favoráveis (IPEF, 2006). Pode-se, também, definir germinação como sendo o aparecimento dos primeiros sinais de crescimento ou visível protrusão da raiz, e é afetada por diversos fatores, dentre os quais o ataque por insetos, infecção por fungos, temperatura, teor de água e danos aos grãos ou sementes. O percentual de germinação pode ser utilizado como indicativo da deterioração de grãos (Black e Kreyger, citados por AL-YAHYA, 2001).

Vários pesquisadores estudaram a influência de fatores qualitativos relacionados com a germinação de grãos durante a fase de armazenamento. HUMMIL et al. (1954) estudaram a deterioração qualitativa de grãos de trigo armazenados com diferentes teores de água inoculados ou não com fungos em

diferentes temperaturas. Esses autores observaram rápida deterioração dos grãos de trigo armazenados com 18% b.u. Verificaram que o processo foi mais acentuado à temperatura de 35 °C. Todavia, a 20 °C verificou-se desenvolvimento mais lento dos fungos. HOUSTON et al. (1957) armazenaram arroz com teores de água entre 11,2 e 16,5% b.u. durante 7 meses e verificaram decréscimo mais acentuado da germinação à medida em que a temperaturas ou teores de água eram elevados. KARUNAKARAN et al. (2001) armazenaram trigo com teores de água na faixa entre 15 e 19% b.u. em diferentes temperaturas com o intuito de verificar o tempo de armazenagem segura; utilizaram percentual de germinação como padrão qualitativo. Obtiveram resultados para o teor de água de 17% b.u. às temperaturas de 25, 30 e 35 °C iguais a 15, 7 e 5 dias, respectivamente.

2.2.3.3. Condutividade elétrica

A deterioração de grãos é, para SANTOS et al. (2004), toda e qualquer mudança degenerativa, após os mesmos terem atingido a máxima qualidade, sendo evidenciada por danos genéticos, perda da integridade do sistema de membranas, redução da capacidade seletiva, peroxidação de lipídios, lixiviação de solutos, mudanças na atividade respiratória das sementes, modificações na atividade enzimática e síntese de proteínas, a incapacidade de manutenção do gradiente eletroquímico e a perda da compartimentalização celular e acúmulo de substâncias tóxicas. Danos nas membranas são os eventos iniciais das alterações degenerativas nas sementes (DELOUCHE, 2002).

De acordo com HESLEHURST (1988), leitura da condutividade elétrica da solução que contém os grãos pode ser utilizada para avaliar o vigor, visto que o valor da condutividade está relacionado com a quantidade de íons lixiviados na solução, a qual está diretamente associada à integridade das membranas celulares; membranas mal estruturadas e células danificadas estão, geralmente, associadas ao processo de deterioração da semente e, portanto, a sementes de baixo vigor. A perda da germinação e do vigor de sementes envelhecidas, para LIN (1990), está correlacionada com o aumento da lixiviação eletrolítica, que aumenta com a diminuição dos fosfolipídeos da membrana. Os menores valores, correspondentes à menor liberação de exsudatos, indicam alto potencial fisiológico (maior vigor), revelando menor

intensidade de desorganização dos sistemas de membranas das células (VIEIRA et al., 2002).

Os resultados da condutividade elétrica podem ser influenciados por vários fatores, tais quais: presença de sementes danificadas fisicamente, tamanho da semente, genótipo de uma mesma espécie, teor inicial de água inicial das sementes, período e temperatura de embebição (Tao; Loeffler et al.; Deswal e Sheoran; Vieira et al.; Panobianco et al.; Association of Official Seed Analysts; Hampton et al.; Carvalho; Wang et al.; Murphy e Noland; Gilvelberg et al., citados por VIEIRA et al., 2002).

2.2.3.4. Cor dos grãos

FLOYD et al. (1995) afirmaram que a cor dos alimentos influencia a aceitação pelo consumidor. A cor dos grãos de soja, de acordo com Sinclair (1992), tem sido usada como indicador de qualidade, sendo a descoloração um indicativo de alterações físicas, químicas, presenças de metabólitos ou outras características desfavoráveis. Segundo esse autor, alterações na cor dos grãos de soja são causadas, principalmente, por microorganismos, embora mudanças nas condições climáticas possam intensificar ou afetar a coloração dos grãos, não sendo esta a principal causa do problema. Nos Estados Unidos são estabelecidos limites máximos na classificação de soja com colorações distintas da cor amarela que é predominante, podendo ser de coloração verde, preta, marrom ou bicolor (USDA, 2006). Os limites percentuais de grãos caracterizados como de outras cores para que a soja seja enquadrada nos tipos 1, 2, 3 e 4 são 1,0; 2,0; 5,0 e 10,0%, respectivamente. Valores acima indicam que o produto é de baixíssima qualidade.

2.3. ÓLEO DE SOJA

O óleo de soja surgiu como um dos produtos obtidos do processamento dos grãos, sendo um dos principais produtos dessa natureza no mercado mundial. É o mais utilizado pela população para o preparo de alimentos para consumo humano e de animais domésticos. Devido as suas propriedades é indicado para um vasto número de aplicações, tais como margarinas, óleo para saladas, maionese, dentre outros (MORETTO e FETT, 1998). Praticamente todo óleo de soja é extraído com solvente químico sendo que as técnicas

utilizadas para a extração permanecem, comercialmente, inalterados desde início do século XIX (ERICKSON e WIEDERMANN, 1989).

Na Tabela 2 são apresentados os principais componentes do óleo bruto e refinado de soja, segundo ERICKSON e WIEDERMANN, 1989.

Tabela 2 – Principais componentes do óleo bruto e refinado de soja

Componente	Óleo bruto	Óleo refinado
Triglicerídeos (%)	95,0 – 97,0	99,0
Fosfatídeos (%)	1,5 – 2,5	0,003 – 0,045
Insaponificáveis (%)	1,6	0,3
Esteróis (%)	0,33	0,13
Tocoféris (%)	0,15 – 0,21	0,11 – 0,18
Hidrocarbonetos (escaleno) (%)	0,014	0,01
Ácidos graxos livres (%)	0,3 – 0,7	< 0,05
Traço de metais		
Ferro (ppm)	1,0 – 3,0	0,1 – 0,3
Cobre (ppm)	0,03 – 0,05	0,02 – 0,06

2.3.1. Parâmetros qualitativos de óleos

Em todas as etapas do processamento de óleos e gorduras, são necessárias diversas análises para o controle de qualidade. No processo de refino, o percentual de ácidos graxos livres é necessário na etapa de neutralização, ou como indicador qualitativo (O'BRIEN, 2004). Outras análises bastante utilizadas como índices qualitativos de óleos e gorduras são: índice de peróxido, índice de iodo, cor, índice de saponificação, umidade, dentre outras.

2.3.1.1. Índice de iodo

Este índice é definido como a massa, em gramas, de iodo molecular consumida na reação de adição às duplas ligações entre átomos de carbono presentes em 100 g de triglicerídeos. É uma simples e rápida análise química para óleos e gorduras, e é uma característica muito importante como medida de insaturação, mas não define ácidos graxos específicos. Ressalta-se que as análises de índice de iodo são muito exatas e fornecem valores quase que

teóricos. Entretanto, o valor de índice de iodo não deve ser analisado isoladamente, visto que por si só, torna-se sem sentido (O'BRIEN, 2004). Segundo a norma estabelecida pela ANVISA (1999), o óleo de soja deve apresentar índice de iodo entre 120 e 143 (g de iodo absorvido por 100 g da amostra).

2.3.1.2. Ácidos graxos livres

Durante o período de armazenamento de alimentos, a fração lipídica é lentamente hidrolisada pela água à temperatura elevada (processo físico), ou por enzimas lipolíticas naturais ou produzidas por bactérias e/ou fungos, contribuindo para a rancificação hidrolítica dos alimentos. As enzimas lipolíticas consistem de dois grupos principais: *lipases* e *fosfolipases A1 e A2* (ARAÚJO, 2004).

De acordo com ARAÚJO (2004), em cereais e derivados, a rancidez hidrolítica pode ocorrer durante o armazenamento inadequado, nas operações de processamento e no produto final, e a atividade da lipase está concentrada na camada mais externa dos grãos. Cita-se, como exemplo, a rancidez hidrolítica ocasionada por lipase em grãos de arroz não polidos durante o armazenamento, afetando a qualidade tanto dos grãos quanto do óleo. Um dos resultados da hidrólise em cereais é o aumento dos ácidos graxos livres.

Diante do exposto, o percentual de ácidos graxos livres é utilizado como indicador de qualidade durante o processamento de óleos e gorduras. O óleo bruto extraído de grãos pode apresentar alto percentual de ácidos graxos livres devido aos danos qualitativos ocorridos no campo ou durante o armazenamento (O'BRIEN, 2004). Este parâmetro é monitorado durante todo o processamento de óleos e gorduras, uma vez que identifica problemas potenciais para os quais podem ser iniciadas ações corretivas.

2.3.1.3. Índice de peróxido

A oxidação lipídica é um fenômeno espontâneo e inevitável, segundo SILVA et al. (1998), com implicação direta no valor comercial quer dos corpos graxos, quer de todos os produtos que a partir deles são formulados, sendo que a peroxidação constitui a principal causa da deterioração dos corpos graxos (lipídios e matérias graxas). É a principal causa da deterioração de

óleos e gorduras, e os hidroperóxidos formados a partir da reação entre o oxigênio e os ácidos graxos insaturados são produtos primários. Embora estes compostos não apresentem sabor nem odor, são rapidamente decompostos, mesmo a temperatura ambiente, em aldeídos, cetonas, álcoois, hidrocarbonetos, ésteres, furanos e lactonas, ocasionando sabor e odor desagradáveis nos óleos e gorduras (EYS et al., 2004, O'BRIEN, 2004). Outras conseqüências da oxidação lipídica nos alimentos são alterações no valor nutricional, na funcionalidade e também na integridade e segurança do produto, através da formação de compostos poliméricos potencialmente tóxicos (SILVA et al., 1999; ARAÚJO, 2004; NAZ et al., 2004; RAMALHO e JORGE, 2006).

Um dos métodos utilizados para se determinar o grau de oxidação em óleos e gorduras é a determinação do índice de peróxido. O índice de peróxido é uma medida de oxidação ou ranço em sua fase inicial, conforme mostrado na Tabela 3 e mede a concentração de substâncias (em termos de miliequivalentes de peróxidos por mil grama de amostra), que oxida iodeto de potássio a iodo e é amplamente usado na determinação da qualidade de óleos e gorduras, tendo boa correlação com sabor (O'BRIEN, 2004).

Tabela 3 – Classificação do grau de oxidação de óleo de soja de acordo com o índice de peróxido

Faixa	Grau de oxidação
<1	Baixíssima
1<IP<5	Baixa
5<IP<10	Moderada
10<IP<20	Alto
>20	Altíssima

2.3.1.4. Cor do óleo

A cor e aparência de óleos e gorduras, segundo O'BRIEN (2004), não são monitoradas somente devido ao caráter visual, mas também por estarem relacionados ao custo de processamento e qualidade do produto final. A maioria dos óleos apresenta coloração vermelho-amarelada sendo conseqüência da presença de carotenóides e clorofila. Todavia, alguns óleos crus podem apresentar pigmentação relativamente alta em decorrência de

danos na matéria prima no campo, armazenamento ou falhas no processamento; alterações na cor indicam deterioração qualitativa do óleo. Durante o processamento, a aparência é indicativo de possíveis problemas, como oxidação, falha durante a etapa de clarificação, etc.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado nos Laboratórios de Pré-Processamento e Armazenamento de Produtos Vegetais, no de Qualidade de Água do Departamento de Engenharia Agrícola – DEA e no Laboratório de Secagem e Pigmentos Naturais do Departamento de Tecnologia de Alimentos – DTA, da Universidade Federal de Viçosa.

Foram utilizados grãos de soja (*Glicine max* (L.) MERRIL) originados do Distrito de Almeida Campos, Nova Ponte, MG. Os grãos, colhidos com teor de água em torno de 18% b.u., foram secados em secador de camada fixa a baixa temperatura com ar natural com fluxo de ar de $8,5 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-2}$ (Figura 2) até teores de água de 11,2, 12,8 e 14,8% b.u.



Figura 2 – Secador utilizado na secagem dos grãos de soja.

3.1. Acondicionamento dos grãos

Após a secagem, os grãos foram acondicionados em recipientes de plástico de aproximadamente 3,0 L e armazenados em câmaras do tipo B.O.D., nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C, dispostas em sala climatizada de tal forma que possíveis oscilações da temperatura do ar ambiente não afetassem os valores de temperatura do ar dentro das câmaras.

Para garantir o mesmo teor de água dos grãos de soja durante o armazenamento em diferentes temperaturas, foram calculados os valores de umidade relativa de equilíbrio para cada combinação de temperatura e teor de água (Tabela 4), utilizando-se o modelo proposto por Chung-Pfost (Equação 1:)

$$UR_e = \exp\left[-\frac{A}{T+C} * \exp(-B * U)\right] \quad (1)$$

em que,

UR_e = umidade relativa de equilíbrio, decimal;

U = teor de água dos grãos, base seca decimal; e

T = temperatura, °C;

A , B e C são constantes dos grãos e correspondem a 138,45; 14,967 e 24,576, respectivamente, para soja (NAVARRO e NOYES, 2001).

Tabela 4 – Valores de umidade relativa de equilíbrio do ar, para as respectivas combinações de temperatura e teor de água

Temperatura (°C)	Teor de água (%) b.u.		
	11,0	13,0	15,0
20	61,0	72,0	80,0
30	67,0	76,0	83,0
40	71,0	80,0	86,0

Calculados os valores de umidade relativa para cada combinação de temperatura e teor de água, foi instalado nas BOD's um sistema computacional de aquisição e armazenamento de dados denominado *1-wire™*. Este sistema é constituído de uma rede de transmissão de dados, em que, através de um programa, um cabo condutor permite a comunicação entre o computador e os sensores de temperatura e de umidade relativa (Figura 3), instalados no interior das câmaras (MARTINS et al., 2004). Os valores reais de umidade relativa são apresentados na Figura 1A e na Tabela 1A contidas no Apêndice A.

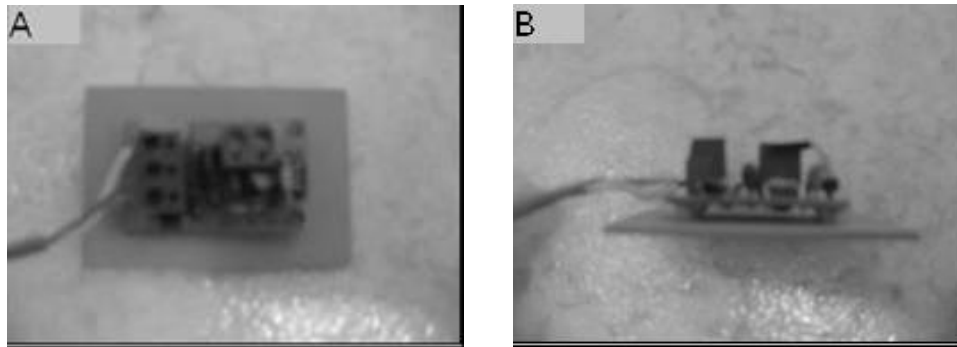


Figura 3 – Vista superior (A) e lateral (B) da placa com sensores de temperatura e umidade relativa.

A manutenção da umidade relativa nos índices desejados foi realizada pela reposição de água em uma bandeja (Figura 4A) com área previamente estabelecida através de ensaios preliminares, colocada no interior de cada câmara. Foi instalado um depósito externo de água para a manutenção do volume de água (Figura 4B), interligado à bandeja através de mangueiras de PVC e uma válvula solenóide (Figura 4C) que era acionada, em função do valor da umidade relativa medida pelo sensor e registrada pelo sistema de aquisição de dados.

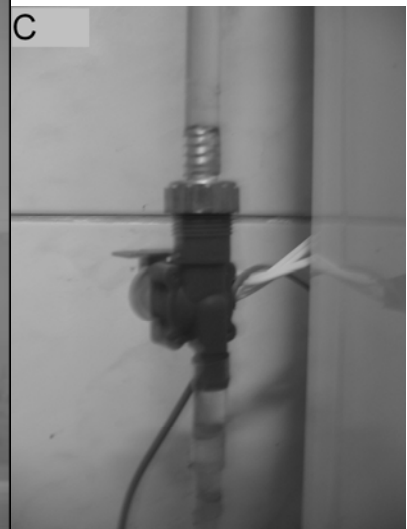
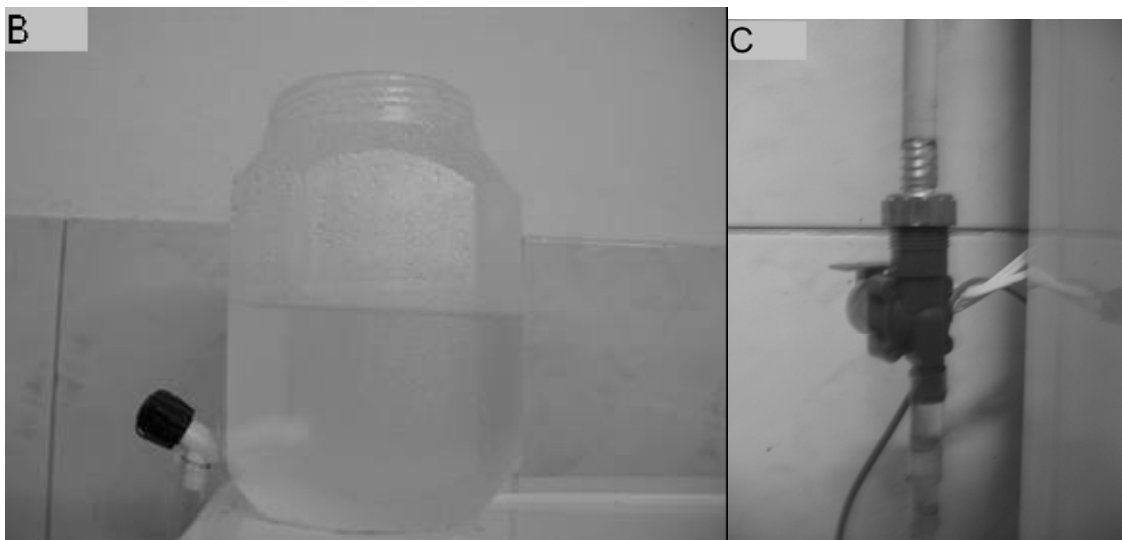


Figura 4 – Elementos do sistema de reposição de água acoplado ao sistema de aquisição de dados: recipiente interno de água (A); recipiente externo de água (B); válvula solenóide e mangueira de PVC (C).

Durante 180 dias de armazenamento, em intervalos regulares de 45 dias, foram realizadas análises qualitativas dos grãos e do óleo bruto extraído dos mesmos.

3.2. Análises dos grãos de soja armazenados com diferentes teores de água e combinações de temperatura e umidade relativa

3.2.1. Teor de água

Para a determinação do teor de água, foi utilizado o método de estufa com circulação forçada de ar, à temperatura de 103 ± 1 °C, durante 72 horas, em três repetições, conforme recomendações da ASAE (2000), método S352.2.

3.2.2. Classificação dos grãos

Os grãos foram classificados de acordo com a Portaria N° 262, de 23/11/1983, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, publicada no Diário Oficial da União (D.O.U.) de 25/11/1983 (BRASIL, 1983).

3.2.3. Massa específica aparente

A massa específica aparente (MEA) dos grãos de soja foi medida em uma balança de peso hectolítrico de $\frac{1}{4}$ de litro utilizando-se grãos limpos, ou seja, os grãos retidos na peneira de 3,00 mm de diâmetro, de acordo com a Portaria N° 262, de 23/11.1983, do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, publicada no D.O.U. de 25/11/1983 (BRASIL, 1983).

3.2.4. Germinação

O percentual de germinação (GER) foi obtido de acordo com as Regras para Análise de Sementes (Brasil, 1992). O teste foi conduzido com quatro repetições de 50 grãos, distribuídos sobre duas folhas de papel filtro umedecido com água destilada na proporção de 2,5 vezes o peso do papel substrato, a 25 °C. A contagem final foi realizada aos oito dias, considerando-se as plântulas normais. Os dados foram expressos em percentagem média de germinação.

3.2.5. Condutividade elétrica

A condutividade elétrica (CE) da solução contendo os grãos de soja foi feita utilizando-se o “Sistema de Copo” ou “Condutividade de Massa” (VIEIRA et al., 2001), tendo como finalidade avaliar o aumento da permeabilidade da membrana, à medida que o grão se deteriora. Este método baseia-se na

modificação da resistência elétrica causada pela lixiviação de eletrólitos dos tecidos dos grãos para a solução em que estes foram imersos. Os testes foram realizados em três repetições, com 50 grãos para cada tratamento, ao longo do período de armazenagem. Os grãos foram pesados em balança com precisão de 0,01 grama e colocados em copos de plástico de 200 mL, aos quais foram adicionados 75 mL de água deionizada. Em seguida, os copos foram colocados em uma câmara climática do tipo B.O.D., em temperatura de 25 °C, durante 24 horas. Imediatamente após este período, os copos foram retirados da câmara para medições da condutividade elétrica da solução que contém os grãos. As leituras foram feitas em medidor de condutividade elétrica da marca Tecnopon, modelo CA-150, com ajuste para compensação de temperatura e eletrodo, com constante da célula de 1 $\mu\text{S cm}^{-1}$. Antes de realizar as leituras, o aparelho era calibrado com uma solução-padrão de cloreto de sódio, de condutividade elétrica conhecida, em temperatura de 25 °C. O valor da condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) fornecido pelo aparelho foi dividido pela massa de matéria seca dos grãos (g), obtendo-se valor expresso em $\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$ de matéria seca.

3.2.6. Avaliação da cor

A quantificação da cor dos grãos de soja foi efetuada com o auxílio do colorímetro triestímulo ColorQuestTM II, de aceitação na indústria de alimentos. Os valores de cor usados neste aparelho são relativos aos valores absolutos de uma perfeita reflexão difusa, medida em algumas condições geométricas, definida em 1974 pela Commission Internationale d'Éclairage (C.I.E) (MINGUEZ-MOSQUERA et al., 1991). Os testes foram realizados em três repetições, obtendo-se, então, os valores das coordenadas **L** (luminosidade), **a** e **b** do sistema Hunter para avaliação da cor (Figura 5).

