

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ *campus* CASCAVEL**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E FISIOLÓGICAS DE FRUTOS DE CRAMBE**  
**CULTIVADOS COM APLICAÇÃO DE REGULADORES VEGETAIS**

NAYARA PARISOTO BOIAGO

CASCAVEL

2017

NAYARA PARISOTO BOIAGO

**CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E FISIOLÓGICAS DE FRUTOS DE CRAMBE  
CULTIVADOS COM APLICAÇÃO DE REGULADORES VEGETAIS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento aos requisitos para obtenção de título de Doutor em Engenharia Agrícola, área de concentração em Sistemas Biológicos e Agroindustriais.

Orientadora: Dra. Silvia Renata Machado Coelho.

CASCADEL

2017

NAYARA PARISOTO BOIAGO

**CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E FISIOLÓGICAS DE FRUTOS DE CRAMBE  
CULTIVADOS COM APLICAÇÃO DE REGULADORES VEGETAIS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de doutor em Engenharia Agrícola, área de concentração em Sistemas Biológicos e Agroindustriais, aprovada pela seguinte banca examinadora:

Orientadora Dra. Silvia Renata Machado Coelho  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Cascavel

Profa. Dra. Naimara Vieira do Prado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Francisco Beltrão

Profa. Dra. Clair Aparecida Viecelli  
Pontifícia Universidade Católica do Paraná – Toledo

Profa. Dra. Simone Damasceno Gomes  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Cascavel

Prof. Dr. Divair Christ  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Cascavel

Cascavel, 19 de junho de 2017.

## **BIOGRAFIA RESUMIDA**

Nayara Parisoto Boiago, natural de Cascavel, Paraná, nascida no dia 21 de novembro de 1988, formou-se com grau bacharel em Ciências Biológicas na Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), em dezembro de 2009.

Durante a graduação, como processo de iniciação científica, trabalhou no laboratório de Fisiologia Vegetal do Centro de Ciências Biológicas e da Saúde da UNIOESTE, realizando pesquisa na área de ecofisiologia vegetal, especificamente trabalhando com alelopatia de espécies arbóreas e agrícolas e com fisiologia da germinação de espécies arbóreas.

Em 2012 obteve o título de mestre em Engenharia Agrícola pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, quando trabalhou com ecofisiologia vegetal, estresse hídrico, análise de crescimento e alelopatia de crambe.

De 2013 a 2017 ingressou no curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UNIOESTE, no laboratório de Controle de Qualidade de Produtos Agrícolas, atuando em pesquisas em grãos e tortas oleaginosas e desenvolvendo metodologias de extração e qualidade físico-química de óleos e gorduras.

*“If science doesn’t move you and inspire you, then you either don’t understand science or you don’t understand yourself”*

## DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho àqueles que percorreram comigo essa jornada pessoal e científica;

Ao meu companheiro Felipe e à minha filha Iris, que me deram forças e o amor necessários para concluir mais essa etapa em minha trajetória;

À minha especial orientadora, Silvia, que sempre me inspirou por ser uma pessoa maravilhosa, exemplo de mulher, mãe e pesquisadora. Obrigada por todas as conversas que me trouxeram paz, me colocaram no caminho certo. Por sempre me aconselhar da melhor forma possível e trazer à tona o que melhor havia em mim. Nunca saí de sua sala desestimulada, cansada ou desnorteada, mas sempre animada, com vontade de continuar, querendo fazer o meu melhor, com as respostas para todas as inquietudes que nos perseguem nesse caminho solitário da carreira acadêmica! És uma verdadeira líder e seus frutos refletem o amor que dedicas a sua carreira. Sempre sentirei falta de começar as tardes de trabalho passando em sua sala para ouvir seu “tarrde”, bem mineirinho;

Agradeço também ao meu companheiro de laboratório que dividiu comigo praticamente todos os projetos, Carlos Paz. Fiz de ti meu aprendiz e espero que pelo menos um pouco de conhecimento tenha conseguido lhe passar. Obrigada por toda a ajuda e a parceria;

Agradeço também aos estagiários e demais membros do laboratório que contribuíram de alguma forma com essa pesquisa, principalmente nas árduas colheitas, Giovana Scalcon, Vanessa Cassol, Leonardo Rota, Flávia Cassol, Tábata Zingano, Vanderléia Schoeninger e Felipe Samways;

Agradeço também à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por conceder a bolsa de estudos de Doutorado que me permitiu dedicação exclusiva a essa pesquisa;

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e sua equipe, Vera e Jefferson, à Comissão de Bolsas e Colegiado, aos quais compus como representante discente, por toda a experiência;

Agradeço à Fazenda Escola do Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz, na pessoa de Helmuth, que gentilmente cedeu uma parte da sua área de cultivo de crambe para que fosse implantado este experimento.

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	iii
LISTA DE FIGURAS.....	iv
RESUMO GERAL.....	v
GENERAL ABSTRACT.....	vi
1 INTRODUÇÃO.....	7
2. OBJETIVOS.....	9
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	10
3.1 Importância das culturas oleaginosas.....	10
3.2 <i>Crambe abyssinica</i> Hochst Ex R.E. Fries.....	12
3.2.1 Contextualização.....	12
3.2.2 Características agronômicas da planta e grãos.....	13
3.2.3 Propriedades físico-químicas do grão e óleo.....	15
3.3 Reguladores vegetais.....	18
3.4 Qualidade de grãos e sementes.....	20
3.4.1 Qualidade físico-química de grãos.....	20
3.4.2 Qualidade fisiológica de sementes.....	21
4. REFERÊNCIAS.....	24
5. ARTIGOS.....	32
5.1 ARTIGO 1 - ALTERAÇÕES QUÍMICAS DURANTE O ARMAZENAMENTO DE CRAMBE CULTIVADO COM APLICAÇÃO DE REGULADORES VEGETAIS.....	32
5.1.1 INTRODUÇÃO.....	33
5.1.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	35
5.1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
5.1.4 CONCLUSÃO.....	47
5.1.5 AGRADECIMENTOS.....	47
5.1.6 REFERÊNCIAS.....	47
5.2 ARTIGO 2 - EFEITO DA APLICAÇÃO FOLIAR DE REGULADORES VEGETAIS NA QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE CRAMBE.....	54
5.2.1 INTRODUÇÃO.....	55
5.2.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	57
5.2.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	59
5.2.4 CONCLUSÃO.....	63
5.2.5 AGRADECIMENTOS.....	64
5.2.6 REFERÊNCIAS.....	64
6 APÊNDICES.....	69

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Composição química (% de matéria seca) e rendimento de extração do óleo de sementes de crambe .....	15
Tabela 2 Características físicas e químicas, estado oxidativo e suscetibilidade à degradação de óleo de semente de <i>Crambe abyssinica</i> Hochst. ....	16
Tabela 3 Composição de ácidos graxos do óleo de crambe. ....	17
Tabela 4 Média de umidade relativa (UR) e valores de precipitação acumulada referentes aos períodos de produção de crambe da safra (S1) de 20 de abril a 30 de agosto de 2014 e da safra (S2) de 01 de abril a 5 de setembro de 2015. ....	39
Tabela 5 Médias de temperatura máxima (máx), mínima (mín), média e umidade relativa referentes aos períodos de armazenamento (A1) de 01 setembro de 2014 a 15 de março de 2015 e armazenamento (A2) de 06 de setembro de 2015 a 20 de março de 2016. ....	40
Tabela 6 Valor de f e p da análise de variância para teor de água, lipídios em extração a quente (EQ), lipídios em extração a frio (EF), proteína, atividade antioxidante (AA) e teor de acidez para os fatores principais e interações entre safra (S), tempo de armazenamento (A) e aplicação de reguladores vegetais (RV).....	40
Tabela 7 Média do teor de lipídios por extração a frio (EF) e teor de proteína de grãos de crambe para a interação entre tempo de armazenamento (A) e produzidos com aplicação de reguladores vegetais (RV). ....	41
Tabela 8 Média do teor de água, teor de lipídios por extração a quente (EQ), acidez e atividade antioxidante e teor de acidez de grãos de crambe para a interação entre safra (S), tempo de armazenamento (A) e aplicação de reguladores vegetais (RV). ....	43
Tabela 9 Médias gerais de teor de água, proteína, lipídios por extração a quente (EQ), lipídios por extração a frio (EF), atividade antioxidante (AA) e teor de acidez de grãos de crambe produzidos com aplicação de reguladores vegetais. ....	46
Tabela 10 Média de umidade relativa (UR) e valores de precipitação acumulada referentes aos períodos de produção de crambe da safra (S1) de 20 de abril a 30 de agosto de 2014 e da safra (S2) de 01 de abril a 5 de setembro de 2015. ....	59
Tabela 11 Valor de f e p da análise de variância para porcentagem de germinação (G, %), índice de velocidade de germinação (IVG; sementes/dia), condutividade elétrica (C.E.; mS cm <sup>-1</sup> g <sup>-1</sup> ), teor de umidade (U; %), concentração (µg mL <sup>-1</sup> ) de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e potássio (K) para os tratamentos com reguladores vegetais.....	60
Tabela 12 Valores médios de porcentagem de germinação (G, %), índice de velocidade de germinação (IVG; sementes/dia), condutividade elétrica (C.E.; mS cm <sup>-1</sup> g <sup>-1</sup> ), teor de umidade (U; %), concentração (µg mL <sup>-1</sup> ) de íons cálcio (Ca), magnésio (Mg) e potássio (K) lixiviados de sementes de crambe produzidas com reguladores vegetais.....	60

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Posições nas cadeias graxas mais propensas à oxidação. ....	11
Figura 2 Plantas de crambe. (a) Folha, (b) plantas em estágio vegetativo e (c) plantas em florescimento.....	13
Figura 3 Ciclo do cultivo de plantas de crambe. ....	14
Figura 4 Dendrograma de agrupamento das características físico-químicas de acordo com a distância euclidiana. AA - atividade antioxidante; EF - lipídios por extração a frio; EQ - lipídios por extração a quente.....	46

# CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E FISIOLÓGICAS DE FRUTOS DE CRAMBE CULTIVADOS COM APLICAÇÃO DE REGULADORES VEGETAIS

## RESUMO GERAL

Os reguladores vegetais (RV) podem agir nas culturas agrícolas melhorando seu desenvolvimento vegetal e, conseqüentemente, a qualidade dos grãos/sementes produzidos. Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da aplicação foliar de RV na qualidade de frutos de crambe cultivados em 2014 e 2015. Quando as plantas de crambe estavam em transição do estágio vegetativo para floração, realizou-se duas aplicações espaçadas por 15 dias de ácido indol-3-acético 100 mg L<sup>-1</sup> (AIA), ácido 3-giberélico P.A. 100 mg L<sup>-1</sup> (GA<sub>3</sub>); regulador vegetal comercial Stimulate<sup>®</sup> 6 mL L<sup>-1</sup> e um tratamento controle com aplicação de água destilada. Os frutos produzidos pelas plantas tratadas foram colhidos e separados para demais análises. Para as análises de qualidade química na pós-colheita, os grãos referentes a cada tratamento com reguladores foram armazenados em condições ambientes por 180 dias e os parâmetros avaliados no início e no final do armazenamento. Os teores de água, lipídios por extração a quente (EQ), lipídios por extração a frio (EF), proteína, acidez e atividade antioxidante (AA) dos grãos foram determinados, e as diferenças significativas entre as médias na ANOVA trifatorial (safra x RV x armazenamento) foram comparadas pelo teste Tukey (p<0,05). Uma análise de agrupamento também foi realizada para identificar as similaridades entre os parâmetros químicos estudados. Na etapa experimental, que diz respeito à qualidade fisiológica de crambe, as sementes produzidas com RV foram analisadas no teste de porcentagem e índice de velocidade de germinação (IVG), teor de umidade, condutividade elétrica (CE) e quantificação de K, Ca e Mg lixiviados. Os tratamentos foram comparados entre si pelo teste Tukey e com o controle pelo teste Dunnett (p<0,05). Os grãos armazenados por 180 dias apresentaram menor teor de lipídeos EF e EQ. Entretanto, perante a aplicação de RV, o teor de lipídeos e a AA não se alterou com a armazenagem, e a acidez nos grãos reduziu. Houve diferença entre as safras no que diz respeito ao desempenho de cada RV. Em 2014, a aplicação de AIA promoveu resultados vantajosos em relação à qualidade dos grãos, enquanto que em 2015 destaca-se GA<sub>3</sub> e o Stimulate<sup>®</sup>. A aplicação de reguladores também influenciou a qualidade fisiológica de sementes de crambe. Perante aplicação de Stimulate<sup>®</sup> houve aumento da porcentagem de germinação e do IVG, já o AIA reduziu a germinação, o IVG e aumentou a CE das sementes. As sementes produzidas com aplicação de AIA apresentaram menor lixiviação de Ca e todos os reguladores aplicados reduziram a lixiviação de K de sementes de crambe. Conclui-se que a aplicação de RV culmina em efeitos na qualidade do crambe e pode ser utilizada como técnica de manejo a fim melhorar a qualidade pós-colheita dessa cultura.

