

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITAFILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

PROCESSO DE DESCASQUE DE CRAMBE (*Crambe abyssinica* Hochst)
VISANDO A EXTRAÇÃO DE ÓLEO E ARMAZENAMENTO

SILAS DA SILVA SANTOS

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia, no Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Energia na Agricultura).

BOTUCATU-SP
Dezembro – 2016

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITAFILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

PROCESSO DE DESCASQUE DE CRAMBE (*Crambe abyssinica* Hochst)
VISANDO A EXTRAÇÃO DE ÓLEO E ARMAZENAMENTO

SILAS DA SILVA SANTOS

Orientador: Prof. Dr. Marco Antônio Martin Biaggioni

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia, no Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Energia na Agricultura).

BOTUCATU-SP
Dezembro – 2016

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

S237p Santos, Silas da Silva, 1972-
Processo de descasque de crambe [*Crambe abyssinica* Hochst) visando a extração de óleo e armazenamento / Silas da Silva Santos. - Botucatu : [s.n.], 2016
viii, 52 f. : fots. color., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2016
Orientador: Marco Antônio Martin Biaggioni
Inclui bibliografia

1. Crambe. 2. Armazenagem. 3. Descascamento. 4. Óleos vegetais. I. Biaggioni, Marco Antônio Martin. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônomicas. III. Título.

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte."

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

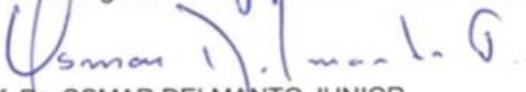
TÍTULO: "PROCESSO DE DESCASQUE DE CRAMBE (*Crambe abyssinica* Hochst) VISANDO A EXTRAÇÃO DE ÓLEO E ARMAZENAMENTO"

AUTOR: SILAS DA SILVA SANTOS

ORIENTADOR: MARCO ANTONIO MARTIN BIAGGIONI

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (ENERGIA NA AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. MARCO ANTONIO MARTIN BIAGGIONI
Depto de Engenharia Rural / UNESP - Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu


Prof. Dr. OSMAR DELMANTO JUNIOR
Depto de Agronegócios e Agrossistemas / Faculdade de Tecnologia de Botucatu


Prof. Dr. IVAN FERNANDES DE SOUZA
Depto de Agronegócios / Faculdade de Tecnologia de Botucatu

Botucatu, 15 de dezembro de 2016.

DEDICATÓRIA

Dedico

A Deus pelo dom da vida e sua dádiva.

Aos meus pais,

Lazaro Manoel dos Santos e Elza Magar da Silva Santos,

pelos ensinamentos e pela família,

aos meus irmãos e irmãs,

aos meus parentes e amigos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, meu fundamento e meu criador.

Ao Prof. Dr. Marco Antônio Martin Biaggioni, pela orientação, apoio e atenção na elaboração e condução deste trabalho, pelo empenho e direcionamento durante o mestrado.

Agradeço à Faculdade de Ciências Agrônomicas, à coordenação, aos docentes do Curso de Pós-Graduação curso de Pós-Graduação Energia na Agricultura e do Departamento de Engenharia Rural por me proporcionar essa oportunidade de estudo e desenvolvimento profissional.

Aos Professores Doutores Ivan de Souza Fernandes e Osmar Delmanto Junior pela concessão do Laboratório de Biodiesel da Fatec pela ajuda, atenção, críticas e sugestões.

Aos colegas, amigos e funcionários da UNESP e da FATEC pela ajuda na condução do experimento.

Aos meus pais, que sempre estiveram comigo, me apoiando e incentivando em todos os aspectos.

A todos os meus familiares pelo apoio e compreensão.

Muito obrigado!

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	VI
LISTA DE TABELAS	VII
1 RESUMO.....	1
2 SUMMARY	3
3 INTRODUÇÃO	5
3.1 Objetivos.....	7
4 REVISÃO Bibliográfica.....	8
4.1 Descasque dos grãos de crambe.....	8
4.2 Rendimento de extração do óleo.....	10
4.3 Armazenamento do crambe	12
4.4 Análises de qualidade	15
5 MATERIAL E MÉTODOS	20
5.1 Métodos	21
5.1.1 Os efeitos do descasque na extração mecânica do óleo	21
5.1.2 Os efeitos do descasque sobre a qualidade do grão armazenado	24
5.1.2.1 Determinação do teor de água dos grãos.....	25
5.1.2.2 Determinação da condutividade elétrica nos grãos	25
5.1.2.3 Determinação da acidez graxa nos grãos	26
5.1.2.4 Determinação do índice de acidez do óleo.....	27
5.1.2.5 Determinação do índice de peróxido do óleo.....	28
5.1.3 Delineamento experimental.....	29
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
6.1 Efeito do descasque na extração mecânica do óleo	30
6.2 Os efeitos do descasque sobre a qualidade do grão armazenado.....	32
6.2.1 Teor de água	33
6.2.2 Condutividade Elétrica.....	35
6.2.3 Índice de acidez graxa	38
6.2.4 Índice de Acidez do óleo	41
6.2.5 Índice de Peróxidos	43
7 CONCLUSÕES.....	46
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
Figura 1. Campo de produção de crambe em diferentes fases de desenvolvimento	20
Figura 2. Processo de descasque manual dos grãos de crambe	22
Figura 3. Grãos de crambe com casca (a), sem casca (b) e cascas (c).	22
Figura 4. Óleo de crambe bruto (a) por prensagem a frio em prensa do tipo expeller (b)	23
Figura 5. Armazenamento convencional e hermético	24

LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
Tabela 1. Rendimento da extração mecânica do óleo (em %) e eficiência de recuperação (em %), em relação à extração química do óleo, para diferentes teores de casca nos grãos de crambe.	31
Tabela 2. Valores médios do teor de água (% b.u.) dos grãos de crambe com e sem casca, armazenados durante nove meses em embalagem convencional e hermética, obtidos a partir do desdobramento da interação entre os fatores F1 com F2 x F3.	33
Tabela 3. Valores médios do teor de água (% b.u.) dos grãos de crambe (com e sem casca) acondicionados em embalagem convencional e hermética, submetidos ao armazenamento por um período de nove meses, obtidos a partir do desdobramento da interação entre os fatores F1 x F2 com F3.	34
Tabela 4. Valores médios do teor de água (% b.u.) dos grãos de crambe com e sem casca, armazenados durante nove meses em embalagem convencional e hermética, obtidos a partir do desdobramento da interação entre os fatores F1 x F3 com F2.	35
Tabela 5. Valores médios da Condutividade Elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$) dos grãos de crambe com e sem casca, armazenados durante nove meses em embalagem convencional e hermética, obtidos a partir do desdobramento da interação entre os fatores F1 com F2 x F3.	36
Tabela 6. Valores médios da Condutividade Elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$) dos grãos de crambe com e sem casca, armazenados durante nove meses em embalagem convencional e hermética, obtidos a partir do desdobramento da interação entre os fatores F1 x F2 com F3.	36
Tabela 7. Valores médios da Condutividade Elétrica ($\mu\text{S. cm}^{-1} \text{g}^{-1}$) dos grãos de crambe com e sem casca, armazenados durante nove meses em embalagem convencional e hermética, obtidos a partir do desdobramento da interação entre os fatores F1 x F3 com F2.	37
Tabela 8. Valores médios da acidez graxa (mL KOH. 100g ⁻¹ MS) dos grãos de crambe com e sem casca, armazenados durante nove meses em embalagem convencional e hermética, obtidos a partir do desdobramento da interação entre os fatores F1 com F2 x F3.	38

- Tabela 9.** Valores médios da acidez graxa (mL KOH. 100g MS⁻¹) dos grãos de crambe com e sem casca, armazenados durante nove meses em embalagem convencional e hermética, obtidos a partir do desdobramento da interação entre os fatores F1 x F2 com F3..... 39
- Tabela 10.** Valores médios da acidez graxa (mL KOH. 100g MS⁻¹) dos grãos de crambe com e sem casca, armazenados durante nove meses em embalagem convencional e hermética, obtidos a partir do desdobramento da interação entre os fatores F1 x F3 com F2..... 40
- Tabela 11.** Valores médios do índice de acidez do óleo (mg KOH. g⁻¹) bruto extraído dos grãos de crambe com e sem casca, armazenados durante nove meses em embalagem convencional e hermética, obtidos a partir do desdobramento da interação entre os fatores F1 com F2 x F3..... 41
- Tabela12.** Valores médios do índice de acidez do óleo (mg KOH. g⁻¹) bruto extraído dos grãos de crambe com e sem casca, armazenados durante nove meses em embalagem convencional e hermética, obtidos a partir do desdobramento da interação entre os fatores F1 x F2 com F3..... 42
- Tabela 13.** Valores médios do índice de acidez do óleo bruto (mg KOH. g⁻¹) extraído dos grãos de crambe com e sem casca, armazenados durante nove meses em embalagem convencional e hermética, obtidos a partir do desdobramento da interação entre os fatores F1 x F3 com F2..... 42
- Tabela 14.** Valores médios do índice de peróxidos do óleo bruto (meq. O₂ kg⁻¹) extraído dos grãos de crambe com e sem casca, armazenados durante nove meses, obtidos a partir do desdobramento da interação entre os fatores F1 com F3..... 44
- Tabela 15.** Valores médios do índice de peróxidos do óleo bruto (meq. O₂ kg⁻¹) extraído dos grãos de crambe, armazenados durante nove meses em embalagem convencional e hermética, obtidos a partir do desdobramento da interação entre os fatores F2 com F3.44

1 RESUMO

A prensagem mecânica é o método mais empregado para extração do óleo de diversos tipos de oleaginosas, constituindo-se em uma operação simples que não exige mão de obra qualificada e é facilmente adaptável a diversos tipos de grãos. Entretanto, as prensas contínuas de pequena capacidade, com grande potencial de utilização nas pequenas comunidades rurais, apresentam baixa eficiência de extração, deixando uma quantidade significativa de óleo na torta de crambe. A operação de retirada das cascas dos frutos de crambe, antes da prensagem, constitui-se em um fator importante que pode otimizar a extração mecânica do óleo de crambe, reduzindo o teor de óleo que se perde pela casca. Por outro lado, a possibilidade de danificação mecânica durante a compressão e atrito, comprometendo o potencial de armazenamento dos grãos, deve ser considerada. O objetivo deste trabalho foi avaliar o rendimento de óleo extraído mecanicamente do crambe, contendo diferentes percentagens de casca, bem como, o possível efeito imediato e latente do processo de descasque dos grãos submetidos a diferentes sistemas de armazenagem. Este trabalho foi desenvolvido em duas fases. Na primeira fase, foram realizados os testes de rendimento de extração do óleo pelo método mecânico de prensagem a frio, a partir do crambe submetido aos seguintes tratamentos de descasque: grãos com casca (testemunha), grãos sem casca, grãos com 10% de casca e grãos com 20% de casca. Para avaliar o efeito do descasque foi utilizado um delineamento experimental inteiramente casualizado, com quatro tratamentos e quatro repetições. Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Na segunda fase, foram conduzidos os ensaios para avaliar os efeitos imediato e latente da operação de descasque sobre a qualidade do crambe armazenado,

durante nove meses, em sistema convencional (sacaria) e hermético (silo-bolsa). Nesta etapa foram determinados: teor de água, acidez graxa, condutividade elétrica dos grãos de crambe. A qualidade do óleo foi avaliada pelo índice de acidez e índice de peróxido. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com dois tipos de embalagens, duas condições de descasque e três períodos de armazenamento, consistindo em um fatorial triplo $2 \times 2 \times 3$, com três repetições, totalizando 12 tratamentos e 36 parcelas, os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Os resultados obtidos neste trabalho permitiram observar o efeito positivo e significativo do descasque dos grãos sobre a extração do óleo de crambe, atingindo o máximo rendimento com a ausência de casca. Durante o armazenamento, o crambe descascado também mostrou melhor conservação em relação ao crambe com casca, principalmente quando submetido ao sistema hermético de armazenagem. Para todos os índices de qualidade monitorados, avanços significativos na deterioração foram evidenciados a partir do sexto mês de armazenamento.

PALAVRAS-CHAVE: armazenagem, crambe, descasque, extração mecânica, qualidade.

CRAMBE DEHULLING PROCESS (*Crambe abyssinica* Hochst) AIMING TO OIL EXTRACTION AND STORAGE. Botucatu, 2016. 52 pg.

Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: SILAS DA SILVA SANTOS

Adviser: MARCO ANTONIO MARTIN BIAGGIONI

2 SUMMARY

The mechanical pressing (expelling) is the most commonly used method for extracting oil from various types of oilseeds, constituting of a simple operation that requires no skilled labor and is easily adaptable to various types of grain. However, small expellers, with great potential for use in small rural communities, have low extraction efficiency, leaving a significant amount of oil in the crambe presscake. The operation of the crambe fruit hulling before the pressing is an important factor that can optimize the mechanical extraction of the crambe oil, reducing the oil contained that is lost by the hull. On the other hand, the possibility of mechanical damage during compression and friction, compromising the grain storage potential, should be considered. The objective of this work was to evaluate the yield of mechanically extracted oil from the crambe, containing different percentages of hull, as well as the possible immediate and latent effect of the hulling process of the grains submitted to different storage systems. This work was developed in two phases. In the first phase, the oil extraction yield tests were performed by the cold pressing method, having the crambe submitted to the following hulling treatments: whole grains (control), totally dehulled (Hulless), partially dehulled with 10% hull, and partially dehulled with 20% hull. To evaluate the dehulling effect, a completely randomized experimental design was used, with four treatments and four replications. The results were submitted to analysis of variance and the means were compared by the Tukey's test at 5% probability. In the second phase, the tests were carried out to evaluate the immediate and latent effects of the hulling operation on the quality of crambe stored for nine months in conventional (sewage) and hermetic (silo-bag) systems. In this phase were determined: water content, fat acidity, electrical conductivity of crambe grains. The quality of the oil was evaluated by the free

acidity and peroxide indexes of the crambe oil. The experimental design was completely randomized, with two types of packages (sewage and hermetic), two treatment conditions (whole and hulled grains) and three storage periods, consisting of a 2x2x3 triple factorial, with three replications, totaling 12 treatments and 36 plots, the data were submitted to analysis of variance and the means compared by the Tukey's test ($p < 0.05$). The results obtained in this work allowed observing the positive and significant effect of the hulling of the grains on the crambe oil extraction, reaching the maximum yield with the absence of hull. During storage, the hullless crambe also showed better conservation in relation to the whole crambe, especially when submitted to the hermetic storage system. For every monitored quality indices, significant improvements in deterioration were evidenced from the sixth month of storage.