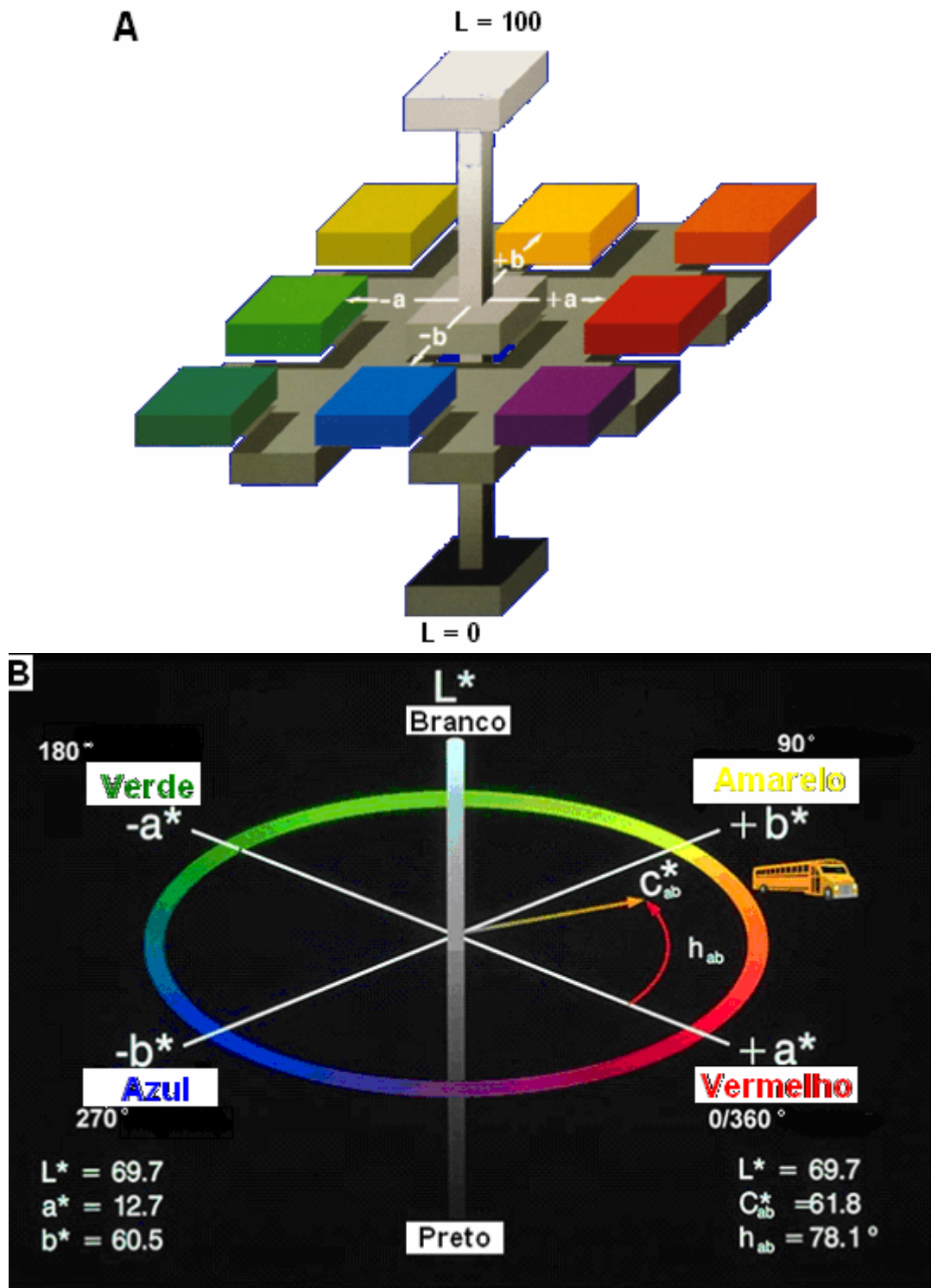


Figura 5 - Sistema de Coordenadas de Hunter (A) e índices cromáticos (B).

Fonte: HUNTERLAB (2001)

Com os valores das coordenadas L , a e b foi possível gerar parâmetros relacionados a tonalidade h (Equação 2), a saturação da cor C (Equação 3) e a

diferença de cor ΔE (Equação 4) (LITTLE, 1975, FRANCIS, 1975, MCLELLAN et al., 1995, MASKAN, 2001).

$$h = \arctang(b/a) \quad (2)$$

$$C = \sqrt{(a^2 + b^2)} \quad (3)$$

$$\Delta E = \sqrt{((\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2)} \quad (4)$$

em que:

h = tonalidade da cor;

C = saturação da cor ou croma;

ΔE = Diferença de cor;

L = mensurável em termos de intensidade de branco a preto;

a = mensurável em termos de intensidade de vermelho e verde; e

b = mensurável em termos de intensidade de amarelo e azul.

3.2.7. Determinação do teor de lipídios

A determinação do teor de lipídios (TL) dos grãos de soja, previamente moídos em moinho Pulverisette 14, da marca Fritsh, foi realizada de acordo com as normas AOCS (1993), método Ac 3-44, em aparelho de soxhlet durante 6 h utilizando éter de petróleo como solvente. Utilizou-se 100 g de farinha integral de soja que era colocada em cartuchos de papel com cerca de 20 cm de comprimento e 4 cm de diâmetro. Após a extração da fração lipídica era feita remoção do solvente residual, colocando-se os balões contendo o óleo de soja extraído em estufa com recirculação de ar, por cerca de uma hora. A massa de lipídios foi obtida pela diferença entre peso do balão com e sem o óleo extraído dos grãos de soja.

O teor de lipídios foi calculado em função da quantidade de amostra e da fração lipídica extraída, de acordo com a Equação 5,

$$\% \text{ de Lipídios} = \frac{L}{m} * 100 \quad (5)$$

em que:

L = massa de lipídios na amostra, g;

m = massa da amostra em termos de matéria seca, g.

Para a correção das possíveis distorções na quantificação do teor de lipídios em razão dos diferentes teores de água dos grãos de soja, determinou-

se o teor de água da farinha de soja e o teor de lipídios foi expresso em relação à massa da matéria seca utilizada na extração. Na determinação do teor de água da farinha de soja, utilizou-se estufa com recirculação de ar a 103 ± 1 °C, por 24 horas.

3.3. Análises qualitativas realizadas no óleo extraído dos grãos de soja armazenados com diferentes teores de água e diferentes combinações de temperatura e umidade relativa

3.3.1. Índice de iodo

Esta análise foi realizada segundo as normas AOCS (1993), Método Cd 1b-87. O índice de iodo (II) foi obtido pela Equação 6,

$$II = \frac{(Vb - Va) * f * 1,27}{m} \quad (6)$$

em que:

II = massa de iodo absorvido por 100 g da amostra, g;

Vb = volume da solução de $Na_2S_2O_3$ 0,1 N padronizada gasto na titulação do branco, mL;

Va = volume da solução de $Na_2S_2O_3$ 0,1 N padronizada gasto na titulação da amostra, mL;

f = fator de correção da solução titulante; e

m = massa da amostra, g.

3.3.2. Ácidos graxos livres

A determinação de ácidos graxos livres foi feita de acordo com as normas AOCS (1993), Método Ca 5a-40. O percentual de ácidos graxos livres (AGL), expressa em % de ácido oléico, foi calculada por meio da Equação 7,

$$AGL = \frac{(Va - Vb) * N * f * 28,2}{m} \quad (7)$$

em que:

Va = volume de NaOH 0,01 N gasto para a amostra, mL;

Vb = volume de NaOH 0,01 N gasto para o branco, mL;

N = normalidade da solução de NaOH;

f = fator de correção da solução de NaOH; e

m = massa da amostra, g.

3.3.3. Índice de peróxido

A determinação do índice de peróxido foi realizada de acordo com as normas AOCS (1993), Método Cd 8-53. O índice de peróxido (IP) foi calculado por meio da Equação 8,

$$IP = \frac{(Va - Vb) * N * f * 1000}{m} \quad (8)$$

em que:

IP = Índice de peróxido, meq (kg de amostra)⁻¹;

Va = volume de Na₂S₂O₃ 0,1N padronizada gasto para na titulação da amostra, mL;

Vb = volume de Na₂S₂O₃ 0,1N padronizada gasto para na titulação do branco, mL;

N = normalidade da solução de Na₂S₂O₃;

f = fator de correção da solução de Na₂S₂O₃; e

m = massa da amostra, g.

3.3.4. Índice fotométrico de cor

Foi realizado conforme as normas AOCS (1993), Método Cc 13c-50, pelo método espectrofotométrico. O Índice Fotométrico de Cor (IFC) foi calculado pela Equação 9,

$$IFC = 1,29 * (A_{460}) + 69,7 * (A_{650}) + 41,2 * (A_{620}) - 56,4 * (A_{670}) \quad (9)$$

em que:

IFC = Índice Fotométrico de Cor; e

A_i = valores de absorvância em 460, 550, 620 e 670 nm.

3.4. Delineamento experimental

Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, em parcelas subdivididas, com três repetições. Os tratamentos, combinações de temperatura (20, 30 e 40 °C) e conteúdo de água (11,2, 12,8 e 14,8%) foram alocados na parcela, enquanto que a subparcela correspondeu ao período de

armazenamento (0, 45, 90, 135, 180 dias), fazendo com que a estrutura de tratamentos correspondesse ao fatorial 3×3×5.

Inicialmente foi realizada análise de variância considerando medidas repetidas, para determinação da melhor estrutura de covariância residual. A escolha da melhor estrutura de covariância foi, principalmente, baseada nas estatísticas de ajuste AIC (Akaike's information criterion) e BIC (Bayesian Information Criterion) conforme discutido por LITTELL et al. (2006). Médias e/ou modelos de regressão foram ajustados para as variáveis dependentes levando em consideração a estrutura de covariância definida na etapa anterior, usando-se o PROC MIXED, e em alguns casos o PROC GLM, do SAS® System for Windows™, versão 9.1.

Para as variáveis condutividade elétrica, diferença de cor, ácidos graxos livres, índice de peróxido, teor de lipídios e índice fotométrico de cor utilizou-se análise de regressão. No ajuste das regressões relativas ao tempo de armazenamento em cada tratamento foi utilizado técnicas de variáveis indicadoras e polinômios ortogonais, adaptado de metodologias apresentadas por MYERS (1990), BOWERMAN e O'CONNELL (1990), NETER e WASSERMAN (1974) e STEEL et al. (1997). Apresentou-se, nos modelos de regressão ajustados, o coeficiente de determinação baseado na razão entre a soma de quadrados da regressão ajustada e a soma de quadrados das médias envolvidas no ajuste do modelo.

Os coeficientes de correlação de Pearson entre os parâmetros qualitativos dos grãos e óleo bruto de soja foram calculados usando-se o SAEG versão 9.0.

Em todas as análises, utilizou-se o nível de significância de 5%.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Serão apresentados e discutidos os resultados das análises qualitativas dos grãos de soja e do óleo bruto extraído desses grãos, armazenados com três conteúdos de água em três temperaturas e umidade relativa de equilíbrio (UR_e) calculada para cada combinação de temperatura e teor de água dos grãos. Em seguida será apresentada e discutida a correlação entre os parâmetros qualitativos dos grãos e do óleo bruto.

4.1. Análises dos grãos de soja armazenados com diferentes teores de água e combinações de temperatura e umidade relativa

4.1.1. Teor de água

Na Tabela 5, apresentam-se os valores de teor de água de equilíbrio dos grãos de soja armazenados durante 180 dias, em três temperaturas e respectivos valores de umidade relativa de equilíbrio. Em geral, os teores de água dos grãos permaneceram praticamente constantes, com desvio padrão máximo de 0,4, exceto para os grãos armazenados com conteúdo de água de 14,8% b.u. a 30 °C e 83% de UR_e e 12,8 e 14,8% b.u. na temperatura de 40 °C e UR_e de 80 e 86%, respectivamente. Atribuiu-se o aumento do teor de água à atividade respiratória dos grãos e da microflora a eles associada, embora a taxa respiratória dos grãos seja, geralmente, menos intensa que a dos

microorganismos (POMERANZ, 1974, MUIR e WHITE, 2000). Ainda de acordo com estes autores, a respiração dos grãos é mais intensa à medida que se têm teores de água elevados, embora a temperatura, a umidade relativa e o estado de conservação também influenciam o metabolismo dos grãos. Ressalta-se que a água produzida durante o processo respiratório aumenta o teor de água do produto que, por sua vez, intensifica o desenvolvimento e a taxa respiratória da microflora.

A respiração é acelerada pelo aumento da temperatura até o limite em torno de 40 a 50 °C. Acima desses valores, segundo MILNER e GUEDES (1945), a respiração passa a ser limitada por fatores, como inativação térmica das enzimas, exaustão do substrato, limitação no suprimento de oxigênio ou acúmulo de concentrações inibitórias de dióxido de carbono. DORWORTH e CHRISTENSEN (1968) armazenaram grãos de soja com teores de água de 12,1, 14,7, 16,5 e 18,3% b.u., nas temperaturas de 15, 20, 25 e 30 °C e verificaram aumento gradual do teor de água dos grãos armazenados com 16,5 e 18,3% b.u., provavelmente pela água metabólica produzida pelo desenvolvimento de fungos. Ao final de 20 a 24 semanas, os autores observaram que os teores de água apresentavam valores acima dos iniciais, com diferença de 1%.

Tabela 5 – Valores médios de teor de água de equilíbrio dos grãos de soja armazenados a 20, 30 e 40 °C durante 180 dias

Temp. (°C)	UR _e (%)	Período de armazenamento (dias)					Média ± DP*
		0	45	90	135	180	
20	61,0	11,2	11,2	10,8	10,7	10,6	10,9±0,3
	72,0	12,8	12,6	12,8	13,2	12,9	12,9±0,2
	80,0	14,8	15,0	15,6	14,8	14,7	15,0±0,4
30	67,0	11,2	11,3	11,1	10,5	10,6	10,9±0,4
	76,0	12,8	12,6	12,8	12,8	12,8	12,7±0,1
	83,0	14,8	15,2	16,3	17,9	17,3	16,3±1,4
40	71,0	11,2	11,4	11,1	10,9	10,9	11,1±0,2
	80,0	12,8	13,3	13,5	15,0	14,8	13,9±0,9
	86,0	14,8	15,0	17,6	17,0	16,2	16,1±1,2

* DP - Desvio padrão

4.1.2. Classificação dos grãos

Apresentam-se, na Tabela 6, os percentuais médios dos grãos ardidos e avariados referente à soja armazenada com teores de água de 11,2, 12,8 e 14,8% b.u., nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C. Esses valores foram obtidos a partir dos laudos de classificação emitidos pelo Instituto Mineiro de Agropecuária – IMA. Verifica-se que, em geral, os grãos de soja se mantiveram nos limites da referência básica, exceto os armazenados com teor de água de 12,8 e 14,8% b.u. e temperatura de 40 °C.

Embora seja possível verificar aumento do percentual de grãos ardidos e, conseqüentemente, do total de avariados, quando os grãos foram armazenados com teor de água de 14,8% b.u. à temperatura de 30 °C, a partir de 90 dias, a soja manteve as características de classificação até 180 dias de armazenamento. Todavia, os grãos armazenados com teor de água de 12,8 e 14,8% b.u. à temperatura de 40 °C foram considerados fora dos parâmetros técnicos a partir de 135 e 90 dias, respectivamente. De acordo com a Portaria nº 262 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA (BRASIL, 1983) o limite máximo de grãos avariados de soja é de 8%.

Grãos ardidos, conforme BRASIL (1983), são definidos como sendo os grãos ou pedaços deles que, pela ação do calor e/ou umidade, apresentam-se visivelmente fermentados com coloração marrom ou escura na casca e no seu interior. Foi o defeito que mais contribuiu para o aumento do total de avariados

(Tabela 6). O percentual de grãos ardidos representou mais de 63% do total de avariados em todas as amostras classificadas como fora da referência básica.

Tabela 6 – Valores médios percentuais de grãos avariados de soja armazenados nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e teores de água de 11,2, 12,8 e 14,8% b.u. durante 180 dias

T (°C)	Teor de água (%)	Período de armazenamento (dias)														
		0			45			90			135			180		
		ARD	AVD	CLS	ARD	AVD	CLS	ARD	AVD	CLS	ARD	AVD	CLS	ARD	AVD	CLS
20	11,2	0,5	1,5	RB	0,2	0,9	RB	0,3	1,4	RB	0,3	1,3	RB	0,3	0,5	RB
	12,8	0,5	2,2	RB	0,2	0,7	RB	0,3	0,7	RB	0,2	0,5	RB	0,3	0,9	RB
	14,8	0,3	1,6	RB	0,3	1,2	RB	0,4	1,2	RB	0,2	0,8	RB	0,4	0,9	RB
30	11,2	0,8	1,7	RB	0,2	0,9	RB	0,4	1,1	RB	0,2	0,5	RB	0,3	0,4	RB
	12,8	0,7	1,1	RB	0,3	1,1	RB	0,3	1,1	RB	0,4	0,6	RB	0,3	0,4	RB
	14,8	0,8	1,2	RB	0,4	1,2	RB	1,9	4,2	RB	1,3	2,5	RB	2,5	3,6	RB
40	11,2	0,2	1,5	RB	0,2	0,9	RB	0,6	1,8	RB	0,2	0,7	RB	0,5	0,8	RB
	12,8	0,5	1,2	RB	0,3	1,1	RB	0,5	0,9	RB	5,5	8,1 ¹	FRB	5,6	8,4 ¹	FRB
	14,8	0,8	1,3	RB	0,4	1,4	RB	5,8	8,6 ¹	FRB	8,8	11,7 ¹	FRB	9,1	14,3 ¹	FRB

ARD – Valores médios percentuais de grãos ardidos;

AVD – Valores médios percentuais de grãos avariados;

CLS – Classificação dos grãos de soja;

RB – Percentual de grãos avariados dentro do limite da referência básica

FRB – Percentual de grãos avariados acima do limite da referência básica

¹Produto classificado como Fora da Referência Básico pra comercialização por exceder o limite máximo de grãos avariados (8%) estabelecido pela Portaria nº 262, de 23 de Novembro de 1983, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

4.1.3. Massa específica aparente

Os resultados da análise de variância indicam, pelo teste F a 5% de probabilidade (Quadro 1B, Apêndice B), que houve variação significativa da massa específica aparente dos grãos de soja armazenados pela interação entre teor de água, temperatura e período de armazenamento. Apresentam-se, na Figura 6, os valores de massa específica aparente dos grãos armazenados com diferentes conteúdos de água, em três temperaturas, durante 180 dias.

Observa-se que, independentemente do teor de água, a massa específica aparente dos grãos de soja permaneceu praticamente constante na temperatura de 20 °C (Figura 6A).

Resultado semelhante foi observado para a temperatura de 30 °C (Figura 6B), exceto para os grãos armazenados com 12,8% b.u., a partir de 90 dias de armazenamento. Na soja armazenada com teor de água de 12,8% a 30 °C foi constatada a presença de grande quantidade de grãos danificados por insetos-praga da Ordem Lepidoptera, *Plodia Interpunctella* e *Sitotroga cerealella*, razão da redução da massa específica aparente. Uma provável explicação da ocorrência de insetos-praga é que os grãos já vieram infestados do campo. As condições ótimas de temperatura e umidade relativa para o desenvolvimento dos insetos-praga *P. Interpunctella* e *S. cerealella* são de 30 °C e 75% (MBATA e OSUJI, 1983, MASON, 2006, HANSEN et al., 2004), praticamente a mesma condição de temperatura e umidade relativa de equilíbrio para os grãos com 12,8% b.u. (Tabela 5).

Para a temperatura de 40 °C (Figura 6C), observou-se redução na massa específica aparente dos grãos de soja armazenados com teor de água de 14,8% b.u., a partir de 45 dias de armazenamento. Esse resultado confirma o incremento da atividade metabólica dos grãos devido o elevado teor de água (Tabela 6), na temperatura de 40 °C. Por esse motivo, verificou-se desenvolvimento acelerado de fungos e após 180 dias detectou-se alta incidência de *Aspergillus glaucus* (87%), resultando no maior percentual de grãos ardidos (Tabela 6), o que pode ter contribuído para a redução da massa específica aparente (Figura 8C). MUIR e WHITE (2000) afirmaram que a faixa ótima de temperatura para o desenvolvimento da maioria dos microorganismos está compreendida entre 20 e 40 °C. CHRISTENSEN e KAUFMANN (1974) mencionaram que a umidade relativa e a temperatura são fatores limitantes

para o desenvolvimento de fungos de armazenamento. Estes autores afirmaram que o valor mínimo exigido de umidade relativa para o desenvolvimento de *Aspergillus glaucus*, no intervalo de temperatura entre 26 e 30 °C, é de 73%.