**Palavras-chave:** *Crambe abyssinica* Hochst Ex R.E. Fries, oleaginosas, vigor de sementes, qualidade química de grãos, pós-colheita.

# CHEMICAL AND PHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF CRAMBE FRUITS CULTIVATED WITH PLANT GROWTH REGULATORS

## GENERAL ABSTRACT

Plant growth regulators (PGRs) can be applied in agricultural crops improving their development and, consequently, improves the quality of grains and seeds produced. This work aimed to evaluate the effect of foliar application of PGRs on crambe fruits quality grown in 2014 and 2015 harvests. When crambe plants were in transition from vegetative stage to flowering, indole-3-acetic 100 mg L<sup>-1</sup> (IAA), 3-gibberellic acid P.A. 100 mg L<sup>-1</sup> (GA<sub>3</sub>); commercial PGR Stimulate<sup>®</sup> 6 mL L<sup>-1</sup> and a control treatment with distilled water were applied in two 15-day intervals. Fruits produced by treated plants were harvested and prepared for further analyzes. For the post-harvest chemical quality analyzes, grains of each treatment with PGRs were stored at ambient conditions for 180 days and the parameters were analyzed at the beginning and at the end of storage. Water content, lipids by cold extraction (CE), lipids by heated extraction (HE), protein, acidity and antioxidant activity (AA) of crambe grains were determined and the significant difference between averages in three-way ANOVA (harvest year x PGR x storage) were compared by the Tukey test (p<0.05). A cluster analyzes was also performed to identify similarities between the chemical parameters studied. In the experimental stage regarding the physiological quality of crambe, seeds produced with PGR were analyzed by their percentage and germination speed index (GSI), moisture content, electrical conductivity (EC) and quantification of K, Ca and Mg leached. Treatments were compared with each other Tukey test and with control by Dunnett test (p<0,05). Grains stored for 180 days showed lower lipid CE and HE content. However, under the application of PGR, lipids content and AA did not change with storage, and grains acidity reduced. There was difference in each PGR effects between the harvests studied. In 2014, the application of IAA promoted improved results regarding grains quality, while in 2015, GA<sub>3</sub> and Stimulate<sup>®</sup> stood out. PGR application also influenced the physiological quality of crambe seeds. The application of Stimulate<sup>®</sup> increased germination percentage and GSI, while IAA reduced germination, GSI and increased EC of crambe seeds. Seeds produced with IAA showed lower leaching of Ca and all the applied PGR reduced K leaching of crambe seeds. It is concluded that the foliar application of PGR culminates in effects on crambe quality and may be used as a management technique in order to improve post harvest quality of this crop.

**Palavras-chave:** *Crambe abyssinica* Hochst Ex R.E. Fries, oilseeds, seeds vigor, grain chemical quality, post haverst.

## 1 INTRODUÇÃO

O óleo vegetal é um produto visado industrialmente pela indústria de geração de energia, como importante fonte de alimento e na indústria de plásticos, lubrificantes, entre outros. O Brasil encontra-se em grande vantagem para a produção de oleaginosas devido à sua vasta extensão e suas características edafoclimáticas que impelem ao país a oportunidade de desenvolvimento tecnológico e a busca por matéria prima com maior valor energético.

Nesse contexto se insere o crambe (*Crambe abyssinica* Hochst Ex R.E. Fries), uma cultura oleaginosa da família Brassicaceae que apresenta características interessantes, como boa adaptabilidade climática, resistência à seca, baixo custo de produção e produção mecanizada. Seu ciclo de desenvolvimento é curto (cerca de 90 dias) e o cultivo é adequado no inverno ou ainda na primavera.

O grão de crambe apresenta alta porcentagem de lipídeos em sua composição, cerca de 40% de óleo. No perfil de ácidos graxos do crambe observa-se alta concentração de ácidos graxos insaturados, o que minimiza etapas no tratamento da matéria-prima para produção de biodiesel. Da composição total do óleo, 65% corresponde a ácido erúico.

O crambe ainda é considerado uma cultura rústica, sendo que pesquisas e tecnologias para o cultivo e a qualidade pós-colheita de seus produtos ainda são necessárias. Ademais, as viabilidades técnica e econômica para obtenção e produção de óleo em escala suficiente para a matriz energética do biodiesel dependerá de técnicas de manejo e armazenamento adequados que proverão propriedades de qualidade de seus grãos/sementes.

A qualidade de produtos agrícolas, como os grãos e sementes, é preferida quando esses ainda se encontram ligados à planta-mãe. Variáveis de cultivo, características de manejo e fatores agrônômicos influenciam diretamente tanto na constituição físico-química dos grãos, quanto na qualidade fisiológica de sementes.

O conjunto de características herdadas e procedimentos adequados a serem tomados a fim de retardar a deterioração dos produtos resultará na preservação de sua qualidade fisiológica e na pós-colheita. Produtos com alto teor de lipídeos, como o crambe, estão sujeitos a uma deterioração mais acelerada, dificultando seu armazenamento por períodos prolongados. Isso se deve, principalmente, ao processo oxidegradativo ao qual estão sujeitos os óleos e as gorduras.

Os reguladores vegetais são aliados eficientes na tentativa de usar ao máximo o potencial produtivo das plantas e buscando produtos de melhor qualidade. Essas substâncias são sintéticas e análogas aos hormônios vegetais orgânicos produzidos pelas plantas e que,

quando aplicadas, têm como efeito induzir, inibir ou modificar os seus processos morfofisiológicos de crescimento e desenvolvimento.

Em culturas agrícolas, eles são capazes de influenciar em parâmetros como peso de mil sementes, aumento de acúmulo de biomassa seca, maior produtividade e maior qualidade dos grãos. Isso ocorre porque substâncias como auxinas, giberelinas e citocininas agem como promotoras de crescimento por estarem envolvidas em processos como divisão e alongamento celular, crescimento meristemático, florescimento, frutificação e formação de sementes.

Assim, visto que os reguladores vegetais têm a capacidade de manejar o metabolismo vegetal e induzir alterações fisiológicas que beneficiam o desenvolvimento vegetativo das plantas, esses podem ser utilizados como uma forma de manejo rápida e eficiente para atenuar as dificuldades existentes atualmente na produção da cultura do crambe, que é pouco explorada e ainda carece de estudos no campo de melhoramento vegetal.

## **2. OBJETIVOS**

Elucidar o efeito da aplicação foliar de reguladores vegetais durante a produção de crambe e possíveis efeitos nos frutos de crambe enquanto grãos, analisando suas características químicas e a relação com o armazenamento e, também, como sementes, avaliando a qualidade fisiológica destes.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Importância das culturas oleaginosas

A utilização de lipídeos como material de reserva é vantajosa para a semente, pois a energia armazenada nessa forma chega a ser duas vezes maior do que em proteínas e carboidratos (GRAHAM, 2008). Já na utilização para o ser humano, a extração do óleo vegetal é historicamente muito importante, visto que, inicialmente, era empregado como combustível de lamparinas, fins alimentares e como lubrificante (OLIVEIRA, 2003).

No início da utilização industrial do óleo vegetal, seu potencial energético era desconhecido e inexplorado. Já nos anos 30 e 40, os óleos vegetais foram usados como combustível alternativo ao diesel (SATYANARAYANA; MURALEEDHARAN, 2011). Atualmente, os mercados nos quais o óleo vegetal se faz útil incluem uma variedade de produtos, tais como lubrificantes, surfactantes, sabão, detergentes, solventes, tintas e cosméticos (CARLSSON, 2009).

Culturas energéticas podem fornecer matéria-prima para a energia a ser usada no transporte (1ª e 2ª gerações de combustíveis), eletricidade e aquecimento (ZEGADALIZARARU; MONTI, 2010). Em determinação à promoção do uso de energias de fontes renováveis, a União Europeia determinou que até o ano de 2020 no mínimo 10% da energia utilizada na Europa seja gerada a partir de biocombustíveis.

Isso significa que cerca de 17,5 milhões de hectares são dedicados à produção de culturas para a obtenção de óleos vegetais (AGRI G-2/WM, 2007). Assim, o óleo vegetal é considerado uma alternativa atrativa econômica e ambientalmente necessária (WESELAKE et al., 2008; ZUNIGA et al., 2011).

Segundo a Agência de Vigilância Sanitária – ANVISA (2013), os óleos vegetais são constituídos de glicerídeos de ácidos graxos, podendo conter também fosfolipídios, constituintes insaponificáveis e ácidos graxos livres. As cadeias de ácido graxo são quimicamente muito semelhantes aos hidrocarbonetos alifáticos do petróleo (DURRETT et al., 2008).

Os ácidos graxos diferem entre si a partir de três características: o tamanho de sua cadeia hidrocarbônica, o número de insaturações e a presença de agrupamentos químicos (POLEDNA, 2005). Quanto à composição, os ácidos graxos mais abundantes geralmente são o ácido palmítico (16:0), esteárico (18:0), oleico (18:1) e linoleico (18:2) (VOELKER; KINNEY, 2001).

Os óleos obtidos a partir de diferentes fontes vegetais apresentam componentes específicos de interesse. Por exemplo, como disposto pela North Central Regional Plant

Introduction Station – URSD-NRCS (2013), o gênero *Camelina* oferece óleo com alta concentração de ácido linoleico e ácidos graxos ômega-3; o óleo do gênero *Limnanthes* apresenta ácidos graxos de cadeia longa (C20 e C22) e o gênero *Crambe* possui elevado teor de ácido erúcido.

Em relação às propriedades, as variações nas cadeias insaturadas e saturadas dos ácidos graxos resultam em diferenças no ponto de fusão, peso específico, viscosidade, solubilidade, reatividade química e estabilidade térmica e oxidativa (ARAÚJO et al., 2005).

Esses parâmetros influenciam no engajamento do óleo no mercado do biodiesel, por exemplo. Quanto menor o número de insaturações nas moléculas de ácido graxo, maior o número de cetano do combustível, ocasionando uma melhor qualidade à combustão (BELTRÃO; OLIVEIRA, 2008).

Ainda, a presença de compostos insaturados nos óleos torna-os mais suscetíveis aos processos de degradação oxidativa (auto oxidação e fotoxidação). Óleos que apresentam maiores proporções variáveis de ácidos oleico, linoleico e linolênico (18:3) são mais propensos a processos oxidativos (KNOTHE et al., 2006). As posições das cadeias graxas mais propensas à oxidação são demonstradas na Figura 1, segundo Dantas (2006).