Keywords: storaging, crambe, dehulling, mechanical pressing, quality.

3 INTRODUÇÃO

A matriz energética brasileira é caracterizada pela elevada participação de fontes de energias renováveis em sua composição, as estimativas para 2016 mostram vantagens ainda mais significativas, com as energias renováveis podem chegar a 79,3% da oferta interna de energia oriunda de fontes como a energia hidrelétrica e biomassa (BRASIL, 2016), se considerada apenas a geração de energia elétrica, o uso de fontes renováveis pode chegar a 79,3%, no mundo este indicador é de 24%, contribuindo para tornar a matriz energética brasileira uma das mais limpas do mundo. Os dados constam no Boletim Mensal de Energia – Fevereiro de 2016, do Ministério de Minas e Energia (MME). A participação dos bicomcombustíveis pode contribuir para o aumento da energia renovável na composição dessa matriz e diminuir a dependência de fontes não renováveis, como o diesel e a gasolina, que são derivados fósseis.

Os bicomcombustíveis são fontes de energias renováveis derivados de produtos agrícolas como: plantas oleaginosas, cana-de-açúcar, biomassa florestal e outras fontes de matéria orgânica. Entre os bicomcombustíveis, está o biodiesel que, segundo RESOLUÇÃO ANP Nº 45, DE 25/8/2014 é definido como um combustível derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna com ignição por compressão, que possa substituir parcial ou totalmente o óleo diesel de origem fóssil (Brasil, 2014).

O Brasil ainda está muito dependente de culturas de ciclo primavera/verão, que concorrem com a produção de alimentos, cosméticos, entre outros. Dessa maneira, o cultivo do crambe se torna uma excelente opção para a produção de biodiesel e, ainda, uma nova cultura para os produtores agrícolas nacionais investirem na

entressafra (SOUZA et al., 2009). Por ser uma planta com alto teor de óleo, de cultivo totalmente mecanizado, resistente à seca e a geadas, constitui-se numa boa opção para a safrinha por se tratar de uma cultura de outono/ inverno. Seu ciclo é relativamente curto, em média de 90 dias, com uma produtividade entre 1000 e 1500 quilos por hectare (PITOL, 2008).

A espécie de crambe cultivada no Brasil, a *e crambe [Crambe hyspanica subesp. Abyssinica (Hochst ex R.E.Fries) PRINA]*” da família das Brassicaceae (SILVA et al., 2016), é uma oleaginosa de inverno do tipo arbustiva atingindo até um metro de altura e de enraizamento profundo. A cultura do crambe é de aspecto rústico, tolerante à seca e ao frio, não tolera acidez no solo e excesso de umidade. Pode ser toda mecanizada e de baixo custo de produção, adaptada ao plantio direto, não demandando grandes cuidados com as pragas (JASPER, 2009). Aliada a estas características, a semente de crambe possui um alto potencial para a produção de óleo vegetal (rendimento até 40% de óleo) e a torta pode ser utilizada na alimentação de bovinos, no limite máximo de 10%, devido ao seu valor proteico (FUNDAÇÃO MS, 2010).

O fruto do crambe é uma cápsula (siliqua), inicialmente verde-claro tornando-se amarelo com a maturidade, e o tamanho da semente varia de 0,80 a 2,60 milímetros. A casca do crambe permanece aderida às sementes representando de 25 a 30% do peso total dos frutos e a sua retirada poderia contornar um dos grandes gargalos no estabelecimento desta cadeia produtiva, qual seja, sua baixa massa específica aparente, de cerca de 340 kg.m^{-3} , gerando altos custos de transporte e de armazenagem. O descascamento do crambe, ao elevar a sua massa específica aparente para cerca de 740 kg.m^{-3} , certamente, reduziria os custos operacionais, além de incrementar o teor proteico do coproduto (FUNDAÇÃO MS, 2010), (PLEIN et al., 2010).

Segundo Fundação (2010), ainda não são conhecidos os efeitos do descascamento na conservação dos grãos e na qualidade final do óleo, após um período de armazenamento e nem sobre o rendimento da extração do óleo do crambe descascado.

Por outro lado, para que o descascamento seja realizado com rendimento de extração de óleo e qualidade de grãos em níveis satisfatórios, algumas técnicas devem ser seguidas durante o processo de descascamento, entre as quais a de evitar a compressão demasiada durante o processo de descasque, já que parte do óleo do grão se transferiria para a casca e, desta forma, o grão perderia o valor energético para a produção de biodiesel (GOMES JUNIOR, 2010).

É importante destacar que, no processo de descasque, as sementes são submetidas a um sistema de abrasão para a remoção do pericarpo, ou seja, a casca que envolve a semente e que serviria para a sua proteção durante um eventual período de armazenamento. Por outro lado, a casca também absorve o óleo durante a prensagem e, desta forma, um processo de descascamento eficaz, antes do esmagamento, poderia aumentar a capacidade de extração do equipamento e o rendimento do processo, além de minimizar as perdas pela absorção do óleo pela casca (BRAGANTE, 2009).

Assim, além de interferir no rendimento de extração de óleo, a possibilidade de danificação mecânica do produto durante a compressão e atrito e a ausência da proteção natural dada pela casca, podem comprometer o potencial de armazenamento dos grãos que não forem encaminhados imediatamente para a extração mecânica, mas armazenados durante certo período de tempo (efeito latente).

3.1 Objetivos

Este trabalho teve como objetivos avaliar o rendimento de óleo extraído mecanicamente dos grãos de crambe com diferentes percentagens de casca, bem como o possível efeito imediato e latente do processo de descasque em grãos submetidos a diferentes tipos de embalagens (convencional e hermética) e tempos de armazenamento.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Descasque dos grãos de crambe

Obter vantagens competitivas é um dos fatores que levam o produtor a buscar a eficiência dos processos produtivos de grãos, que é de crucial importância no cultivo do crambe, pois sua massa específica muito alta eleva os custos de produção. O processo de descasque com a retirada das cascas propicia a redução do seu volume e do seu peso e conseqüentemente, a redução dos custos de transporte, armazenamento e processamento das sementes (FUNDAÇÃO, 2010); (PLEIN et al., 2010).

Segundo Fundação (2010), os equipamentos para descascar o crambe são simples e de fácil utilização. A casca se rompe com energia inferior à do grão, sem causar danos mecânicos. A separação ocorre pela diferença de densidade entre a casca e a parte interna do grão.

Segundo Gomes Junior (2010), os descascadores são relativamente simples e tem a finalidade de quebrar e separar as cascas dos grãos por batedores ou facas giratórias e são separadas dos cotilédones por peneiras vibratórias e insuflação de ar, antes da extração mecânica de óleo pela prensa.

Dutra et al. (2008), avaliando um equipamento adaptado para o descascamento dos frutos de mamona, afirmam que esta operação, além de remover a casca ou material indesejável que envolve os grãos, otimiza o seu processamento visando a extração de óleo.

Óleos e gorduras são partes de um grupo de compostos denominados lipídios. Os óleos dos grãos de crambe podem estar sujeitos a efeitos

negativos após a retirada das cascas devido aos fenômenos de deterioração da qualidade como a oxidação, reações enzimáticas e reações hidrolítica (PLEIN et al., 2010). As reações de oxidação em lipídios ocorrem com maior frequência e são provocadas pelo oxigênio atmosférico (GOMES JUNIOR, 2010).

Ao avaliar as características de qualidade do óleo de crambe descascado comparado ao grão com casca, Plein et al. (2010), mostraram os resultados com grãos de crambe armazenados com a casca apresentando tendência de menor acidez no óleo de crambe, embora a estabilidade oxidativa não tenha sido influenciada pela ausência ou presença da casca, no período avaliado.

O descasque do crambe antes da prensagem aumenta o teor proteico da torta, aumenta a produção de óleo, diminui a abrasividade da massa de grãos e o desgaste do equipamento. Contudo, a redução do teor de fibra pode reduzir a eficiência da extração de óleo. Portanto, o descasque deve ser avaliado em conjunto com a secagem. Além disso, os óleos vegetais são sensíveis ao calor e sua qualidade diminui com a elevação da temperatura durante a extração (SINGH et al., 2002).

A retirada da casca, melhora a extração do óleo, conclusão obtida por Araújo et al. (2009), com o objetivo de avaliar a quantidade residual de óleo na torta de crambe prensada com e sem casca, relataram que no processo de prensagem dos grãos com casca foi gerado uma quantidade residual de torta maior do que nos grãos sem casca, conseqüentemente, apresentando uma menor extração de óleo, corroborando com os resultados apresentados por Knothe et al. (2006), que verificaram uma menor obtenção de óleo para a prensagem utilizando-se os grãos com casca.

Costa; Martins; Lopes (2010), em estudo sobre os efeitos do descasque de sementes de crambe sobre a germinação, observaram que as sementes descascadas em todos os diferentes tratamentos químicos, nas temperaturas de 25°C e 30°C, apresentaram valores superiores de frequência de germinação em relação às sementes escarificadas e intactas. A ordem de maior frequência de germinação foi de sementes descascadas, escarificadas e intactas. As sementes intactas apresentaram uma menor frequência de germinação, demonstrando a necessidade de remoção do tegumento das sementes de crambe para a germinação.

Muitas espécies de sementes têm a capacidade de germinação reduzida, devido ao fato da casca que envolve as sementes ser impermeável pelo excesso de minerais ou presença de substâncias graxas (POPINIGIS, 1985).

Embora Ruas et al. (2010) afirmem que a casca das sementes de crambe não são impermeáveis a água, sua remoção permite um maior contato da semente diretamente com a água, oxigênio e minerais e o crescimento rápido do embrião.

Resultados encontrados por Neves et al. (2007) são semelhantes aos de Ruas et al. (2010). Os autores obtiveram maiores índices de velocidade de germinação em sementes de crambe sem casca. Entretanto, resultados diferentes foram encontrados por Barros et al. (2009), observaram que a remoção do tegumento das sementes de crambe não exerceu influência na germinação, os resultados foram iguais aos obtidos em sementes com casca.

4.2 Rendimento de extração do óleo

Os grãos de crambe possuem aproximadamente 38% de óleo, são constituídos por até 57% de ácido erúico, que pode ser utilizado na produção de diferentes produtos industrializados que utilizam a erucamida e na produção de biodiesel (FUNDAÇÃO MS, 2010).

O óleo de crambe pode ser extraído por prensagem mecânica sem a necessidade de aquecimento prévio das sementes, durante o processo de prensagem ocorre o aquecimento dos grãos, através da pressão exercida pela prensa, causando o rompimento paredes celulares, que é suficiente para extrair o óleo do crambe. O processo de extração de óleo por prensagem a frio é indicado para oleaginosas com elevado teor de óleo, como é o caso das sementes de crambe que pode ser realizado com prensas contínuas de diferentes escalas de processamento e requerem menor investimento e menor custo de mão-de-obra (SOUZA et al., 2009); (BRAGANTE, 2009).

Segundo Pighinelli et al. (2008), outros tipos de prensas estão sendo substituídas pelas prensas contínuas do tipo expeller, devido ao seu funcionamento simples e que podem ser adquiridas a baixo custo de aquisição por pequenos produtores rurais. A prensa mecânica comprime um fluxo contínuo de grãos com pressões elevadas, forçando a separação do óleo contido na massa, por aberturas adequadas, que pode ser regulada para cada tipo de grão, restando apenas uma pequena porcentagem de óleo na torta. O rendimento de óleo está associado ao método de extração e à qualidade dos grãos do crambe enquanto que a eficiência na extração está relacionada ao teor de casca nos grãos durante o processamento.

A pressão aplicada no fuso durante a prensagem é um o parâmetro relevante na eficiência do processo de extração a frio. Wiesenborn et al. (2001) salientam que o rendimento em óleo é afetado por parâmetros construtivos da prensa, como dimensionamentos do fuso e da gaiola, pressão aplicada sobre a massa de grãos e também pelo preparo prévio da matéria-prima a ser processada, como temperatura de prensagem e teor de umidade das amostras, onde o controle desses parâmetros pode aumentar o rendimento de extração. Esse tipo de prensa irá substituir o método de extração por solvente, no processamento de oleaginosas com um alto rendimento de óleo em pequenas propriedades rurais.

O teor de casca é o fator que afeta o rendimento e a eficiência de extração de óleo em oleaginosas com alto teor de lipídios, valores altos causam baixo rendimento. Ressaltando ainda que quando a prensagem do grão se faz sem casca a obtenção de óleo e a eficiência de extração aumenta. Os resultados observados por Machado et al. (2007), realizados com experimentos de prensagem de sementes de crambe, indicaram um rendimento de 26% para sementes com casca e 31% para sementes sem casca, demonstrando boa eficiência, com rendimento para massa processada a frio. A prensagem do grão com casca apresentou menor rendimento de óleo, na ordem de 26%. Tendo como teor teórico 35% de óleo em massa total com casca, a eficiência de extração passou de 75% no processamento dos grãos com casca para 89% para o processamento dos grãos sem casca, respectivamente.

Singh et al. (2002) relataram a importância de se definir uma faixa ótima para o teor de umidade. Observaram que valores muito altos reduzem a fricção da massa de grãos e a plasticidade da torta, diminuindo o rendimento de extração, prejudicando o funcionamento da prensa contínua e que a diminuição no teor de água na massa de grãos aumenta o rendimento em óleo.

Pighinelli et al. (2009) verificaram que o rendimento do óleo, independentemente do tipo de oleaginosa prensada, para a canola e o amendoim, o rendimento em óleo bruto passou de 73 para 80%, e, nas sementes de algodão, esse aumento foi de 60 para 65% e o aumento da umidade dos grãos influenciou negativamente a eficiência de extração de óleo.

Para Knothe et al. (2006), a prensagem do grão com casca apresenta menor obtenção de óleo, na ordem de 26%. Tendo como teor teórico 38% de

óleo em massa total com casca, a eficiência de extração passa de 75% para 89% para o processamento com e sem casca, respectivamente.

Em pesquisa que compilou dados de vários pesquisadores, num total de 75 amostras de crambe oriundas de 17 regiões dos EUA, Carlson e Tookey (1983 apud SOUZA et al., 2009) observaram que, em sementes de crambe com casca, em média 35,3% constitui-se de lipídeos, porém, em sementes de crambe sem casca, a porcentagem foi de 46,5%. Foram encontrados teores médios de fibra bruta em torta de crambe de 14,3%, 3,6% e 22,1% para grãos inteiros, descascados e para a casca, respectivamente, o que demonstra que o grão integral possui um acúmulo de fibras quando utilizado o grão com casca e quando é feita a retirada das cascas dos grãos de crambe, ocorre uma concentração de proteína na torta.