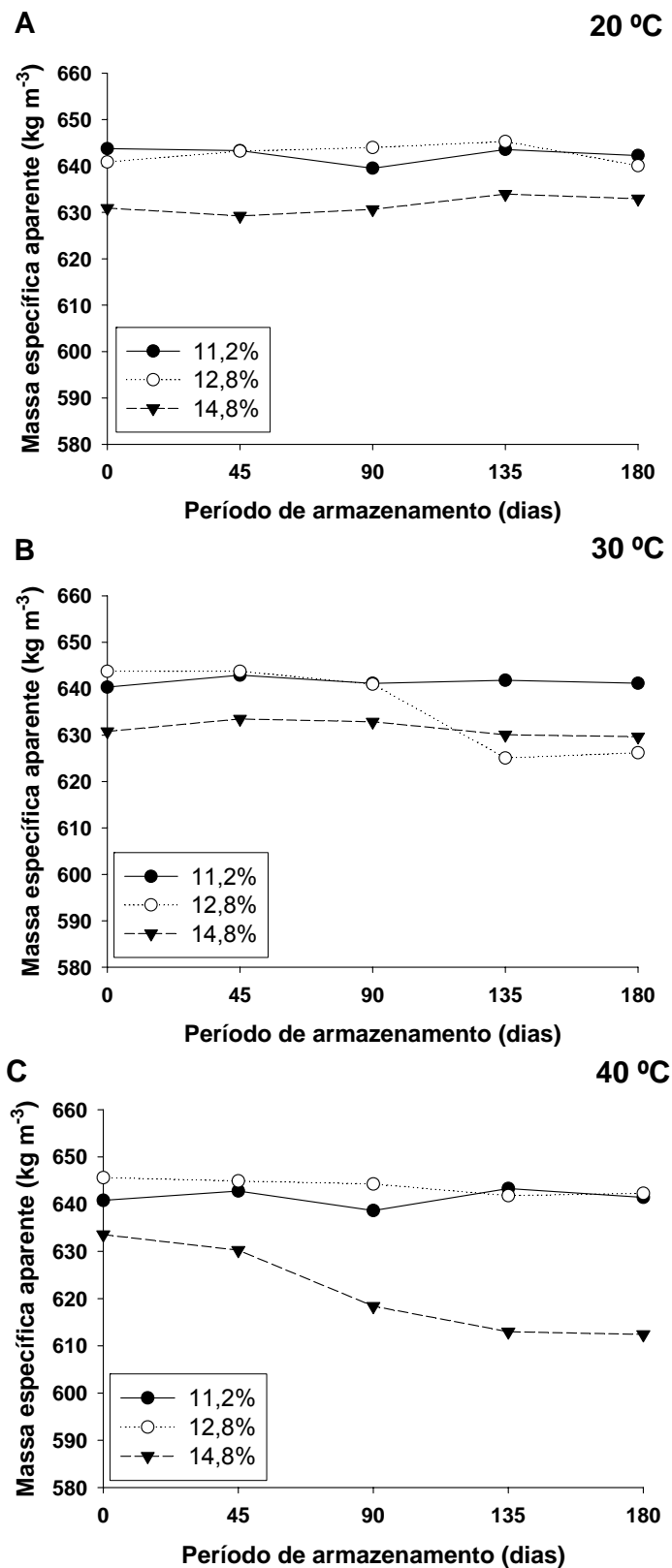


Figura 6 – Valores médios de massa específica aparente dos grãos de soja armazenados com teores de água de 11,2, 12,8 e 14,8% b.u. nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C.

4.1.4. Germinação

De acordo com os resultados da análise de variância, pelo teste F a 5% de probabilidade (Quadro 2B, Apêndice B), houve diferença significativa do percentual de germinação devido a interação tripla entre conteúdo de água, temperatura e período de armazenamento.

Os valores médios de percentual de germinação dos grãos de soja armazenados com diferentes teores de água para cada temperatura durante o armazenamento encontram-se na Figura 7. Ocorreu redução do percentual de germinação, independentemente do teor de água e da temperatura.

A 20 °C (Figura 7A), a redução do potencial de germinação foi mais acentuada para o teor de água de 14,8% b.u., comparando-se com 11,2 e 12,8% b.u., para as mesmas condições e tempo de armazenagem. Após 135 dias de armazenamento, os grãos com 14,8% b.u. a 20 °C não germinaram. Nas temperaturas de 30 e 40 °C (Figuras 7B e C), a redução foi mais acentuada à medida que se elevou o teor de água grãos. Resultados semelhantes foram obtidos por DORWORTH e CHRISTENSEN (1968) quando armazenaram soja com quatro teores de água e quatro temperaturas diferentes, embora não tenham controlado a umidade relativa ao longo do armazenamento.

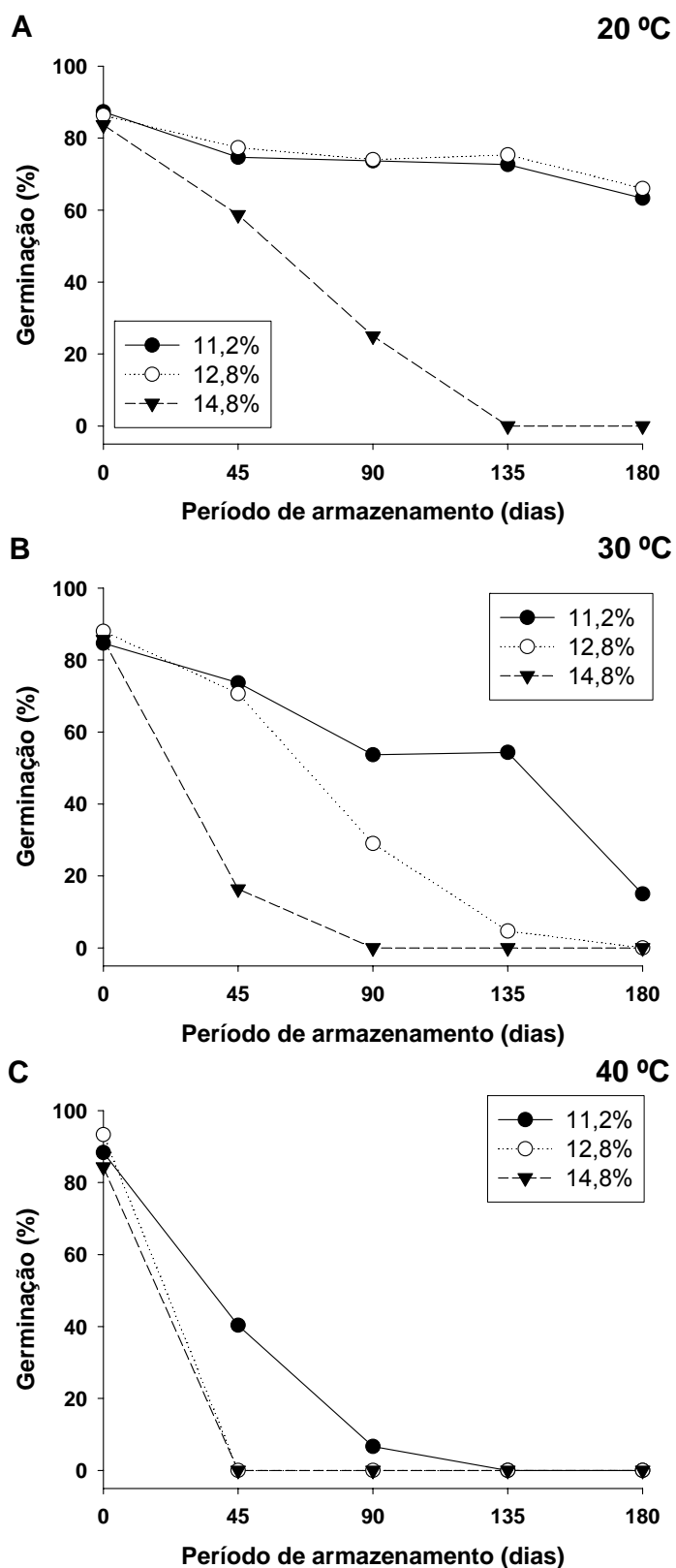


Figura 7 – Valores médios de percentual de germinação dos grãos de soja com teores de água de 11,2, 12,8 e 14,8% b.u. nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C, ao longo do armazenamento.

Segundo BURRIS (1980), a rápida deterioração da soja durante o armazenamento é influenciada pelo teor de água e temperatura. A deterioração qualitativa de soja armazenada com teores iniciais de água entre 9,8 e 13,8% b.u., em condições tropicais (30 °C e 82% UR), foi simulada por LOCHER e BUCHELI (1998). Esses autores verificaram acentuada diminuição do percentual de germinação entre 5 e 9 meses de armazenamento, sendo este comportamento mais acentuado nas sementes com maior teor inicial de água. O efeito da temperatura e umidade relativa na viabilidade de milho foi estudado por ABBA e LOVATO (1999), que armazenaram sementes com 10,5% b.u. a 30 °C e 95% de U.R. Verificaram perda da capacidade germinativa do milho após 42 dias de armazenamento. BHATTACHARYA e RAHA (2002) estudaram as alterações da soja e do milho armazenado com teores de água de 14,0 e 9,7% b.u., respectivamente, na presença de diferentes espécies de fungos. O percentual de germinação da soja e do milho após 10 e 12 meses de armazenamento foi de zero e 4%, respectivamente. GUNGADURDOSS (2003), estudando a viabilidade de sementes de soja em diferentes condições de armazenamento concluiu que o fator temperatura foi predominante na manutenção da viabilidade das sementes de soja. Decréscimo significativo do percentual de germinação devido a interação entre temperatura, conteúdo de água e tempo de armazenagem também foi verificado por PRONYC et al. (2006) em sementes de canola.

4.1.5. Condutividade elétrica

A interação entre teor de água, temperatura e período de armazenamento demonstrou efeito significativo sobre a condutividade elétrica da solução que continha os grãos de soja, pelo teste F a 5% de probabilidade, conforme os resultados da análise de variância apresentados na Tabela 3B do Apêndice B.

Apresentam-se na Figura 8, as curvas de regressão de condutividade elétrica correspondentes às soluções que continham os grãos armazenados com teores de água de 11,2, 12,8 e 14,8% b.u. nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C.

Na Tabela 7 estão apresentadas as equações de regressão ajustadas e os seus respectivos coeficientes de determinação, que relacionam condutividade elétrica da solução que continha os grãos de soja em três teores de água e o período de armazenamento para cada temperatura.

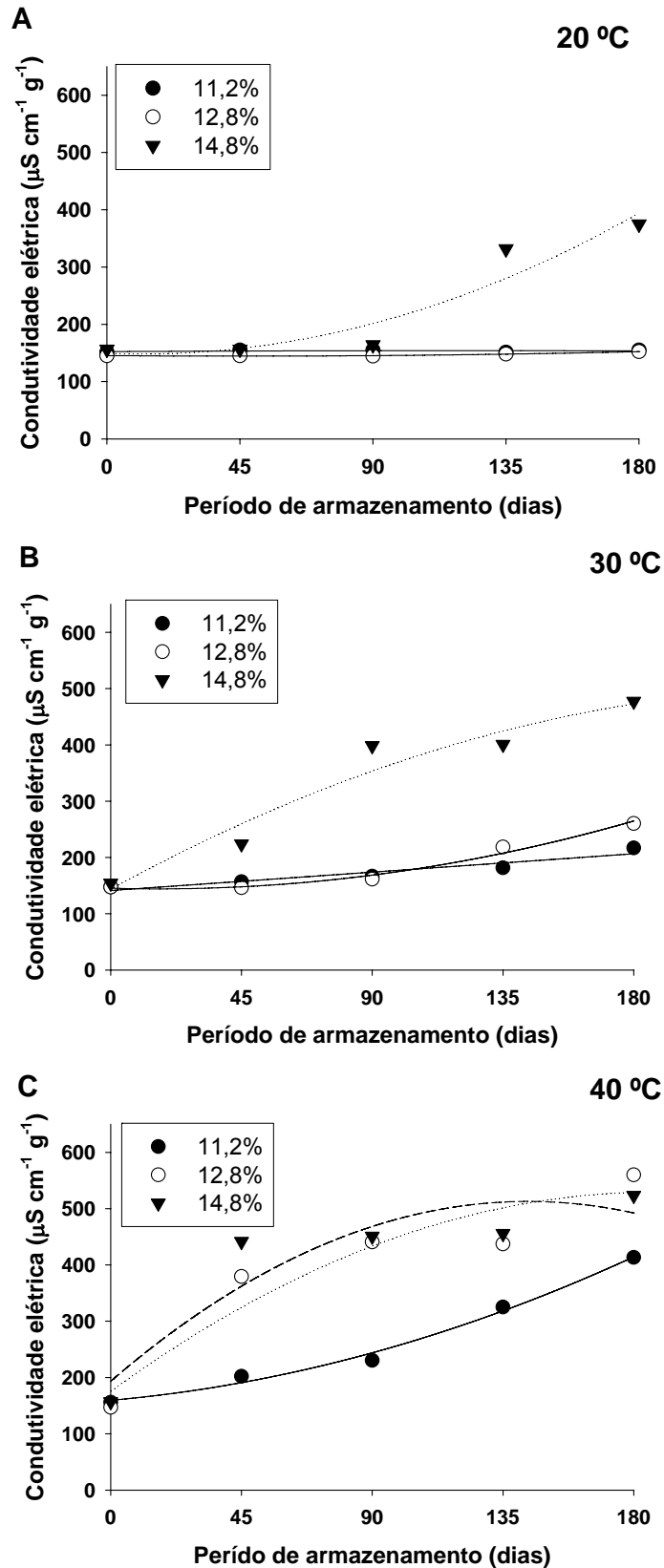


Figura 8 – Curvas de regressão da condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$) da solução que continha os grãos de soja armazenados com teores de água de 11,2, 12,8 e 14,8% b.u. nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C.

Tabela 7 - Equações de regressão ajustadas para condutividade elétrica da solução que continha os grãos de soja com teores de água de 11,2, 12,8 e 14,8% b.u. nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C ao longo do período de armazenamento (X), e respectivos coeficientes de determinação

Temperatura (°C)	Teor de água (%)	Equações ajustadas	gl _{erro}	R ²	IC _(95%)	F	Prob.
20	11,2	$\hat{y} = 153,4$	13		150,59 – 158,31	0,23	0,6366
	12,8	$\hat{y} = 147,1$	13		143,63 – 151,33	2,48	0,1389
	14,8	$\hat{y} = 149,4 - 0,2029X + 0,0087X^2$	12	0,89	180,99 – 292,29	45,54	<0,0001
30	11,2	$\hat{y} = 145,4 - 0,0403X$	13	0,91	156,47 – 191,36	11,19	<0,001
	12,8	$\hat{y} = 145,5 - 0,1477 + 0,0045X^2$	12	0,87	159,58 – 214,58	40,01	<0,0001
	14,8	$\hat{y} = 143,7 + 2,8360X - 0,0056X^2$	12	0,94	261,38 – 400,56	91,61	<0,0001
40	11,2	$\hat{y} = 159,6 - 0,4581X + 0,0053X^2$	12	0,97	212,13 – 318,75	199,31	<0,0001
	12,8	$\hat{y} = 175,5 + 3,768X - 1,002X^2$	12	0,88	314,03 – 471,59	45,45	<0,0001
	14,8	$\hat{y} = 194,2 + 4,403X - 1,530X^2$	12	0,84	331,60 – 477,60	31,67	<0,0001

Observa-se que na temperatura de 20 °C (Figura 8A) somente os grãos armazenados com teor de água de 14,8% b.u. apresentaram aumento da condutividade elétrica e, conseqüentemente, redução da qualidade fisiológica. O aumento da condutividade elétrica foi mais expressivo à medida que se aumentou a temperatura e o teor de água dos grãos (Figuras 8B e C), embora na temperatura de 40 °C (Figura 8C), independentemente do teor de água dos grãos, os resultados da condutividade elétrica da solução que continha esses grãos apresentaram elevação durante o período de armazenamento. Infere-se, com isso, que temperaturas e teores de água mais altos contribuem para o aumento da degradação dos grãos observada pela desnaturação da membrana celular.

Diversos autores utilizaram a condutividade elétrica como parâmetro qualitativo de grãos. A condutividade elétrica foi utilizada por KRITTIGAMAS et al. (2001) como na determinação do vigor em soja armazenada. Os autores observaram aumento significativo deste parâmetro e, conseqüentemente, perda de vigor dos grãos ao longo de 180 dias. KRISHNAN et al. (2004) estudou as características termodinâmicas da soja durante o armazenamento sob condições de envelhecimento acelerado, e também verificaram valores médios maiores de condutividade elétrica da solução que continha os grãos à medida que se utilizavam temperaturas mais elevadas ao longo do período de armazenamento. A influência da interação teor de água, temperatura e período de armazenamento na qualidade da soja foi analisada por YAJA et al. (2005). Os autores armazenaram soja com três teores de água, 6, 8, 10 e 12% b.u., a 15, 20, 25, 35 °C, e obtiveram acréscimo significativo da condutividade elétrica que continham os grãos de soja após 120 dias.

4.1.6. Avaliação da Cor

Os resultados da análise de variância indicam, pelo teste F a 5% de probabilidade (Tabela 4B, Apêndice B), que houve aumento significativo da diferença de cor (ΔE) dos grãos de soja durante o armazenamento em decorrência da interação teor de água, temperatura e período de armazenamento.

Na Figura 9 estão apresentadas as curvas de regressão referentes à diferença de cor dos grãos com os teores de água de 11,2, 12,8 e 14,8% b.u.,

nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C. Verificou-se, em geral, diferença de cor dos grãos durante o armazenamento, sendo esse aumento mais acentuado à medida que se elevou o teor de água e a temperatura dos grãos. Resultados semelhantes foram obtidos por HOU e CHANG (2004) ao avaliar as alterações na coloração e na composição química da soja e qualidade do tofu em diferentes condições de armazenamento. Esses autores observaram escurecimento dos grãos de soja somente quando armazenados a 30 °C e 84% de umidade relativa. O escurecimento da soja, segundo SAIO et al. (1980), é um importante indicador de deterioração qualitativa durante o armazenamento. A variação na coloração, para LIU (1997), caracteriza o envelhecimento de sementes, e estão associadas a outras alterações qualitativas, tais como, redução do percentual de germinação.

Na Tabela 8 estão apresentadas as equações de regressão ajustadas e os seus respectivos coeficientes de determinação, que relacionam a diferença de cor dos grãos de soja e o período de armazenamento, em três teores de água para cada temperatura de armazenamento.

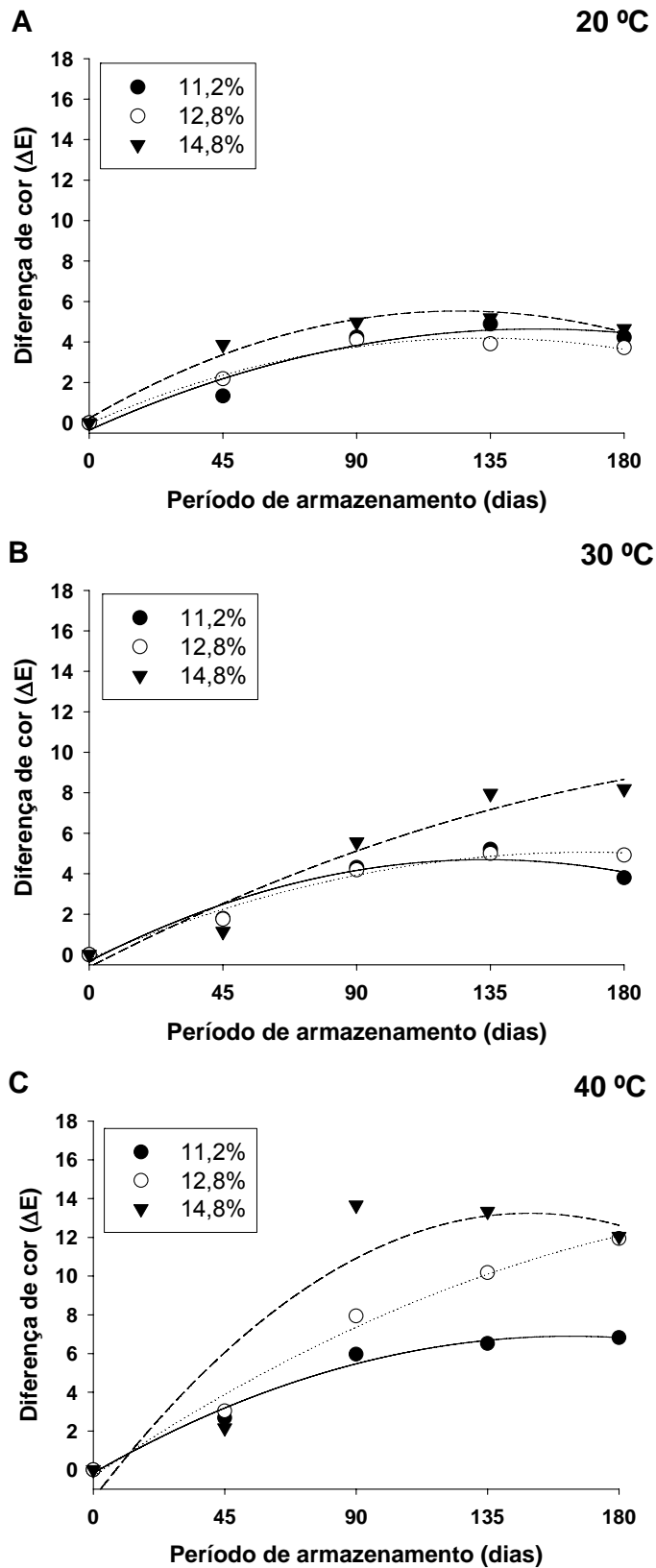


Figura 9 – Curvas de regressão de diferença de cor dos grãos de soja armazenados com teores de água de 11,2, 12,8 e 14,8% b.u. nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C.

Tabela 8 - Equações de regressão ajustadas para diferença de cor dos grãos de soja com teores de água de 11,2, 12,8 e 14,8% b.u. a 20, 30 e 40 °C ao longo do período de armazenamento (X), e respectivos coeficientes de determinação

Temperatura (°C)	Teor de água (%)	Equações ajustadas	gl _{erro}	R ²	IC _(95%)	F	Prob.
20	11,2	$\hat{y} = -0,358 + 0,0663X - 0,0002X^2$	12	0,91	1,82 – 4,04	60,85	<0,0001
	12,8	$\hat{y} = -0,031 + 0,0639X - 0,0002X^2$	12	0,78	1,79 – 3,77	22,36	0,0001
	14,8	$\hat{y} = 0,227 + 0,0852X - 0,0003X^2$	12	0,78	2,50 – 4,98	20,93	0,0001
30	11,2	$\hat{y} = -0,329 + 0,0753X - 0,0003X^2$	12	0,86	1,89 – 4,15	36,30	<0,0001
	12,8	$\hat{y} = -0,202 + 0,0627X - 0,0002X^2$	12	0,91	1,99 – 4,35	58,21	<0,0001
	14,8	$\hat{y} = -0,619 + 0,0759X - 0,0001X^2$	12	0,92	2,59 – 6,55	65,70	<0,0001
40	11,2	$\hat{y} = -0,169 + 0,0864X - 0,0003X^2$	12	0,95	2,84 – 5,94	104,23	<0,0001
	12,8	$\hat{y} = -0,330 + 0,1020X - 0,0002X^2$	12	0,96	4,03 – 9,21	138,78	<0,0001
	14,8	$\hat{y} = -1,488 + 0,1972X - 0,0007X^2$	12	0,82	4,79 – 11,69	27,62	<0,0001

De acordo com os resultados das análises de variância, pelo teste F a 5% de probabilidade (Tabela 5B, Apêndice B), houve diferença significativa na tonalidade de cor (h) dos grãos devido a interação tripla entre teor de água, temperatura e período de armazenamento, indicado pelo teste F a 5% de probabilidade.