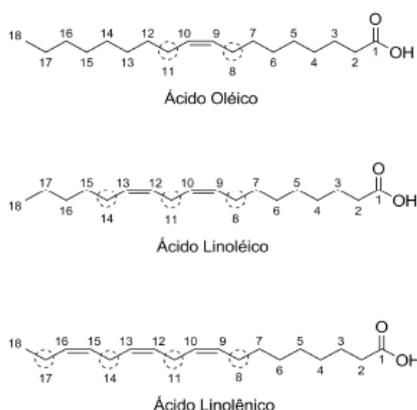


Figura 1 Posições nas cadeias graxas mais propensas à oxidação.  
Fonte: Dantas (2006).

Atualmente, segundo Soarez et al. (2009), a viabilidade técnica e econômica para obtenção e produção de óleo em escala suficiente para a demanda da indústria é um dos aspectos que devem ser atendidos. As propriedades físico-químicas e a reatividade das misturas de ácidos graxos e demais compostos no óleo vegetal refletirão diretamente na qualidade do produto final (ALBUQUERQUE et al., 2008).

Ainda é necessário atingir um nível máximo em eficiência na produtividade e na qualidade do óleo das culturas energéticas. Iniciou-se então a busca por espécies oleaginosas promissoras como matéria prima de produção de biodiesel. A comunidade científica

classificou as espécies com maior potencial de produção e o crambe manteve-se em evidência (MOSEER et al., 2009; CRUZ; DIERIG, 2012).

### **3.2 *Crambe abyssinica* Hochst Ex R.E. Fries**

#### 3.2.1 Contextualização

Enquanto alguns países sofrem com o dilema entre dedicar áreas de cultivo para produzir insumos destinados à indústria do biodiesel ou para produção de alimentos, o Brasil encontra-se em situação confortável devido a sua vasta extensão e características edafoclimáticas, podendo firmar-se como líder mundial na produção de combustíveis (SUAREZ et al., 2009). Esse cenário impele o desenvolvimento tecnológico e a busca por matéria prima com maior valor energético.

Do total de energia de fontes primária consumida no Brasil, 39% é obtida de óleos e outros tipos de líquidos. A produção vegetal brasileira para fins de produção de biodiesel encontra-se sustentada por culturas anuais, principalmente de ciclo primavera/verão, faltando alternativas para o outono/inverno que permitiriam a continuidade da produção de biodiesel ao longo do ano, possibilitando também a rotação de culturas (EMBRAPA SOJA, 2004; JASPER et al., 2012).

Nesse contexto, o cultivo do crambe desperta grande interesse dos produtores de soja, pois além de seu cultivo ser totalmente mecanizado, apresenta baixo custo de produção e é uma cultura alternativa para plantar entre a safrinha e a safra de verão (PITOL, 2008).

Por outro lado, a espécie ainda não se tornou uma cultura agrícola estabelecida, estando em desenvolvimento. Estações experimentais da Fundação Mato Grosso do Sul (PITOL et al., 2010) da EMATER/Paraná e do Instituto Agrônomo do Paraná acompanham a semeadura e coletam dados para a pesquisa sobre a cultura (VEDANA, 2011).

Encontra-se recentemente na literatura estudos quanto à adaptabilidade climática do crambe (ROSCOE; PITOL; BROCH, 2010), formas de manejo e cultivo (NEVES et al., 2007; RUAS et al., 2010), fertilização (ROGÉRIO et al., 2013; SANTOS et al., 2013) e características fisiológicas de suas sementes. Entretanto, outros aspectos fisiológicos do cultivo do crambe ainda são inexplorados, como a aplicação de reguladores vegetais e seu efeito na produção.

Assim, o estudo das respostas fisiológicas do crambe em função da aplicação de reguladores vegetais auxiliará na definição de concentrações adequadas e padronizadas que aumentem a produtividade sem afetar a qualidade físico-química do óleo obtido de seus grãos.

### 3.2.2 Características agronômicas da planta e grãos

O crambe é uma cultura oleaginosa de origem mediterrânea, pertencente à família das crucíferas e demonstra boa adaptação em diferentes condições climáticas (SOUZA et al., 2009), com bom desenvolvimento em várias regiões do mundo, como, por exemplo, Estados Unidos, China, Austrália, Argentina e África do Sul (PITOL et al., 2010). Seu cultivo iniciou-se em 1933, na estação Botânica Borones na antiga União Soviética (WEISS, 2000).

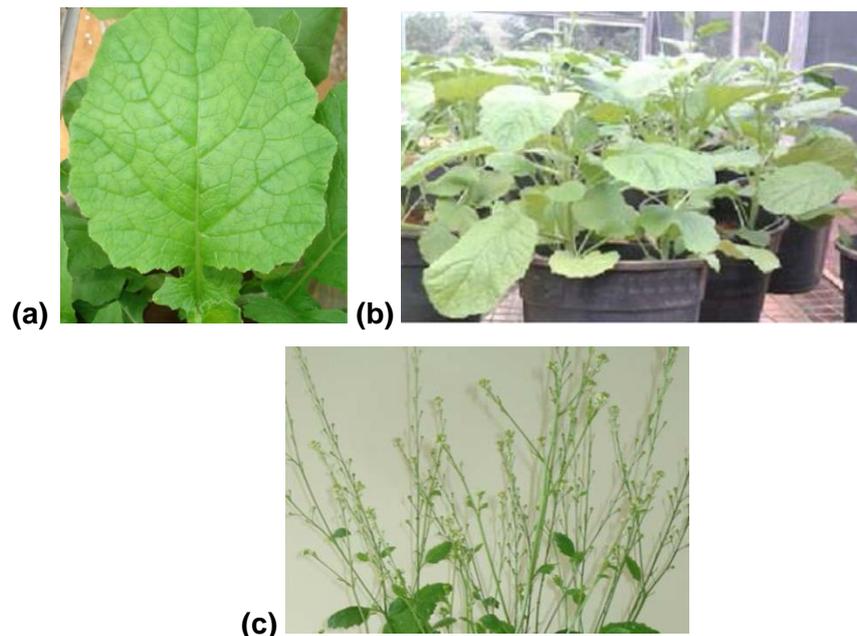


Figura 2 Plantas de crambe; (a) Folha, (b) plantas em estágio vegetativo e (c) plantas em florescimento. Fonte: Colodetti et al. (2012)

No Brasil, há apenas uma variedade registrada e seu cultivo iniciou-se em 1995 no estado do Mato Grosso do Sul, quando o único aspecto explorado da cultura eram os fins de cobertura vegetal, e recentemente no Paraná, o que mostra quão restrita é sua pesquisa no país. Assim, são necessárias informações que auxiliem seu desenvolvimento produtivo (PILAU et al., 2011).

As plantas de crambe possuem folhas grandes e largas, porte ereto e uma altura média de 0,60 a 0,90 m (Figura 2) e um sistema radicular pivotante e profundo, relacionando-se com alta tolerância ao estresse hídrico e conferindo-lhes rusticidade em ambientes de clima árido e solo com poucos nutrientes (COLODETTI et al., 2012).

As flores são pequenas, brancas e numerosas, distribuídas em um longo racemo. As sementes encontram-se em pequenas cápsulas de coloração marrom que têm cerca de 5 centímetros (PITOL, 2008). São do tipo cariopse, contendo significativa porcentagem de óleo

em proporção à sua massa seca, sendo a produtividade em óleo cerca de 1 t ha<sup>-1</sup> (CARLSSON et al., 2007).

O crambe apresenta precocidade no seu ciclo de produção, em torno de 90 dias da sementeira até a colheita, como ilustrado na Figura 3. Até o 10º dia após a sementeira, as plântulas emergem, seguido de seu desenvolvimento inicial, que leva mais 10 dias para ocorrer. Posteriormente, o crescimento vegetativo se dá por 15 dias, quando se inicia a floração (do 35º ao 70º dia). Assim, a granação pode iniciar a partir do 50º dia e a maturação fisiológica das sementes ocorre por volta dos 80 dias, com a colheita no 90º dia de cultivo (ROSCOE et al., 2010).



Figura 3 Esquema do ciclo de cultivo de plantas de crambe baseado em 90 dias. Fonte: Google Imagens.

É uma cultura de estação amena, que melhor se adapta em regiões com dias quentes (21 a 32 °C), noites frias (10 a 15 °C) e baixa umidade (GLASER, 1996). Na Europa é cultivado como cultura de primavera, assim como a canola, ou como cultura de inverno no clima mediterrâneo (CARLSSON et al., 2007).

Nas condições climáticas brasileiras comporta-se como uma cultura de outono/inverno (NEVES et al., 2007; RUAS et al., 2010). Não há necessidade de irrigação adicional, pois a pluviosidade anual geralmente é o suficiente para o desenvolvimento da cultura. O crambe suporta uma precipitação anual de 350 a 1200 mm (CARLSSON et al., 2007).

Em relação às condições de solo para cultivo, o crambe é sensível a solos ácidos e indica-se, durante a sementeira, um pH entre 5,8 e 7,5. Quanto à demanda nutricional, apesar de não haver indicações bem estabelecidas, sugere-se de 50 a 80 kg de nitrogênio, 50 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 40 kg de K<sub>2</sub>O por hectare (AGROPRECISA, 2008).

Considera-se que o crambe ofereça um sistema agrícola altamente sustentável. A análise energética do cultivo do crambe em sistema de plantio direto apontou que para cada unidade calórica aplicada na produção de crambe, o retorno foi de 8,98 unidades, atingindo energia cultural superior a 37 mil MJ ha<sup>-1</sup> (JASPER et al., 2010). Em sistema de plantio direto, o custo de condução e implantação do crambe por hectare foi de R\$ 830,39 em 2010, sendo o menor custo entre demais culturas de oleaginosas (JASPER et al., 2012).

O crambe também se destaca por seu potencial produtivo de cultivo. Espera-se uma produtividade de 1000 e 1500 kg ha<sup>-1</sup> de sementes, resultando em aproximadamente 570 kg de óleo (PITOL, 2008).

É recomendada a rotação de cultura no cultivo de crambe para evitar a infestação de doenças, insetos e plantas indesejadas. Nesse sentido, também é aconselhável evitar a sucessão de cultivo do crambe ou o cultivo subsequente de culturas como mostarda e canola.

O crambe deve ser cultivado juntamente de pequenos grãos, como milho ou legumes. Essas opções de culturas proporcionam uma pausa em ciclos de pragas e proporcionam condições de solo de modo a facilitar seu preparo para a produção de crambe (ENDRES; SCHATZ, 2013).

### 3.2.3 Propriedades físico-químicas do grão e óleo

A composição química do grão de crambe é uma das principais vantagens econômicas dessa cultura e está apresentada na Tabela 1, segundo determinações realizadas por Souza et al. (2009).

Tabela 1 Composição química (% de matéria seca) e rendimento de extração do óleo de sementes de crambe

COMPOSIÇÃO	%
Matéria Seca (g)	91,61
Lipídeos	44,10
Proteína bruta	21,30
Cinzas	5,08
Glicose	1,32
Sacarose	1,83
Amido	14,75
Fibra alimentar	13,32
Rendimento de extração do óleo	78,95

Fonte: Souza et al. (2009).

Um estudo realizado por Lalas et al. (2012) apresentou a caracterização das propriedades físico-químicas do óleo de crambe. As informações obtidas estão apresentadas na Tabela 2. O conteúdo de óleo total obtido de 30% corresponde à taxa de variação, que seria de 25-40% (GURR et al., 1974; ALLEN; MARVIN, 1982).