Os experimentos de prensagem de sementes oleaginosas sem casca demonstram boa eficiência de extração, se comparado com sementes com casca. Para Bragante (2009), a casca de sementes oleaginosas contém menos de 1% de óleo e reduz o rendimento da extração devido à retenção de óleo na torta em função do aumento de volume de casca e da redução do volume útil na prensa.

4.3 Armazenamento do crambe

O objetivo principal da armazenagem é conservar, manter e garantir a qualidade física, fisiológica e sanitária das sementes, utilizando embalagens apropriadas aos produtos. O controle e o monitoramento da umidade e da temperatura em local apropriado para o armazenamento seguro, visando garantir a qualidade física e fisiológica das sementes e que não sofrerão ataques de insetos e microrganismos (OPLINGER, 2008).

O armazenamento de grãos é um dos processos que mais agrega valor ao produto e as condições adequadas podem garantir que todo o esforço e recurso despendido na colheita, transporte e no processamento não sejam desperdiçados, garantindo alta qualidade ao produto (MARCOS FILHO, 2005).

Segundo Fundação MS (2010), a baixa massa específica do crambe afeta diretamente o transporte e o armazenamento. Cada metro cúbico de crambe pesa, em média, 340 kg o que representa cerca da metade da massa específica da soja, aumentando os custos de transporte e armazenamento, sendo estes os fatores que mais afetam a cadeia produtiva do crambe.

Segundo Marcos Filho (2005), o desempenho e a qualidade dos produtos e seus derivados são dependentes das operações de secagem, beneficiamento, acondicionamento em embalagens adequadas, às condições e o período de armazenamento, sendo este último um dos fatores de maior influência na manutenção da qualidade e da viabilidade dos grãos durante o período em que a semente ainda não foi utilizada.

Marcos Filho (2005) relaciona o uso de embalagens e o tipo de permeabilidade ao vapor d'água com a manutenção da qualidade dos grãos permitindo maiores ou menores trocas de vapor entre as sementes e a atmosfera do ambiente em que estão armazenadas. Várias tecnologias são empregadas para a manutenção da qualidade durante o armazenamento de sementes, dentre elas o uso de diferentes embalagens (OLIVEIRA et al., 2010).

O sistema convencional de armazenagem possui como principal vantagem a estocagem de vários produtos, na mesma construção, embora não aceite automatização durante a movimentação, nem o controle da qualidade durante o armazenamento. Oliveira (2011) relata que os grãos armazenados em ambiente convencional sem o controle de temperatura e umidade relativa, apresentam maiores gradientes de umidade dos grãos, isso ocorre devido a maior variação das condições psicrométricas do ambiente de armazenamento.

Durante o armazenamento, ocorre deterioração em função da respiração e de outros processos metabólicos, os quais continuam ativos, ocasionando, na maioria das vezes, perdas significativas na qualidade do grão. Vanier (2010 apud Bezerra, 2014), observou que grãos armazenados em sistema convencional apresentaram diferença no teor de água ao longo do tempo de armazenamento.

Rupollo et al. (2006) afirmam que, no armazenamento hermético, estabiliza-se o processo de degradação da massa de grãos pela redução da taxa respiratória dos grãos e organismos presentes.

Villers (2006) ressalta que o armazenamento em embalagem hermética é uma das alternativas de armazenamento de grãos propicia maior estabilidade higroscópica dos grãos, com pequenas variações de umidade, retarda a oxidação, isola do ambiente externo e serve como uma barreira de gás. Essa técnica consiste no armazenamento de grãos em bolsas plásticas seladas hermeticamente, em que o processo respiratório dos componentes bióticos do ecossistema consome o oxigênio (O₂) e gera dióxido de carbono (CO₂), resultando em uma atmosfera modificada rica em dióxido de

carbono (CO₂) e baixa em oxigênio (O₂), controlando a população de insetos e fungos, bem como a própria atividade metabólica dos grãos, favorecendo a conservação do produto armazenado, enquanto que o grão armazenado em condições não herméticas fica exposto ao oxigênio atmosférico e às trocas com o ambiente externo.

Segundo Bezerra (2014), aos seis meses, a embalagem sacaria (convencional) já se mostra ineficiente com elevados teores de ácidos graxos (10,9 mg KOH/100g⁻¹) e aos 12 meses observa-se o pior resultado na sacaria armazenada no ambiente câmara (24,2 mg KOH/100g⁻¹). No entanto, a embalagem bolsa (hermética) apresenta médias de ácidos graxos nos grãos que se mantêm estatisticamente iguais ao final dos 12 meses de armazenamento.

Bezerra et al. (2015), citam em suas pesquisas que as análises de qualidade realizadas no óleo bruto do crambe armazenados com casca, apontam que, o índice de iodo e o índice de acidez apresentaram valores médios significativamente melhores na embalagem bolsa hermética, demonstrando melhor eficiência na manutenção da matéria prima para a produção do biodiesel e também a embalagem bolsa (hermética) é capaz de resistir às influências das condições do ambiente nos aspectos avaliativos, teor de água e condutividade elétrica nos grãos. As condições herméticas de armazenamento propiciaram maior estabilidade higroscópica dos grãos, a qual é representada pelas pequenas variações de umidade. A sacaria (convencional) ficou mais suscetível às variações das condições ambientais durante o armazenamento, proporcionando maior exposição dos grãos, verificado por meio dos resultados das análises de qualidade do grão e do óleo. Não há informações sobre a qualidade do óleo extraído de grãos armazenados sem casca.

Segundo Baudet (2003), as embalagens utilizadas para o armazenamento de sementes assumem importância relevante na manutenção da sua viabilidade e vigor, pois está diretamente relacionado com a qualidade fisiológica das sementes armazenadas e pode-se dividir quanto às trocas de vapor de água em permeáveis, semipermeáveis e impermeáveis, em função das trocas de umidade que podem ocorrer entre as sementes e o ambiente. As alterações qualitativas avaliadas durante o tempo de armazenamento poderão ser mais acentuadas na armazenagem em embalagem convencional e poderão ser menores quando comparada as embalagem herméticas, devido à troca com o meio ambiente e o acesso de microrganismos que causam perda da qualidade

nos grãos. A deterioração do grão é um processo irreversível, mas é possível minimizar seus efeitos com o controle das condições ambientais com uma armazenagem eficiente.

As sementes armazenadas recebem influência do tipo de embalagem utilizada para o seu acondicionamento, exercendo um papel fundamental na proteção dos grãos. Quando armazenados em embalagens permeáveis, o seu teor de água sofre alterações conforme as variações da umidade do ar, por serem higroscópicas. As embalagens impermeáveis resistem mais às trocas com o ambiente. As embalagens de plástico, com mais de 0,125 mm de espessura selados ao calor, quando bem vedadas, não permitem o equilíbrio do teor de umidade da semente com o ambiente, nem oscilações de umidade dentro da embalagem. A umidade do interior da embalagem é determinada pelo teor de água das sementes, logo, esse último deve ser mais baixo do que para as sementes nos outros tipos de embalagens (BAUDET, 2003).

4.4 Análises de qualidade

Algumas análises de qualidades são consideradas essenciais e necessárias durante o processo de obtenção de matéria prima para extração de óleo vegetal. Um dos métodos disponíveis para aferição dos danos nos grãos é o teste de condutividade elétrica no qual avalia indiretamente o grau de estruturação das membranas celulares, determinando a quantidade de íons lixiviados em uma solução de embebição. Esse teste tem mostrado boa relação com separação de lotes de sementes em diferentes níveis de qualidade. O vigor das sementes é inversamente proporcional à leitura da condutividade elétrica. (VIEIRA; KRIZYZANOWSKI, 1999). Os menores valores correspondentes revelam menor desorganização dos sistemas de membranas das células e consequentemente melhor qualidade (SOUZA et al., 2009).

Para avaliação da danificação mecânica nos grãos de crambe causada pelo descascamento é utilizado o teste de condutividade elétrica que avalia indiretamente o grau de estruturação e a perda da integridade das membranas celulares por meio da determinação da quantidade de íons lixiviados na solução de embebição das sementes em decorrência da deterioração das sementes, de forma que a qualidade está relacionada com a menor saída de lixiviados, sugerindo um maior potencial fisiológico semente (VIEIRA; KRZYKANOWSKI, 1999).

Bezerra (2014), avaliando o efeito do armazenamento na qualidade dos grãos e do óleo de crambe, encontrou valores de condutividade elétrica variando de

105,5 a 688,9 $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ nos grãos de crambe armazenados em embalagem hermética e valores de condutividade elétrica de 105,5 a 718,3 $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ nos grãos de crambe armazenados em embalagem convencional, monitorados por um período de 12 meses de armazenamento. Concluiu que embalagem bolsa (hermética) foi capaz de resistir às influências das condições do ambiente na avaliação pela condutividade elétrica e que houve efeito significativo da embalagem hermética e do tempo na qualidade dos grãos armazenados, para os aspectos avaliativos teor de água e condutividade elétrica. A sacaria (convencional) ficou mais suscetível às variações das condições do ambiente durante o armazenamento, proporcionando maior exposição dos grãos.

Pighinelli et al. (2009) salientaram que a umidade exerce influência na extração do óleo. Quando se reduz a umidade dos grãos, o rendimento em óleo aumenta e o maior rendimento em óleo bruto foi obtido para umidade na faixa de 8 a 8,5%.

Segundo Singh et al. (2002), o teor de umidade dos grãos compromete o desempenho da prensa. A explicação para essa tendência é o aumento da plasticidade da torta, reduzindo assim a compressão, contribuindo para uma diminuição da recuperação do óleo ou a umidade aumentou a resistência desviando a passagem da torta e o óleo entre os discos. Portanto, maior teor de umidade resultou em atrito insuficiente durante a prensagem e o aumento do óleo residual na torta.

A diminuição do teor de água das sementes em níveis adequados permite preservar as sementes por um período prolongado, possibilitando menor perda de vigor e germinação ao longo do armazenamento e que a secagem das sementes de crambe na planta, próximo de 11 %, pode ser realizada sem diminuição da qualidade no decorrer do armazenamento (OLIVA, 2010).

Segundo Baudet (2003), o teor de umidade e a temperatura são os fatores mais importantes durante o período de armazenamento, onde a diminuição desses fatores aumenta o potencial de armazenamento da semente e as condições ambientais frias e secas são as melhores para o armazenamento de sementes. O armazenamento de sementes em condições herméticas requer que o teor de umidade esteja dois a três pontos percentuais mais baixo do que para armazenamento convencional.

Bessa et al. (2015), comparando as embalagens e ambientes ao longo do armazenamento, avaliaram o teor de água e condutividade elétrica e concluíram que as sementes de crambe acondicionadas em embalagem hermética em ambiente natural

apresentaram baixa lixiviação de eletrólitos e a melhor conservação, mantendo a qualidade fisiológica das sementes de crambe por até seis meses de armazenamento.

Durante os testes de condutividade elétrica realizados em sementes de crambe com ou sem a presença de pericarpos, em diferentes tipos de secagem. Silva et al. (2014), relataram que as cascas impedem que as sementes submerjam na água durante o período de repouso, impedindo o contato de toda a superfície da semente pela solução de embebição diminuindo a sensibilidade do teste em sementes com casca. Neste sentido, o processo de descasque pode facilitar a realização deste teste. Observou também que a análise da acidez graxa tem como uma das suas principais características a alta sensibilidade, a correlação positiva com o teste de condutividade elétrica nas sementes sem o pericarpo, demonstrando que a retirada do pericarpo antes da embebição das amostras constitui-se num procedimento recomendável, possibilitando obter resultados mais confiáveis nas avaliações da qualidade de sementes de crambe.

As sementes podem sofrer deterioração durante o armazenamento com a formação de ácidos graxos livres resultantes da hidrólise da gordura, assim, a análise da acidez graxa permite, além de quantificar o processo deteriorativo, acusá-lo ainda nos estágios iniciais com rapidez e baixo custo na execução e boa eficiência deste método durante a colheita e o processamento, podendo se tornar um procedimento de rotina para o controle de qualidade de grãos e sementes (BIAGGIONI; BARROS, 2006).

Soares, Biaggioni; França Neto (2005) avaliaram o índice de ácidos graxos livres em grãos de soja e não encontraram diferença estatística significativa até os 60 dias após o armazenamento, no entanto, a partir dos 90 dias, constataram diferença significativa apesar dos grãos não terem um comportamento padrão.

Valores elevados de ácidos graxos livres significam maiores perdas no processo de refino e também baixa qualidade da matéria-prima, decorrentes do manejo inadequado ou falta de controle durante o armazenamento (O'BRIEN, 2004).

Soares (2003), estudando a variação do nível de ácidos graxos livres em grãos de soja danificados artificialmente, concluiu que o teste de acidez graxa revelou-se num teste capaz de detectar o efeito latente oriundo de danos térmico e mecânico.

Para Moretto e Fett (1998), o índice de acidez total é definido como o número de miligramas de hidróxido de potássio (KOH) necessário para neutralizar os ácidos em um grama da amostra, revelando o estado de conservação do óleo. O índice de

acidez é uma variável relacionada com a natureza, à qualidade da matéria-prima e com as condições de conservação do óleo. A hidrólise parcial dos glicerídeos é acelerada por aquecimento e pela luz, e a rancidez é quase sempre acompanhada pela formação de ácido graxo livre.

O óleo de crambe bruto apresenta um elevado índice de acidez, devido à presença de ácidos graxos livres, água e outros contaminantes, demonstrando a necessidade de um posterior refinamento do óleo para viabilizar a produção de biodiesel (ONOREVOLI, 2012).

A avaliação do índice de acidez do óleo é muito importante para se decidir qual a rota se deve seguir e decidir qual reação será utilizada, a básica ou a ácida, ou ainda se é necessário submeter o óleo a um tratamento prévio para a redução dos valores de acidez do óleo (DOS SANTOS; FRAGA, 2014).

Silva et al. (2013a), estudando a qualidade do óleo bruto de crambe sob diferentes tipos de secagem, encontraram um índice de acidez do óleo de 0,43 mg KOH g⁻¹ para grãos de crambe com casca logo depois de colhido e seco na própria planta, conforme análises realizadas neste trabalho.

Segundo Serra (2010), para obter uma reação completa catalisada por meio básico na obtenção de biodiesel é preciso que os óleos possuam um valor de ácido graxo livre menor que 3%, pois quanto maior for índice de acidez do óleo, menor é a eficiência da conversão dos óleos em ésteres, pois pode ocorrer a reação de saponificação.