Apresentam-se, na Figura 10, os valores médios da tonalidade de cor (h) dos grãos armazenados com três teores de água (11,2, 12,8 e 14,8% b.u.) à temperatura de 20, 30 e 40 °C. Em geral, os grãos de soja, independentemente do teor de água e da temperatura, apresentaram acréscimo na tonalidade da cor, ao longo do período de armazenamento. O aumento da tonalidade foi mais acentuado nos primeiros 90 dias, principalmente às temperaturas de 20 e 30 °C (Figuras 10A e B). Na temperatura de 40 °C (Figura 10C), embora tenha ocorrido alteração da tonalidade dos grãos, ao contrário do esperado foi menos intensa, destacando-se ainda que os grãos armazenados com teor de água de 14,8% b.u. perderam sua tonalidade a partir de 135 dias de armazenamento. A redução da tonalidade está associada ao escurecimento da soja e confirma o desenvolvimento de fungos e, conseqüentemente, a elevação do percentual de ardidos conforme os resultados apresentados na Tabela 6.

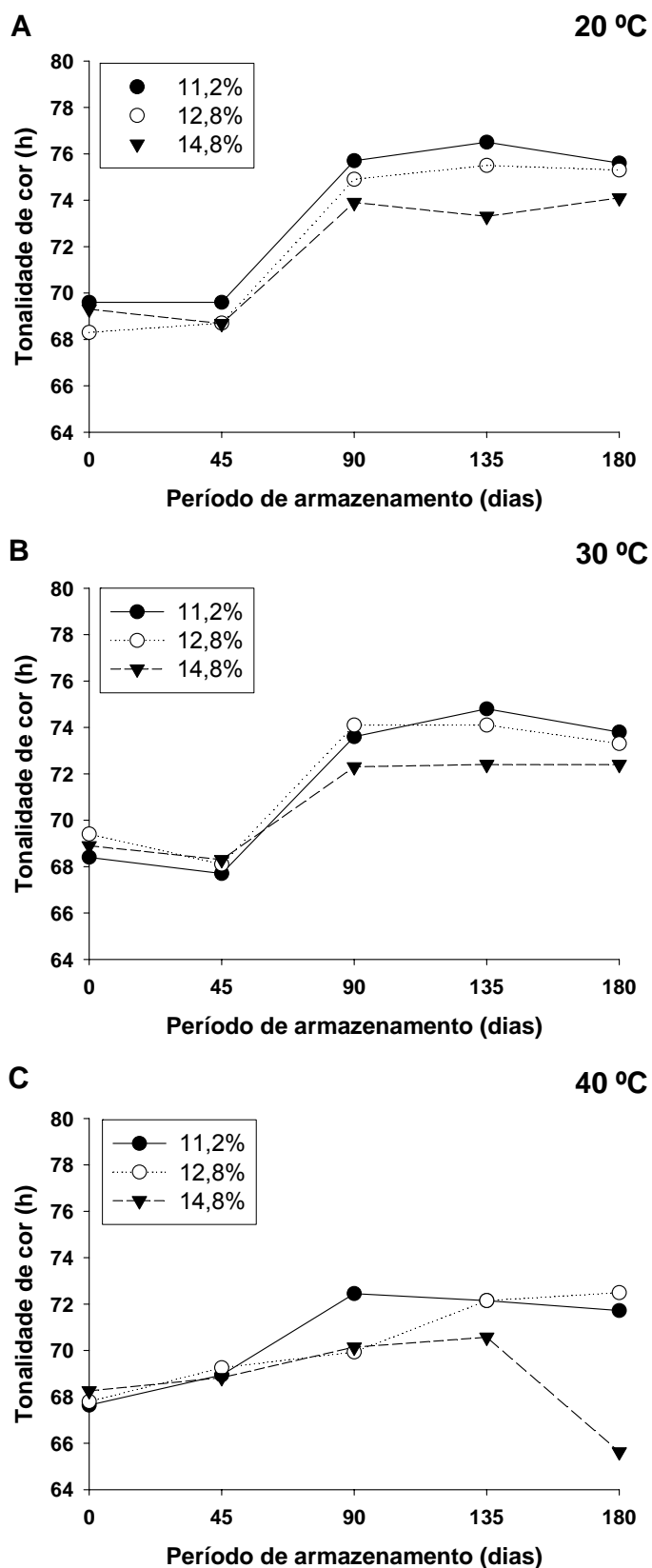


Figura 10 – Valores médios de tonalidade de cor (h) de grãos de soja com teores de água de 11,2, 12,8 e 14,8% b.u. nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C, ao longo do armazenamento.

Com relação à saturação de cor (croma) dos grãos de soja armazenados com teores de água de 11,2, 12,8 e 14,8% b.u., à temperatura de 20, 30 e 40 °C, os resultados da análise de variância indicam, pelo teste F a 5% de probabilidade, interação com o teor de água, com a temperatura e com o período de armazenamento (Tabela 6B, Apêndice B).

Encontram-se na Figura 11 os valores médios de saturação da cor dos grãos de soja armazenados com teores de água de 11,2, 12,8 e 14,8% b.u., a 20, 30 e 40 °C. Observou-se decréscimo nos valores de saturação de cor em todas as temperaturas, embora a diminuição tenha sido mais acentuada para os grãos armazenados com teor de água 14,8% b.u.. Os grãos armazenados com teores de água de 11,2 e 12,8% b.u. apresentaram comportamento semelhante as temperaturas de 20 e 30 °C (Figuras 11A e B). Todavia, na temperatura de 40 °C (Figura 11C), apenas os grãos armazenados com 11,2% b.u. apresentaram redução menos acentuada da cromaticidade. Isso, segundo MENDONÇA et al. (2003), expressa a intensidade da cor, ou seja, a saturação em termos de pigmentos ou valores de croma próximos a zero representam cores neutras (cinza) e valores próximos a 60 expressam cores vívidas. Assim como na tonalidade, a redução do croma está associada ao escurecimento da soja.

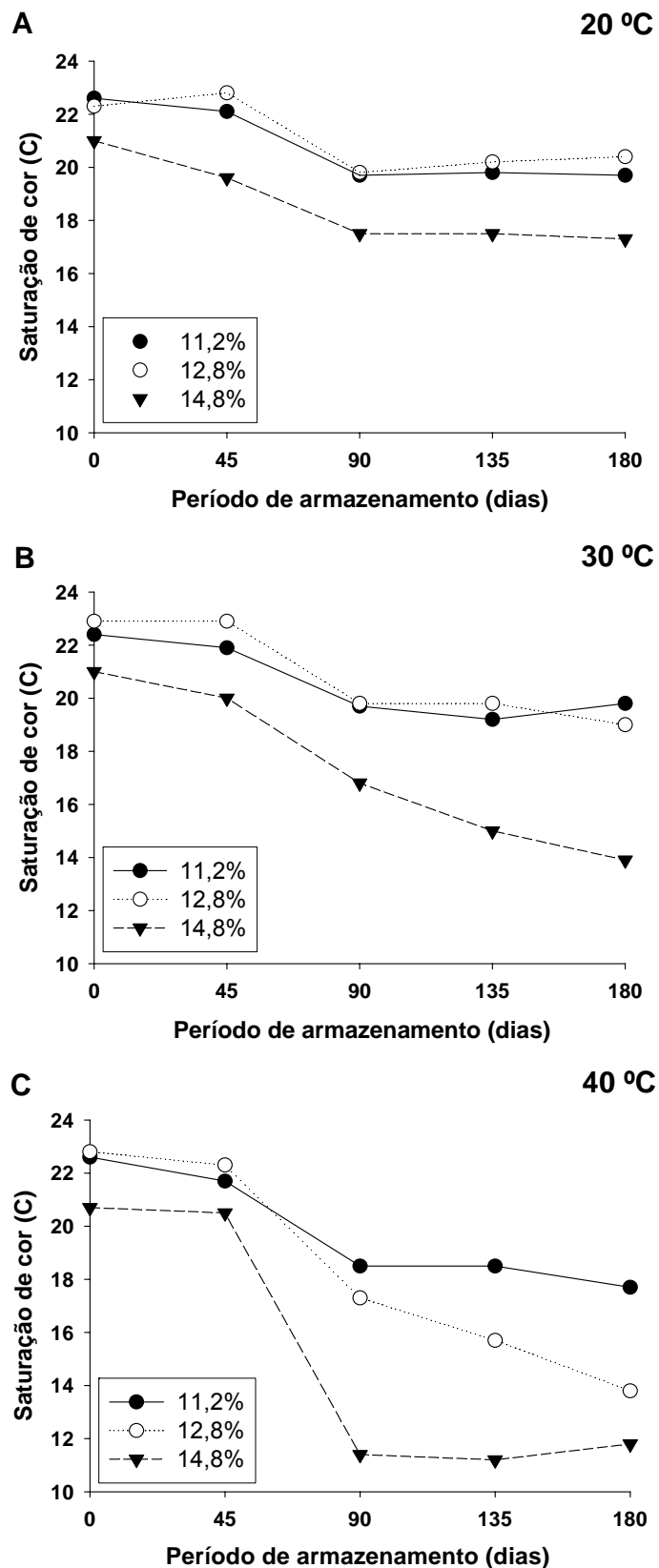


Figura 11 – Valores médios de saturação de cor (Croma) de grãos de soja com teores de água de 11,2, 12,8 e 14,8% b.u. nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C, ao longo do armazenamento.

A variação significativa da coloração dos grãos de soja armazenados em três teores de água, a 20, 30 e 40 °C, observada de acordo com índices cromáticos de saturação, tonalidade e diferença de cor está associada ao escurecimento do produto, que é mais evidente à medida que se tem temperatura e teor de água mais elevados. As alterações na cor dos grãos de soja, nas diferentes condições de armazenamento, podem ser visualizadas pelo aspecto da farinha integral obtida a partir destes grãos (Figura 12). Nota-se escurecimento da farinha obtida dos grãos armazenados com teor de água 14,8% b.u. a 30 °C (Figura 12B) e 12,8 e 14,8% b.u. a 40 °C (Figura 12 C).

De acordo com FLOYD et al. (1995) a cor dos alimentos influencia bastante a aceitação pelo consumidor. A cor dos grãos de soja tem sido usada como indicador de qualidade, sendo a descoloração um indicativo de alterações físicas, químicas, presenças de metabólitos ou outras características desfavoráveis (SINCLAIR, 1992). Segundo esse autor, as alterações na coloração dos grãos de soja são causadas por diversos microorganismos e alterações nas condições climáticas podem intensificar ou afetar de alguma maneira a coloração dos grãos, mas isto não é a principal causa do problema. Nos Estados Unidos são estabelecidos limites máximos para classificação de soja pela presença de grãos com colorações distintas da cor amarela predominante, podendo ser de coloração verde, preta, marrom ou bicolor (USDA, 2006). Os limites percentuais de grãos caracterizados como de outras cores para que a soja sejam enquadrada nos tipos 1, 2, 3 e 4 são 1,0, 2,0, 5,0 e 10,0%, respectivamente. Valores acima destes limites indicam que o produto é de baixíssima qualidade.

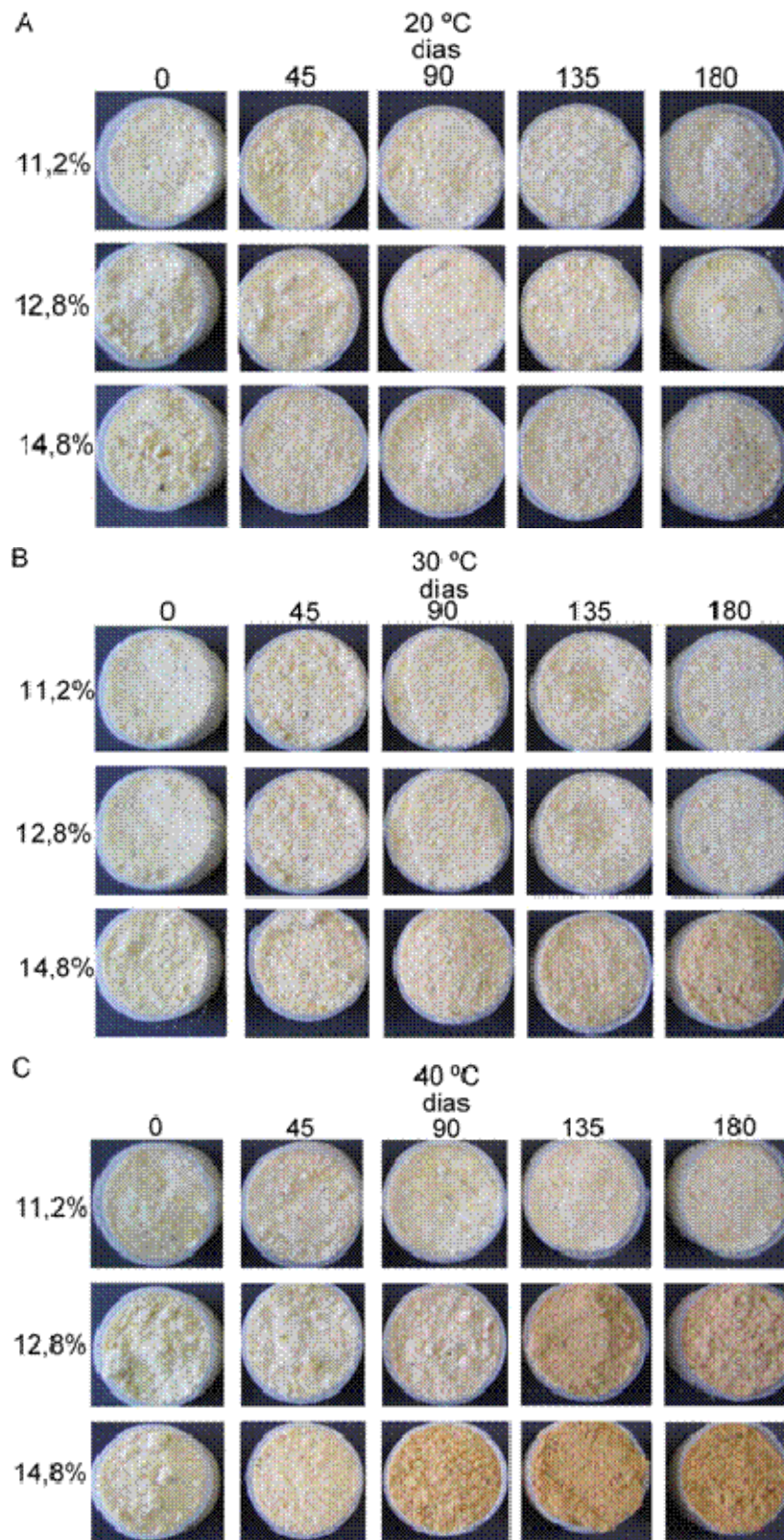


Figura 12 – Aspecto visual da farinha de soja integral obtida dos grãos de soja com teores de água de 11,2, 12,8 e 14,8% b.u. nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C, ao longo do armazenamento.

4.1.7. Teor de Lipídios

Os resultados da análise de variância indicam, pelo teste F a 5% de probabilidade (Tabela 7B, Apêndice B), que houve variação significativa do teor de lipídios dos grãos de soja devido a interação teor de água, temperatura e período de armazenamento.

O efeito da combinação dos diferentes teores de água e temperaturas durante o armazenamento sobre o teor de lipídios é mostrado na Figura 13. Em geral, o teor de lipídios dos grãos não alterou ao longo do período de armazenamento, exceto para os grãos armazenados com teor de água de 14,8% b.u. nas temperaturas de 30 e 40 °C (Figuras 13B e C).

Apresentam-se, na Tabela 9, as equações de regressão ajustadas e os seus respectivos coeficientes de determinação, que relacionam o teor de lipídios dos grãos de soja e o período de armazenamento.

HOU e CHANG (2004) ao analisarem a composição química dos grãos de soja armazenados em diferentes condições, verificaram aumento do teor de lipídios quando os grãos foram armazenados a 30 °C e 84% de U.R. Os autores não explicaram o porquê desse aumento. Ao contrário, RUPOLLO et al. (2004) afirmaram que a degradação de lipídios ocorre durante o armazenamento devido a processos bioquímicos, como a respiração, ou processos de oxidação. Os autores verificaram decréscimo significativo do teor de lipídios em grãos de aveia principalmente nos três primeiros meses de armazenamento. Resultados semelhantes já haviam sido observados por MOLTEBERG et.al. (1995) quando verificaram decréscimo do teor de lipídios em aveia armazenada em diferentes condições. Ao analisar o teor de lipídios de milho, armazenado com 18% b.u. de teor de água, KRABE (1995) obteve redução de quase 30% após 62 dias de armazenamento. ZHOU et al., (2002) mostraram a influência da temperatura e do período de armazenamento no teor de lipídios em grãos de arroz. Enquanto que em grãos armazenados a 35 °C ocorre decréscimo significativo do teor de lipídios, o mesmo não acontece em grãos a 5 °C após 12 meses.

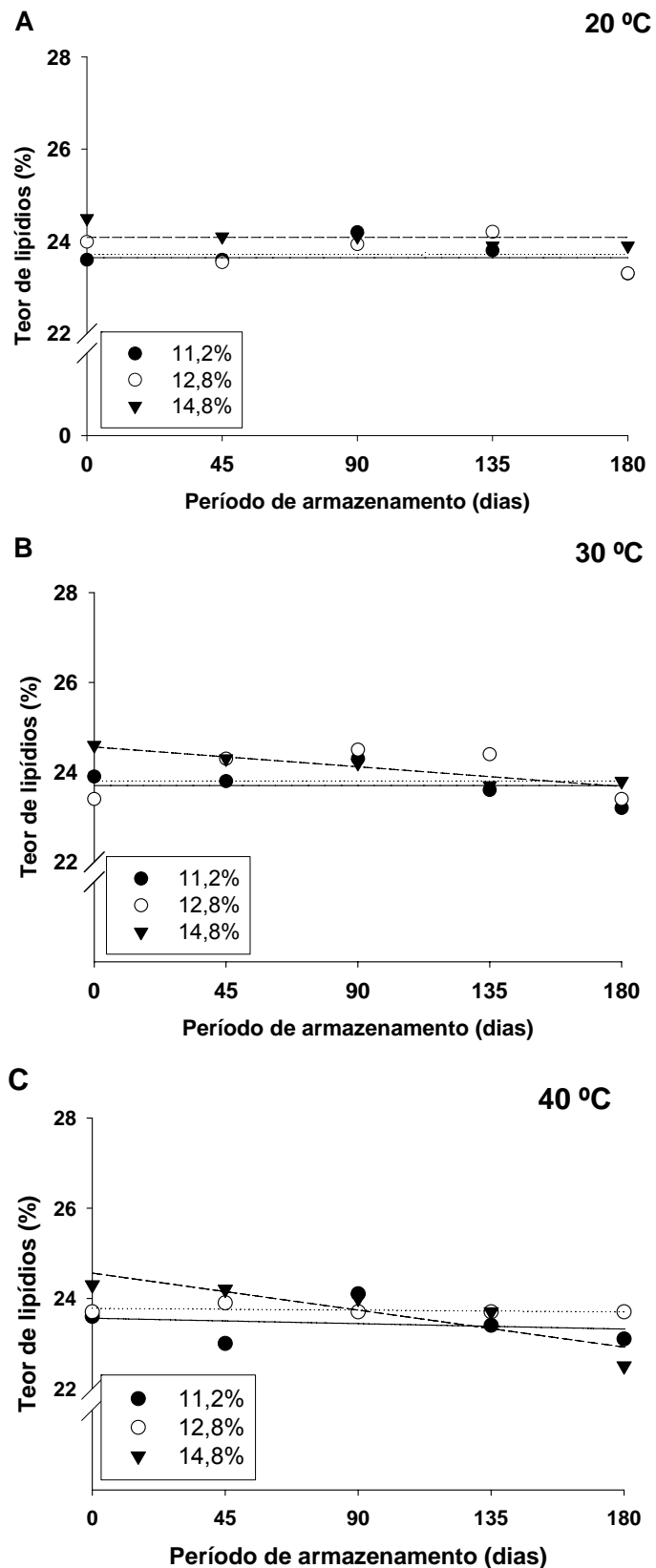


Figura 13 – Curvas de regressão de teor de lipídios (em base seca) dos grãos de soja armazenados com teores de água de 11,2, 12,8 e 14,8% b.u. nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C.