Tabela 2 Características físicas e químicas, estado oxidativo e suscetibilidade à degradação de óleo de semente de *Crambe abyssinica* Hochst Ex R.E. Fries

Características Físicas	
Conteúdo de óleo (%)	30,00
Densidade a 25 °C (mg ml <sup>-1</sup> )	0,900
Índice de Refração (40 °C)	14646
Cor (L x a x b)	67,80-1,20, 20,0
Ponto de Fumaça (°C)	222
Viscosidade (mPA s)	175
Características Químicas	
Acidez (% de ác. Erúcico)	0,97
Saponificação (mg de KOH g <sup>-1</sup> de óleo)	175,52
Iodo (g de I 100 g <sup>-1</sup> de óleo)	88,67
Conteúdo de Tocoferol	
α-Tocoferol (mg kg <sup>-1</sup> de óleo)	7,67
γ-Tocoferol (mg kg <sup>-1</sup> de óleo)	125,04
δ-Tocoferol (mg kg <sup>-1</sup> de óleo)	3,99
Estado Oxidativo	
Valor de Peróxido (meq O <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup> de óleo)	0,806
Suscetibilidade à Oxidação (Método Rancimat a 110 °C e 20 1 h <sup>-1</sup> )	
Óleo de Crambe	8,83
Óleo Virgem de Oliva	7,22

Fonte: Lalas et al. (2012)

Segundo Lalas et al. (2012), o óleo apresentou ponto de fumaça a 222 °C, o que sugere alta estabilidade à queima e a viscosidade até altas temperaturas. O conteúdo de tocoferol, um antioxidante, é alto no óleo de crambe, o que indica controle do processo oxidativo.

Outra característica importante para a aceitabilidade do óleo vegetal é a sua acidez. O excesso de ácidos graxos livres pode levar a reações de saponificação, o que compete com a reação de transesterificação durante a produção de biodiesel. Na reação que ocorre na presença de hidróxidos (catálise básica), o óleo de acidez igual ou inferior a 1,0 mg KOH g<sup>-1</sup>, como o apresentado pelo crambe, descarta a necessidade da etapa de neutralização, minimizando as etapas de tratamento da matéria-prima (MELO, 2010).

Quanto ao perfil de composição de ácidos graxos do óleo, diversas fontes bibliográficas apontam e delimitam variações em seu conteúdo (Tabela 3). Segundo a literatura mais atual (LALAS et al., 2012) 95,3% do total de ácidos graxos correspondem à ácidos graxos insaturados, sendo 63,77% de ácido erúcico, seguido por ácido oleico (15,07%) e linoleico (13,16%). Esses resultados corroboram os apresentados por Fonseca et al. (2011) e Singh; Singh (2010) e sugerem que o óleo de crambe seja suscetível à oxidação, por possuir alta concentração de ácidos graxos insaturados.

Tabela 3 Composição de ácidos graxos do óleo de crambe

PERFIL DE ÁCIDOS GRAXOS (%)				
ÁCIDO	SÍMBOLO	Singh; Singh (2010)	Fonseca et al. (2011)	Lalas et al. (2012)
Palmítico	C16:0	2,0	2,0	0,9
Esteárico	C18:0	1,0	0,9	0,5
Oléico	C18:1	19,0	19,0	15,1
Linoléico	C18:2	9,0	8,8	13,2
Linolênico	C18:3	-	4,7	-
Araquídico	C20:0	2,0	0,9	0,6
Gadoléico	C20:1	1,0	3,6	2,4
Behênico	C22:0	1,0	2,1	2,1
Erúcido	C11:1	59,0	57,2	63,8
Lignocérico	C24:0	1,0	0,8	0,4
Nervônico	C24:1	-	0,1	1,0

O ácido erúcido é o principal composto do óleo de crambe e caracteriza-o como não-comestível (Li et al., 2011), mas apresenta uso potencial na indústria. Esse ácido graxo origina dois produtos primários: o ácido brassílico e ácido pelargônico (LAZZERI et al., 1994). O ácido brassílico é utilizado na produção de poliéster, plástico, lubrificantes, agentes de superfície ativos, novos tipos de nylon, entre outros (CORNELIUS; SIMMONS, 1969; VARGAS-LOPEZ et al., 1999). Já o ácido pelargônico utiliza-se na produção de plastificantes, resinas alquímicas, vinil, estabilizadores, produtos farmacêuticos e aromas sintéticos (CORNELIUS; SIMMONS, 1969).

Atualmente, o óleo que provém da canola é a maior fonte para obtenção do ácido erúcido; porém, a disponibilidade da canola não atende à demanda, permitindo e viabilizando a produção do crambe (FAVARO et al., 2010). Além disso, pesquisas na área de biotecnologia desenvolvem, atualmente, cultivares transgênicas de *Crambe abyssinica* que produzem grãos com maior porcentagem de ácido erúcido (LI et al., 2012).

Baker et al. (1974) exploraram a degradação dos lipídeos de grãos de crambe sem pericarpo e com pericarpo em diferentes temperaturas durante estocagem. Observou-se a formação de ácidos graxos livres, proporcionalmente ao aumento da temperatura, variando de acordo com período de estocagem, e sendo mais expressiva nos grãos armazenados sem pericarpo. Porém, há poucas informações científicas das alterações sofridas no conteúdo lipídico durante a armazenagem dos grãos de crambe.

Poucos estudos foram realizados quanto à qualidade fisiológica dos grãos de crambe após a colheita e durante o armazenamento (TOLEDO et al., 2011). Alguns estudos analisaram a qualidade fisiológica das sementes de crambe em função da cinética de secagem (FARIA et al., 2012; COSTA et al., 2012a), outros visam padronizar testes de viabilidade para analisar a qualidade fisiológica das sementes (SANTOS; ROSSETTO, 2013).

Costa et al. (2012b) avaliaram diferentes ambientes de armazenamento por 12 meses para o fruto do crambe e concluíram que a câmara climatizada com ar condicionado conservou melhor a qualidade fisiológica dos frutos de crambe em relação à condição ambiente.

Bezerra et al. (2015) estudaram diferentes condições de armazenamento de grãos em silo, bolsa e sacaria e seu efeito na qualidade do grão e do óleo de crambe. Esses autores indicam o uso de embalagem hermética por manter a qualidade dos grãos e do óleo nas condições de armazenamento estudadas. Apontam que 12 meses de armazenamento e ambiente de câmara climatizada levou à deterioração indicada por todos os quesitos avaliados por eles.

Donadon et al. (2015) avaliaram diferentes embalagens e ambientes ao longo do tempo de armazenamento de crambe e reportaram que os teores de proteína bruta e de óleo diminuíram ao longo do armazenamento e o índice de acidez não sofreu variação. Além disso, o uso de diferentes embalagens pode auxiliar na manutenção de alguns parâmetros de qualidade nos grãos de crambe, como o índice de peróxido e o teor de proteína.

Em continuidade a esse experimento, Bessa et al. (2015) analisaram o efeito dos mesmos fatores sobre a qualidade fisiológica de crambe e evidenciaram que o ambiente natural e a embalagem PET foram os que melhor mantiveram a qualidade fisiológica das sementes por 6 meses de armazenamento. O ambiente natural preservou o vigor e promoveu superação de dormência logo no 3º mês de armazenamento.

### **3.3 Reguladores vegetais**

É importante aumentar a produtividade e o conteúdo de óleo das sementes; porém, o processo de formação das sementes é altamente variável e depende de variáveis de cultivo, fatores ambientais e fatores agronômicos, assim como a interação entre eles (ZHANG et al., 2012). Ainda, a viabilidade industrial de cada oleaginosa dependerá de aspectos como produtividade por unidade de área, características de manejo, sazonalidade, teor e qualidade do óleo (RAMOS, 2003).

Durante a formação e enchimento dos grãos, fatores bióticos e abióticos podem influenciar na quantidade e na qualidade do óleo (BAUD; LEPINIEC, 2010), e alterações nesses fatores podem ser utilizadas como tecnologia inovadora para o progresso da produção agrícola. Para esse fim são aplicados os reguladores vegetais, que podem favorecer o desenvolvimento vegetal e contornar as limitações na produção (ALBRECHT et al., 2012).

Os reguladores vegetais são análogos sintéticos aos hormônios produzidos pelas plantas, que quando pulverizados durante desenvolvimento das plantas podem induzir, inibir ou modificar os processos morfofisiológicos de crescimento (DANTAS et al., 2012).

Substâncias como as auxinas, giberelinas e citocininas são consideradas promotoras de crescimento, cujos efeitos podem variar de acordo com a concentração de aplicação (KLAHOLD et al., 2006), e estão envolvidas na divisão celular, alongamento celular, crescimento meristemático, florescimento, frutificação e formação de sementes/grãos (GIANNAKOULA et al., 2012).

A giberelina quando aplicada possui o efeito de induzir a divisão e o alongamento celular no meristema subapical (TALÓN, 1998; DAVIES, 2004), aumentar o número de flores por plantas e auxiliar na instauração dos frutos (AZUMA et al., 1997). A citocinina participa na regulação de aspectos como a formação de brotos, floração, abscisão e produtividade de grãos (MORRIS et al., 1990), promovendo a divisão celular (HOWELL et al., 2003).

Além de influenciar no alongamento celular como demais hormônios citados anteriormente, a auxina pode também aumentar a atividade fotossintética e prolongar o período de florescimento (KHALIL et al., 2006). Já o Stimulate<sup>®</sup> é um regulador vegetal comercial composto por auxina (0,005%), giberelina (0,005%) e citocinina (0,009%) que pode estimular o alongamento, a divisão e a diferenciação celular de acordo com a concentração aplicada (STOLLER DO BRASIL, 1998).

A eficiência da utilização de reguladores vegetais já foi comprovada por auxiliar na produção de soja (AVILA et al., 2008; CAMPOS et al., 2008; ALBRECHT et al., 2012) e milho (FERREIRA et al., 2007).

Abdelgadir et al. (2010) testaram os reguladores vegetais citocinina e auxina no desenvolvimento da espécie *Jatropha curcas*, também utilizada para biodiesel, e obtiveram um aumento na produção de sementes, de óleo nas sementes e melhor qualidade do fruto. Segundo Augustus et al. (2002), a aplicação hormonal em *Jatropha curcas* L. aumentou o conteúdo de hidrocarboneto das sementes.

Em canola, espécie da mesma família do *Crambe abyssinica*, pode-se aumentar o número de sementes com a aplicação de auxina sintética (ácido 4-clorofenoxiacético (MORGAN, 1980). A aplicação de ácido abscísico dá suporte para a maturação da semente e também pode estar envolvido na acumulação de reservas em sementes de canola (CROUCH; SUSSEX, 1981; INANAGA; KUMURA, 1987). Em algodão, a aplicação de reguladores de crescimento vegetal aumentou o conteúdo total protéico das sementes, a produtividade de óleo, o índice de refração do óleo e o conteúdo total de ácidos graxos insaturados (SAWAN et al., 2001).

Ullah; Asghari (2011) aplicaram cloreto de clorocolina, ácido salicílico e cinetina durante a produção de cártamo e observaram aumento na quantidade e na alteração na composição química de ácidos graxos no óleo do grão de cártamo e redução na acidez. Essas

alterações refletiram diretamente na qualidade de biodiesel produzido a partir desse óleo, relatando melhores aspectos físico-químicos.

Ao testar o efeito de reguladores vegetais em lentilha, Giannakoula et al. (2012) concluíram que o aumento de compostos fenólicos antioxidantes nos grãos está correlacionado com a alteração na capacidade antioxidante total desses grãos.

Os trabalhos acima mencionados destacam que os reguladores influenciam diretamente a composição físico-química dos grãos, assim como sua qualidade, o que pode refletir no engajamento desses produtos agrícolas no mercado.

### **3.4 Qualidade de grãos e sementes**

A qualidade do fruto é concedida quando este ainda se encontra ligado à planta, até que se encontre em seu estágio máximo de maturação fisiológica e seja colhido. Essa qualidade relaciona-se com as condições intrínsecas e genéticas da planta e também com os tratamentos culturais utilizados na produção (ARAGÃO, 2002; SUN et al., 2007).

Já os procedimentos adequados permitem manter a qualidade do produto agrícola e conservar seus aspectos fisiológicos e físico-químicos pelo maior tempo possível (KADER, 2002). Para tanto, várias tecnologias podem ser utilizadas, com início do uso no campo estendendo-se para as etapas seguintes (AMORIM, 2007).