Com o objetivo de avaliar a qualidade do óleo bruto extraído dos grãos de soja armazenados em silos bolsa com teores de água de 12 e 17% de umidade nas temperaturas de 15, 25 e 35°C. Silva et al. (2010), observaram que o percentual de ácidos graxos livres e o índice de peróxidos do óleo bruto extraído dos grãos armazenados hermeticamente mantiveram-se abaixo do limite imposto para comercialização e concluíram que a armazenagem de grãos de soja em silos tipo bolsa não afeta a qualidade do óleo bruto extraído.

Oliveira et al. (2010), estudando o efeito do tempo e do armazenamento refrigerado de grãos de soja sobre a qualidade do óleo, com ambiente refrigerado com 17°C, aos quatro e oito meses de armazenamento, chegaram à conclusão que esse método de armazenamento provoca menor redução no teor do óleo, menor índice de acidez e de peróxido em óleo de soja bruto.

De acordo com os parâmetros estabelecidos pela ANVISA na Resolução nº. 7, o limite máximo estipulado para o índice de acidez dos óleos prensados a frio e não refinados é 4,0 mg KOH/g (BRASIL, 2005).

Segundo Gomes Junior (2010), o índice de peróxidos (IP) é um indicador muito sensível da fase inicial da oxidação e sua presença indica a degradação do óleo, em função de sua instabilidade oxidativa.

Para Alencar (2006), a determinação do índice de peróxido é um dos métodos mais utilizados para a análise do grau de oxidação na fase inicial das reações de oxidação e rancificação, podendo sofrer influência da temperatura, luz e calor, associadas às reações do oxigênio levando a peroxidação e a deterioração dos ácidos graxos saturados.

Rupollo et al. (2006), afirmam que durante o armazenamento a deterioração da matéria graxa devido a processos químicos e biológicos como a oxidação e a respiração da massa de grãos.

De acordo com O'Brien (2004), o índice de peróxidos é umas das análises mais utilizadas para verificar a qualidade de óleos e gorduras. O autor relata que valores entre 1 e 5 (meq. O₂ kg⁻¹) são classificados como de baixo estado de oxidação e os valores entre 10 e 20 (meq. O₂ kg⁻¹) são classificados como alto estado de oxidação.

A análise do índice de peróxido determina todas as substâncias que oxidam o iodeto de potássio. Esse método fundamenta-se em sua ação oxidativa, ou seja, os peróxidos orgânicos formados no início da rancificação atuam sobre o iodeto de potássio, liberando o iodo que será titulado com tiosulfato de sódio em presença de amido solúvel, como indicador (MORETTO e FETT, 1998).

De acordo com os parâmetros estipulados pela legislação (ANVISA, 2005), o máximo permitido para o índice de peróxido é de 15 meq. O₂ Kg⁻¹ para os óleos vegetais prensados a frio e não refinados.

De acordo com Melo (2010), a determinação do índice de peróxido em óleos vegetais torna-se importante parâmetro na detecção da degradabilidade da matéria-prima utilizada para produção do biocombustível, sendo tratados como um dos dados auxiliares no estabelecimento da qualidade e aceitabilidade, utilizadas no controle de qualidade de óleos vegetais.

5 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Faculdade de Ciências Agrônômicas – FCA, Campus de Botucatu, localizada no município de Botucatu - SP situado entre as coordenadas geográficas (22° 52’ 20”) de Latitude Sul e (48° 26’ 37”) de Longitude W de Greenwich, altitude média de 770 metros, declividade média de 4,5% e clima subtropical, com verões quentes e úmidos e invernos frios e secos.

Foram utilizadas sementes de crambe (cultivar FMS Brilhante) e o campo de produção foi implantado na Fazenda Experimental Lageado, na FCA/UNESP – Botucatu/SP, conforme figura 1, onde foi utilizado o cultivo mínimo para a preparação do solo, com semeadura e adubação mecanizadas e irrigação do campo de produção. O teor de água do crambe no campo foi monitorado a partir do ponto de maturidade fisiológica, até que os grãos atingissem o teor de água próximo de 10%. A colheita do crambe foi feita de forma manual, com debulha mecanizada, em torno de 100 dias após o plantio.



Figura 1. Campo de produção de crambe em diferentes fases de desenvolvimento

5.1 Métodos

O trabalho foi desenvolvido em duas fases. Na primeira fase, foram realizados os testes de rendimento de extração do óleo dos grãos de crambe pelo método mecânico de prensagem a frio, a partir do crambe submetido aos seguintes tratamentos de descasque: grãos com casca (testemunha), grãos sem casca, grãos com 10% de casca e grãos com 20% de casca.

Na segunda fase, foram realizados os ensaios para avaliar os efeitos imediatos e latentes da operação de descasque sobre a qualidade do grão de crambe armazenado, durante nove meses, em sistema convencional (sacaria) e hermético (silo-bolsa).

Para a determinação do teor de óleo nos grãos de crambe foi realizada utilizando o método químico de extração por solvente (SOXHLET) segundo (AOAC, 1997), foram realizadas no Laboratório Centro de Raízes e Amidos Tropicais (CERAT), da FCA/UNESP - Botucatu-SP.

Os tratamentos experimentais foram realizados no Laboratório de Processamento de Produtos Agrícolas pertencente ao Departamento de Engenharia Rural, da FCA/UNESP - Botucatu, e no Laboratório de Biodiesel pertencente à – FATEC Faculdade de Tecnologia de Botucatu.

5.1.1 Os efeitos do descasque na extração mecânica do óleo

Antes do descasque e da análise de rendimento do óleo por prensagem a frio, amostras de crambe foram encaminhadas para caracterização do teor de água (BRASIL, 2009) e do rendimento do óleo pelo método químico de extração por solvente (SOXHLET). Após cada prensagem, por meio de um balanço gravimétrico envolvendo a massa de frutos de crambe, antes do esmagamento, e as massas do óleo e da torta, obtidos após o esmagamento, foi obtido o rendimento do óleo dos grãos de crambe.

O descascamento foi realizado de forma manual por meio de três peneiras com malhas diferentes. É empregada inicialmente uma peneira (a) com malha de 2 mm, onde é despejada a massa de grãos e ocorre o processo de esfoliação por compressão e atrito, este processo faz com que a casca separe do grão. A Figura 2 mostra a sequência do descasque dos grãos de crambe. A separação entre cascas e grãos, ocorre através de abanação por peneiramento manual.

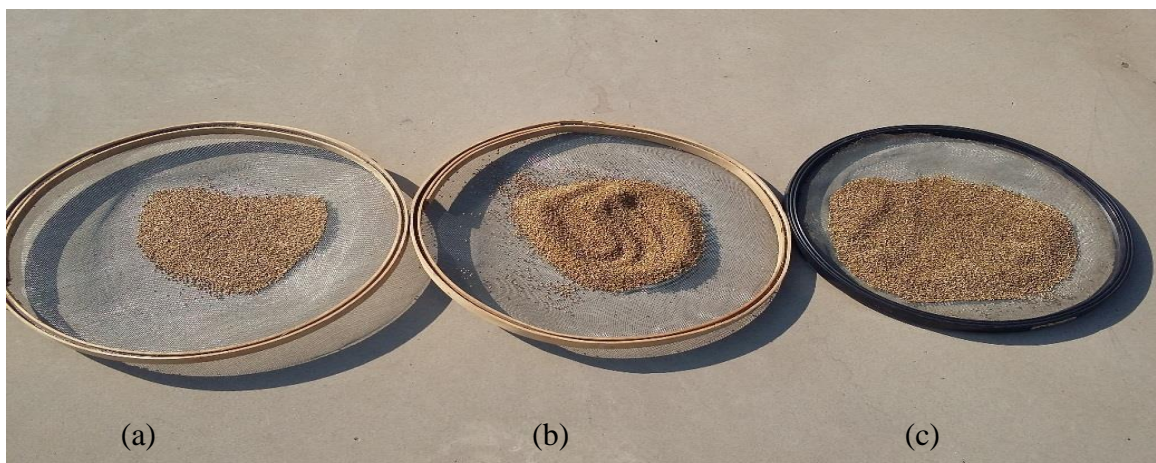


Figura 2. Processo de descasque manual dos grãos de crambe

A segunda peneira (b), com malha de 1,5 mm recebe todas as partes dos grãos e por processo de abanação ocorre a separação dos grãos inteiros e das cascas.

A terceira peneira (c), com malha de 1 mm, recebe as cascas juntamente com os pedaços dos grãos, onde são separados os grãos quebrados das cascas.



Figura 3. Grãos de crambe com casca (a), sem casca (b) e cascas (c).

Após o descascamento foram separados, os grãos inteiros descascados dos grãos que sofreram danos mecânicos, os quais foram enviados imediatamente para o processo de extração de óleo. A Figura 3 representa os grãos de crambe com casca, grãos descascados e as cascas.

Após ser descascado o material foi processado por uma prensa do tipo expeller, modelo MPE – 40 marca ECIRTEC com capacidade de 40 Kg. h⁻¹.

Para a determinação das melhores condições de extração, foram realizados testes preliminares, encontrando assim a regulagem mais adequada favorecendo o deslocamento dos grãos durante o processo de prensagem ao longo do eixo helicoidal da máquina com o melhor rendimento de extração.

A casca foi a variável mais que influenciou o processo de extração, com a qual se avaliou experimentalmente sua significância.

Como variáveis respostas foram calculados os índices de rendimento de extração do óleo e a eficiência de recuperação (%) conforme descrito nas Equações 1 e 2.

$$RE = \frac{M_0}{M_a} \times 100 \quad (1)$$

onde:

RE = Rendimento de extração mecânica do óleo, %;

M_0 = Massa de óleo extraído na prensa, g;

M_a = Massa total da amostra, g.

$$ER = \frac{RE}{RQ} \times 100 \quad (2)$$

onde:

ER = eficiência de recuperação do óleo, %.

RE = rendimento da extração mecânica do óleo, %.

RQ = rendimento da extração química do óleo, %.

O óleo bruto dos grãos de cambe (Figura 4a) foi obtido pelo método de extração por prensagem a frio em prensa do tipo expeller representada na Figura 4b.

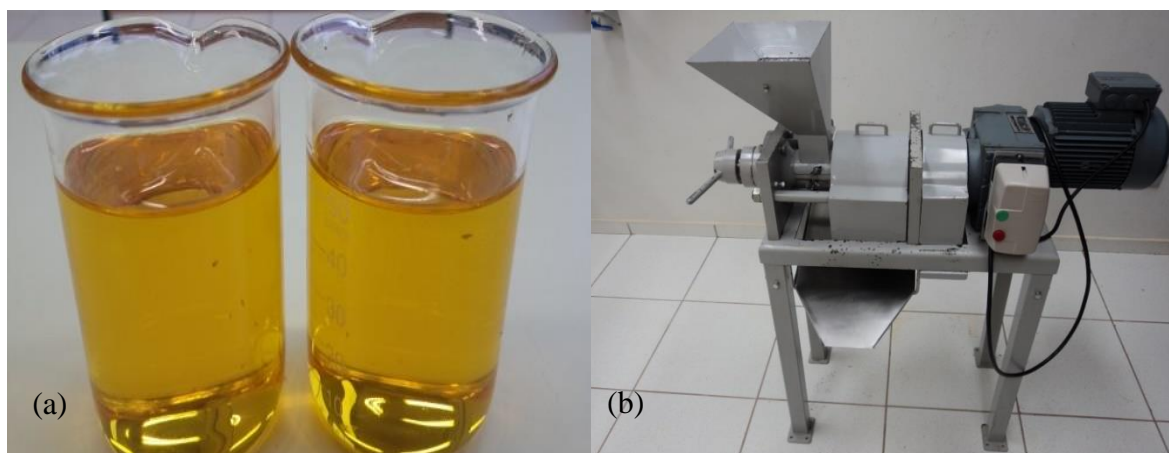


Figura 4. Óleo de crambe bruto (a) por prensagem a frio em prensa do tipo expeller (b)

O cálculo do rendimento em óleo bruto foi feito pela razão entre a massa de óleo obtida na prensagem e a massa de óleo inicial existente nos grãos do crambe obtida pelo método de extração com solvente.

O delineamento experimental adotado nesta etapa foi inteiramente casualizado, com quatro tratamentos e quatro repetições. Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo “teste de Tukey” a 5% de probabilidade.

5.1.2 Os efeitos do descasque sobre a qualidade do grão armazenado

Frutos de crambe, também oriundos do campo de produção, após secagem na própria planta, foram colhidos e submetidos a dois tratamentos: descasque manual (0,0% de casca), por meio do atrito dos frutos em superfície áspera e, não descascado (100% de casca - testemunha). Os grãos foram, então, armazenados por um período de nove meses com avaliações qualitativas dos grãos e do óleo bruto extraído dos grãos de crambe, realizadas no momento do armazenamento (tempo zero), com seis meses e ao final de um período de armazenamento.

A fim de investigar os impactos de diferentes condições de armazenamento sobre a qualidade dos grãos e dos óleos extraídos das amostras de crambe, descascado e não descascado, foram acondicionadas em dois tipos de embalagens: silo-bolsa (armazenagem hermética) e sacos de papel (armazenagem convencional).

A Figura 5 representa os dois tipos de embalagens utilizadas neste trabalho, sacaria convencional (sacos de rafia) e sacaria hermética (silo bag).



Figura 5. Armazenamento convencional e hermético

O silo-bolsa consiste em uma embalagem impermeável que possui obstrução total à passagem de luz (face preta), evitando a proliferação de fungos e também reflexão da luz (face branca), causando menor aquecimento da superfície do produto armazenado, aumentando seu aproveitamento energético.

Durante o período de armazenagem, tanto os silos-bolsa como os sacos de papel foram mantidos em ambiente natural em laboratório.

A qualidade dos grãos e do óleo extraído de crambe armazenados foi analisada seguindo normas definidas e aceitas dentro do sistema de análise de sementes, de grãos e de óleos vegetais, alcançando confiabilidade nas informações sobre as características de qualidade dos grãos e do óleo de crambe.

Para a avaliação qualitativa dos grãos de crambe foram realizados os testes de teor de água, de condutividade elétrica e de acidez graxa. No óleo bruto extraído dos grãos de crambe, foram realizados os testes de índice de acidez e índice de peróxido.