Tabela 9 - Equações de regressão ajustadas para teor de lipídios dos grãos de soja com teores de água de 11,2, 12,8 e 14,8% b.u. a 20, 30 e 40 °C ao longo do período de armazenamento (X), e respectivos coeficientes de determinação

Temperatura (°C)	Teor de água (%)	Equações ajustadas	gl _{erro}	R ²	IC _(95%)	F	Prob.
20	11,2	$\hat{y} = 23,6$	13		23,50 – 23,95	0,23	0,6364
	12,8	$\hat{y} = 23,7$	13		23,82 – 24,30	3,36	0,0897
	14,8	$\hat{y} = 24,0$	13		23,92 – 24,28	4,39	0,0562
30	11,2	$\hat{y} = 23,7$	13		23,57 – 24,02	2,26	0,1571
	12,8	$\hat{y} = 23,8$	13		23,58 – 24,33	0,27	0,6105
	14,8	$\hat{y} = 24,6 - 0,0049X$	13	0,56	23,83 – 24,40	16,27	0,0014
40	11,2	$\hat{y} = 23,6$	13		22,98 – 23,67	1,09	0,3161
	12,8	$\hat{y} = 23,7$	13		23,60 – 23,94	0,14	0,7117
	14,8	$\hat{y} = 24,6 - 0,0091X$	13	0,76	23,35 – 24,12	40,64	<0,0001

4.2. Análises qualitativas do óleo bruto extraído de grãos de soja armazenados com diferentes teores de água e de temperatura

4.2.1. Índice de iodo

De acordo com os resultados da análise de variância, pelo teste F a 5% de probabilidade (Tabela 8B, Apêndice B), não houve variação significativa do índice iodo pela interação tripla entre teor de água, temperatura e período de armazenamento, pelo teste F a 5% de probabilidade. Verificou-se variação significativa apenas para o período de armazenamento. Destaca-se que os valores médios de índice de iodo se mantiveram próximos aos valores estabelecidos pela legislação como padrão de qualidade para óleo de soja no Brasil. Segundo a norma estabelecida pela ANVISA (1999), o óleo de soja deve apresentar índice de iodo entre 120 e 143 (g de iodo absorvido por 100 g de amostra). DHINGRA et al. (1998), estudando a qualidade do óleo obtido a partir de grãos de soja armazenados com diferentes teores de água a 25 °C, infectados por *Aspergillus ruber*, também não obtiveram variação significativa do índice de iodo do óleo bruto extraído destes grãos.

4.2.2. Ácidos graxos livres

Os resultados da análise de variância, pelo teste F a 5% de probabilidade (Tabela 9B, Apêndice B), indicaram que houve diferença significativa do percentual de ácidos graxos livres do óleo extraído dos grãos de soja pela interação teor de água, temperatura e período de armazenamento.

Na Figura 14 são apresentadas as curvas de regressão do percentual de ácidos graxos livres do óleo bruto extraído dos grãos de soja armazenados com teores de água de 11,2, 12,8 e 14,8% b.u. nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C. Na temperatura de 20 °C (Figura 14A) somente o óleo extraído dos grãos de soja armazenados com teor de água de 11,2% b.u. não apresentou elevação significativa do percentual de ácidos graxos livres ao longo do período de armazenamento. Nas temperaturas de 30 e 40 °C (Figura 14B e C), independentemente do teor de água dos grãos, ocorreu aumento do percentual de ácidos graxos livres do óleo extraído desses grãos, de forma mais acentuada quando os grãos se apresentaram com teor de água de 14,8% b.u.

Na Tabela 10 se encontram as equações de regressão ajustadas e os seus respectivos coeficientes de determinação, que relacionam ácidos graxos livres do óleo extraído dos grãos de soja em três teores de água para cada temperatura de armazenamento.

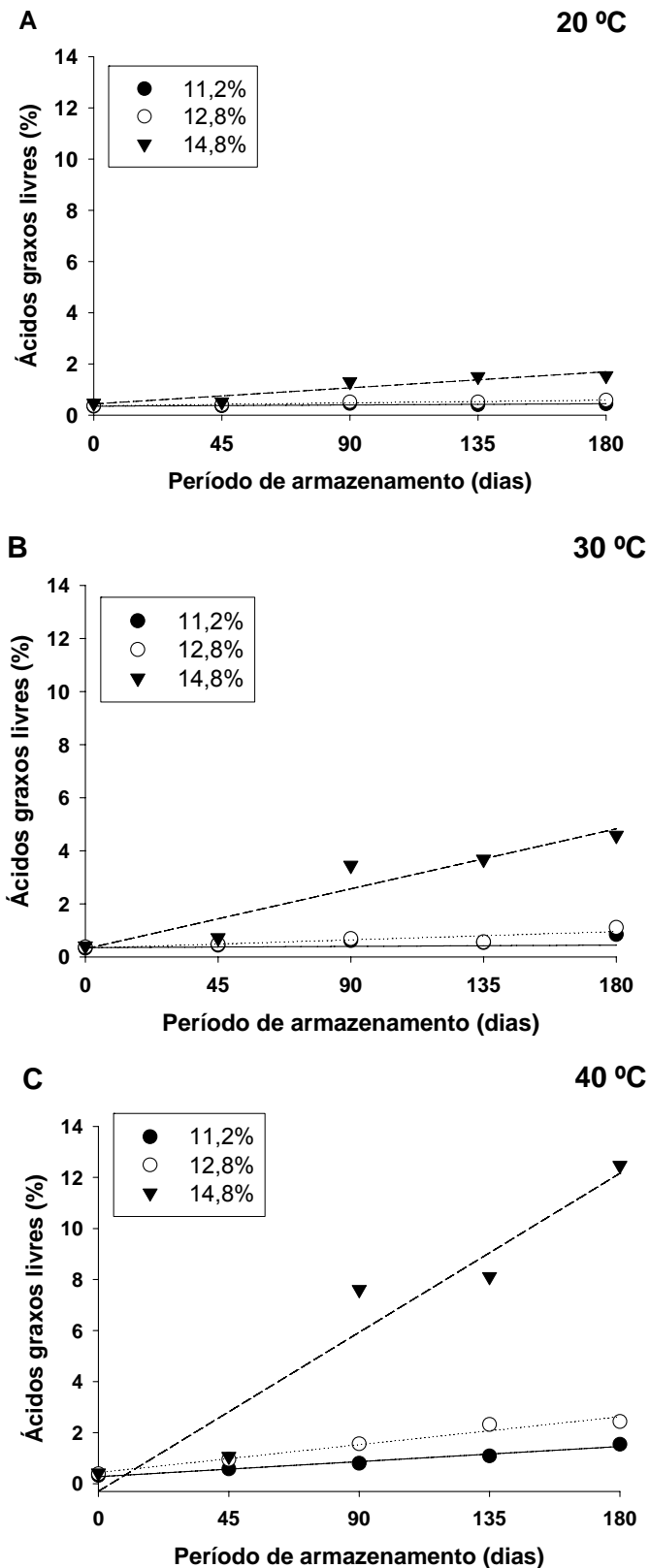


Figura 14 – Curvas de regressão do percentual de ácidos graxos livres (%) do óleo bruto extraído dos grãos de soja armazenados com teores de água de 11,2, 12,8 e 14,8% b.u. nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C (C).

Tabela 10 - Equações de regressão ajustadas para ácidos graxos livres do óleo extraído dos grãos de soja com teores de água de 11,2, 12,8 e 14,8% b.u. nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C ao longo do período de armazenamento (X), e respectivos coeficientes de determinação

Temperatura (°C)	Teor de água (%)	Equações ajustadas	gl _{erro}	R ²	IC _(95%)	F	Prob.
20	11,2	$\hat{y} = 0,41$	13		0,37 – 0,42	7,11	0,0194
	12,8	$\hat{y} = 0,370 + 0,0012X$	13	0,85	0,43 – 0,53	76,02	<0,0001
	14,8	$\hat{y} = 0,438 + 0,0069X$	13	0,80	0,78 – 1,35	51,17	<0,0001
30	11,2	$\hat{y} = 0,352 + 0,025X$	13	0,82	0,45 – 0,66	51,12	<0,0001
	12,8	$\hat{y} = 0,332 + 0,035X$	13	0,72	0,49 – 0,79	33,69	<0,0001
	14,8	$\hat{y} = 0,307 + 0,0251X$	13	0,86	1,58 – 3,56	77,93	<0,0001
40	11,2	$\hat{y} = 0,277 + 0,0066X$	13	0,96	0,62 – 1,11	314,00	<0,0001
	12,8	$\hat{y} = 0,440 + 0,0121X$	13	0,87	1,05 – 2,00	83,43	<0,0001
	14,8	$\hat{y} = -0,294 + 0,0692X$	13	0,84	3,19 – 8,67	72,04	<0,0001

O percentual de ácidos graxos livres tem sido proposto como um índice sensível de grãos, uma vez que está associado à rancidez hidrolítica (NAPOLEÃO, 1997). De acordo com O'BRIEN (2004), a rancidez hidrolítica resulta em liberação de ácidos graxos livres do glicerol, podendo afetar o sabor, odor e outras características do óleo. Esse autor afirma que óleos de origem vegetal podem apresentar valores de ácidos graxos livres relativamente altos caso os grãos ou sementes apresentem danos procedentes do campo ou de práticas incorretas de armazenagem, sendo que altos valores de ácidos graxos livres podem ocasionar perdas excessivas no refino. WILSON et al. (1995) afirmam que perdas no refino entre 1 e 1,5% são consideradas normais; entretanto, tais perdas podem chegar a 4% ou mais, à medida que se tem valores mais altos de ácidos graxos livres. O aumento de ácidos graxos livres dos lipídios ocorre pela ação de enzimas lipases e fosfolipases presentes nos próprios grãos ou produzidas pela microflora associada que contribui para o rompimento das ligações éster dos triglicerídios (ZADERNOWSKI et al., 1999).

O padrão estabelecido pela ANVISA (1999) para comercialização de óleo bruto de soja no Brasil é de 2%. Nesse contexto, pode-se inferir que o óleo extraído dos grãos de soja armazenados com teor de água de 14,8% b.u. às temperaturas de 30 e 40 °C e dos armazenados com 12,8% b.u. à temperatura de 40 °C apresentou percentual de ácidos graxos livres acima do limite estabelecido pela ANVISA (1999) após 90 e 135 dias de armazenamento, respectivamente (Tabela 11).

Diversos autores relacionam o acréscimo do percentual de ácidos graxos livres às condições de armazenagem. YANAGI et al. (1985) observaram a influência do período quando a soja foi armazenada a 30 °C e 80% de umidade relativa, no percentual de ácidos graxos livres do óleo bruto extraído. A variação do percentual de ácidos graxos livres em óleo bruto extraído de grãos de soja armazenados com diferentes teores de água foi observada por FRANKEL et al. (1987). Os grãos de soja armazenados com 13% b.u. possibilitaram menor acréscimo de percentual de ácidos graxos livres quando comparados com os valores obtidos dos grãos armazenados com 16 e 20% b.u. de teor de água. Enquanto que no óleo bruto extraído dos grãos armazenados a 13% b.u. verificou-se evolução do percentual de ácidos graxos livres de 0,2 a 1,25% após 49 dias de armazenamento, no óleo bruto obtido

dos grãos armazenados com 16 e 20% b.u. de teor de água a elevação foi de 0,5 para 2,0%, após 27 dias, e de 0,6 a 2,3%, após 28 dias. NARAYAN et al. (1988a) verificaram acréscimo do percentual de ácidos graxos livres em soja armazenada em diferentes condições de temperatura (entre 16 e 40 °C) e umidade relativa (entre 50 e 90%), obtendo valores médios iguais a 0,69, 4,31, 5,37 e 9,85% após 12, 24, 36 e 108 meses de armazenamento. O percentual de ácidos graxos livres do óleo bruto extraído de soja armazenada aumentou significativamente, segundo DHINGRA et al. (1998), em decorrência da interação teor de água dos grãos e período de armazenagem. Estes autores comentam, também, que o aumento do percentual de ácidos graxos livres representa perdas econômicas no processamento do óleo. DHINGRA et al. (2001) avaliaram as perdas qualitativas em soja armazenada e infectada por *Aspergillus ruber*. Verificaram que à medida que aumentava o percentual de ácidos graxos livres ocorria declínio da viabilidade dos grãos ao longo do período do armazenamento. A elevação do percentual de ácidos graxos livres foi verificada por BHATTACHARYA e RAHA (2002) quando armazenaram soja com teor de água de 9,7% b.u. por 12 meses.

Tabela 11 – Valores médios de teor de ácidos graxos livres do óleo bruto extraído de grãos de soja armazenados nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e teores de água de 11,2, 12,8 e 14,8% b.u ao longo do armazenamento

Temperatura (°C)	Teor de água (%)	Período de armazenamento (dias)				
		0	45	90	135	180
20	11,2	0,34	0,36	0,45	0,41	0,44
	12,8	0,37	0,40	0,52	0,52	0,59
	14,8	0,47	0,51	1,30	1,51	1,54
30	11,2	0,33	0,44	0,62	0,54	0,85
	12,8	0,37	0,48	0,69	0,57	1,11
	14,8	0,41	0,72	3,44	3,67	4,58
40	11,2	0,32	0,58	0,80	1,09	1,54
	12,8	0,38	0,95	1,56	2,32	2,43
	14,8	0,42	1,07	7,60	8,10	12,47

4.2.3. Índice de peróxido

Os resultados da análise de variância indicam, pelo teste F a 5% de probabilidade (Tabela 10B, Apêndice B), que houve diferença significativa do índice de peróxido (IP) do óleo extraído dos grãos de soja pela interação teor de água, temperatura e período de armazenamento.

Apresentam-se na Figura 15 as curvas de regressão do índice peróxidos do óleo bruto extraído dos grãos de soja com teores de água de 11,2, 12,8 e 14,8% b.u. em três níveis de temperatura (20, 30 e 40 °C) ao longo do armazenamento.

Encontram-se na Tabela 12 as equações de regressão ajustadas e os seus respectivos coeficientes de determinação, que relacionam índice de peróxido do óleo extraído dos grãos de soja em três teores de água para cada temperatura de armazenamento.

Em todas as temperaturas ocorreu elevação do índice de peróxido embora de forma menos acentuada para os grãos com teores de água de 11,2 e 12,8% b.u., às temperaturas de 20 e 30 °C (Figuras 15 A e B). Na temperatura de 40 °C (Figura 15C), a elevação do índice de peróxido do óleo bruto extraído dos grãos de soja foi mais acentuada independentemente do teor de água dos grãos. Resultados semelhantes foram obtidos por NARAYAN et al. (1988a) quando estudaram a evolução do índice de peróxido do óleo bruto extraído em grãos de soja armazenados em diferentes temperaturas e umidades relativas. Observaram valores médios de índice de peróxido de 18, 40, 65 e 98 meq kg⁻¹, após 12, 24, 36 e 108 meses.

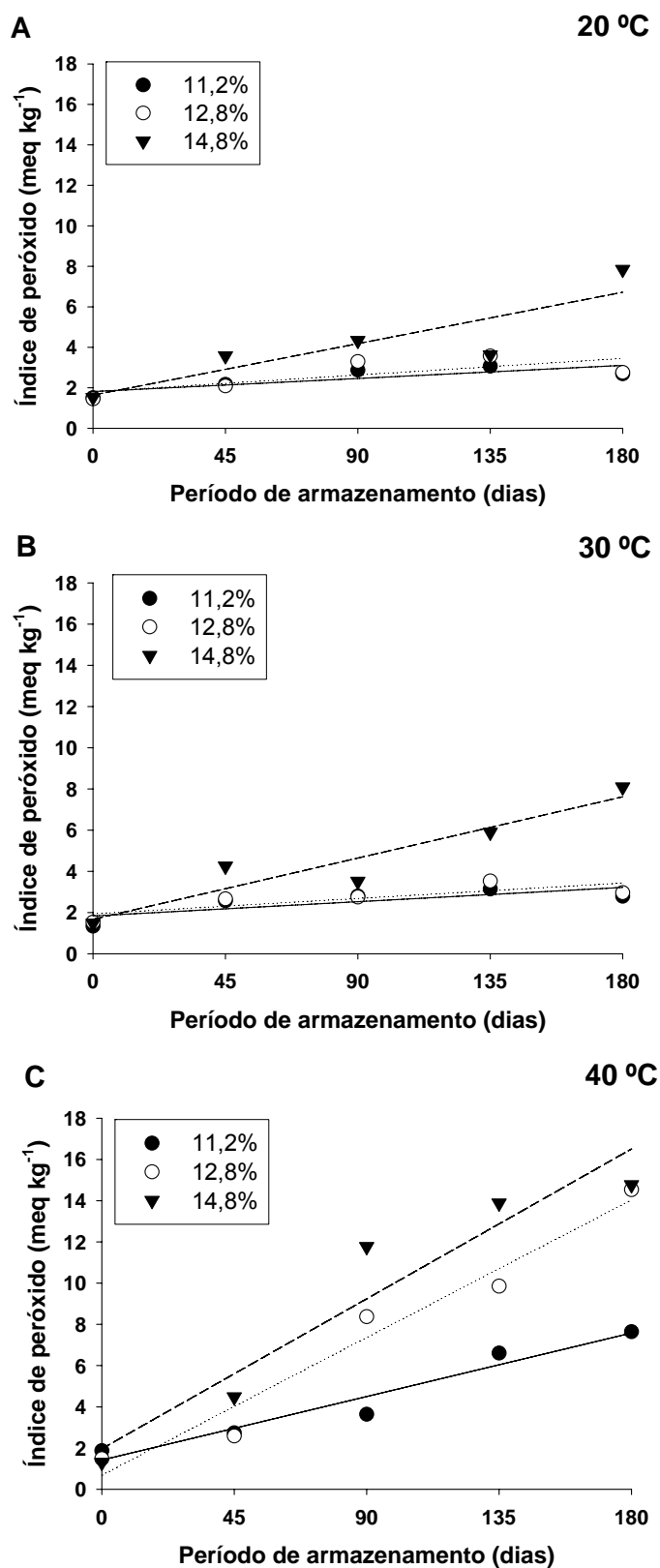


Figura 15 – Curvas de regressão do índice de peróxido (meq kg^{-1}) do óleo bruto extraído dos grãos de soja armazenados com teores de água de 11,2, 12,8 e 14,8% b.u. nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C.

Tabela 12 - Equações de regressão ajustadas para índice de peróxido do óleo extraído dos grãos de soja com teores de água de 11,2, 12,8 e 14,8% b.u. nas temperaturas de 20, 30 e 40°C ao longo do período de armazenamento (X), e respectivos coeficientes de determinação

Temperatura (°C)	Teor de água (%)	Equações ajustadas	gl _{erro}	R ²	IC _(95%)	F	Prob.
20	11,2	$\hat{y} = 1,812 + 0,0072X$	13	0,42	2,04 – 2,78	9,51	0,0087
	12,8	$\hat{y} = 1,810 + 0,0091X$	13	0,45	2,14 – 3,13	10,61	0,0062
	14,8	$\hat{y} = 1,640 + 0,0282X$	13	0,74	2,99 – 5,37	37,88	<0,0001
30	11,2	$\hat{y} = 1,835 + 0,0077X$	13	0,56	2,15 – 2,90	16,37	0,0014
	12,8	$\hat{y} = 1,939 + 0,0083X$	13	0,47	2,24 – 3,13	11,46	0,0049
	14,8	$\hat{y} = 1,672 + 0,0330X$	13	0,75	3,26 – 6,03	40,08	<0,0001
40	11,2	$\hat{y} = 1,417 + 0,0342X$	13	0,78	3,08 – 5,91	45,77	<0,0001
	12,8	$\hat{y} = 0,686 + 0,0742X$	13	0,94	4,57 – 10,16	193,98	<0,0001
	14,8	$\hat{y} = 1,968 + 0,0808X$	13	0,90	6,14 – 12,34	115,06	<0,0001

O índice de peróxido é, segundo O'BRIEN (2004), uma das análises mais utilizadas para caracterizar óleos e gordura e produtos que apresentam valores de índice de peróxido compreendido entre 1 e 5 meq kg⁻¹ são classificados como de baixo estado de oxidação; os que apresentam valores entre 5 e 10 meq kg⁻¹ são caracterizados por estado de oxidação moderado e os que apresentam valores compreendidos entre 10 e 20 meq kg⁻¹ são classificados como em alto estado de oxidação.

Ao comparar os índices de peróxidos obtidos nas análises do óleo bruto extraído dos grãos de soja (Tabela 13) com os valores sugeridos por O'BRIEN (2004), verificou-se que o óleo obtido dos grãos armazenados com 11,2 e 12,8% b.u. às temperaturas de 20 e 30 °C pode ser caracterizado como de baixo estado de oxidação. Por outro lado, o óleo extraído dos grãos de soja armazenados com 12,8 e 14,8% b.u. de teor de água a 40 °C se apresentou com alto estado de oxidação aos 180 e 90 dias, respectivamente. Vale destacar que o limite máximo de índice de peróxido estabelecido pela legislação brasileira (ANVISA, 1999) é de 10 meq kg⁻¹, para comercialização de óleo bruto.

De acordo com HOU e CHANG (2004), o aparecimento de *off-flavors* (aroma e sabor desagradáveis) em derivados de soja pode ser parcialmente atribuído a peroxidação de lipídios. EYS et al. (2004) associam a relativa sensibilidade dos produtos derivados de soja ao processo de oxidação ao fato de serem ricos em ácidos graxos insaturados, especialmente ácido linoléico.

Os resultados observados de índice de peróxido confirmam a deterioração dos grãos de soja armazenados nas diferentes condições de acordo com os testes de percentual de germinação e de condutividade elétrica da solução que continha esses grãos, Figuras 7 e 8, respectivamente. Além de afetar a qualidade do óleo bruto, o processo de oxidação é responsável pela deterioração observada pelo envelhecimento das sementes (BERNAL-LUGO e CARL LEOPOLD, 1998), podendo ocorrer formação de radicais livres, reação de Maillard e desidrogenação enzimática.

Tabela 13 – Valores médios de índice peróxidos do óleo bruto extraído de grãos de soja armazenados a 20, 30 e 40 °C e teores de água de 11,2, 12,8 e 14,8% b.u. ao longo do armazenamento

Temperatura (°C)	Teor de água (%)	Período de armazenamento (dias)				
		0	45	90	135	180
20	11,2	1,51	2,17	2,87	2,81	2,68
	12,8	1,45	2,09	3,29	3,57	2,76
	14,8	1,52	3,58	4,33	3,62	7,84
30	11,2	1,34	2,57	2,80	3,14	2,79
	12,8	1,52	2,66	2,75	3,52	2,96
	14,8	1,48	4,25	3,51	5,89	8,09
40	11,2	1,87	2,73	3,64	6,60	7,64
	12,8	1,48	2,58	8,37	9,85	14,54
	14,8	1,30	4,47	11,77	13,88	14,76

4.2.4. Índice fotométrico de cor

Os resultados da análise de variância, pelo teste F a 5% de probabilidade (Tabela 11B – Apêndice B), indicaram que houve variação significativa do índice fotométrico de cor devido à interação tripla entre temperatura, teor de água e período de armazenamento.