#### **3.4.1 Qualidade físico-química de grãos**

Os grãos carregam a herança genética e os nutrientes necessários para estabelecerem a próxima geração: o embrião diploide e o endosperma. A formação das sementes compreende duas fases principais: a morfogênese e a maturação. A fase de maturação em questão é caracterizada, em partes, pelo acúmulo de material de reserva (BAUD; LEPINIEC, 2010).

O material de reserva das sementes contém proteínas, carboidratos e lipídeos (ácidos graxos e trigliceróis). Dentre esses, o acúmulo de óleo nas sementes é a etapa fisiológica mais controlada (BAUD; LEPINIEC, 2010). Quando há predominância de lipídeos, como no caso do crumbe, o grão é considerado oleaginoso e pode possuir até 80% no seu conteúdo total.

Após a colheita, o armazenamento é prática fundamental no retardo da deterioração de produtos agrícolas (TONIN; PEREZ, 2006). Sementes oleaginosas estão sujeitas a uma deterioração acelerada, não permitindo armazenamento por longos períodos (ZONTA et al., 2011). Ainda, são classificadas como ortodoxas, suportando secagem a baixos teores de água

(MORAIS, 2008). Segundo Marcos Filho (2005), para estender a conservação de sementes ortodoxas, o ambiente deve apresentar baixas temperatura e umidade relativa para reduzir a atividade de reações químicas.

Os processos de oxidação caracterizam a deterioração lipídica e ocorrem principalmente durante a armazenagem. Em condições ambientes ou em armazenamento inadequado, a degradação do produto ocorre precocemente devido à instabilidade oxidativa dos lipídeos. A oxidação se dá por processos de reação em cadeia entre radicais livres (autooxidação) e pela fotoxidação. O processo de autooxidação tem início quando as duplas ligações dos ácidos graxos insaturados da molécula de gordura reagem com o oxigênio, levando à deterioração progressiva, por ser autocatalístico mediado por ácidos graxos (WANASUNDARA; SHAHIDI, 2005).

A fotoxidação é uma reação que envolve moléculas fotossensíveis capazes de capturar e concentrar energia luminosa, tornando-se eletronicamente excitadas e capazes de sensibilizar fotoquimicamente radicais livres (WANASUNDARA; SHAHIDI, 2005). O conhecimento da cinética oxidativa e demais alterações no conteúdo oleaginoso das sementes ao longo do armazenamento será imprescindível para permitir a qualidade do produto final processado (NOGALA-KALUCKA et al., 2005).

Sabe-se que práticas de manejo como a aplicação de reguladores vegetais podem influenciar na qualidade físico-química dos grãos produzidos (ULLAH; ASGHARI, 2011; GIANNAKOULA et al., 2012; DONADON et al., 2015). Porém, não há trabalhos na literatura que correlacionam essa tecnologia de produção à qualidade do grão durante e/ou após armazenamento.

#### 3.4.2 Qualidade fisiológica de sementes

A qualidade fisiológica de uma semente é determinada pela sua capacidade de manter as propriedades vitais de germinação, longevidade e vigor (KRZYZANOWISKY et al., 1999). Já o vigor é a soma de propriedades de uma semente que lhe permitirão desempenhar seu maior potencial durante a germinação e a emergência de plântulas (SUN et al., 2007).

O potencial fisiológico máximo de uma semente é atingido no final do estágio de maturidade da semente ainda ligada na planta e, após colhidas, iniciam um processo de deterioração natural com consequente perda de vigor (MARCOS FILHO, 2015). A deterioração ocorre por degeneração de membranas celulares, alterações nos mecanismos metabólicos e anabólicos, redução da atividade respiratória e consumo de material de reserva (DELOUCHE, 1976).

A primeira manifestação de declínio na qualidade da semente é a queda no percentual e na velocidade de germinação, como consequência da desestruturação do sistema de membranas (MARCOS FILHO, 2005). A análise de percentual de germinação em condições controladas é um dos parâmetros mais utilizados de avaliação (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012). Outro parâmetro avaliado é a velocidade de germinação e considera-se que quanto mais rápido a semente germinar, melhor é seu vigor (SILVA; VIEIRA, 2006; OLIVEIRA et al., 2009).

O teste de condutividade elétrica também é uma ferramenta eficiente para análise do vigor de um lote de sementes. Esse se baseia na imersão de uma quantidade contada de sementes em solução de água deionizada que receberá os íons lixiviados pelas sementes (KRZYZANOWISKY et al., 1999). No início da embebição, a reorganização dos sistemas de membranas e reparações de possíveis danos que ocorreram durante o processo de produção influenciarão na quantidade e na natureza dos solutos e íons lixiviados na solução aquosa (BEWLEY; BLACK, 1994). Assim, o teste de condutividade reflete a perda da capacidade de reorganização e de permeabilidade seletiva das membranas celulares das sementes (MARCOS FILHO, 2015).

Em sementes de crambe, Santos e Rossetto (2013) sugerem o uso do teste de condutividade elétrica após 24 horas de embebição. O melhor tratamento para distinção de lotes de sementes de crambe em relação ao seu vigor de acordo com análises de Lima et al. (2015) foi pré-embebição por 2 horas e aferição após 16 horas. Dentre os lixiviados liberados na solução aquosa estão aminoácidos, açúcares, enzimas, ácidos graxos livres e íons como o potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e Sódio (Na) (BARBIERI et al., 2012).

Geralmente, o íon de maior concentração exsudado na embebição da semente é o potássio (VANZOLINI; NAKAGAWA, 2003; FESSEL et al., 2010), principalmente devido à sua alta concentração no meio intracelular e grande permeabilidade em células vegetais (TAIZ et al., 2017). Entretanto, a quantificação de outros íons, como Ca e Mg, também pode ser utilizada como avaliação do potencial fisiológico e do vigor de forma eficiente (COSTA et al., 2007; VIEIRA et al., 2008; ZUCARELI et al., 2013).

Assim como a qualidade físico-química, a qualidade fisiológica da semente também pode ser influenciada por diversos fatores. As características genéticas, condições fisiológicas e práticas de manejo durante o cultivo da planta são os fatores que vão determinar o nível de qualidade e vigor instaurado na semente durante sua produção (FARINELLI et al., 2006).

O uso de reguladores vegetais pode melhorar o desenvolvimento vegetal dando à planta condições de produzir sementes de maior qualidade. Campos et al. (2008), estudando plantas de soja tratadas com reguladores vegetais, observaram aumento na massa seca total com a aplicação de ácido-indol-butírico e Stimulate®. Já Carvalho et al. (2013) constatam que

a dosagem de 1,0 L ha<sup>-1</sup> de Stimulate<sup>®</sup>, aplicado por pulverização foliar, resultou em maior massa de 100 grãos e produtividade de soja. Em algodão, a aplicação de Stimulate<sup>®</sup> nas sementes antes da semeadura resultou em um aumento de nutrientes nas folhas da planta (SILVA et al., 2016).

Alleoni et al. (2000) aplicaram Stimulate<sup>®</sup> via foliar durante o ciclo da cultura do feijoeiro e observaram efeitos estimulantes no número de vagens/planta, número de grãos/vagem, número de internos, peso de 1000 grãos e produtividade. Ressaltam ainda que os efeitos variaram de acordo com o número de vezes em que se parcelou as doses aplicadas. Oliveira et al. (2015) reportaram aumento na produtividade de grãos de feijão-caupi com aplicação de Stimulate<sup>®</sup> nas doses de 0,5 e 0,75 L ha<sup>-1</sup>.

Essas respostas são consequências das alterações fisiológicas que a aplicação de reguladores vegetais causa nas plantas durante o seu ciclo de vida. Tendo em vista os eventos fisiológicos que reguladores desencadeiam nas plantas, considera-se a possibilidade de que ocorra alterações na qualidade fisiológica dos frutos produzidos por plantas submetidas a esse tipo de manejo.

#### 4. REFERÊNCIAS

ABDELGADIR, H.A.; JAGER, A.K.; JOHNSON, S.D.; STADEN, J.V. Influence of plant growth regulators on flowering, fruiting, seed oil content and oil quality of *Jatropha curcas*. **South African Journal of Botany**, Elsevier, v. 76, p. 440-446, 2010.

AGRI G-2/WM. **The impact of a minimum 10% obligation for biofuel use in the EU-27 in 2020 on agricultural markets**. European Commission, 2007. Disponível em: <[http://www.abengoabioenergy.com/export/sites/abg\\_bioenergy/resources/pdf/anuncios/es/s emana\\_2/4-European\\_Commission.pdf](http://www.abengoabioenergy.com/export/sites/abg_bioenergy/resources/pdf/anuncios/es/s emana_2/4-European_Commission.pdf)>. Acesso em: 10 jun. 2017.

AGROPRECISA. **Crambe**: uma opção lucrativa para crescente mercado de biodiesel. 2008. Disponível em: <<http://www.agroprecisa.com.br/site/default.asp?tipo=1&secao=crambe.asp>>. Acesso em: 10 jun. 2017.

ALBRECHT, L.P.; BRACCINI, A.L.; SCAPIM, C.A.; ÁVILA, M.R.; ALBRECHT, A.J.P. Biorregulador na composição química e na produtividade de grãos de soja. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 43, n. 4, p. 774-782, 2012.

ALBUQUERQUE, M.C.G.; MACHADO, Y.L.; AZEVEDO, D.C.S.; CAVALCANTE JR., C.L.; FIRMIANO, L.R.; PARENTE JR, E.J.S. Properties of biodiesel oils formulated using different biomass sources and their blends. **Renewable Energy**, Elsevier, v. 34, p. 857-859, 2009.

ALLEN, R.R.; MARVIN, F.W. Analytical methods. In: SWERN, D. **Bailey's Industrial Oil and Fat Products**, v. 2, 4<sup>th</sup> Ed. New York: Wiley, p. 422-423, 1982.

ALLEONI, B.; BOSQUEIRO, M.; ROSSI, M. Efeito dos reguladores vegetais de Stimulate no desenvolvimento e produtividade do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Publicatio UEPG**, v. 6, n. 1, p. 23-25, 2000.

AMORIM, L. Causas de danos em produtos, da colheita à fruteira. **Visão Agrícola**, Piracicaba, n.7, p.38-40, 2007.

ARAGÃO, W.M. **Coco**: produção. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Aracaju, Embrapa tabuleiros Costeiros, 2002. 76p.

AUGUSTUS, G.D.P.S.; JAYUBALAN, M.; SEILER, G.J. Evaluation and bioinduction of energy components of *Jatropha curcas*. **Biomass and Bioenergy**, v. 23, n. 161-164, 2002.

AVILA, M.R.; BRACCINI, A.L.; SCAPIM, C.A.; ALBRECHT, L.P.; TONIN, T.A.; STULP, M. Bioregulador application, agronomic efficiency and quality of soybean seeds. **Scientia Agrícola**, São Paulo, v. 65, n. 6, p. 567-691, 2008.

AZUMA, T.; UENO, S.; UCHID, N.; YASUDA, T. Gibberellin induced elongation and osmoregulation in internode of floating Rice. **Physiologia Plantarum**, Finlândia, v. 99, p. 517-522, 1997.

BAKER, E.C.; MUSTAKAS, G.C.; MCGHEE, J.E. Degradation of lipids and Glucosinolates in dehulled crambe seed during storage. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, Springer, v. 52, p. 404-406, 1974.

BARBIERI, A.P.P.; MENEZES, N.L.; CONCEIÇÃO, G.M.; TUNES, L.M. Teste de lixiviação de potássio para avaliação e vigor de sementes de arroz. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 34, n. 1, p. 117-124, 2012.

BAUD, S.; LEPINIEC, L. Physiological and developmental regulation of seed oil production. **Progress in Lipid Research**, Elsevier, v. 49, p. 235-249, 2010.