5.1.2.1 Determinação do teor de água dos grãos

Foram utilizadas amostras de grãos de crambe com e sem casca de $5,0 \pm 0,5$ gramas, pesadas em balança analítica com precisão de 0,01 e acondicionadas em recipientes de metal e colocadas em estufa. O teor de água dos grãos, expresso em % (base úmida b.u.), foi determinado pelo método da estufa a $105 \pm 3^\circ \text{C}$, por 24 horas (BRASIL, 2009), após o tempo decorrido na estufa, as amostras foram novamente pesadas. Após este procedimento, foi determinada a porcentagem do teor de água, expresso em % (base úmida b.u.), obtido pela Equação (3):

$$U = [(Pu - Ps / Pu) \times 100] \quad (3)$$

onde:

U: Umidade em % (b.u.);

Pu: Peso úmido, g;

Ps: Peso seco, g.

5.1.2.2 Determinação da condutividade elétrica nos grãos

A metodologia descrita por Vieira e Krzyzanowski (1999), utilizada para a determinação da condutividade elétrica foi realizada com quatro repetições

nos grãos de crambe de cada tratamento, inicialmente foi determinado teor de água, pesada sem balança com precisão de duas casas decimais (0,01g).

Antes da leitura em condutivímetro foi agitada a solução com bastão de vidro para a uniformização dos lixiviados na solução. O eletrodo do aparelho foi lavado em água deionizada e seco com papel toalha antes de cada medição. O volume de água utilizado (50 ml) é apenas suficiente para cobrir a célula do medidor. O valor da leitura de condutividade elétrica pelo condutivímetro foi dividido pela respectiva massa da amostra. Os valores médios da condutividade elétrica em todos os tratamentos foram expressos em ($\mu\text{S cm}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$) de grãos (VIEIRA; RZYZANOWSKI, 1999), e calculado de acordo com a Equação (4).

$$\text{CE} = \frac{\text{VLC}}{\text{MA}} \quad (4)$$

onde:

CE: Condutividade Elétrica, $\mu\text{S cm}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$;

V_{LC}: Valor de leitura do condutivímetro;

M_A: Massa da amostra, g.

Para a determinação da condutividade elétrica, por condutivímetro de bancada calibrado com solução própria foram utilizadas 100sementes, colhidas ao acaso, pesadas e colocadas em copo com capacidade para 200 ml, juntamente com 50 ml de água deionizada, e mantida em câmara de germinação do tipo B.O.D. (*Biochemical Oxygen Demand* – demanda bioquímica de oxigênio) à 20°C por 16 horas, depois de decorrido esse tempo foi realizado as leituras das repetições pelo condutivímetro de acordo com a metodologia adaptada e utilizada para canola (WAGNER; DUCOURNAU, 2007).

5.1.2.3 Determinação da acidez graxa nos grãos

O índice de acidez graxa ($\text{mL KOH} \cdot 100\text{g MS}^{-1}$) é determinado pelo número de mililitros de hidróxido de potássio (KOH solução alcoólica 0,0250 mol/L) utilizado na titulação para neutralizar os ácidos graxos da amostra.

No método AOAC 02 - 02A (AACC, 1995) de determinação da acidez graxa recomenda-se que, para os grãos maiores, seja feita uma pré-moagem e a farinha obtida seja moída novamente, juntamente com o solvente (tolueno) durante um período de quatro minutos em moinho “Stein Mill” (100 ml de tolueno para cada 40 g de farinha). O extrato obtido foi filtrado a vácuo com papel de filtro para se retirar as alíquota

de 25 ml do extrato filtrado e adicionado 25 ml de fenolftaleína como indicador (solução etanólica a 0,04 % m. v⁻¹) e agitado em um béquer de 250 mL em agitador magnético para melhor homogeneização e depois se titulou a solução com hidróxido de potássio (KOH) até atingir o ponto de viragem.

Determinou-se o teor de ácidos graxos livres pela titulação do extrato com uma solução padronizada de hidróxido de potássio (solução etanólica) de hidróxido de potássio (KOH) aferida e ajustada para (0,0250 mol. L⁻¹) introduzida em uma bureta. Os resultados da acidez graxa foram expressos em mL de hidróxido de potássio (KOH), por 100 g MS⁻¹, calculado de acordo com as Equações 5 e 6.

$$PS = (1 - U) \times 40 \quad (5)$$

onde:

PS: Peso da amostra seca, g;

U: Umidade, % de base úmida,

$$AG = [(V \times 100) / PS] \quad (6)$$

onde:

AG: Acidez graxa, mL de hidróxido de potássio (KOH) por 100 g de MS;

V: Volume gasto de hidróxido de potássio (KOH) na titulação da mistura (extrato + indicador) em mL;

PS: peso da amostra seca em g.

5.1.2.4 Determinação do índice de acidez do óleo

O índice de acidez (IA) é determinado pelo número de miligramas de hidróxido de potássio (KOH) utilizado para neutralizar os ácidos graxos livres de um grama de óleo. A acidez livre do óleo decorre da hidrólise dos glicerídeos, relacionada com a natureza, qualidade da matéria-prima e do ter de água presente nas sementes durante o armazenamento (PLEIN et al., 2010).

A determinação dos índices de acidez baseado no procedimento descrito por *Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists Society* (AOCS, 1993), Método Ca 5a-40. O percentual de ácidos graxos livres (AGL), expressa em % de ácido oleico, foi calculado através da equação 7:

$$AGL = (V_a - V_b) \times N \times f \times 56,1/M \quad (7)$$

onde:

V_a: Volume de hidróxido de potássio (KOH) 0,01 N gasto para a titulação da amostra, mL;

V_b: Volume de hidróxido de potássio (KOH) 0,01 N gasto para o branco, mL;

N: Normalidade da solução de hidróxido de potássio (KOH);

f: Fator de correção da solução de hidróxido de potássio (KOH);

56,1: Massa molar do hidróxido de potássio (KOH);

M: Massa da amostra, g.

5.1.2.5 Determinação do índice de peróxido do óleo

O óleo utilizado para a realização da determinação do índice de peróxido foram extraídos dos grãos armazenados com e sem pericarpo a cada tempo de armazenamento.

A determinação do índice de peróxido foi realizada de acordo com as normas descrita por *Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists Society* (AOCS, 1998), indicado no método Cd 8-53. O índice de peróxido (IP) foi calculado pela equação 8:

$$IP = (V_1 - V_2) \times N \times f \times 1000 \quad (8)$$

onde:

IP = Índice de peróxido, (meq. O₂ kg⁻¹);

V₁ = volume de tiosulfato de sódio (Na₂S₂O₃) a 0,01N, padronizada, gasto para na titulação da amostra, mL;

V₂ = volume de tiosulfato de sódio (Na₂S₂O₃) 0,1N padronizada gasto para na titulação do branco, mL;

N = normalidade da solução de tiosulfato de sódio (Na₂S₂O₃);

f = fator de correção da solução de tiosulfato de sódio (Na₂S₂O₃).

O óleo utilizado para a realização da determinação do índice de peróxido foram extraídos dos grãos armazenados com e sem pericarpo a cada tempo de armazenamento.

5.1.3 Delineamento experimental

O delineamento experimental, nesta etapa, foi inteiramente casualizado, com dois tipos de embalagens, duas condições de descasque e três períodos de armazenamento, consistindo em um fatorial triplo (2 x 2 x 3), representados pelos fatores F1 – Casca (com e sem casca), F2 – Embalagem (convencional e hermética) e F3 – Tempo (T0, T6 e T9), com três repetições, totalizando 12 tratamentos e 36 parcelas.

Os resultados das determinações foram submetidos à análise de variância (ANOVA) aplicando conjuntamente o teste “F” para verificar a significância dos efeitos da interação entre os fatores, em caso de diferença significativa, para comparar médias de efeito foi aplicado o “Teste de Tukey” ($p < 0,05$) a 5 % de probabilidade e os dados foram obtidos utilizando-se o programa de análise estatística ASSISTAT 7.7 beta, desenvolvido por Silva e Azevedo (2002).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, serão apresentados e discutidos os resultados obtidos nas avaliações do efeito da casca nas etapas de extração mecânica do óleo e armazenamento dos grãos de crambe. A influência da casca na operação de prensagem mecânica a frio será avaliada a partir do rendimento de extração do óleo e eficiência de sua recuperação. Já os efeitos sobre a etapa de armazenamento serão avaliados a partir dos valores médios do teor de água (TA - % b.u), condutividade elétrica (CE - $\mu\text{S cm}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$), acidez graxa (AG - mL KOH 0,1N. 100g^{-1} MS) dos grãos de crambe, além do índice de acidez (mg KOH 0,1N. g amostra⁻¹) e índice de peróxidos (meq. O₂ kg⁻¹) do óleo extraído dos grãos de crambe.

6.1 Efeito do descasque na extração mecânica do óleo

Amostras de crambe descascado, crambe integral e casca de crambe, utilizadas nos ensaios de extração mecânica (prensagem), após caracterização do teor total de óleo por meio da análise no SOXHLET (extração química), atingiram teores máximos de óleo iguais a 42,33% e 26,10% e 0,16%, respectivamente.

Na Tabela 1, estão apresentados os valores do teor de óleo extraído dos grãos de crambe, por meio de prensagem mecânica, e a porcentagem de recuperação do óleo (ou eficiência), em relação ao rendimento obtido pelo método químico por solvente (SOXHLET), dos tratamentos com os grãos de crambe sem casca (T0), com 10% de casca (T10), com 20% de casca (T20) e integral (T100).

Tabela1. Rendimento da extração mecânica do óleo (em %) e eficiência de recuperação (em %), em relação à extração química do óleo, para diferentes teores de casca nos grãos de crambe.

Tratamentos	Rendimento de extração (%)	Recuperação de óleo (%)
T0	37,38 a	89,53
T10	35,37 b	87,94
T20	32,36 c	84,58
T100	19,73 d	75,63

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo “Teste de Tukey” ao nível de 5% de probabilidade. CV = 2,70%

Pela análise da Tabela 1, verifica-se que houve acréscimo significativo no teor de óleo em todos os tratamentos testados, tendo o tratamento T0, com todos os grãos de crambe sem casca, proporcionado o maior rendimento (37,38%) e a maior porcentagem de recuperação do óleo (89,53%). O menor rendimento (19,73%) ocorreu com a extração realizada no tratamento T100, com 100% de casca, levando a uma porcentagem de recuperação do óleo de apenas 75,63%.

Os tratamentos intermediários, T10 e T20, confirmaram o efeito significativo da presença da casca de crambe sobre o rendimento da extração de óleo, ou seja, quanto menor o teor de casca, maior o teor de óleo extraído corroborando, ainda, que a ausência total da casca não compromete o rendimento da extração a frio em prensa tipo espeller.

Na avaliação do efeito dos parâmetros de extração houve contribuição positiva do descasque com uma diferença importante e significativa entre as eficiências de recuperação do óleo, que variaram de 75% para os grãos integrais até quase 90% para os grãos descascados, pode-se dizer que o índice de perda de óleo retido na torta foi baixo (10 a 25%), denotando a boa regulagem da prensa utilizada nos ensaios. Barbosa et al. (2014), avaliando o rendimento do óleo extraído durante a prensagem mecânica do crambe, a partir do pré-aquecimento da matéria-prima, obtiveram, em todos os tratamentos testados, um índice de perda de óleo retido na torta superior a 30%, sendo mais crítico quando se processou a prensagem com os grãos a frio (sem aquecimento), gerando uma perda de mais da metade do óleo disponível nos grãos (51,25%).

Souza et al. (2009), realizando a caracterização química de sementes e tortas de pinhão manso, nabo forrageiro e crambe, utilizando prensa mecânica sem pré-aquecimento e dupla prensagem, encontraram eficiência de recuperação de óleo

bruto de aproximadamente 79% em média. Nas sementes integrais, foi possível reduzir o teor de lipídeos na torta, chegando a 14,5%, onde a baixa umidade e a dupla prensagem contribuíram para a boa eficiência na extração da fração lipídica.

Resultados semelhantes aos obtidos nesta pesquisa também foram observados por Machado et al. (2007) que, em experimentos de prensagem do crambe com e sem casca, demonstraram boa eficiência através de prensagem mecânica. Os valores de rendimento de extração atingiram 31% para grãos com casca e 26%, para grãos descascados e integrais, respectivamente. A partir de um teor teórico máximo de 35% de óleo em massa total com casca, a eficiência de recuperação de óleo, segundo os autores, passou de 75% para 89% para o processamento com e sem casca, respectivamente.

Os resultados experimentais têm mostrado que o aperfeiçoamento dos métodos e das técnicas de extração pode contribuir para o aumento do rendimento e da eficiência de recuperação de óleo.

6.2 Os efeitos do descasque sobre a qualidade do grão armazenado

A análise de variância evidenciou que houve interação tripla significativa entre as fontes de variação (F1 x F2 x F3), representados pelo fator casca, fator embalagem e fator tempo de armazenamento, indicando que cada análise respondeu de maneira diferente, conforme a interação entre os fatores.

O nível de significância para o teste de cada hipótese foi fixado em 1% de probabilidade ($p < 0,01$) para as análises dos parâmetros qualitativos do teor de água, do índice de acidez graxa e índice de acidez do óleo. Para a análise de condutividade elétrica com interação tripla significativa entre as fontes de variação (F1 x F2 x F3) ao nível de 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$). Foi aplicado o "Teste de Tukey" para comparar médias de efeito ao nível de 5% de probabilidade.

Para o índice de peróxido, evidenciou-se interação dupla significativa entre as fontes de variação (F1 x F3) representado pelos fatores (casca e fator tempo de armazenamento) e interação significativa entre os fatores F2 x F3 representado pelos fatores (embalagem e fator tempo de armazenamento) ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$). Para a interação entre (F1 x F2 x F3), não foi aplicado o teste de comparação de médias porque o F de interação não foi significativo ($p \geq 0,05$).

6.2.1 Teor de água

Nas Tabelas 2, 3 e 4 são apresentados os valores médios do teor de água (TA - % b.u.) nos grãos de crambe e os desdobramentos obtidos da interação tripla significativa entre os fatores testados: presença de casca (F1 - com e sem casca), tipo de embalagem (F2 - convencional e hermética) e tempo de armazenamento (F3 - T0, T6 e T9) e os efeitos das interações entre os fatores (F1 x F2 x F3 - casca x embalagem x tempo). As interações foram estatisticamente significativas ($P \leq 0,01$).

Tabela 2. Valores médios do teor de água (% b.u.) dos grãos de crambe com e sem casca, armazenados durante nove meses em embalagem convencional e hermética, obtidos a partir do desdobramento da interação entre os fatores F1 com F2 x F3.