Na Tabela 14, são apresentadas as equações de regressão ajustadas e os seus respectivos coeficientes de determinação que mostram a evolução do índice fotométrico de cor do óleo bruto extraído dos grãos de soja armazenados com teores de água de 11,2, 12,8 e 14,8% b.u., a 20, 30 e 40 °C.

Apresentam-se na Figura 16 a evolução do índice fotométrico de cor do óleo bruto extraído da soja armazenada em diferentes condições. Observa-se que independentemente do teor de água e temperatura dos grãos ocorreu aumento do índice fotométrico de cor do óleo bruto. Todavia, o acréscimo foi mais acentuado à medida que se aumentava o teor de água e temperatura de armazenamento. Esses resultados são confirmados pelas alterações na coloração da soja, Figura 12, na qual se observou escurecimento da farinha obtida dos grãos, principalmente nos armazenados com teor de água e temperatura elevados.

Uma explicação para o acréscimo acentuado no índice fotométrico de cor do óleo bruto extraído dos grãos de soja, principalmente do óleo extraído dos grãos com alto teor de água, deve-se a presença de fungos de

armazenamento. Resultados semelhantes foram relatados por WILSON et al. (1995) que verificaram acréscimo do índice fotométrico da cor do óleo à medida que se aumentava o percentual de danos ocasionados por fungos na composição e qualidade da soja, bem como a temperatura de secagem dos grãos.

Ressalta-se que a cor e aparência do óleo, de acordo com O'BRIEN (2004), são importantes por vários fatores e estão relacionadas com o custo de processamento, qualidade e finalidade do produto final. Normalmente, os óleos apresentam cor vermelho-amarelada, em consequência da presença de carotenóides e clorofila. Porém, alguns óleos crus podem apresentar pigmentação relativamente alta em decorrência de danos na matéria prima no campo, armazenamento ou falhas no processamento; alterações na cor são indicativos de deterioração qualitativa do óleo.

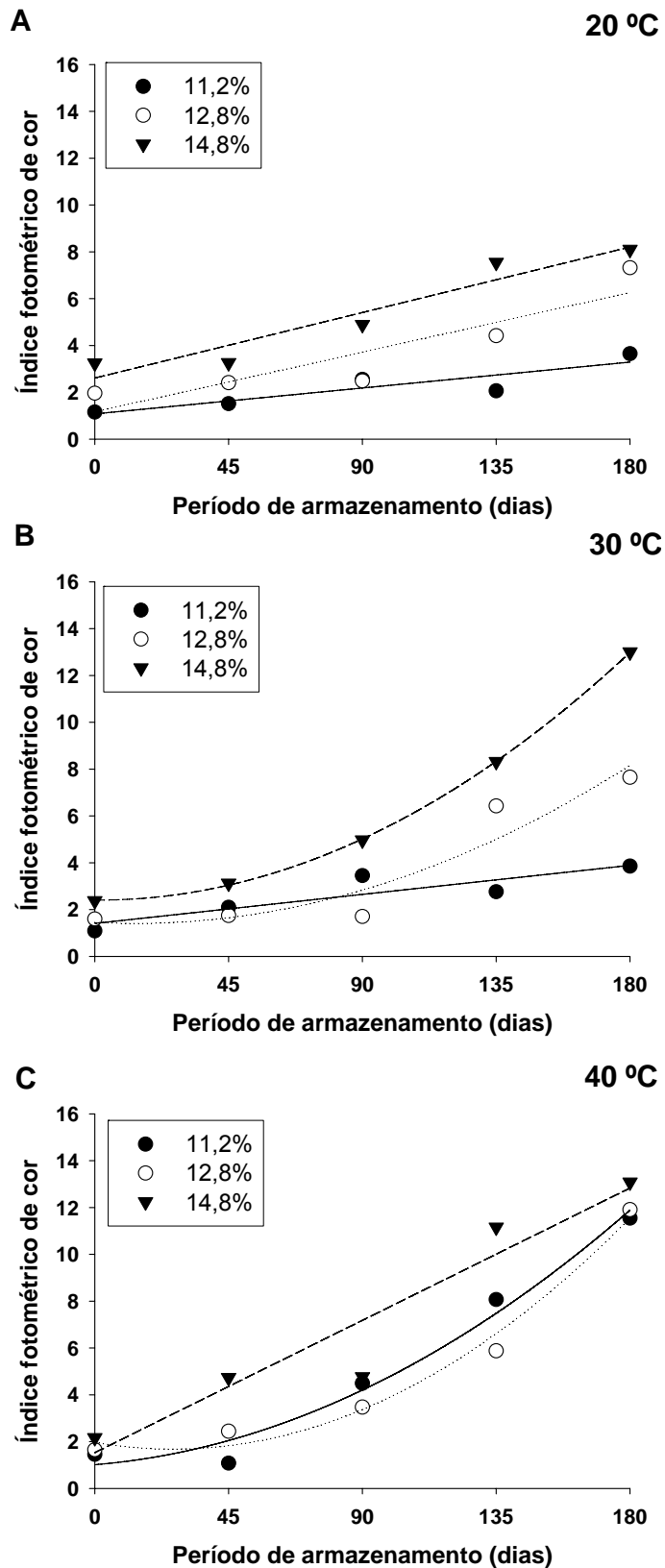


Figura 16 – Curvas de regressão do índice fotométrico de cor do óleo bruto extraído dos grãos de soja armazenados com teores de água de 11,2, 12,8 e 14,8% b.u. nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C.

Tabela 14 - Equações de regressão ajustadas para índice fotométrico de cor do óleo extraído dos grãos de soja com teores de água de 11,2, 12,8 e 14,8% b.u. nas temperaturas de 20, 30 e 40°C ao longo do período de armazenamento (X), e respectivos coeficientes de determinação

Temperatura (°C)	Teor de água (%)	Equações ajustadas	gl _{erro}	R ²	IC _(95%)	F	Prob.
20	11,2	$\hat{y} = 1,07 + 0,0123X$	13	0,59	1,60 – 2,76	18,73	0,0008
	12,8	$\hat{y} = 1,17 + 0,0283X$	13	0,74	2,85 – 5,84	36,31	<0,0001
	14,8	$\hat{y} = 2,60 + 0,0311X$	13	0,51	3,56 – 6,00	13,79	0,0026
30	11,2	$\hat{y} = 1,41 + 0,0138X$	13	0,46	1,91 – 3,39	10,90	0,0057
	12,8	$\hat{y} = 1,46 - 0,0067X + 0,00024X^2$	12	0,74	2,16 – 5,49	17,84	0,0003
	14,8	$\hat{y} = 2,40 - 0,0007X + 0,00033X^2$	12	0,85	3,93 – 8,78	32,90	<0,0001
40	11,2	$\hat{y} = 1,01 + 0,0104X + 0,00028X^2$	12	0,90	2,93 – 7,71	51,84	<0,0001
	12,8	$\hat{y} = 1,97 - 0,0220X + 0,00042X^2$	12	0,95	2,91 – 7,22	109,83	<0,0001
	14,8	$\hat{y} = 1,52 + 0,0628X$	13	0,90	4,77 – 9,60	112,68	<0,0001

4.3. Relação entre qualidade dos grãos de soja armazenados em diferentes condições e do óleo bruto extraído desses grãos

Foi possível estabelecer correlação entre a qualidade dos grãos de soja armazenados em diferentes condições e do óleo bruto extraído desses grãos. Na Tabela 15 é apresentada a matriz de correlação de Pearson entre os parâmetros qualitativos dos grãos e do óleo bruto. Observa-se, em geral, correlação significativa entre a qualidade dos grãos de soja e do óleo bruto, exceto para o índice de iodo. Verificou-se, ainda, correlação entre os parâmetros referentes aos grãos e entre os parâmetros relacionados à qualidade do óleo.

Utilizaram-se os coeficientes de correlação como critério para a determinação dos parâmetros qualitativos dos grãos de soja que melhor explicassem a deterioração qualitativa do óleo bruto extraído desses grãos. A partir daí, ajustaram-se equações (Tabelas 16, 17 e 18) que relacionam os parâmetros qualitativos do óleo e dos grãos.

A relação entre o percentual de ácidos graxos livres do óleo bruto e os parâmetros qualitativos dos grãos de soja, tais como, percentual de ardidos, condutividade elétrica da solução que continha os grãos, diferença e saturação de cor, é apresentada na Figura 17. Observa-se relação direta entre o percentual de grãos ardidos, a condutividade elétrica e a diferença de cor com o percentual de ácidos graxos livres do óleo bruto de soja. Entretanto, o percentual de ácidos graxos livres do óleo está inversamente relacionado à saturação de cor (croma) dos grãos. Estes resultados estão de acordo com ERICKSON e WIEDERMANN (1989) que afirmam que o percentual de ácidos graxos livres do óleo bruto de soja é influenciado pela qualidade da matéria-prima processada. Os autores citam como fatores determinantes durante o armazenamento, a temperatura e a umidade relativa. DHINGRA et al. (2001) também observaram relação entre a qualidade dos grãos de soja armazenados com diferentes teores de água e do óleo bruto extraído desses grãos. Esses autores observaram decréscimo do percentual de emergência das plântulas à medida que ocorria acréscimo do percentual de ácidos graxos livres do óleo bruto de soja. Entretanto, SOARES (2003) estudando a deterioração da soja ocasionada por fatores térmicos, mecânicos e biológicos ao longo do período

de armazenamento não verificou resultados conclusivos referente à relação entre ácidos graxos livres e o percentual de grãos ardidos.

O escurecimento dos grãos de soja, confirmado pela variação significativa dos índices cromáticos de cor (Figuras 9, 10 e 11), está relacionado à presença de fungos, que por sua vez produzem as lipases. Muitos estudos foram realizados, segundo ANGELO e ORY (1983), relatando a atividade de lipases em grãos, pois a ativação dessas enzimas pode afetar negativamente a qualidade do óleo, provocando elevação do percentual de ácidos graxos livres. As lipases contribuem para o rompimento das ligações éster dos triglicerídeos e, conseqüentemente, aumento dos ácidos graxos livres (ZADERNOWSKI et al., 1999, SOARES, 2003). O acréscimo do percentual de ácidos graxos livres, para WILSON (1995), pode ocasionar mais de 4% de perda no refino.

Considerando-se o limite máximo de 2% de ácidos graxos livres estabelecido pela ANVISA (1999) para a comercialização de óleo bruto de soja pode-se calcular o máximo permissível de percentual de grãos ardidos, de condutividade elétrica da solução que continham os grãos, de diferença e de saturação de cor dos grãos utilizando-se as equações apresentadas na Tabela 16. Prediz-se, por meio dessas equações, valor de ácidos graxos livres de 2% associado a 2,44% de grãos ardidos, condutividade elétrica equivalente a $396 \mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$ e diferença e saturação de cor iguais a 6,9 e 16,8, respectivamente.

Tabela 15 – Matriz de correlação de Pearson entre as variáveis qualitativas dos grãos de soja armazenados em diferentes condições e do óleo bruto extraído

Variável	GER (%)	CE ¹	ΔE	h	C	ARD(%)	TL (%)	II ²	AGL (%)	IP ³	IFC
GER (%)	1,00	-0,83*	-0,71	-0,18	0,70*	-0,40*	0,24*	-0,12 ^{ns}	-0,50*	-0,66*	-0,63*
CE		1,00	-0,77*	-0,06 ^{ns}	-0,79*	0,65*	-0,28*	0,05 ^{ns}	0,70*	0,84*	0,72*
ΔE			1,00	0,26*	-0,92*	0,71*	-0,25*	0,10 ^{ns}	0,71*	0,88*	0,68*
h				1,00	-0,20*	-0,19*	0,07 ^{ns}	0,05 ^{ns}	-0,18*	-0,01 ^{ns}	0,20*
C					1,00	-0,75	0,19*	-0,09 ^{ns}	-0,81*	-0,87*	-0,73
ARD (%)						1,00	-0,16*	0,06 ^{ns}	0,84*	0,80*	0,55*
TL							1,00	-0,13 ^{ns}	-0,28*	-0,27*	-0,31*
II								1,00	0,08 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,01 ^{ns}
AGL									1,00	0,77*	0,61*
IP										1,00	0,73*
IFC											1,00

GER – Germinação; CE – Condutividade elétrica; DE – Diferença de cor; h – Tonalidade de cor; C – Saturação de cor; TL – Teor de lipídios; II – Índice de iodo; AGL – Ácidos graxos livres; IP – Índice de peróxido; IFC – Índice fotométrico de cor.

¹ Expresso em $\mu\text{S cm g}^{-1}$

² Expresso em g de iodo por 100g de amostra

³ Expresso em meq kg^{-1} de amostra

* Significativo a 5% de probabilidade

^{ns} Não Significativo a 5% de probabilidade

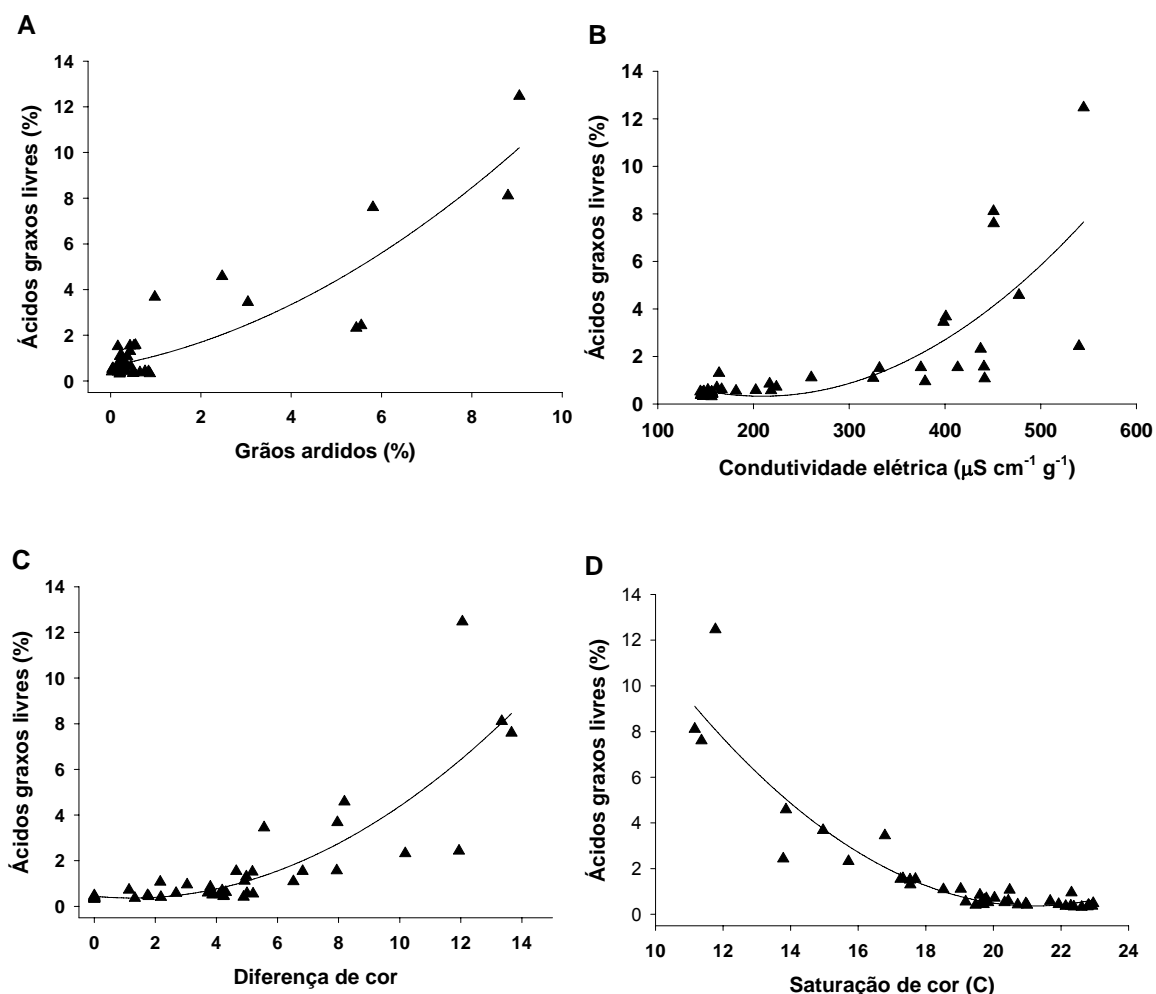


Figura 17 - Valores observados e preditos para ácidos graxos livres do óleo bruto em função do percentual de grãos ardidos (A), condutividade elétrica da solução que continha os grãos (B), diferença de cor (C) e saturação da cor (D).

Tabela 16 - Equações de regressão ajustadas do percentual de ácidos graxos livres em função do percentual de grãos ardidos (X_1), condutividade elétrica da solução que continha os grãos (X_2), diferença de cor (X_3) e saturação da cor (X_4)

Equações ajustadas	gl _{erro}	R ²	F	Prob.
$\hat{y} = 0,6528 + 0,3698 X_1 + 0,07581 X_1^2$	41	0,81	89,06	<0,0001
$\hat{y} = 3,0891 - 0,0265 X_2 + 0,0001 X_2^2$	41	0,61	31,19	<0,0001
$\hat{y} = 0,4567 - 0,1430 X_3 + 0,0533 X_3^2$	41	0,72	52,39	<0,0001
$\hat{y} = 39,432 - 3,6871 X_4 + 0,0870 X_4^2$	41	0,87	133,88	<0,0001

O índice de peróxido do óleo bruto de soja aumentou à medida que ocorreu acréscimo nos parâmetros qualitativos dos grãos, percentual de ardidos, condutividade elétrica da solução que continham os grãos e diferença de cor (Figuras 18A, B e C). Todavia, o índice de peróxido está inversamente relacionado à saturação de cor (croma) dos grãos (Figura 18D), comportamento semelhante ao resultado apresentado na Figura 19, referente ao percentual de ácidos graxos livres.

A deterioração qualitativa da soja, confirmada pelo aumento significativo do percentual dos grãos ardidos (Tabela 6), condutividade elétrica da solução que continham os grãos (Figura 8) e dos índices cromáticos (Figuras 9, 10 e 11), é explicada pelo grau de oxidação do óleo bruto obtido a partir da determinação do índice de peróxido. As reações de oxidação são, para BERNAL-LUGO e CARL LEOPOLD (1998), as responsáveis pela deterioração observada durante o envelhecimento dos grãos, com liberação de radicais livres oxidativos, desidrogenação enzimática e reação de Maillard. Vários trabalhos foram realizados, nos quais foi detectado que a perda de vigor em soja está associada ao processo de oxidação. Inicialmente PARRISH e LEOPOLD (1978) atribuíram a perda de vigor em soja a alterações nas membranas celulares, como resultado da peroxidação envolvendo ácidos graxos insaturados. Mais tarde, STEWART e BEWLEY (1980) confirmaram essa hipótese ao avaliar a peroxidação lipídica associada ao envelhecimento acelerado de soja. Esses autores observaram peroxidação dos ácidos graxos insaturados, durante e após o processo de envelhecimento acelerado. A peroxidação ocorreu, principalmente, nos ácidos graxos insaturados linoléico e linolênico, quando acondicionados em ambiente com umidade relativa e temperatura alta. Outros autores atribuíram à síntese de peróxidos a redução de vigor durante o armazenamento e concluíram que os produtos secundários da oxidação, como o hexanal e outros aldeídos voláteis, ocasionam redução do vigor e da viabilidade em soja (WILSON e MCDONALD, 1986, FERGUSON et al., 1990, GRADNER et al., 1990, VIDAS et al., 1992). A enzima lipoxigenase, encontrada em muitos vegetais, catalisa o processo de oxidação por via alternativa (ARAUJO, 2004) e a atividade enzimática mais ativa é observada em soja (ANGELO e ORY, 1983).

As equações apresentadas na Tabela 17 predizem que um índice de peróxido de 10 meq kg^{-1} , que é o limite máximo estabelecido pela ANVISA (1999) para comercialização de óleo bruto de soja, está associado a 5,17% de grãos ardidos, condutividade elétrica igual a $449,5 \mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$ e diferença e saturação de cor equivalentes a 10,4 e 13,8, respectivamente. Comparando-se os valores referentes ao percentual de ardidos, a condutividade elétrica, a diferença e a saturação de cor associados ao limites máximos estabelecidos pela ANVISA (1999) para ácidos graxos livres e índice de peróxido para óleo bruto de soja, de 2% e 10 meq kg^{-1} , respectivamente, verifica-se que o parâmetro ácidos graxos livres é mais rigoroso do ponto de vista qualitativo. Observa-se que para 2% de ácidos graxos livres e índice de peróxido de 10 meq kg^{-1} , têm-se percentuais de grãos ardidos associados de 2,44 e 5,17%, respectivamente.