BELE, C.; MATEA, C.T.; RADUCU, C.; MIRESAN, V.; NEGREA, O. Tocopherol content in vegetable oils using a rapid HPLC fluorescence detection method. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, Cluj-Napoca, v. 41, n. 1, p. 93-96, 2013.

BELTRÃO, N.E.M.; OLIVEIRA, M.I.P. **Oleaginosas e seus óleos**: vantagens e desvantagens para a produção de biodiesel. Campina Grande: Embrapa Algodão. 2008. 28p.

BEWLEY, J.D.; BLACK, M. **Seeds**: physiology of development and germination, 2.ed. New York: Plenum, 1994. 445p.

CAMPOS, M.F.; ONO, E.O.; BOARO, C.S.F.; RODRIGUES, J.D. Análise de crescimento em plantas de soja tratadas com substâncias reguladoras. **Revista Biotemas**, Florianópolis, v. 21, n. 3, p. 53-63, 2008.

CARLSSON, A.S. Plant oils as feedstock alternatives to petroleum – a short survey of potential oil crop platforms. **Biochimie**, Elsevier, n. 91, p. 665-670, 2009.

CARLSSON, A.S.; CLAYTON, D.; SALENTIJIN, E.; TOONEN, M.; DYER, J.; STYMNE S.; BOWLES, D. **Oil crop platforms for industrial uses**. Newbury: CPL Press, 2007. 146p.

CARVALHO, J.C.; VIECELLI, C.A.; ALMEIDA, D.K. Produtividade e desenvolvimento da cultura da soja pelo uso de regulador vegetal. **Acta Iguazu**, v. 2, n. 1, p. 50-60, 2013.

CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes**: ciência, tecnologia e produção. 5ed. Jaboticabal: FUNEP, 2012. 590p.

COLODETTI, T.V.; MARTINS, L.D.; RODRIGUES, W.N.; BRINATE, S.V.B.; TOMAZ, M.A. Crambe: aspectos gerais da produção agrícola. **Enciclopédia biosfera**, Goiânia, v. 8, n. 14 p. 258-269, 2012.

CORNELIUS, J.A.; SIMMONS, E.A. *Crambe abyssinica* – a new commercial oilseed. **Tropical Science**, v. 11, n. 1, 17-22, 1969.

COSTA, C.J.; VAHL, L.C.; VILLELA, F.A. Testes de lixiviação de íons inorgânicos e condutividade elétrica para avaliação do potencial fisiológico de sementes de cebola. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 13, n. 4, p. 449-453, 2007.

COSTA, L.M.; RESENDE, O.; GONÇALVES, D.N.; SOUSA, K.A. Qualidade dos frutos de crambe durante o armazenamento. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 34, n. 2, p. 239-301, 2012. (a)

COSTA, L.M.; RESENDE, O.; GONÇALVES, D.N.; SOUZA, K.A.; SALES, J.F.; DONADON, J.R. The influence of drying on the physiological quality of crambe fruits. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 34, n. 2, p. 213-218, 2012. (b)

CROUCH, M.L.; SUSSEX, I.M. Development and storage-protein synthesis in *Brassica napus* L. embryos in vivo and In vitro. **Planta**, Springer, v. 153, p. 64-74, 1981.

CRUZ, V.M.V.; DIERIG D.A. Trends in literature on new oilseed crops and related species: Seeking evidence of increasing or waning interest. **Industrial Crops Production**, Elsevier, v. 37, p. 141-148, 2012.

DANTAS, A.C.V.L.; QUEIROZ, J.M.O.; VIEIRA, E.L.; ALMEIDA, V.O. Effect of gibberellic acid and the biostimulant Stimulate on the initial growth of tamarind. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 34, n. 1, 2012.

DANTAS, H.J. **Estudo termoanalítico, cinético e reológico de biodiesel derivado do óleo de algodão**. 2006. 122f. Dissertação (Mestrado em Química Analítica). Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2006.

DAVIES, P.J. **Plant hormones**. London: Klumer Academic Publishers, 2004. 833p.

DELOUCHE, J.C. Standardization of vigor tests. **Journal of Seed Technology**, v.1, n.2, p.75-85, 1976.

DONADON, J.R.; BESSA, J.F.V.; RESENDE, O.; CASTRO, C.F.S.; ALVES, R.M.V.; SILVEIRA, E.V. Armazenamento do crambe em diferentes embalagens e ambientes. Parte II – Qualidade química. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 3, p. 231-237, 2015.

DURRETT, T.P.; BENNING, C.; OHLROGGE, J. Plant triacylglycerols as feedstocks for the production of biofuels. **The Plant Journal**, East Lansing, v. 54, n. 4, p. 593-607, 2008.

EMBRAPA SOJA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Tecnologias de Produção da Soja: rotação de culturas**. Londrina, 2004. Disponível em: <<http://www.cnpso.embrapa.br/producaosojaPR/rotacao.htm>>. Acesso em: 10 jun 2017.

ENDRES, G.; SCHATZ, B. **Crambe production**. NDSU Extension Service Publication, p. 5-13, 2013. Disponível em: <<http://www.ag.ndsu.edu/pubs/plantsci/crops/a1010.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2017.

FARIA, R.Q.; ITAMAR, R.T.; IVANO, A.D.; ASCHERI, D.P.R.; RESENDE, O. Cinética de secagem de sementes de crambe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 5, p. 573-583, 2012.

FARINELLI, R.; LEMOS, L.B.; CAVARIANI, C.; NAKAGAWA, J. Produtividade e qualidade fisiológica de sementes de feijão em função de sistemas de manejo de solo e adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 28, n. 2, p. 102-109, 2006.

FAVARO, S.P.; ROSCOE, R.; DELMONTES, A.M.A.; MENDONÇA, B.P.C.; SOUZA, A.D.V. Produtos e coprodutos. **Tecnologia de Produção: crambe 2010**. Maracajú: Fundação MS, v. 1, p. 48-51, 2010.

FERREIRA, L.A.; OLIVEIRA, J.A.; VON PINHO, E.V.R.; QUEIROZ, D.L. Bioestimulante e fertilizante associados ao tratamento de sementes de milho. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 29, n. 2, p. 80-89, 2007.

FESSEL, S.A.; PANOBIANCO, M.; SOUZA, C.R.; VIEIRA, R.D. Teste de condutividade elétrica em sementes de soja armazenadas sob diferentes temperaturas. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 1, p. 207-214, 2010.

FONSECA, F.C.; BROTTTO, M.C.; VECHIATTO, W.W.D.; COSTA, B.J.; ADÃO, D.C.; ZAGONEL, G.F.; MOREIRA, M.A.C.; LAURINDO, J.C.; SUCHEK, E.M. Biodiesel sazonal: a problemática do controle de qualidade. VI Congresso Internacional de Bioenergia, **Anais...** Curitiba, PR, 2011.

GIANNAKOULA, A.E.; ILIAS, I.F.; MAKSIMOVIC, J.J.D.; MAKSIMOVIC, V.M.; ZIVANOVIC, B.D. The effects of plant growth regulators on growth, yield and phenolic profile of lentil plants. **Journal of Food Composition and Analysis**, Elsevier, v. 28, p. 46-53, 2012.

GLASER, L.K. **Crambe**: an economic assessment of the feasibility of providing multiple-crop insurance. Economic Research Service for the Risk Management Agency, Federal Crop Insurance Corporation, 1996.

GRAHAM, I.A. Seed storage oil mobilization. **Annual Review of Plant Biology**, Elsevier, v. 59, p.115-142, 2008.

GURR, M.I.; BLADES, J.; APPLEBY, R.S.; SMITH, C.G.; ROBINSON, M.P.; NICHOLS, B.W. Studies on seed-oil triglycerides: triglycerides biosynthesis and storage in whole seeds and oil bodies of *Crambe abyssinica*. **European Journal of Biochemistry**, Oxford, v. 43, p. 281-290, 1974.

HOWELL, SH.; LALL, S.; CHE, P. Cytokinins and shoot development. **Trends Plants Science**, Cambridge, v. 8, p. 453-459, 2003.

INANAGA, S.; KUMURA, A. Internal factors affecting seed set of rapeseed. **Polska Angenja Interpress**, v. 31, 1987.

JASPER, S.P.; BIAGGIONI, M.A.M.; SILVA, P.R.A. Comparação do custo de produção do crambe (*Crambe abyssinica* Hochst) com outras culturas oleaginosas em sistema de plantio direto. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 25, n. 4, p. 141-153, 2012.

JASPER, S.P.; BIAGGIONI, M.A.M.; SILVA, P.R.A.; SEKI, A.S.; BUENO, O. C. Análise energética da cultura de crambe (*Crambe abyssinica* Hochst) produzida em plantio direto. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 3, p.395-403, 2010.

KADER, A.A. **Postharvest Technology of Horticultural Crops**. 3ª ed., UCANR Publications, 2002. 535p.

KHALIL, S.; EI-SAEID, H.M.; SHALABY, M. The role of kinetin in flower abscission and yield of lentil plant. **Journal of Applied Scientific Research**, v. 2, p. 587-591, 2006.

KLAHOLD, C.A.; GUIMARÃES, V.F.; ECHER, M.M.; KLAHOLD, A.; CONTIERO, R.L.; BECKER, A. Resposta da soja (*Glycine Max* (L.) Merrill) à ação de bioestimulante. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 28, n. 02, p. 179-185, 2006.

KNOTHE, G.; GERPEN, J.V.; KRAHL, J.; RAMOS, L.P. **The Biodiesel Handbook**. São Paulo: Edgard Blucher, 2006.

KRZYŻANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Ed.) **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999.

LALAS, S.; GORTZI, O.; ATHANASIADIS, V.; DOURTOGLOU, E.; DOURTOGLOU, V. Full characterisation of *Crambe abyssinica* Hochst. seed oil. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, Elsevier, v. 89, p. 2253-2258, 2012.

LAZZERI, L.; LEONI, O.; CONTE, L.S.; PALMIERI, S. Some technological characteristics and potential uses of *Crambe abyssinica* products. **Industrial Crops**, Elsevier, v. 3, p. 103-112, 1994.

LI, X.; AHLMAN, A.; LINDGREN, H.; Highly efficient in vitro regeneration of the industrial oilseed crop *Crambe abyssinica*. **Industrial Crops and Products**, Elsevier, v. 33, p. 170-175, 2011.

LI, X.; LOO, E.N.V.; GRUBER, J.; FAN, J.; GUAN, R.; FRENTZEN, M.; STYMNE, S.; ZHU, L.H. Development of ultra-high erucic acid oil in the industrial oil crop *Crambe abyssinica*. **Plant Biotechnology Journal**, Malden, v. 10, p. 862-870, 2012.

LIMA, J.J.P.; FREITAS, M.N.; GUIMARÃES, R.M.; VIEIRA, A.R.; AVILA, M.A.B. Accelerated aging and electrical conductivity tests in crambe seeds. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 39, n. 1, p. 7-14, 2015.

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

MARCOS FILHO, J. Seed vigor testing: an overview of the past, present and future perspective. **Scientia Agricola**, v. 72, n. 4, p. 363-374, 2015.

MELO, M.A.M.F. Avaliação das propriedades de óleos vegetais visando a produção de biodiesel. 2010. 114f. Dissertação (Mestrado). Departamento de Química, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2010.

MORAIS, E.B.S.D. **Padronização de teste de germinação e qualidade de sementes de Pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) durante o armazenamento**. 103f. 2008. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Montes Claros, 2008.

MORGAN, D.G. Factors affecting fruit and seed development in field beans and oilseed rape. **DPGRG and BPGRG Symposium**, p. 151-164, 1980.

MORRIS, J.W.; DOUMAS, P.; MARRIS, O.R.; ZAERR, K.P. Cytokinins in vegetative and reproductive buds of *Pseudotsuga menziesii*. **Journal of Plant Physiology**, v. 93, p. 67-71, 1990.