** Teor de Água (% b.u.)						
Casca	Convencional			Hermética		
	T0	T6	T9	T0	T6	T9
COM	8,92 a A	7,91 a B	7,78a B	8,92 a A	9,13 a A	9,62a A
SEM	7,22 b A	5,62 b B	5,60 b BC	7,22 b A	4,76 b D	4,84b CD

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$). Médias seguidas da mesma letra (maiúsculas) nas linhas e (minúsculas) nas colunas não diferem entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. CV = 4,19%

Na Tabela 2, que mostra os resultados da interação entre F1 com F2 x F3, verifica-se que, ao longo de todo o período monitorado e para todas as embalagens, o crambe sem casca manteve-se com teor de água inferior ao crambe integral, com valores variando entre 4,76% e 7,22%, enquanto o crambe com casca apresentou valores entre 7,78% e 9,62%. Tal comportamento pode ser explicado pelo maior teor de moléculas apolares (lipídeos) nos grãos sem casca, conferindo-lhes menor capacidade de retenção de água em relação aos grãos integrais, cuja casca, com maior teor de moléculas polares (carboidratos), permite maior capacidade de retenção de água.

Tais variações na umidade dos grãos podem estar relacionadas às trocas realizadas com o ambiente externo, permitidas pelas embalagens convencionais, corroborando com Carvalho e Nakagawa (2000), que indicaram que mudanças na temperatura e umidade relativa do ar provocam constantes ajustes no teor de água dos grãos armazenados em embalagens permeáveis ao vapor de água.

O teor de umidade, as condições de temperatura e umidade relativa do ar determinam a extensão dos danos causados aos grãos durante o armazenamento (MARCOS FILHO, 2005).

Tabela 3. Valores médios do teor de água (% b.u.) dos grãos de crambe (com e sem casca) acondicionados em embalagem convencional e hermética, submetidos ao armazenamento por um período de nove meses, obtidos a partir do desdobramento da interação entre os fatores F1 x F2 com F3.

** Teor de Água (% b.u.)				
Casca	Embalagem	T0	T6	T9
COM	Convencional	8,92 a A	7,91 a B	7,78 a B
	Hermética	8,92 a B	9,13 a AB	9,62 a A
SEM	Convencional	7,22 b A	5,62 c B	5,60 c B
	Hermética	7,22 b A	4,76 d B	4,84 d B

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$). Médias seguidas da mesma letra (maiúsculas) nas linhas e (minúsculas) nas colunas não diferem entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. CV = 4,19%

Pela Tabela 3, que mostra os resultados da interação entre F1xF2 com F3, nota-se um comportamento praticamente comum aos grãos com casca e descascados, tanto em embalagem hermética como convencional, qual seja, um efeito significativo do tempo no teor de água dos grãos, a partir do sexto mês de armazenamento, o qual levou a uma pequena secagem nos grãos armazenados. Exceção deve ser feita ao tratamento “grãos com casca armazenados em embalagem hermética” que, no sexto e no nono mês, apresentou aumentos significativos no teor de água.

Resultados semelhantes foram encontrados por Masetto et al. (2013) que verificaram variação de 6,5 a 10,2% (b.u.), independentemente das embalagens e das condições ambientais. A embalagem bolsa (hermética) foi capaz de resistir às influências do ambiente até o sexto mês de armazenamento, registrando um aumento significativo do teor de água do crambe após 12 meses. A embalagem sacaria permitiu um reumedecimento significativo nos grãos armazenados a partir do sexto mês, mostrando níveis inseguros para a sua conservação ao final dos 12 meses. A embalagem hermética proporcionou, ainda, a manutenção do vigor das sementes garantindo eficiência na conservação por um período de até 180 dias de armazenamento.

Tabela 4. Valores médios do teor de água (% b.u.) dos grãos de crambe com e sem casca, armazenados durante nove meses em embalagem convencional e hermética, obtidos a partir do desdobramento da interação entre os fatores F1 x F3 com F2.

** Teor de Água (% b.u.)			
Casca	Tempo (meses)	Convencional	Hermética
COM	T0	8,92 a A	8,92 a A
	T6	7,91 b B	9,13 a A
	T9	7,78 b B	9,62 a A
SEM	T0	7,22 b A	7,22 b A
	T6	5,62 c A	4,76 c B
	T9	5,60 c A	4,84 c B

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$). Médias seguidas da mesma letra (maiúsculas) nas linhas e (minúsculas) nas colunas não diferem entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. CV = 4,19%

Na Tabela 4, verifica-se o efeito da casca favorecendo um aumento do teor de água nos grãos, durante o armazenamento hermético. Pode-se verificar, pela análise dos dados, que a redistribuição de umidade ocorrida nas embalagens herméticas contendo grãos com casca, elevou o teor de água ao final do período de armazenamento, enquanto, para os grãos descascados, a redistribuição foi em direção contrária, isto é, reduzindo o teor de água, comportamento que pode ser explicado pela desuniformidade na maturação dos grãos por ocasião da colheita.

No caso das embalagens herméticas, tais variações podem ter ocorrido devido a uma tendência da água se redistribuir na massa armazenada ao longo do tempo, em função de uma desuniformidade na umidade dos grãos, no início do armazenamento.

6.2.2 Condutividade Elétrica

Nas Tabelas 5, 6 e 7 são apresentados os valores médios da condutividade elétrica e os desdobramentos obtidos da interação tripla significativa entre os fatores testados: presença de casca (F1), tipo de embalagem (F2) e tempo de armazenamento (F3). As interações foram estatisticamente significativas ($0,01 = < p < 0,05$).

Tabela 5. Valores médios da Condutividade Elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$) dos grãos de crambe com e sem casca, armazenados durante nove meses em embalagem convencional e hermética, obtidos a partir do desdobramento da interação entre os fatores F1 com F2 x F3.

** Condutividade Elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$)						
Casca	Convencional			Hermética		
	T0	T6	T9	T0	T6	T9
Com	206,10 a C	232,55 a BC	332,37 a A	206,10 a C	276,00 a AB	238,61 a BC
Sem	108,81 b C	134,52 b BC	231,47 b A	108,81 b C	121,05 b C	187,23 b AB

** Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 = < p < 0,05$). Médias seguidas da mesma letra (maiúsculas) nas linhas e (minúsculas) nas colunas não diferem entre si. Foi aplicado o “Teste de Tukey” a 0,05% de probabilidade. CV = 12,02%

Na Tabela 5, que mostra os resultados da interação entre F1 com F2 x F3, verifica-se que, ao longo de todo o período monitorado e para todas as embalagens, o crambe sem casca conservou-se melhor, atingindo valores máximos de $231,47 \mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$, no final do armazenamento em embalagem convencional, enquanto o crambe com casca apresentou valores de $332,36 \mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$, para as mesmas condições de tempo de armazenamento e embalagem.

Tabela 6. Valores médios da Condutividade Elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$) dos grãos de crambe com e sem casca, armazenados durante nove meses em embalagem convencional e hermética, obtidos a partir do desdobramento da interação entre os fatores F1 x F2 com F3.

** Condutividade Elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$)				
Casca	Embalagem	T0	T6	T9
COM	Convencional	206,10 a B	232,55 a B	332,37 a A
	Hermética	206,10 a B	276,00 a A	238,61 b AB
SEM	Convencional	108,81 b B	134,52 b B	231,47 b A
	Hermética	108,81 b B	121,05 b B	187,23 b A

** Significativo ao nível de ($0,01 = < p < 0,05$) de probabilidade. Médias seguidas da mesma letra (maiúsculas) nas linhas e (minúsculas) nas colunas não diferem entre si. Foi aplicado o “Teste de Tukey” a 5% de probabilidade. CV = 12,02%

Pela Tabela 6, que mostra os resultados da interação entre F1 x F2 com F3, nota-se um comportamento praticamente comum aos grãos com casca e descascados, tanto em embalagem hermética como convencional, qual seja, um efeito significativo do tempo na qualidade dos grãos, a partir do nono mês de armazenamento,

com valor máximo de condutividade elétrica atingindo 332,36 $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ para grãos com casca armazenados em embalagem convencional.

Exceção deve ser feita ao tratamento dos grãos com casca armazenados em embalagem hermética que, no sexto mês de armazenamento, apresentou um aumento significativo na condutividade elétrica 276,00 $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$. Tendo em vista a redução no valor deste índice no tempo subsequente (nono mês), entende-se que pode ter ocorrido um erro na determinação da condutividade elétrica no tempo 6 meses, interferindo no teste de médias.

Tabela 7. Valores médios da Condutividade Elétrica ($\mu\text{S. cm}^{-1} \text{g}^{-1}$) dos grãos de crambe com e sem casca, armazenados durante nove meses em embalagem convencional e hermética, obtidos a partir do desdobramento da interação entre os fatores F1 x F3 com F2.

** Condutividade Elétrica ($\mu\text{Scm}^{-1} \text{g}^{-1}$)			
Casca	Tempo (meses)	Convencional	Hermética
COM	T0	206,10 b A	206,10 b A
	T6	232,55 b B	276,00 a A
	T9	332,37 a A	238,60 a b B
SEM	T0	108,81 c A	108,81 c A
	T6	134,52 c A	121,05 c A
	T9	231,47 b A	187,23 b B

** Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 = < p < 0,05$). Médias seguidas da mesma letra (maiúsculas) nas linhas e (minúsculas) nas colunas não diferem entre si. Foi aplicado o “Teste de Tukey” a 5% de probabilidade. CV = 12,02%

Pelos resultados da interação entre os fatores F1 x F3 com F2 (Tabela 7), observa-se que, tanto para os grãos com casca como para os grãos sem casca, o efeito do tipo de embalagem só se diferenciou significativamente a partir do nono mês, com o sistema hermético propiciando a melhor conservação. Novamente, exceção a este comportamento geral deve ser feita aos resultados obtidos com os grãos com casca embalados hermeticamente que já no sexto mês aumentou significativamente o índice de lixiviados, mas, na sequência reduziu sua condutividade elétrica para 238,60 $\mu\text{S. cm}^{-1} \text{g}^{-1}$, ficando bem abaixo daquela registrada na embalagem convencional 332,36 $\mu\text{S. cm}^{-1} \text{g}^{-1}$. Tal comportamento sugere uma possível falha na determinação da condutividade elétrica neste tratamento específico ou inversão dos dados durante as análises de condutividade.

Possivelmente, os grãos armazenados em embalagem convencional realizaram maior troca de umidade com o ambiente absorvendo vapor d'água durante o armazenamento, fato observado pelas maiores médias de teor de água nesta condição de embalagem, contribuindo para a desorganização das membranas e lixiviação de solutos reduzindo a qualidade dos grãos de crambe.

Segundo Bezerra et al. (2015), o menor valor de condutividade elétrica e o menor teor de água foram encontrados em grãos armazenados em embalagem bolsa hermética, mostrando que a embalagem analisada manteve a qualidade, proporcionando grãos menos deteriorados.

Oliva et al. (2012), ao estudarem o efeito imediato da secagem sobre sementes de crambe, observaram uma boa qualidade do produto, antes de iniciar o armazenamento, com valores de condutividade elétrica variando entre 122,97 a 144,32 $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$.

6.2.3 Índice de acidez graxa

Nas Tabelas 8, 9 e 10, são apresentados os valores médios da acidez graxa ($\text{mL KOH. } 100\text{g}^{-1} \text{MS}$) e os desdobramentos obtidos da interação tripla significativa entre os fatores testados: presença de casca (F1), tipo de embalagem (F2) e tempo de armazenamento (F3). As interações foram estatisticamente significativas ($P \leq 0,01$).

Tabela 8. Valores médios da acidez graxa ($\text{mL KOH. } 100\text{g}^{-1} \text{MS}$) dos grãos de crambe com e sem casca, armazenados durante nove meses em embalagem convencional e hermética, obtidos a partir do desdobramento da interação entre os fatores F1 com F2 x F3.

** Acidez graxa ($\text{mL KOH. } 100\text{g}^{-1} \text{MS}$)						
Casca	Convencional			Hermética		
	T0	T6	T9	T0	T6	T9
COM	6,78 a C	8,44 a AB	7,44 b BC	6,78 a C	8,97 a A	9,22 a A
SEM	7,42 a AB	7,37 b AB	8,65 a A	7,42 a AB	6,61 b B	6,74 b B

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$). Médias seguidas da mesma letra (maiúsculas) nas linhas e (minúsculas) nas colunas não diferem entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. CV = 7,58%

Na Tabela 8, que mostra os resultados da interação entre F1 com F2 x F3, verifica-se uma alternância no comportamento do crambe com casca e descascado, quanto ao índice de acidez graxa, ao longo do tempo de armazenamento e tipo de embalagem.

A tendência encontrada foi o crambe com casca, ao final do armazenamento, conservar-se melhor que o crambe descascado quando armazenado de forma convencional.

Por outro lado, o crambe sem casca, em ambiente hermético, apresentou nível de ácidos graxos livre mais baixo durante todo o período de armazenamento.

Tal desempenho pode ser explicado, possivelmente, pelo papel protetor da casca que, em ambiente mais exposto (armazenamento convencional), propiciaria maior proteção aos grãos.

No ambiente hermético, possivelmente, a menor atividade metabólica nos grãos, em função da limitação de trocas gasosas com o ambiente externo, garantiu a proteção necessária aos grãos descascados.

Tabela 9. Valores médios da acidez graxa (mL KOH. 100g MS⁻¹) dos grãos de crambe com e sem casca, armazenados durante nove meses em embalagem convencional e hermética, obtidos a partir do desdobramento da interação entre os fatores F1 x F2 com F3.

Acidez graxa (mL KOH. 100g ⁻¹ MS)				
Casca	Embalagem	T0	T6	T9
COM	Convencional	6,78 a B	8,44 ab A	7,44 bc AB
	Hermética	6,78 a B	8,97 a A	9,22 a A
SEM	Convencional	7,42 a B	7,37 bc B	8,65 ab A
	Hermética	7,42 a A	6,61 c A	6,74 c A

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$). Médias seguidas da mesma letra (maiúsculas) nas linhas e (minúsculas) nas colunas não diferem entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. CV = 7,58%

Pela Tabela 9, que mostra os resultados da interação entre F1 x F2 com F3, notam-se um comportamento diferenciado entre os grãos com casca e descascado, dependendo do tipo de embalagem, em relação ao tempo de armazenagem.

Verifica-se uma tendência, tanto dos grãos com casca como o descascado, mostrarem efeitos da deterioração (aumento significativo dos ácidos graxos livres) a partir do sexto mês de armazenamento quando embalados de forma convencional.

Os grãos com casca acondicionados em embalagem hermética, quando manifestaram efeito significativo do tempo de armazenamento, o fizeram a partir do sexto mês, já os grãos sem casca mantiveram-se estatisticamente iguais durante todo o período de armazenamento.