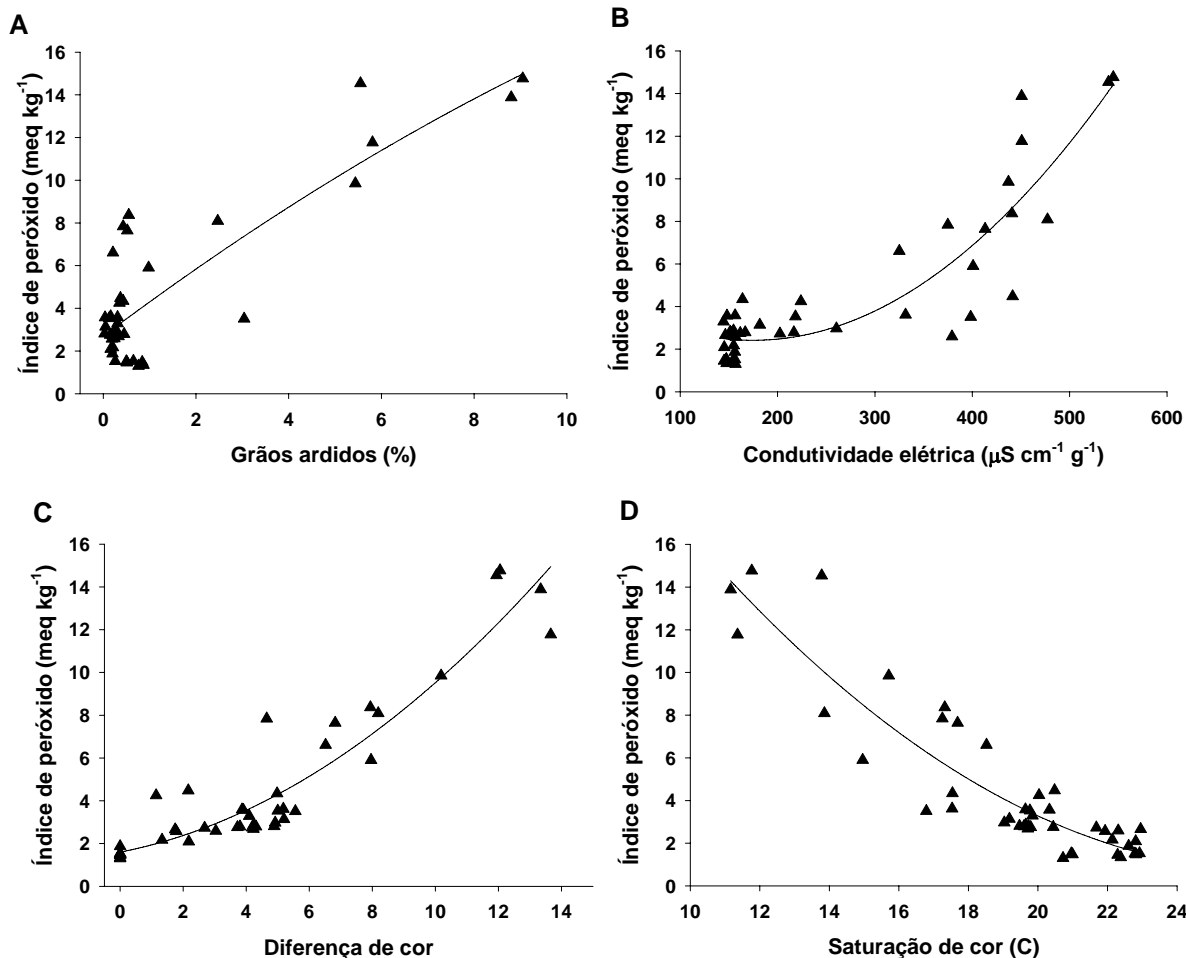


Figura 18 – Valores observados e preditos para índice de peróxido do óleo bruto em função do percentual de grãos ardidos (A), condutividade elétrica da solução que continha os grãos (B), diferença de cor (C) e saturação da cor (D).

Tabela 17 - Equações de regressão ajustadas do índice de peróxidos do óleo bruto de soja em função do percentual de grãos ardidos (X_1), condutividade elétrica da solução que continha os grãos (X_2), diferença de cor (X_3) e saturação da cor (X_4)

Equações ajustadas	gl _{erro}	R ²	F	Prob.
$\hat{y} = 2,6945 + 1,6319 X_1 - 0,0303 X_1^2$	41	0,72	53,01	<0,0001
$\hat{y} = 5,0875 - 0,0306 X_2 + 0,0001 X_2^2$	41	0,81	85,96	<0,0001
$\hat{y} = 1,5978 + 0,2870 X_3 + 0,0505 X_3^2$	41	0,88	155,28	<0,0001
$\hat{y} = 40,6433 - 2,9831 X_4 + 0,0558 X_4^2$	41	0,84	105,04	<0,0001

Quanto ao índice fotométrico de cor do óleo bruto, verifica-se, na Figura 19A, relação positiva desta variável com a diferença de cor dos grãos de soja. A variável saturação da cor (croma) está inversamente relacionada ao índice fotométrico de cor do óleo bruto extraído desses grãos (Figura 19B). Estes resultados confirmam que os danos ocasionados na matéria prima no armazenamento podem acarretar alterações na pigmentação do óleo bruto (O'BRIEN, 2004).

Apresentam-se, na Tabela 18, as equações que relacionam o índice fotométrico de cor do óleo bruto e os índices cromáticos de diferença e de saturação de cor dos grãos de soja.

O comportamento dos índices cromáticos dos grãos de soja, observado pelo aumento da diferença de cor e decréscimo do croma (saturação de cor), Figuras 9 e 11, respectivamente, estão associados à deterioração qualitativa observada a partir do escurecimento do produto. Isso é, para SINCLAIR (1992), causado, principalmente, por microorganismos. O efeito de diferentes níveis de danos ocasionados por fungos (0, 5, 10, 20, 40 e 80%) e três temperaturas de secagem (25, 40 e 80 °C) na qualidade do óleo de soja foi analisado por WILSON et al. (1995). Esses autores verificaram aumento significativo do índice fotométrico da cor do óleo de soja pela interação percentual de danos fúngicos e temperatura de secagem. O acréscimo foi mais acentuado à medida que se tinham maiores percentuais de danos causados por fungos e temperatura de secagem. O óleo refinado obtido de grãos severamente danificados é mais escuro que o extraído de grãos sadios (LIST et al., 1977).

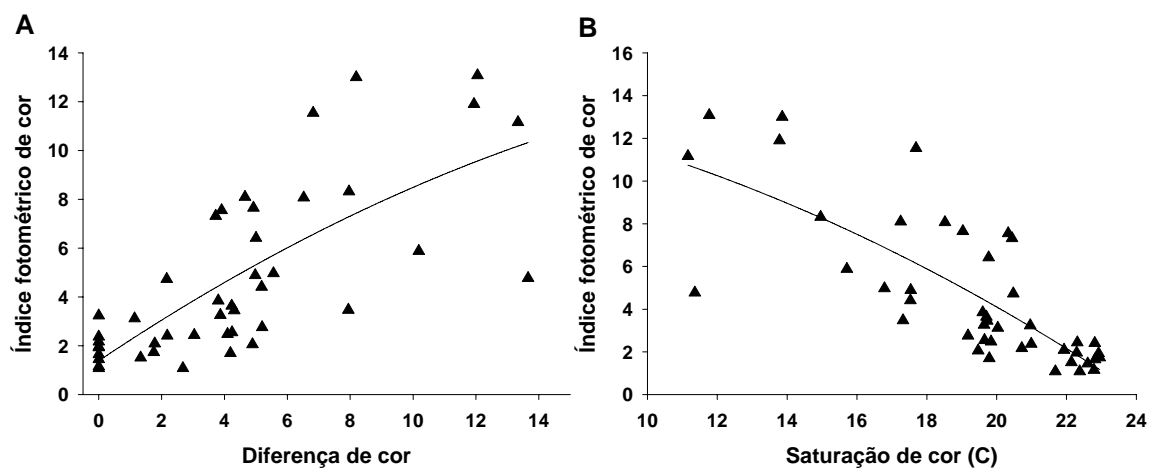


Figura 19 – Valores observados e preditos para índice de peróxido do óleo bruto em função condutividade elétrica da solução que continha os grãos (B), diferença de cor (C) e saturação da cor (D) dos grãos dos grãos.

Tabela 18 - Equações de regressão ajustadas do índice fotométrico de cor óleo bruto de soja em função diferença de cor (X_1) e saturação da cor (X_2)

Equações ajustadas	gl _{erro}	R ²	F	Prob.
$\hat{y} = 1,3837 + 0,8634 X_1 - 0,0153 X_1^2$	41	0,54	24,80	<0,0001
$\hat{y} = 14,53 - 0,1111 X_2 - 0,0205 X_2^2$	41	0,60	31,21	<0,0001

5. RESUMO E CONCLUSÕES

O presente trabalho foi conduzido no setor de Pré-Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa.

Os objetivos deste trabalho foram: (a) avaliar as alterações qualitativas dos grãos de soja armazenados com diferentes teores de água e em diferentes combinações de temperatura e umidade relativa; (b) avaliar a qualidade do óleo bruto extraído dos grãos de soja armazenados; (c) estabelecer possíveis relações entre a qualidade dos grãos de soja e a qualidade do óleo bruto extraído; e (d) propor medidas preventivas de manuseio pós-colheita que permitam a redução dos riscos de perdas qualitativas dos grãos de soja durante o armazenamento.

Utilizaram-se grãos de soja colhidos com teor de água em torno de 18%, que foram secos em secador de camada fixa com ar natural, até teores de água de 11,2, 12,8 e 14,8% b.u. Após a secagem, os grãos foram acondicionados em recipientes de plástico de aproximadamente 3,0 L e armazenados em câmaras do tipo B.O.D., nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C. Para garantir o mesmo teor de água dos grãos de soja durante o armazenamento em diferentes temperaturas, manteve-se a umidade relativa

previamente calculada para cada combinação de temperatura e teor de água, dentro de cada B.O.D. Utilizou-se um sistema computacional denominado *1-wireTM* para aquisição e armazenamento de dados de umidade relativa. A cada 45 dias até 180 dias de armazenamento, foram realizadas análises qualitativas dos grãos e do óleo bruto extraído.

Os parâmetros qualitativos dos grãos de soja armazenados com diferentes teores de água e combinações de temperatura e umidade relativa analisados foram: teor de água, classificação, massa específica aparente, condutividade elétrica, germinação, cor e teor de lipídios. A qualidade de óleo bruto extraído dos grãos de soja foi avaliada pelas análises: índice de iodo, ácidos graxos livres, índice de peróxido e índice fotométrico de cor.

Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, em parcelas subdivididas, com três repetições. Os tratamentos, combinações de temperatura (20, 30 e 40 °C) e teor de água (11,2, 12,8 e 14,8% b.u.) foram alocados na parcela, enquanto que a subparcela correspondeu ao período de armazenamento (0, 45, 90, 135, 180 dias), fazendo com que a estrutura de tratamentos correspondesse ao fatorial 3×3×5. Para as variáveis condutividade elétrica, diferença de cor, ácidos graxos livres, índice de peróxido, teor de lipídios e índice fotométrico de cor utilizou-se análise de regressão. Calcularam-se coeficientes de correlação de Pearson entre os parâmetros qualitativos dos grãos e do óleo bruto de soja. Também foi possível estabelecer relações entre a qualidade dos grãos de soja armazenados e do óleo bruto extraído desses grãos.

As análises e a interpretação dos resultados obtidos relacionados aos grãos permitiram as seguintes conclusões:

- Para fins de certificação, o armazenamento de soja não é recomendado nas seguintes combinações de teor de água e temperatura: 11,2% b.u. a 40 °C; 12,8% b.u. a 30 e 40 °C; e 14,8% b.u. a 20, 30 e 40 °C.
- Para comercialização de soja dentro dos limites da referência básica, é possível armazenar durante 180 dias grãos com teor de água de até 14,8% nas temperaturas de 20 e 30 °C. Na temperatura de 40 °C, somente os grãos com teor de água de 11,2% b.u. poderão ser armazenados por 180 dias.

Conclui-se, a partir dos dados obtidos dos parâmetros qualitativos do óleo obtido dos grãos de soja armazenados nas diferentes condições que:

- O armazenamento de grãos de soja com teor de água de até 14,8% b.u. a 20 °C não afeta qualitativamente o óleo bruto extraído desses grãos.
- O óleo bruto obtido de grãos de soja armazenados com teor de água de até 12,8% b.u. a 30 °C permanece com qualidade satisfatória até 180 dias.
- Não é possível obter óleo bruto, dentro dos padrões de qualidade exigidos para comercialização, de grãos de soja armazenados com teor de água superior a 11,0% b.u., na temperatura de 40 °C.
- As características qualitativas dos grãos de soja afetam a qualidade do óleo bruto extraído desses grãos.

Como medidas preventivas de manuseio pós-colheita que permitam reduzir os riscos de perdas qualitativas dos grãos e subprodutos de soja, propõe-se:

- Armazenar, a 20 °C, soja com teor de água de até 15,0% b.u. sem risco de deterioração por até 180 dias.
- Em regiões com temperaturas em torno de 30 °C, armazenar soja com teor de água de até 13,0% b.u.
- Não armazenar soja com teor de água superior a 11,0% b.u. em regiões em que a temperatura da massa de grãos possa alcançar 40 °C, sob o risco de ser acelerado o processo de deterioração dos grãos e subprodutos.

Com base no presente estudo, sugere-se a realização de outros trabalhos, tais como, a deterioração qualitativa dos grãos em uma faixa mais ampla de temperatura analisando-se outros derivados da soja, como farelo e extrato hidrossolúvel. Além disso, a comparação da deterioração observada em nível de laboratório com a verificada nas unidades armazenadoras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBA, E.J.; LOVATO, A. Effect of seed storage temperature and relative humidity on maize (*Zea mays* L.) seed viability and vigour. **Seed Science and Technology**, Zurich, v. 27, p. 101-114, 1999.

ACASIO, A. **Handling and storage of soybeans and soybean meal**. Manhattan, 1997. 17 p.

AL-YAHYA, S.A. Effect of storage conditions on germination in wheat. **Journal Agronomy & Crop Science**, Berlin, v. 18, p. 273-279, 2001.

ANGELO, A.J.S.; ORY, R.L. Lipid degradation during seed deterioration. **Phytopathology**, St. Paul, v. 73, n. 2, p. 315-317, 1983.

ANVISA. **Regulamento técnico para fixação de identidade e qualidade de óleos e gorduras vegetais**. Resolução nº 482, de 23.09.1999.

AOCS. **Official methods and recommended practices**. 4 ed. Champaign: AOCS, 1993. 2 v.

ARAÚJO, J.M.A. **Química de Alimentos: Teoria e Prática**. Viçosa: Editora UFV, 2004. 416 p.

ASAE. Moisture measurement -- unground grain and seeds. p. 563 in: **Standards**, 2000. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers.

ATHIÉ, I.; CASTRO, M.F.P.M.; GOMES, R.A.R.; VALENTINI, S.R.T. **Conservação de grãos**. Campinas: Fundação Cargill, 1998. 236 p.

BAILEY, J.E. Whole grain storage. In: Christensen, C.M. (Ed.) **Storage of cereal grains and their products**. St. Paul, 1974, p. 333-360.

BERNAL-LUGO, I.; CARL LEOPOLD, A.C. The dynamics of seed mortality. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 49, n. 326, p. 1455–1461, 1998.

BHATTACHARYA, K.; RAHA, S. Deteriorative changes of maize, groundnut and soybean seeds by fungi in storage. **Mycopathologia**, Springer, v. 155, p. 135-141, 2002.

BOWERMAN, B.L.; O'CONNELL, R.T. **Linear statistical models: an applied approach**. Boston: PWS-KENT Publishing Company, 1990. 1024 p.

BRASIL. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Portaria nº 262 de 23.11.1983, D.O.U. 25.11.1983, Brasília/DF.

BRASIL. **Regras para Análise de Sementes**. Brasília: Ministério da Agricultura, 1992. 365 p.

BRASIL. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB. Estimativa de produção de grãos da safra 2005/2006. Disponível em: www.conab.gov.br/estimativa. Acesso em: 20 maio 2006.

BROOKER, D.B.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.W. **Drying and storage of grains and oilseeds**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 450 p.

BURRIS, J.S. Maintenance of soybean seed quality in storage as influenced by moisture, temperature and genotype. **Iowa State Journal of Research**, v. 54, p. 377-389, 1980.

CHRISTENSEN, C.M. Increase in invasion by storage fungi and fat acidity values of commercial lots of soybean stored at moisture contents of 13.0-14.0%. **Phytopatology**, v. 57, p. 622-624, 1967.

CHRISTENSEN, C.M.; KAUFMANN, H.H. Microflora. In: Christensen, C.M. (Ed.) **Storage of cereal grains and their products**. St. Paul, 1974, p. 158-192.

CLARK, P.K.; SNYDER, H.E. Hidroperoxide formation in soybean seeds during storage. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, Champaign, v. 68, n. 5, p. 346-347, 1991.

DELOUCHE, J. Germinação, deterioração e vigor da semente. **Seed News**, Pelotas, v. 6, p. 24-31, 2002.

DHINGRA, O.D.; JHAM, G.; NAPOLEÃO, I.T. Ergosterol accumulation and oil quality changes in stored soybean invaded by *Aspergillus ruber* (*A. glaucus* group). **Mycopathologia**, Springer, v. 143, p. 85-91, 1998.

DHINGRA, O.D.; MIZUBUTI, E.S.G.; NAPOLEÃO, I.T.; JHAM, G. Free fatty acid accumulation and quality loss of stored soybean seeds invaded by *Aspergillus ruber*. **Seed Science and Technology**, Zurich, v. 29, p. 193-203, 2001.

DORWORTH, C.E.; CHRISTENSEN, C.M. Influence of moisture content, temperature, and storage time upon changes in fungus flora, germinability, and fat acidity values of soybeans. **Phytopathology**, St. Paul, v. 58, p. 1457-1459, 1968.

EMBRAPA. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**. Soja: História no Brasil. Disponível em: <http://www.cnpso.embrapa.br/index.php?op_page=113&cod_pai=35>. Acesso em: 01 abril 2006.

ERICKSON, D.R.; WIEDERMANN, L.H. **Soybean oil: modern processing and utilization**. ASA, 1989. 20 p.

EYS, J.E.; OFFNER, A.; BACH, A. **Manual of quality analyses for soybean products in the feed industry**. Fourqueux, 2004. 115 p.

FARONI, L.R.D. Controle de pragas de grãos armazenados. In: HARA, T.; CAVALCANTI MATA, M.E.R.M.; ALMEIDA, F.A.C.; FARONI, L.R.D. **Armazenamento de grãos e sementes nas propriedades rurais**. Paraíba: Universidade Federal da Paraíba. 89-291, 1997.

FARONI, L.R.D. **Fatores que influenciam a qualidade dos grãos armazenados.** Disponível em:

<ftp://ftp.ufv.br/dea/Disciplinas/Leda/ENG370/Fatores%20influenc%20qualid%20ograos.doc>. Acesso em: 10 março 2006.

FERGUSON, J.M.; TEKRONY, D.M.; EGLI, D.B. Changes during early soybean seed and axes deterioration: II. Lipids. **Crop Science**, Madison, v. 30, p. 179-182, 1990.

FLOYD, C.D.; ROONEY, L.W.; BOCKHOLT, A.J. Measuring desirable and undesirable color in white and yellow food corn. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 72, n. 5, p. 488-490, 1995.

FRANCIS, F.J. The origin of $\tan^{-1} a/b$. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 40, p. 412, 1975.

FRANKEL, E.N.; NASH, A.M.; SNYDER, J.M. A methodology study to evaluate quality of soybeans stored at different moisture levels. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, Champaign, v. 64, n.7, p. 987-992, 1987.

GARDNER, H.W.; DORNBOS, D.L.; DESJARDINS, A.E. Hexanal, trans-2-hexenal and trans-2-nonenal inhibit soybean, *Glycine max*, seed germination. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Chicago, v. 38, p. 1316-1320, 1990.

GUNGADURDOSS, M. Improvement of seed viability of vegetable soybean (*Glycine max* (L) Merrill). In: Food and Agricultural Research Council, 2003, Réduit, Mauritius. **Proceedings...** : Réduit, Mauritius: LALOUETTE, J.A., BACHRAZ (Eds.), 2003. 117-123.

HANSEN, L.S.; SKOVGARD, H.; HELL, K. Life table study of *Sitotroga cerealella* (Lepidoptera: Gelichiidae), a strain from West Africa. **Journal of Economic Entomology**, College Park, v. 97, n. 4, p. 1484-1490, 2004.

HESLEHURST, M.R. Quantifying initial quality and vigour of wheat seeds using regression analysis of conductivity and germination data from aged seeds **Seed Science and Technology**, Zurich, v. 16, p. 75-85, 1988.

HOU, H.J.; CHANG, K.C. Yield and quality of soft tofu as affected by soybean physical damage and storage. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Chicago, v. 46, p. 4798-4805, 1998.

HOU, H.J.; CHANG, K.C. Storage conditions affect soybean color, chemical composition and tofu qualities. **Journal of Food Processing and Preservation**, Westport, v. 28, p. 473-488, 2004.

HOUSTON D.F.; STRAKA R.P.; HUNTER I.R.; ROBERTS R.L.; KESTER E.B. Changes in rough rice of different moisture content during storage at controlled temperatures. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 34, n. 6, p. 444-456, 1957.

HUMMIL, B. C.W.; CUENDIT, L. S.; CHRISTENSEN, C.M.; GEDDES, W.F. Grain storage studies XIII; comparative changes in respiration, viability, and chemical composition of mold-free and mold-contaminated wheat upon storage. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 31, p. 143-150, 1954.

HUNTERLAB. **The Basics Of Color Perception and Measurement**. Disponível em: < www.hunterlab.com/pdf/color.pdf>. Acesso em: 10 janeiro 2006.

IPEF - **Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**. Fatores externos (ambientais) que influenciam na germinação de sementes. Disponível em: <<http://www.ipef.br/tecsementes/germinacao.asp>>. Acesso em: 25 janeiro 2006.

KARUNAKARAN, C.; MUIR, W.E.; JAYAS, D.S.; WHITE, N.D.G.; ABRAMSON, D. Safe storage time of high moisture wheat. **Journal of Stored Products Research**, Oxford, v. 37, p. 303-312, 2001.

KIRK, J.R. Biological availability of nutrients in processed foods. **Journal of Chemical Education**, Easton, v. 61, n. 4, p. 364-367, 1984.

KRABBE, E.L. **Efeito do desenvolvimento fúngico em grãos de milho durante o armazenamento e uso de ácido propiônico sobre as características nutricionais e o desempenho de frangos de corte**. 1995. 176p. Tese (Doutorado em Zootecnia) – UFRGS, Porto Alegre, 1995.

KRISHNAN, P.; NAGARAJAN, S.; MOHARIR, A.V. Thermodynamic characterization of seed deterioration during storage under accelerated ageing conditions. **Biosystems Engineering**, London, v. 89, n. 4, p. 425–433, 2004.

KRITTIGAMAS, N.; VEARASILP, S.; THANAPORNPOONPONG, S.; SURIYONGA, S.; PAOBLEK, S.; PAWELZIK, E. Investigation of post-harvest

soybean seed storability after passing the different steps of processing. In: Conference on International Agricultural Research for Development. 5th, 2001, Bonn, Germany. **Proceedings...** Bonn, Germany: ASCH, F., BECKER, M. (Eds.), 2001. 1-4.