MOSER, B.R.; KNOTHE, G.; VAUGH, S.F.; ISBELL, T.A. Production and evaluation of biodiesel from field pennycress (*Tripsacis arvense* L.) oil. **Energy Fuel**, Newark, v. 23, p. 4149-4155, 2009.

NEVES, M.B.; TRZECIAK, M.B.; VINHOLES, P.S.; TILLMAN, A.C.; VILLELA, F.A. Qualidade fisiológica de sementes de crambe produzidos em Mato Grosso do Sul. In: SIMPÓSIO ESTADUAL DE AGROENERGIA, 2007, Pelotas, RS. **Anais.**, Pelotas, RS: EMBRAPA, p. 97-98, 2007.

NOGALA-KALUCKA, M.; KORCZAK, J.; DRATWIA, M.; LAPSRT-SZCZAPA, E.; SIGER, A.; BUCHOWSKI, M. Changes in antioxidant activity and free radical scavenging potential of rosemary extract and tocopherols in isolated rapeseed oil triacylglycerols during accelerated tests. **Food Chemistry**, Elsevier, v. 93, p. 227-235, 2005.

OLIVEIRA, F.A.; MEDEIROS, J.F.; ALVES, R.C.; LIMA, L.A.; SANTOS, S.T.; RÉGIS, L.R.L. Produção de feijão caupi em função da salinidade e regulador de crescimento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 11, p. 1049-1056, 2015.

OLIVEIRA, J.T.G.S.B. de. **Melhor dose e dose econômica de TBHQ em óleos de milho e canola**. 92f. 2003. Dissertação (Mestrado em Energia). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – USP. Piracicaba, 2003.

OLIVEIRA, M.T.; BERBET, P.A.; PEREIRA, R.C.; VIEIRA, H.D.; THIÉBAUT, J.T.L.; CARLESSO, V.O. Qualidade fisiológica e potencial de armazenamento de sementes de carambola. **Revista Brasileira de Sementes**, v.31, p. 236-244, 2009.

PILAU, F.G.; BATTISTI, R.; SOMAVILLA, L.; SCHWERZ, L. Temperatura basal, duração do ciclo e constante térmica para a cultura do crambe. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 4, p. 958-964, 2011.

PITOL, C. **Tecnologia e Produção**: milho safrinha e culturas de inverno. Maracajú: Fundação MS, 2008. 85p.

PITOL, C.; BROCHI, D.L.; ROSCOE, R. **Tecnologia e produção**: crambe 2010. Maracaju: Fundação MS, 2010. 60p.

POLEDNA, R.C.R. **Como fazer biodiesel de óleo de girassol e de sebo de animal**. 5p. 2005.

RAMOS, L.P. Biodiesel: um projeto de sustentabilidade econômica e sócio-ambiental para o Brasil. **Revista de Biotecnologia, Ciência & Desenvolvimento**, v. 31, p. 28-37, 2003.

ROGÉRIO, F.; SILVA, T.R.B.; SANTOS, J.I.; POLETINE, J.P. Phosphorus fertilization influences grain yield and oil content in crambe. **Industrial Crops and Products**, Elsevier, v. 41, p. 266-268, 2013.

ROSCOE, R.; PITOL, C.; BROCH, D.L. Necessidades climáticas e ciclo cultural. In: FUNDAÇÃO MS. **Tecnologia e produção**: crambe 2010. Maracajú: Fundação MS, p. 07-09, 2010.

RUAS, R.A.A.; NASCIMENTO, G.B.; BERGAMO, E.P.; DAUR JUNIOR, R.H.; ARRUDA R.G. Embebição e germinação de sementes de crambe (*Crambe abyssinica*). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 1, p. 61-65, 2010.

SANTOS, J.I.; SILVA, T.R.B.; ROGÉRIO, F.; SANTOS, R.F. Yield response in crambe to potassium fertilizer. **Industrial Crops and Products**, Elsevier, v. 43, p. 297-300, 2013.

SANTOS, L.A.S.; ROSSETTO, C.A.V. Teste de vigor em sementes de *Crambe abyssinica*. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 2, p. 233-238, 2013.

SATYANARAYANA, M.; MURALEEDHARAN, C. A comparative study of vegetable oil methyl esters (biodiesels). **Energy**, Elsevier, v. 36, p. 2129-2137, 2011.

SAWAN, Z.M.; HAFEZ, S.A.; BASYONY, A.E. Effect of nitrogen fertilization and foliar application of plant growth regulators retardants and zinc on cottonseed, protein and oil yields and oil properties of cotton. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Elsevier, v. 186, p. 183-191, 2001.

SILVA, J.B.; VIEIRA, R.D. Avaliação do potencial fisiológica de sementes de beterraba. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 28, n. 2, p. 128-134, 2006.

SILVA, R.A.; SANTOS, J.L.; OLIVEIRA, L.S.; SOARES, M.R.S.; SANOS, S.M.S. Biostimulants on mineral nutrition and fiber quality of cotton crop. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 12, p. 1062-1066, 2016.

SOUZA, A.D.V.; FAVARO, S.P.; ÍTAVO, L.C.; ROSCOE, R. Caracterização química de sementes e tortas de pinhão-mansão, nabo forrageiro e crambe. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, p. 1328-1335, 2009.

STOLLER DO BRASIL. **Stimulate em hortaliças**: informativo técnico. Cosmópolis: Stoller do Brasil-Divisão Arbore, 1998.

SUAREZ, P.A.Z.; SANTOS, A.L.E.; RODRIGUES, J.R.; MELQUIZEDEQUE, B.A. Biocombustíveis a partir de óleos e gorduras: desafios tecnológicos para viabilizá-los. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 3, p. 768-775, 2009.

SUN, Q.; WANG, J.; SUN, B. Advances on seed vigor physiological and genetic mechanisms. **Agricultural Science in China**, v. 6, n. 9, p. 1060-1066, 2007.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.A.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6 ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888p.

TALÓN, M. **Regulación hormonal del crecimiento de las plantas**. In: GENERALILAT, V. Coselleria d'Àgricultura. Valencia: Peixca I Alimentacion, 1998. 581p.

TOLEDO, M.Z.; TEIXEIRA, R.N.; FERRARI, T.B.; FERREIRA, G.; CAVARIANI, C.; CATANEO, A.C. Physiological quality and enzymatic activity of crambe seeds after the accelerated aging test. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 4 p. 687-694, 2011.

TONIN, G.A.; PEREZ, S.C.J.G.A. Qualidade fisiológica de sementes de *Ocotea porosa* (Nees et Martius ex. Nees) após diferentes condições de armazenamento e semeadura. **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v. 28, n. 2, p. 26-33, 2006.

ULLAH, F.; ASGHARI, B. Effect of plant growth regulators on oil yield and biodiesel production of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 21, n. 3, p. 27-31, 2011.

URSD-NRCS. North Central Regional Plant Introduction Station. **The Plants Database**. National Plant Data Team, Greensboro, North Carolina. Disponível em: <<http://plants.usda.gov>>. Acesso em: 10 jun. 2017.

VANZOLINI, S.; NAKAGAWA, J. Teste de condutividade elétrica em sementes de amendoim. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 27, n. 2, p. 151-15, 2005.

VARGAS-LOPEZ, J.M.; WIESENBERN, D.; TOSTENSON, K.; CIHACEK, L. Processing of crambe for oil and isolation of erucic acid. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, Elsevier, v. 76, p. 801-809, 1999.

VEDANA, U. **Crambe abyssinica promissora planta para Biodiesel**. Disponível em: <[www.biodieselbr.com/blog/vedana/2007/crambe-crambe-abyssinica-promissora-planta-para-biodiesel/](http://www.biodieselbr.com/blog/vedana/2007/crambe-crambe-abyssinica-promissora-planta-para-biodiesel/)>. Acesso em: 10 jun. 2017.

VIEIRA, R.D.; TEKRONY, D.M.; EGLI, D.B.; BRUENNING, W.P.; PANOBIANCO, M. Temperature during soybean seed storage and the amount of electrolytes of soaked seeds solution. **Scientia Agrícola**, v. 65, n. 5, p. 496-501, 2008.

VOELKER, T.A.; KINNEY, A.J. Variations in the biosynthesis of seed storage lipids. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Elsevier, v. 52, p. 261-335, 2001.

WANASUNDARA, P.K.P.D.; SHAHIDI, F. Antioxidants: Science, Technology and Applications. In: SHAHIDI, F. **Bailey's Industrial Oil and Fat Products: Chemistry, Properties and Health Effects**. 6 ed. Wiley: Interscience, 2005.

WEISS, E.A. **Oilseed crops**. 2 Ed. Oxford: Blackwell Science, 2000. 364p.

WESELAKE, R.J.; SHAH, S.; TANG, M.; QUANT, P.A.; SNYDER, C.L.; FURUKAWA-STOFFER, T.L.; ZHU, W.; TAYLOR, D.C.; ZOU, J.; KUMAR, A.; HALL, L.; LAROCHE, A.; RAKOW, G.; RANEY, P.; MOLONEY, M.M.; HARWOOD, J.L. Metabolic control analysis is helpful for informed genetic manipulation of oilseed rape (*Brassica napus*) to increase seed oil content. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 59, n. 13, p. 3543-3549, 2008.

BEZERRA, P.H.S.; BIAGGIONI, M.A.M.; SILVA, M.A.P.; SPEROTTO, F.C.S.; BRANDÃO, F.J.B. Efeito do armazenamento na qualidade dos grãos e do óleo de crambe para produção de biodiesel. **Revista Energia na Agricultura**, v. 30, n. 3, p. 310-318, 2015.

ZEGADA-LIZARARU, W.; MONTI, A. Energy crop in rotation. A review. **Biomass and Energy**, p. 1-14, 2010.

ZHANG, S.; LIAO, X.; ZHANG, C.; XU, H. Influences of plant density on the seed yield and oil of seed rape (*Brassica napus* L.). **Industrial Crops and Products**, Elsevier, v. 40, p. 27-32, 2012.

ZONTA, J.B.; ARAUJO, E.F.; ARAUJO, R.F.; DIAS, L.A.S. Diferentes tipos de secagem: efeitos na qualidade fisiológica de sementes de pinhão manso. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 33, n° 4, p. 721-731, 2011.

ZUCARELI, C.; BRZEZINSKI, C.R.; ABATI, J.; HENNING, F.A.; RAMOS JUNIOR, E.U.; NAKAGAWA, J. Lixiviação de íons potássio, cálcio e magnésio para determinação do vigor em sementes de milho doce. **Informativo Abrates**, v. 23, n. 3, p. 56-60, 2013.

ZUNIGA, A.D.G.; PAULA, M.M.; COIMBRA, J.S.R.; MARTINS, E.C.A.; SILVA, D.X.; TELIS-ROMERO, J. Revisão: propriedades físico-químicas do biodiesel. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 21, p. 55-72, 2011.