Tabela 10. Valores médios da acidez graxa (mL KOH. 100g MS⁻¹) dos grãos de crambe com e sem casca, armazenados durante nove meses em embalagem convencional e hermética, obtidos a partir do desdobramento da interação entre os fatores F1 x F3 com F2.

** Acidez graxa (mL KOH. 100g ⁻¹ MS)			
Casca	Tempo (meses)	Convencional	Hermética
COM	T0	6,78 b A	6,78 b A
	T6	8,44 a A	8,97 a A
	T9	7,44 a b B	9,22 a A
SEM	T0	7,42 a b A	7,42 b A
	T6	7,37 a b A	6,61 b A
	T9	8,65 a A	6,74 b B

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$). Médias seguidas da mesma letra (maiúsculas) nas linhas e (minúsculas) nas colunas não diferem entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. CV = 7,58%

Pelos resultados da interação entre os fatores F1 x F3 com F2 (Tabela 10), corroborando as informações obtidas nas tabelas anteriores, observa-se que a embalagem hermética propiciou o desenvolvimento de menores índices de acidez graxa e, portanto, menor deterioração, para os grãos sem casca. Quando se armazenou grãos com casca, a melhor opção de embalagem foi a convencional. Provavelmente, o elevado nível de ácidos graxos livres desenvolvidos nos grãos sem casca, acondicionados hermeticamente, está relacionado ao processo de reumedecimento dos grãos ocorrido durante o período de armazenamento, acelerando as reações de hidrólise de lipídeos.

Esses valores diferem, mas estão próximos do obtido por Silva et al. (2013), que, estudando a qualidade do óleo bruto de crambe testando diferentes tipos de secagem, encontraram valores médios de acidez graxa 9,1 mL KOH. 100g⁻¹ para grãos de crambe secos na própria planta.

Segundo Bezerra (2014), aos seis meses de armazenamento a embalagem sacaria (convencional) já se mostrou ineficiente com elevados teores de ácidos graxos e aos 12 meses observou-se o pior resultado na sacaria. No entanto, a embalagem bolsa (hermética) apresentou médias de ácidos graxos nos grãos que se mantiveram estatisticamente iguais ao final dos 12 meses de armazenamento.

6.2.4 Índice de Acidez do óleo

Nas Tabelas 11, 12 e 13, são apresentados os valores médios do índice de acidez do óleo (mg KOH. g⁻¹) bruto extraídos dos grãos de crambe e os desdobramentos obtidos da interação tripla significativa entre os fatores testados: presença de casca (F1), tipo de embalagem (F2) e tempo de armazenamento (F3). As interações foram estatisticamente significativas ($P \leq 0,01$).

Tabela 11. Valores médios do índice de acidez do óleo (mg KOH. g⁻¹) bruto extraído dos grãos de crambe com e sem casca, armazenados durante nove meses em embalagem convencional e hermética, obtidos a partir do desdobramento da interação entre os fatores F1 com F2 x F3.

** Índice de Acidez do Óleo (mg KOH. g ⁻¹)						
Casca	Convencional			Hermética		
	T0	T6	T9	T0	T6	T9
COM	0,25 a B	1,21 a A	1,30 a A	0,25 a B	1,30 a A	1,22 a A
SEM	0,19 a C	1,15 a A	1,22 a A	0,19 a C	0,92 b B	1,18 a A

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$). Médias seguidas da mesma letra (maiúsculas) nas linhas e (minúsculas) nas colunas não diferem entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. CV = 5,93%

Na Tabela 11, que mostra os resultados da interação entre F1 com F2 x F3, embora alguma diferença significativa só tenha ocorrido no sexto mês de armazenamento em embalagens herméticas, verifica-se uma tendência do crambe descascado apresentar menor acidez do óleo, em relação ao com casca, ao longo do tempo de armazenamento e para qualquer tipo de embalagem.

Tabela 12. Valores médios do índice de acidez do óleo (mg KOH. g^{-1}) bruto extraído dos grãos de crambe com e sem casca, armazenados durante nove meses em embalagem convencional e hermética, obtidos a partir do desdobramento da interação entre os fatores F1 x F2 com F3.

** Índice de Acidez do Óleo (mg KOH. g^{-1})				
Casca	Embalagem	Tempo (meses)		
		T0	T6	T9
COM	Convencional	0,25 a B	1,21 a b A	1,30 a A
	Hermética	0,25 a B	1,30 a A	1,22 a A
SEM	Convencional	0,19 a B	1,15 b A	1,22 a A
	Hermética	0,19 a C	0,92 c B	1,18 a A

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$). Médias seguidas da mesma letra (maiúsculas) nas linhas e (minúsculas) nas colunas não diferem entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. CV = 5, 93%

Pela Tabela 12, que mostra os resultados da interação entre F1 x F2 com F3, nota-se um comportamento praticamente comum entre os grãos com casca e descascados, independentemente do tipo de embalagem, em relação ao tempo de armazenagem. Verifica-se o efeito da deterioração (aumento significativo da acidez do óleo) já a partir do sexto mês de armazenamento. Durante o armazenamento, o teor de água nos grãos e a temperatura contribuem para o processo de formação da rancidez hidrolítica afetando a qualidade tanto do grão quanto do óleo (ARAÚJO, 2009).

Tabela 13. Valores médios do índice de acidez do óleo bruto (mg KOH. g^{-1}) extraído dos grãos de crambe com e sem casca, armazenados durante nove meses em embalagem convencional e hermética, obtidos a partir do desdobramento da interação entre os fatores F1 x F3 com F2.

** Índice de Acidez do Óleo (mg KOH. g^{-1})			
Casca	Tempo (meses)	Embalagem	
		Convencional	Hermética
COM	T0	0,25 c A	0,25 c A
	T6	1,21 a b B	1,30 a A
	T9	1,30 a A	1,22 a A
SEM	T0	0,19 c A	0,19 c A
	T6	1,15 b A	0,92 b B
	T9	1,22 a b A	1,18 a A

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$). Médias seguidas da mesma letra (maiúsculas) nas linhas e (minúsculas) nas colunas não diferem entre si. Foi aplicado o “Teste de Tukey” ao nível de 5% de probabilidade. CV = 5, 93%

Pelos resultados da interação entre os fatores F1 x F3 com F2 observados na Tabela 13, corrobora as informações obtidas nos testes de acidez graxa, observa-se que a embalagem hermética propiciou o desenvolvimento de menores índices de acidez do óleo e, portanto, menor deterioração, para os grãos sem casca. Quando se armazenou grãos com casca, os resultados foram estatisticamente iguais. Este desempenho pode ser explicado, possivelmente, pela atuação da embalagem, em função das trocas gasosas com o ambiente externo.

Segundo Rupollo et al. (2006), avaliando o sistema de armazenamento hermético, encontraram menor variação de umidade os grãos, devido a não ocorrência de trocas com o ambiente, permitindo a estabilidade da umidade dos grãos, garantindo a proteção necessária aos grãos descascados.

Os valores médios do índice de acidez do óleo extraído dos grãos de crambe de 0,25 mg KOH g amostra⁻¹ para grãos com casca e de 0,19 mg KOH g amostra⁻¹ para grãos sem casca, esses valores obtidos no início do armazenamento estão de acordo com os parâmetros estipulados pela Resolução RDC nº 270, de 22 de setembro de 2005, (ANVISA, 2005), indica que o limite máximo estipulado para do índice de acidez do óleo para óleos prensados a frio e não refinados 4,0 mg KOH. amostra⁻¹ (BRASIL, 2005).

Os valores dos índices de acidez do óleo de crambe encontrados estão próximos dos obtidos por Silva et al. (2013a), que, estudando a qualidade do óleo bruto de crambe testando diferentes tipos de secagem, encontraram valores de índice de acidez do óleo de 0,43 mg KOH. g amostra⁻¹ para grãos de crambe com casca.

Os índices de acidez do óleo de crambe nos tempos T6 e T9 estão um pouco acima do limite estipulados para elaboração de biodiesel, mas, segundo Serra (2010), para uma reação completa catalisada por base na produção de biodiesel, é preciso que os óleos possuam um valor de ácido graxo livre menor que 3%, pois quanto maior for o índice de acidez do óleo, menor é a eficiência da conversão, podendo até, ocorrer reação de saponificação.

6.2.5 Índice de Peróxidos

Nas Tabelas 14 e 15, estão apresentados os valores médios do índice de peróxidos do óleo bruto (meq. O₂ kg⁻¹) extraído dos grãos de crambe e os desdobramentos obtidos das interações duplas significativas entre os fatores testados:

presença de casca (F1), tipo de embalagem (F2) e tempo de armazenamento (F3). As interações foram estatisticamente significativas ($P \leq 0,01$).

Tabela 14. Valores médios do índice de peróxidos do óleo bruto (meq. $O_2 \text{ kg}^{-1}$) extraído dos grãos de crambe com e sem casca, armazenados durante nove meses, obtidos a partir do desdobramento da interação entre os fatores F1 com F3.

Índice de Peróxidos crambe (meq. $O_2 \text{ Kg}^{-1}$)			
Casca	T0	T6	T9
COM	0,00 a C	3,49 a B	5,00 a A
SEM	0,00 a B	3,17 b A	3,14 b A

* Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$). Médias seguidas da mesma letra (maiúsculas) nas linhas e (minúsculas) nas colunas não diferem entre si. Foi aplicado o “Teste de Tukey” a 5% de probabilidade. CV = 7,26%

Pela análise da Tabela 14, que mostra o resultado da interação dupla significativa entre F1 com F3, verifica-se a tendência dos grãos armazenados sem casca proporcionar as menores perdas de qualidade, revelando índices de peróxidos mais baixos. De acordo com os resultados advindos desta análise de qualidade, não houve diferença significativa entre o efeito da casca, sugerindo que a melhor forma de armazenar crambe seria descascada.

Tabela 15. Valores médios do índice de peróxidos do óleo bruto (meq. $O_2 \text{ kg}^{-1}$) extraído dos grãos de crambe, armazenados durante nove meses em embalagem convencional e hermética, obtidos a partir do desdobramento da interação entre os fatores F2 com F3.

** Índice de Peróxidos crambe (meq. $O_2 \text{ kg}^{-1}$)			
Embalagem	T0	T6	T9
Convencional	0,00 a C	3,34 a B	5,39 a A
Hermética	0,00 a B	3,32 a A	2,74 b B

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$). Médias seguidas da mesma letra (maiúsculas) nas linhas e (minúsculas) nas colunas não diferem entre si. Foi aplicado o “Teste de Tukey” a 5% de probabilidade. CV= 7,26%

Na Tabela 8, que mostra o resultado da interação dupla significativa entre F2 com F3, verifica-se a tendência dos grãos armazenados em embalagem hermética proporcionarem as menores perdas de qualidade, revelando índices de peróxidos mais baixos. De acordo com os resultados advindos desta análise de qualidade, não houve diferença significativa entre o efeito da casca e o tipo de embalagem, sugerindo que a melhor forma de armazenar crambe seria descascada em embalagens

herméticas, corroborando com a análise da Tabela 14. Provavelmente, o menor teor de oxigênio presente nestas embalagens contribuiu para a redução das reações de oxidação dos lipídeos presentes nos grãos. Esses valores indicam baixa rancidez oxidativa e boa estabilidade do óleo de crambe.

Quanto ao tempo de armazenamento, as Tabelas 14 e 15 também mostram uma mesma tendência, ou seja, a partir do sexto mês as deteriorações já são significativas, sendo que nos grãos com casca e nas embalagens convencionais estes efeitos foram mais pronunciados ao longo do tempo. Segundo Donadon et al. (2015), o índice de peróxidos sofre influência do ambiente e do tempo de armazenamento, com um aumento linear em função do tempo sinalizando a degradação e a oxidação do óleo.

A queda, aparentemente sem explicação, no índice de peróxidos dos grãos embalados hermeticamente no nono mês (Tabela 15), em relação ao sexto mês de armazenagem, pode ser devida ao caráter transitório da produção dos peróxidos em que, em alguns momentos, pode ter sua velocidade de formação durante a oxidação superada pela velocidade de utilização em reações secundárias.

Os valores de índice de peróxidos encontrados neste trabalho estão próximos aos obtidos por Silva et al. (2013a) que, estudando a qualidade do óleo bruto de crambe com diferentes tipos de secagem, encontraram valores médios de índice de peróxidos próximos a $2,74 \text{ meq. O}_2 \text{ kg}^{-1}$, para grãos de crambe secos na própria planta. De acordo com os parâmetros estipulados pela Resolução RDC nº 270, de 22 de setembro de 2005, (BRASIL, 2005), o máximo permitido de índice de peróxido para óleos prensados a frio e não refinados é de $15 \text{ meq. O}_2 \text{ kg}^{-1}$ para os óleos brutos de origem vegetal.

7 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho permitiram as seguintes conclusões principais:

- o descasque dos grãos de crambe proporcionou um efeito positivo e significativo sobre a extração mecânica do óleo em prensa tipo espeller, atingindo o máximo rendimento (37,38%) e a máxima recuperação do óleo (89,53%) na ausência total de casca;
- o teste de condutividade elétrica e o índice de peróxidos apontaram para a melhor conservação dos grãos quando armazenados sem casca e em embalagens herméticas;
- o teste de acidez graxa dos grãos e o índice de acidez do óleo foram mais sensíveis e indicaram para a melhor conservação dos grãos sem casca quando armazenados hermeticamente. No armazenamento convencional, os grãos com casca apresentaram menor deterioração;
- perdas significativas na qualidade dos grãos armazenados foram detectadas já a partir do sexto mês de monitoramento, podendo ser retardadas para o nono mês quando em acondicionamento hermético.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, E. R. **Efeitos das condições de armazenagem sobre a qualidade da soja (*Glycine max (L.) Merrill*) e do óleo bruto**. 2006. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Viçosa. Viçosa - MG, 2006. Disponível em: <<http://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/3527/texto%20completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 17 ago. 2016.

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS - AACC. Methods 02- 02A: Fat acidity – rapid method, for grain. In: **Approved methods of the American Association of the Cereal Chemists**. St. Paul: AACC, 1995. v.1, paginação irregular. Disponível em: <<http://methods.aaccnet.org/methodnumbering.aspx>>. Acesso em: 12 Ago. 2016.

AMERICAN OIL CHEMISTS SOCIETY – AOAC, Association of Official Analytical Chemists. Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society. 16. ed. 1141. p. **Maryland**, 1997.

AMERICAN OIL CHEMISTS SOCIETY – AOCS. Association of Official Analytical Chemists. Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society. 3. ed. **Champaign**, 1998.