LACERDA, A.D.S.; LAZARINI, E.; SÁ, M.E.; FILHO, W.V.V. Armazenamento de sementes de soja dessecadas e avaliação da qualidade fisiológica, bioquímica e sanitária. **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v. 25, n. 2, p. 97-105, 2003.

LIN, S.S. Alterações na lixiviação eletrolítica, germinação e vigor da semente de feijão envelhecida sob alta umidade relativa do ar e alta temperatura. **Revista Brasileira Fisiologia Vegetal**, Lavras, v. 2, n. 2, p. 1-6, 1990.

LIST, G.R.; EVANS, C.D.; WARNER, K.; BEAL, R.E.; KWOLEK, W.F.; BLACK, L.T.; MOULTON, K.J. Quality of oil from damaged soybeans. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, Champaign, v. 54, n. 1, p. 8-14, 1977.

LITTEL, R.C.; MILLIKEN, G.A.; STROUP, W.W.; WOLFINGER, R.D.; SCHABENBERGER, O. **SAS for Mixed Models**. Cary, NC: SAS Institute Inc, 2006. 814 p.

LITTLE, A. Off on a tangent. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 40, p. 410-411, 1975.

LIU, K. **Soybeans: chemistry, technology and utilization**. New York: Chapman & Hall, 1997. 532p.

LOCHER, R.; BUCHELI, P. Comparison of soluble sugar degradation in soybean seed under simulated tropical storage conditions. **Crop Science**, Madison, v. 38, p. 1229-1235, 1998.

MARTINS, J. H.; MONTEIRO, P. M. B.; MOTA, A. M. N.; FONSECA, J. A. G. The *1-wire*TM system – an application for agricultural processes. In: Portuguese Conference on Automatic Control. 6th, 2004, Faro, Portugal. **Proceedings...** Faro, Portugal: Control, 2004. 602-607.

MASKAN, M. Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying. **Journal of Food Engineering**, Kidlington, v. 48, p. 169-175, 2001.

MASON, L.J. **Indianmeal moth *Plodia interpunctella* (Hubner)**. Disponível em: <<http://www.entm.purdue.edu/entomology/ext/targets/e-series/EseriesPDF/E-223.htm>>. Acesso em: 30 maio 2006.

MBATA, G.N.; OSUJI, F.N.C. Some aspects of the biology of *Plodia interpunctella* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae), a pest of stored groundnuts in Nigeria. **Journal of Stored Products Research**, Oxford, v. 19, n. 3, p. 141-151, 1983.

MCLELLAN, M.R.; LIND, L.R.; KIME, R.W. Hue angle determinations and statistical analysis for multiquadrant hunter L, a, b data. **Journal of Food Quality**, Trumbull, v. 18, n. 3, p. 235-240, 1995.

MENDONÇA, K.; JACOMINO, A.P.; MELHEM, T.X.; KLUGE, R.A. Concentração de etileno e tempo de exposição para desverdecimento de limão 'siciliano'. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 26, n.2, p. 179-183, 2003.

MINGUEZ-MOSQUERA, M.I.; REJANO-NAVARRO, L.; GANDUL-ROJAS, B.; SANCHEZ-GÓMEZ, A.H., GARRIDO-FERNANDEZ, J. Color-pigment correlation in virgin olive oil. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, Champaign, v. 72, n. 12, p. 1425-1429, 1995.

MILNER, M.; GEDDES, W.F. Grain storage studies II. The effect of aeration, temperature and time on the respiration of soybean containing excessive moisture. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 22, p. 484-501, 1945.

MOINO, A.; ALVES, S.B.; PEREIRA, R.M. Efficacy of *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin isolates for control of stored grain pests. **Journal of Applied Entomology**, Berlin, v. 122, p. 301-305, 1998.

MOLTEBERG, G.L.; VOGT, G.; NILSSON, A.; FROLICH, W. Effects of storage and heat processing on the content and composition of free fatty acids in oats. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 72, n.1, p. 88-93, 1995.

MORETTO, E., FETT, R. **Tecnologia de oleos e gorduras vegetais**. São Paulo: Varela, 1998. 150 p.

MUIR, W.E.; WHITE, N.D.G. Microorganisms in stored grain. In: Muir, W.E. (Ed.) **Grain Preservation Biosystems**. Manitoba, p. 1-17, 2000.

MYERS, R. H. **Classical and modern regression with applications**. Boston, Massachusetts 1990. 488 p.

NAPOLEÃO, I.T.O. **Associação de *Aspergillus* spp. com soja (*Glicine max* (L.) MERRIL) armazenada e qualidade do óleo**. 1997. 50p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – UFV, Viçosa, 1997.

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**, Oxford, v. 27, p. 12,23, 1988a.

NARAYAN, R.; CHAUHAN, G.S.; VERMA, N.S. Changes in the quality of soybean during storage. Part 2 – Effect of soybean storage on the sensory qualities of the products made therefrom. **Food Chemistry**, Oxford, v. 30, p. 181-190, 1988b.

NAVARRO, S.; NOYES, S.T. **The Mechanics and Physics of Modern Grain Aeration Management**. Boca Raton: CRC Press, 2001. 672 p.

NAZ, S.; SHEIKH, H.; SIDDIQI, R.; SAYEED, S.A. Oxidative stability of olive, corn and soybean oil under different conditions. **Food Chemistry**, Oxford, v. 88, p. 253-259, 2004.

NETER, J.; WASSERMAN, W.. **Applied linear statistical model**. Georgetown, Ontário, 1974. 842 p

O'BRIEN, R.D. Fat an Oils. In: O'Brien, R.D. (Ed.) **Fats and Oils Formulating and Processing for Applications**. Boca Raton, 2004. p. 175-232.

OLIVEIRA, J.T.G.S.B. **Melhor dose e dose econômica de tbhq nos óleos de milho e canola**. 2003. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Esalq-USP, Piracicaba, 2003.

ORTHOEFER, F.T. Processing and utilization. In: Norman, A.G. (Ed.) **Soybean: physiology, agronomy and utilization**. New York, 1978, p. 219-246.

PADÍN, S.; BELLO, G.D.; FABRIZIO, M. Grain loss caused by *Tribolium castaneum*, *Sitophilus oryzae* and *Acanthoscelides obtectus* in stored durum

wheat and beans treated with *Beauveria bassiana*. **Journal of Stored Products Research**, Oxford, v. 38, p. 69-74, 2002.

PARRISH, D.J.; LEOPOLD, A.C. On the mechanism of aging in soybean seeds. **Plant Physiology**, Rockville, v. 61, p. 365-369, 1978.

POMERANZ, Y. Biochemical, functional, and nutritive changes during storage. In: CHRISTENSEN, C.M. (Ed.) **Storage of cereal grains and their products**. St. Paul, 1974, p. 56-114.

PRONYK, C.; ABRAMSON, D.; MUIR, W.E.; WHITE, N.D.G. Correlation of total ergosterol levels in stored canola with fungal deterioration. **Journal of Stored Products Research**, Oxford, v. 42, p. 162-172, 2006.

RAMALHO, V.C.; JORGE, N. Antioxidantes utilizados em óleos, gorduras e alimentos gordurosos. **Química Nova**, São Paulo, v. 29, n. 4, p. 755-760, 2006.

REGITANODARCE, M.A.B.; RAUENMIGUEL, A.M.O.; CASAGRANDE, J.R.R.; MARCOS, E.A.; PLONIS, G. Time of harvesting and storage of soybeans - influence on oil quality. **Grasas Y Aceites**, Sevilla, v. 45, n. 4, p. 237-240, 1994.

RUPOLLO, G.; GUTKOSKI, L.C.; MARINI, L.J.; ELIAS, M.C. Sistemas de armazenamentos hermético e convencional na conservabilidade de grãos de aveia. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 6, p. 1715-1722, 2004.

SAIO, K.; NIKKUNI, I.; ANDO, Y.; OSTURU, M.; TERAUCHI, Y.; KITO, M. Soybean quality changes during model storage studies. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 57, p. 77-82, 1980.

SANTOS, C.M.R.; MENEZES, N.L.; VILLELA, F.A. Alterações fisiológicas e bioquímicas em sementes de feijão envelhecidas artificialmente. **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v. 26, n. 1, p. 110-119, 2004.

SILVA, F. A. M.; BORGES, M. F. M.; FERREIRA, M. A. Métodos para avaliação do grau de oxidação lipídica e da capacidade antioxidante. **Química Nova**, São Paulo, v. 22, n. 1, p. 94-103, 1999.

SILVA, A.A.L. **Influência do processo de colheita na qualidade do milho (*Zea mays* L.) durante o armazenamento.** 1997. 77p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – UFV, Viçosa, 1997.

SINCLAIR, J.B. Discoloration of soybean seeds – an indicator of quality. **Plant Disease**, St. Paul, v. 76, n. 11, p. 1087-1090, 1992.

SINCLAIR, J.B. Reevaluation of grading standards and discounts for fungus-damaged soybean seeds. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, Champaign, v. 72, n. 12, p. 1415-1419, 1995.

SINHA, R. N.; MUIR, W. E. **Grain storage: part of a system.** Avi Pub. Co.: Westport, CN, 1973. 481 p.

SOARES, T.A. **Análises da acidez graxa como índice de qualidade em grãos de soja.** Botucatu: UNESP, 2003. (Dissertação de Mestrado).

STEEL, R.G.D.; TORRIE, J.H.; DICKEY, D.A. **Principles and procedures of statistics. A biometrical approach.** New York: McGraw–Hill Book, 1997. 666 p

STEWART, R.R.C.; BEWLEY, J.D. Lipid peroxidation associated with aging of soybean. **Plant Physiology**, Rockville, v. 65, p. 254-248, 1980.

TANG, S.; TEKRONY, D.M.; EGLI, D.B.; CORNELIUS, P.L. Survival Characteristics of Corn Seed during Storage: II. Rate of Seed Deterioration. **Crop Science**, Madison, v. 39, p. 1400-1406, 1999.

USDA. **U.S. soybean inspection.** Disponível em: <<http://www.usda.gov/gipsa/reference-library/brochures/soyinspection.pdf>>. Acesso em: 31 maio 2006.

VIDAS, R.M.R.; MOREIRA, M.A.; PINHEIRO, W.J.; ROCHA, V.S.; REZENDE, S.T.; SEDIYAMA, C.S. Relação entre vigor e alterações bioquímicas na germinação de sementes de soja. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Lavras, v. 4, n. 1, p. 49-53, 1992.

VIEIRA, R.D.; TEKRONY, D.M.; EGLI, D.B.; RUCKER, M. Electrical conductivity of soybean seeds after storage in several environments. **Seed Science and Technology**, Zurich, v. 29, p. 599-608, 2001.

VIEIRA, R.D.; PENARIOL, A.L.; PERECIN, D.; PANOBIANCO, M. Condutividade elétrica e teor de água inicial das sementes de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 9, p. 1333-1338, 2002.

VILLA, L.G.; ROA, G. **Secagem e armazenamento da soja industrial e sementes a granel**. Campinas: Fundação Cargill, 1979. 64 p.

WHIGHAM, D.K.; MINOR, H.C. Agronomic characteristics and environmental stress. In: NORMAN, A.G. (ed.) **Soybean physiology, agronomy and utilization**. New York, 1978, p. 77-118.

WILSON, D.O.; MCDONALD, M.B. The lipid peroxidation model of seed ageing. **Seed Science and Technology**, Zurich, v. 14, p. 269-300, 1986.

WILSON, R.F.; NOVITZKY, W.P.; FENNER, G.P. Effect of fungal damage on seed composition and quality of soybeans. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, Champaign, v. 72, n. 12, p. 1425-1429, 1995.

YAJA, J.; PAWELZIK, E.; VEARASILP, S. Prediction of soybean seed quality in relation to seed moisture content and storage temperature. In: Conference on International Agricultural Research for Development. 8th, 2005, Stuttgart-Hohenheim, Germany. **Proceedings...** Stuttgart-Hohenheim, Germany: TIELKES, E.; HÜLSEBUSCH, C.; HÄUSER, I.; DEININGER, A.; BECKER, K. (Eds.), 2005. 1-4.

YANAGI, S.O.; GALEAZZI, M.A.M.; SAIO, K. Properties of soybean in model storage studies. **Agricultural and Biological Chemistry**, Tokyo, v. 49, p. 525-528, 1985.

ZADERNOWSKI R.; NOWAK-POLAKOWSKA H.; RASHED, A.A. The influence of heat treatment on the activity of lipo and hydrophilic components of oat grain. **Journal of Food Processing and Preservation**, Westport, v. 33, p. 177-191, 1999.

ZHOU, Z.; ROBARDS, K.; HELLIWELL, S.; BLANCHARD, C. Ageing of stored rice: changes in chemical and physical attributes. **Journal of Cereal Science**, London, v. 35, p. 65-78, 2002.

APÊNDICE

APÊNDICE A

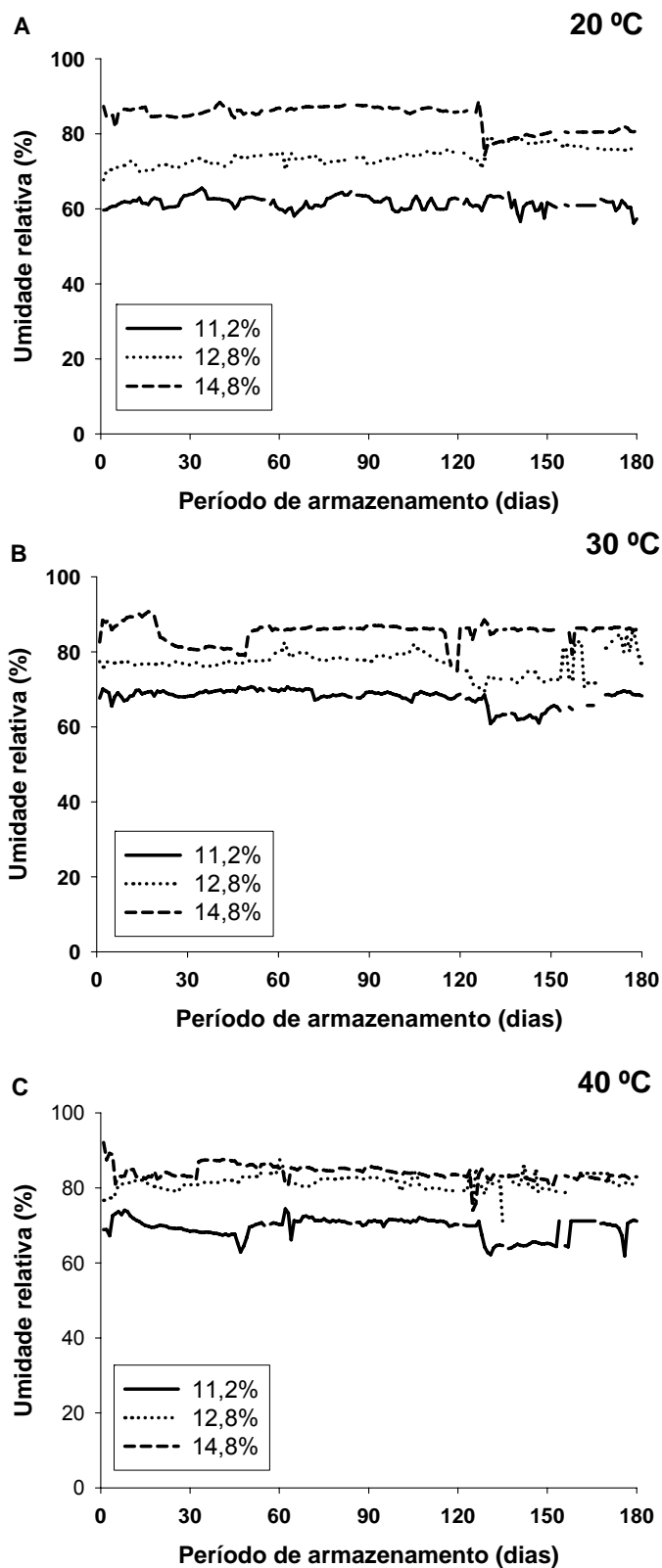


Figura 1A – Valores médios diários de umidade relativa do ar no interior das BOD's em que foram armazenados grãos de soja com teores de água de 11,2, 12,8 e 14,8% nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C.

Tabela 1A – Valores médios reais de umidade relativa do ar dentro das BOD's, para as respectivas combinações de temperatura e teor de água

Temperatura (°C)	Conteúdo de inicial de água (%) b.u.		
	11,2	12,8	14,8
20	61,7 ± 1,5	73,7 ± 2,3	82,7 ± 4,2
30	67,9 ± 2,3	76,7 ± 2,5	83,9 ± 3,9
40	69,4 ± 2,9	80,8 ± 2,9	85,3 ± 2,1

APÊNDICE B

Tabela 1B - Resumo da análise de variância da massa específica aparente dos grãos de soja armazenados com teores de água de 11,2, 12,8 e 14,8% b.u. nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C

Fonte de Variação	GL	F
Temperatura (T)	2	8,02*
Teor de água (CA)	2	150,42*
Período de armazenamento (P)	4	9,75*
T x CA	4	18,18*
T x P	8	4,47*
CA x P	8	2,87*
T x P x CA	16	5,42*
Resíduo	72	

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

Tabela 2B - Resumo da análise de variância do percentual de germinação dos grãos de soja armazenados com teores de água de 11,2, 12,8 e 14,8% b.u. nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C

Fonte de Variação	GL	F
Temperatura (T)	2	733,60*
Teor de água (CA)	2	400,34*
Período de armazenamento (P)	4	1760,13*
T x CA	4	77,79*
T x P	8	159,22*
CA x P	8	60,13*
T x P x CA	16	52,26*
Resíduo	72	

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

Tabela 3B - Resumo da análise de variância da condutividade elétrica da solução que continha os grãos de soja armazenados com teores de água de 11,2, 12,8 e 14,8% b.u. nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C

Fonte de Variação	GL	F
Temperatura (T)	2	1283,84*
Teor de água (CA)	2	669,61*
Período de armazenamento (P)	4	715,22*
T x CA	4	89,68*
T x P	8	151,54*
CA x P	8	81,91*
T x P x CA	16	36,86*
Resíduo	72	

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

Tabela 4B - Resumo da análise de variância da diferença de cor (ΔE) dos grãos de soja armazenados com teores de água de 11,2, 12,8 e 14,8% b.u. nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C

Fonte de Variação	GL	F
Temperatura (T)	2	28,19*
Teor de água (CA)	2	81,30*
Período de armazenamento (P)	4	433,24*
T x CA	4	6,19*
T x P	8	12,34*
CA x P	8	35,54*
T x P x CA	16	9,00*
Resíduo	72	

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

Tabela 5B - Resumo da análise de variância da tonalidade da cor dos grãos de soja armazenados com teores de água de 11,2, 12,8 e 14,8% b.u. nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C

Fonte de Variação	GL	F
Temperatura (T)	2	71,82*
Teor de água (CA)	2	253,54*
Período de armazenamento (P)	4	471,47*
T x CA	4	5,88*
T x P	8	17,68*
CA x P	8	33,23*
T x P x CA	16	8,42*
Resíduo	72	

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

Tabela 6B - Resumo da análise de variância da saturação de cor (C) dos grãos de soja armazenados com teores de água de 11,2, 12,8 e 14,8% b.u. nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C

Fonte de Variação	GL	F
Temperatura (T)	2	294,93*
Teor de água (CA)	2	130,60*
Período de armazenamento (P)	4	380,85*
T x CA	4	13,64*
T x P	8	12,75*
CA x P	8	29,35*
T x P x CA	16	7,01*
Resíduo	72	

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

Tabela 7B - Resumo da análise do teor de lipídios dos grãos de soja armazenados com teores de água de 11,2, 12,8 e 14,8% b.u. nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C

Fonte de Variação	GL	F
Temperatura (T)	2	10,06*
Teor de água (CA)	2	10,25*
Período de armazenamento (P)	4	27,71*
T x CA	4	0,52 ^{ns}
T x P	8	1,34 ^{ns}
CA x P	8	6,14*
T x P x CA	16	4,02*
Resíduo	72	

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

^{ns} Não significativo a a 5% de probabilidade, pelo teste F

Tabela 8B - Resumo da análise de variância do índice de iodo do óleo bruto extraído dos grãos de soja armazenados com teores de água de 11,2, 12,8 e 14,8% b.u. nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C

Fonte de Variação	GL	F
Temperatura (T)	2	0,03 ^{ns}
Teor de água (CA)	2	0,57 ^{ns}
Período de armazenamento (P)	2	4,43*
T x CA	4	0,60 ^{ns}
T x P	8	0,74 ^{ns}
CA x P	8	1,38 ^{ns}
T x P x CA	16	1,26 ^{ns}
Resíduo	72	

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

Tabela 9B - Resumo da análise de variância do percentual de ácidos graxos livres do óleo bruto extraído dos grãos de soja armazenados com teores de água de 11,2, 12,8 e 14,8% b.u. nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C

Fonte de Variação	GL	F
Temperatura (T)	2	141,90*
Teor de água (CA)	2	236,99*
Período de armazenamento (P)	4	411,07*
T x CA	4	58,62*
T x P	8	120,57*
CA x P	8	157,60*
T x P x CA	16	44,27*
Resíduo	72	

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

Tabela 10B - Resumo da análise de variância do índice de peróxido do óleo bruto extraído dos grãos de soja armazenados com teores de água de 11,2, 12,8 e 14,8% b.u. nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C

Fonte de Variação	GL	F
Temperatura (T)	2	364,69*
Teor de água (CA)	2	154,99*
Período de armazenamento (P)	4	418,90*
T x CA	4	20,71*
T x P	8	86,33*
CA x P	8	39,74*
T x P x CA	16	11,92*
Resíduo	72	

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

Tabela 11B - Resumo da análise de variância do índice fotométrico de cor do óleo bruto extraído dos grãos de soja armazenados com teores de água de 11,2, 12,8 e 14,8% nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C

Fonte de Variação	GL	F
Temperatura (T)	2	35,16*
Teor de água (CA)	2	56,05*
Período de armazenamento (P)	4	123,68*
T x CA	4	5,85*
T x P	8	8,10*
CA x P	8	5,43*
T x P x CA	16	4,90*
Resíduo	72	

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