ARAÚJO J. A. C. Quantidade residual da torta de crambe prensada com e sem casca. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, 6., 2009, Montes Claros, MG. **Anais...** Montes Claros: UFLA, Ago. 2009. 2261 a 2266. Disponível em: <http://oleo.ufla.br/anais_05/artigos/anais_completos.pdf>. Acesso em: 18 Ago. 2016.

BARROS, A.P.B. et al. Avaliação de tratamentos para superação de dormência em sementes de *Crambe abyssinica*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, 6., Montes Claros, MG. **Anais...** Montes Claros: UFLA, Ago. 2009. Disponível em: <http://oleo.ufla.br/anais_05/artigos/anais_completos.pdf>. Acesso em: 18 Ago. 2016.

BAUDET, L.M.L. Armazenamento de sementes. In: PESKE, S.T.; ROSENTAL, M.D.; ROTA, G.R. **Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos**, Pelotas: Ed. Universitária – UFPEL, 2003. cap. 7 p. 366-418.

BESSA, J. F.V et al. Armazenamento do crambe em diferentes embalagens e ambientes: Parte I - Qualidade fisiológica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.3, p.224-230, 2015. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v19n3/1415-4366-rbeaa-19-03-0224.pdf>> Acesso em: 17 ago. 2016.

BEZERRA, P. H. S. **Efeito do armazenamento na qualidade dos grãos e do óleo de crambe, para produção de biodiesel**. 2014. 70 f. Dissertação (mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu, 2014.

BEZERRA, P. H. S. et al. Efeito do armazenamento na qualidade dos grãos e do óleo de crambe para produção de biodiesel. **Energia na Agricultura**, v.30, p.310-318, 2015.

Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.17224/energagric.2015v30n3p310-318>>. Acesso em: 17 ago. 2016.

BIAGGIONI, M. A. M.; BARROS, R. E. Teste de acidez graxa como índice de qualidade em arroz. **Ciência e Agrotecnologia**. v. 30, n. 4, p. 679-684, 2006.

BRAGANTE, A. G. **Tecnologia de Extração de Óleo**. 2009. Online. Disponível em: <<http://abgtecalim.yolasite.com/resources/Tecnologia%20Extra%C3%A7%C3%A3o%20de%20C3%93leos.pdf>>. Acesso em: 18 Ago. 2016.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA – ANVISA. **Resolução RDC n. 270, de 22 de setembro de 2005**. Regulamento técnico para fixação de identidade e qualidade de óleos e gorduras vegetais. Brasília: Diário Oficial da União, Anexo 5. Disponível em: <http://www.oliva.org.br/assets/pdfs/RDC_270_2005_oleos_gorduras_vegetais_azeite_de_oliva.PDF> Acesso em: 17 ago. 2016.

_____. Agência Nacional do petróleo (ANP). **Resolução ANP nº 7, de 19/03/2008**. Disponível em: <http://www.udop.com.br/download/legislacao/comercializacao/juridico_legiscalcao/res_7_comercializacao_biodiesel.pdf>. Acesso em: 18 ago. 2016.

_____. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009. 399 p.

_____. Agência Nacional do petróleo (ANP). **Resolução ANP nº 45, de 26/08/2014**. Disponível em: <[http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2014/agosto/ranp%2045%20-%202014.xml?f=templates\\$fn=document-frame.htm\\$3.0\\$Q=\\$x=\\$nc=906](http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2014/agosto/ranp%2045%20-%202014.xml?f=templates$fn=document-frame.htm$3.0$Q=$x=$nc=906)>. Acesso em: 18 ago. 2016.

_____. Ministério das Minas e Energia. **Boletim Mensal de Energia**. Fev.2016. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/matriz-energetica-de-2016-tera-maior-participacao-das-energias-renovaveis>. Acesso em: 18 ago. 2016.

CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2000. 88p.

COSTA, F. P.; MARTINS, L. D.; LOPES, J. C. Frequência de germinação de sementes de crambe (*Crambe abyssinica Hochst.*) sob influência de tratamentos pré-germinativos e de temperaturas. **Nucleus**, v. 7, n. 2, p. 185-193, 2010. Disponível em: <http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2010/anais/arquivos/RE_0238_0961_01.pdf> Acesso em: 18 ago. 2016.

DONADON, J. R. et al. Armazenamento do Crambe em diferentes embalagens e ambientes: Parte II – Qualidade Química. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande – PB, v. 19, n. 3, p. 231 – 237. 2015.

DOS SANTOS; C. C. A., FRAGA, I. M. Influência do índice de acidez do óleo extraído da bacaba (*Oenocarpus distichus mart.*), na reação de transesterificação via catálise básica

para produção de biodiesel. **Revista química industrial**. Nº 742, V 1. 2014. Disponível em: <<http://www.abq.org.br/rqi/2014/742/RQI-72-pagina16-influencia-do-indice-de-acidez-do-oleo-extraido-da-bacaba.pdf>>. Acesso em: 18 ago.2016.

DUTRA, R. C. et al. Avaliação do desempenho operacional de um equipamento para descascamento de mamona da cultivar BRS Energia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 3. 2008. Salvador: Energia e Ricinoquímica: **Anais...** Salvador: CBM, 2008. 1 CD-ROM. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/277957/1/MA03.pdf> >. Acesso em: 18 ago. 2016.

FUNDAÇÃO MS. **Tecnologia e Produção**: Crambe. cap. 6: PITOL, C.; ROSCOE, R; RESENDE O. Colheita, Transporte e Armazenamento. 2010. Maracaju: Fundação MS. 60p. 2010.

GOMES JUNIOR, S. B. **Avaliação técnica e econômica da aplicação de óleo vegetal de Crambe como isolante elétrico em comparação com óleo de soja**. (Trabalho de conclusão de mestrado profissional) Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC) em parceria com o Instituto de Engenharia do Paraná (IEP). CURITIBA - 2010.

JASPER, S. P. **Cultura do crambe (*Crambe abyssinica hochst*): avaliação energética, de custo de produção e produtividade em sistema de plantio direto**. 2009. 103 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2009.

KNOTHE, G.; GERPEN, J. V.; KRAHL, J.; RAMOS, L. P. **The Biodiesel Handbook**. 2006. Disponível em: <http://sin.thecthulhu.com/library/engineering/energy/The_Biodiesel_Handbook_-_Knothe,_van_Gerpen_and_Krahl.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2016.

MACHADO, M.F.; BRASIL, A.N.; OLIVEIRA, L.S.; NUNES, D.L. **Estudo do crambe (*Crambe abyssinica*) como fonte de óleo para produção de biodiesel**. Universidade Federal de Minas Gerais. Itaúna, 2007. Disponível em: <http://www.alexbrasil.com.br/_upload/53037262f656a354be1c0d32e8ab7d9f.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2016.

MARCOS FILHO, J. **Water relations in seeds**. 2005. Disponível em: <<http://www.ag.ohio-state.edu/~seedbio/hcs631.htm>>. Acesso em: 14 abr. 2008.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: FEALQ, 2005, p. 495.

MASETTO, T. E. et al. Armazenamento de sementes de *Crambe abyssinica* Hochst. Ex. R.E.Fr. em diferentes embalagens e ambientes. **Rev. Ceres**, Viçosa, Dourados/MS, v. 60, n. 5, p.646-652, set/out. 2013 Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rceres/v60n5/07.pdf>>. Acesso em: 17 ago. 2016.

MELO, M. A. M. F. **Avaliação das Propriedades de Óleos Vegetais visando a Produção de Biodiesel**. 2010. 118p. Dissertação (Mestrado em Química). Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2010.

- MORETTO, E.; FETT, R. A. **Tecnologia de óleos e gorduras vegetais na indústria de alimentos**. São Paulo: Varela. 1998. 150p.
- NEVES, M. B. et al. Qualidade fisiológica de sementes de crambe produzidos em Mato Grosso do Sul. In: SIMPÓSIO ESTADUAL DE AGROENERGIA, 2007, Pelotas, RS. **Anais...** Pelotas, RS: EMBRAPA, 2007. p. 97-98.
- OLIVA, A. C. E. **Qualidade de sementes de crambe submetidas a métodos de secagem e períodos de armazenamento**. 2010. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Agronomia, Departamento de Engenharia Rural. Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho, Botucatu - SP, 2010.
- OLIVA, A. C. E; BIAGGIONI, M. A. M; CAVARIANI, C. Efeito Imediato do Método de Secagem na Qualidade de Sementes de Crambe. **Revista Energia na Agricultura**. Botucatu. SP, vol. 27, n.3, p.16-30, julho-setembro, 2012.
- ONOREVOLI, B. **Estudo do *Crambe abyssinica* como Fonte de Matérias Primas oleaginosas: óleo vegetal, ésteres metílicos e bio-óleo**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre –RS. 2012. Disponível em:<<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/49704/000836315.pdf?sequence=1>>Acesso em: 27 jan. 2015.
- OLIVEIRA, M. et al. Efeitos do tempo e do armazenamento refrigerado de grãos de soja sobre a qualidade do óleo. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA DE PÓS COLHEITA, 5. 2010, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu – PR. 2010.
- OLIVEIRA, M. de. **Efeitos da umidade, do tempo e de sistemas de armazenamento sobre parâmetros de qualidade e propriedades tecnológicas dos grãos e do óleo de soja**. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, Abril de 2011. Disponível em: <http://www.labgraos.com.br/manager/uploads/pesquisas/911_tese_mauricio_de_oliveira_-_2011.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2016.
- OPLINGER, E. S. et al. **Crambe: alternative field crops manual**. 2008. Disponível em: <<http://www.hort.purdue.edu/newcrop/afcm/crambe.html>>. Acesso em: 27 Jan. 2015.
- O'BRIEN, R. D. Fat an oils. In: O'BRIEN, R.D. (Ed.). **Fats and oils formulating and processing for applications**. Boca Raton: CRC Press, 2004. p.175-232.
- PIGHINELLI, A. L. M. T et al. Otimização da prensagem a frio de grãos de amendoim em prensa contínua tipo expeller. **Ciência e Tecnologia de Alimentos, SBCTA**, v. 28, p. 66-71, 2008.
- PIGHINELLI, A. L. M. T et al. Otimização da prensagem de grãos de girassol e sua caracterização. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p.63-67, 2009.
- PITOL, C. **Cultura do crambe**. FUNDAÇÃO MS: Tecnologia e produção: milho safrinha e culturas de inverno. Maracaju, MS, p. 85-88, 2008.

PLEIN, G. S. et al. Caracterização Da Fração Lipídica em Sementes de Crambe Armazenadas com e sem Casca. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 4.; SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE OLEAGINOSAS ENERGÉTICAS, 1, 2010, João Pessoa, PB. **Anais...** João Pessoa, PB, 2010. Disponível em: <<http://www.cbmamona.com.br/pdfs/OLE-17.pdf>>. Acesso em: 27 jan. 2015.

POPINIGIS, F. **Fisiologia da semente**. Brasília, DF: Agiplan, 1985. 289 p.

RUAS, R. A. A. et al. Uniformizando a germinação na cultura do crambe (*Crambe Abyssinica*). **Pesquisa agropecuária tropical**, Goiânia - GO, v. 40, n. 1, jan./mar., 2010. Disponível em: <<https://www.revistas.ufg.br/pat/article/view/6893>>. Acesso em: 15 ago. 2016.

RUPOLLO, G. et al. Efeito da umidade e do período de armazenamento hermético na contaminação natural por fungos e a produção de microtoxinas em grãos de aveia. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, n. 01, p. 118-125, 2006.

SERRA, T.M. **Desenvolvimento de catalisadores a base de estanho para produção de ésteres metílicos de ácidos graxos, via transesterificação e esterificação**. 2010,89 f. Dissertação (Programa de pós-graduação em Engenharia química) - Universidade Federal de Alagoas, 2010.

SILVA, F. A. S. E.; AZEVEDO, C. A. V. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.4, n.1, p.71-78, 2002.

SILVA, M. A. P. et al. Qualidade do óleo bruto de grãos de crambe (*Crambe Abyssinica hochst*) sob diferentes métodos de secagem. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 28, n. 3, p. 193-199, 2013a.

SILVA, M. A. P. **Efeito do sistema de secagem de crambe (*Crambe abyssinica Hochst*) na qualidade dos grãos e do óleo para produção de biodiesel**. 2013b. 50 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, 2013b. Disponível em: <<http://repositorio.unesp.br/handle/11449/90669>>. Acesso em 15 Ago. 2016.

SILVA, M. A. P et al. Influência do pericarpo no teste de condutividade elétrica em sementes de crambe (*Crambe abyssinica HOCHST*) submetidas a métodos de secagem. **Rev. Energia na Agricultura**, Botucatu, vol. 29, n.4, p.301-305, out-dez, 2014.

SILVA, M. A. P. et al . Seed quality of crambe (*Crambe abyssinica Hochst*) submitted to different drying methods. **Rev. Ciênc. Agron.**, Fortaleza , v. 47, n. 2, p. 358-365, Junho 2016 .

SINGH et al. Influence of moisture content and cooking on screw pressing of crambe seed. **Journal of the American Oil Chemists Society**, v. 79, p. 165-170, 2002.

SOUZA, A.D.V. et al. Caracterização química de sementes e tortas de pinhão-manso, nabo forrageiro e crambe. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, n.10, p.1328-1335,2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/pab/v44n10/v44n10a17.pdf> Acesso em 27 jan. 2015.

SOARES, T. A.; BIAGGIONI, M. A.; FRANÇA-NETO, J. B. Análise de acidez graxa como índice de qualidade em grãos de soja. **Energia na Agricultura**, v. 20, n. 1, p. 91-102, 2005.

SOARES, T. A. **Análise da acidez graxa como índice de qualidade em grãos de soja**. 74 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.

VIEIRA, R.D.; KRZYZANOWSKI, F.C. Teste de condutividade elétrica. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. p. 4 - 26.

VILLERS, P.; BRUIN, T.; NAVARRO, S. Safe storage of grain in the tropics: A comparison of hermetic storage in flexible silos versus rigid metal or concrete silos. Feed Technology Update. Honolulu: **Linx Publishing**, p. 17-22. 2006.

WAGNER, M. H.; DUCOURNAU, S. Conductivity testing for oilseed rapeseeds. **ISTA News Bulletin**, n. 133, Abril, 2007. Disponível em: <<http://www.seedtest.org/upload/cms/user/STI133April2007.pdf>>. Acesso em: 29 Jan. 2015.

WIESENBORN, D.; DODDAPANENI, R.; TOSTENSON, K.; KANGAS, N. Cooking Indices to predict screw-press performance for crambe seed. **Journal of the American Oil Chemists Society**, v. 78, p. 467 ã 471, 2001