## 5. ARTIGOS

### 5.1 ARTIGO 1 - ALTERAÇÕES QUÍMICAS DURANTE O ARMAZENAMENTO DE CRAMBE CULTIVADO COM APLICAÇÃO DE REGULADORES VEGETAIS

**RESUMO:** O objetivo dessa pesquisa foi caracterizar a composição química dos grãos de crambe produzidos com reguladores vegetais nas safras de 2014 e 2015 e armazenados por 180 dias. Durante o cultivo do crambe, realizou-se duas pulverizações foliares, seguindo os tratamentos: 1) tratamento controle com água destilada; 2) ácido indol-3-acético 100 mg L<sup>-1</sup> (AIA); 3) ácido 3-giberélico P.A. 100 mg L<sup>-1</sup> (GA<sub>3</sub>); 4) Stimulate<sup>®</sup>. Após colhidos, os grãos foram analisados inicialmente e após 180 dias de armazenamento não controlado. Determinou-se o teor de água, lipídeos em extração a quente (EQ), lipídeos em extração a frio (EF), proteínas, acidez e atividade antioxidante. As médias foram comparadas pelo teste Tukey (p<0,05) e os parâmetros agrupados pela técnica multivariada de agrupamento apresentado em dendograma. Os teores de lipídeos EF e EQ reduziram com o armazenamento, enquanto que o teor de proteína e a atividade antioxidante dos grãos não foram alterados por esse fator. A aplicação de IAA destacou-se pelo aumento no teor de lipídeos EF e pela conservação deste após o armazenamento. A aplicação de GA<sub>3</sub> reduziu o teor de proteínas. Os teores de lipídeos se mantiveram constantes no final do armazenamento e houve redução no teor de acidez em decorrência da aplicação dos reguladores vegetais GA<sub>3</sub> e Stimulate<sup>®</sup>. O armazenamento de 180 dias altera a qualidade de crambe e os reguladores podem auxiliar na preservação da qualidade dos grãos durante o armazenamento. O teor de lipídeos EF, EQ e a acidez dos grãos mostraram-se bons indicadores para avaliação dos efeitos.

**Palavras-chave:** *Crambe abyssinica* Hochst Ex R.E. Fries, teor de óleo, atividade antioxidante, pós-colheita.

### CHEMICAL CHANGES DURING STORAGE OF CRAMBE CULTIVATED WITH PLANT GROWTH REGULATORS

**ABSTRACT:** The objective of this study was to characterize the chemical composition of crambe grains produced with plant growth regulators (PGR) of 2014 and 2015 harvests, and stored for 180 days. During crambe cultivation, two foliar pulverization were performed following the treatments: 1) control with distilled water; 2) indole-3-acetic acid 100 mg L<sup>-1</sup> (IAA); 3) 3-gibberellic acid P.A. (GA<sub>3</sub>) 100 mg L<sup>-1</sup>; 4) Stimulate<sup>®</sup>. After harvesting, grains were analyzed initially and after 180 days of uncontrolled storage. Water content, lipids by heated extraction (HE), lipids by cold extraction (CE), total proteins, acidity and antioxidant activity were determined. Averages were compared by Tukey test and parameters grouped by clusters multivariate technique and presented in dendogram. Lipid HE and CE content reduced with storage while total protein and antioxidant activity were not altered by this factor. IAA application was highlighted by the increase in lipids CE and its conservation after storage. The application of GA<sub>3</sub> reduced total protein. Lipids content remained constant at the end of the storage and there was a reduction in acidity due to the application of GA<sub>3</sub> and Stimulate<sup>®</sup>. The 180-day storage changes crambe quality, while PGR can help preserve grain quality during storage. The HE and CE lipid content and the acidity of crambe grains were shown to be coherent for the effect evaluation.

**Keywords:** *Crambe abyssinica* Hochst Ex R.E. Fries, oil content, antioxidant activity, postharvest.

### 5.1.1 INTRODUÇÃO

O cultivo de plantas oleaginosas possui importante papel na indústria por fornecer matéria prima para a geração de energia, eletricidade e aquecimento (ZEGADA-LIZARARU; MONTI, 2010) e na produção uma variedade de produtos, tais como lubrificantes, surfactantes, sabão, detergentes, solventes, tintas e cosméticos (CARLSSON, 2009). A obtenção de óleo vegetal em escala suficiente para atender à demanda industrial depende diretamente da eficiência na produtividade e qualidade dos grãos das culturas agrícolas (ZUNIGA et al., 2011).

A produção brasileira vegetal para fins de produção de óleo encontra-se sustentada pelo cultivo de soja e o algodão (MME, 2017) e carece de alternativas que permitam a continuidade da produção ao longo do ano, bem como espécies oleaginosas adaptadas para rotação de culturas e que, de preferência, sejam não alimentares (JASPER et al., 2010).

O crambe (*Crambe abyssinica* Hochst Ex R.E. Fries) é uma espécie oleaginosa pertencente à família Brassicaceae que se adequa às necessidades desse cenário produtivo (RUAS et al., 2010; ENDRES; SCHATZ, 2013). A composição química do grão de crambe corresponde, principalmente, a 44-28% de lipídios e 20-24% de proteína bruta (SOUZA et al., 2009; LARA-FIOREZE et al., 2013; DONADON et al., 2015). O óleo do grão possui alta estabilidade oxidativa por ser rico em tocoferol e 63,77% de ácido erúico (LALAS et al., 2012). Esse ácido graxo confere ao óleo a característica de não-comestível, mas apresenta uso potencial na indústria (LI et al., 2011).

Enquanto o cultivo do crambe ainda está em ascensão, informações sobre técnicas de manejo e desenvolvimento das plantas ainda são escassas (BASSEGIO et al., 2016), assim como estudos quanto à qualidade físico-química dos grãos de crambe após a colheita e durante o armazenamento (TOLEDO et al., 2011).

Os reguladores vegetais são considerados tecnologia inovadora para o processo de produção agrícola por favorecer o desenvolvimento vegetal, contornar limitações na produção e favorecer a produtividade (ALBRECHT et al., 2012). Esses são análogos sintéticos às substâncias orgânicas produzidas pelas plantas (hormônios vegetais) que, quando aplicadas, induzem, inibem ou modificam os processos morfofisiológicos de crescimento e desenvolvimento das plantas (DANTAS et al., 2012).

Substâncias como as auxinas, giberelinas e citocininas são consideradas promotoras de crescimento, cujos efeitos podem variar de acordo com a concentração de aplicação (KLAHOLD et al., 2006) e estão envolvidas na divisão celular, alongamento celular, crescimento meristemático, florescimento, formação e enchimento de grãos (GIANNAKOULA et al., 2012; TAIZ et al., 2017). A pulverização foliar dos reguladores durante a produção

vegetal pode trazer vantagens na qualidade físico-química de grãos, alterando o teor de lipídeos, proteínas e até a concentração de compostos antioxidantes (GIANNAKOULA et al.; 2012).

O uso dessa técnica pré-colheita na melhoria da qualidade de grãos foi demonstrado em soja (AVILA et al., 2008; CAMPOS et al., 2008; ALBRECHT et al., 2012), milho (FERREIRA et al., 2007), pinhão-manso (ABDELGADIR et al., 2010) e cártamo (ULLAH; BANO, 2011).

As características físico-químicas e as propriedades tecnológicas afetam diretamente a qualidade e o valor comercial dos grãos (MARINI et al., 2005), mas são propriedades sensíveis, visto que, após a colheita, a qualidade adquirida pelos grãos durante sua produção reduz de forma progressiva (CARVALHO et al. 2006). Nesse aspecto, a manutenção das características das oleaginosas ao longo do armazenamento é desafiadora, pois além de estarem sujeitos à deterioração acelerada por processos autoxidativos, esse tipo de grão passa por longos períodos de armazenamento, para compensar a sazonalidade entre safras (ARAUJO et al., 2017).

A maioria dos estudos acerca do armazenamento de grãos de crambe visam elucidar sua qualidade fisiológica como semente (COSTA et al., 2012; MASETTO et al. 2013; FARIA et al., 2014; BESSA et al., 2015) ou indicar embalagens adequadas para o armazenamento. Bezerra et al. (2015) indicam o uso de embalagem hermética para manutenção da qualidade dos grãos e do óleo para produção de biodiesel e apontam que 12 meses de armazenamento apresentou níveis inseguros de qualidade para os grãos de crambe. Donadon et al. (2015) reportaram redução no teor de proteína bruta e óleo de grãos de crambe no decorrer de 9 meses de armazenamento em diferentes embalagens, porém o teor de acidez não sofreu interferência.

Estudos que relacionam fatores pré-colheita à qualidade dos grãos ao longo do armazenamento são escassos. Perante as alterações físicas e químicas que grãos produzidos com a aplicação de reguladores vegetais podem vir a apresentar, busca-se averiguar a influência da aplicação desses compostos na qualidade dos grãos de crambe, tal qual o resultado durante o armazenamento prolongado.

Dessa forma, o objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito de 180 dias de armazenamento na composição química de grãos de crambe produzidos com a aplicação de reguladores vegetais durante as safras de 2014 e 2015, bem como observar, através da técnica de agrupamento, quais parâmetros mostram-se ferramentas adequadas na avaliação da qualidade pós-colheita de grãos de crambe.

## 5.1.2 MATERIAL E MÉTODOS

O crambe foi cultivado em dois anos na Fazenda Escola do Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz localizada no município de Cascavel, Paraná, Brasil (53° 30'35" L; 24° 56'24"O, 740m de latitude) em Latossolo Vermelho Distroférico (EMBRAPA, 2006). Posteriores análises foram realizadas no Laboratório de Controle de Qualidade de Produtos Agrícolas do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), *campus* Cascavel.

### 5.1.2.1 Cultivo e aplicação de reguladores vegetais

O cultivo referente à primeira safra (S1) ocorreu de 20 de abril a 30 de agosto de 2014, e a segunda safra (S2) foi de 04 de abril a 05 de setembro de 2015. Os dados de umidade relativa do ar e precipitação referentes aos períodos descritos acima foram fornecidos pelo Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR).

A preparação do solo foi realizada com uma adubação de 3000kg de cama de aviária por hectare e as sementes cultivar FMS Brilhante foram semeadas na profundidade de 4 cm da superfície nas entrelinhas separadas entre si com a distância de 0,25 m, seguindo a densidade de semeadura proporcional a 20 kg de sementes viáveis por hectare (KNIGHTS, 2002).

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizados com quatro repetições. As parcelas possuíram a dimensão de 6 x 6 m (36 m<sup>2</sup>) com espaçamento de dois metros entre si, um total de 936 m<sup>2</sup> de área experimental. Para o cálculo de área útil foram desprezados 0,5 m das bordas de cada parcela.

Os reguladores vegetais foram aplicados quando a maioria das plantas de crambe apresentaram transição do estágio vegetativo para o início do florescimento, aproximadamente 60 dias após a semeadura da primeira safra e 90 dias após a semeadura na segunda safra.

Duas aplicações foram realizadas com intervalo de 15 dias (OUZOUNIDOU et al., 2010; GIANNAKOULKA et al., 2012), seguindo os tratamentos descritos a seguir:

1. tratamento controle com água destilada;
2. ácido indol-3-acético 100 mg L<sup>-1</sup> (AIA);
3. ácido 3-giberélico P.A. 100 mg L<sup>-1</sup> (GA<sub>3</sub>);
4. regulador vegetal comercial Stimulate® 6 mL L<sup>-1</sup>.

A composição química do Stimulate consiste em cinetina 0,009% + ácido giberélico 0,005% + ácido 4-indol-3-ilbutírico 0,005%, e a concentração aplicada foi calculada conforme a bula indicada pelo fabricante proporcional à área da parcela (STOLLER DO BRASIL, 1998).

As caldas foram preparadas utilizando 10 mL álcool etílico P.A. como diluente, inclusive no tratamento controle, e levadas para campo para aplicação foliar com pulverizador costal manual, seguindo padrão de 2L por parcela.

### **5.1.2.2 Colheita e armazenamento**

A colheita dos grãos foi realizada manualmente. Os grãos foram levados ao laboratório onde uma amostragem inicial de grãos foi realizada e estes moídos em moinho de faca refrigerado a 19 °C. A farinha foi peneirada em peneira de 26 mesh e congelada até o momento das análises.

O restante dos grãos foi acondicionado em sacos de papel Kraft na quantidade de 500g. Cada embalagem correspondia a uma parcela colhida, sendo, assim, armazenada em 4 repetições.

O armazenamento foi realizado durante 180 dias em condições de temperatura e umidade ambiente. Os dados de temperatura média, mínima e máxima e umidade relativa referente ao armazenamento foram cedidos pelo Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR).

No final desse período, uma amostragem foi realizada e os grãos moídos nas mesmas condições descritas para a amostragem inicial. Todas as posteriores análises foram realizadas em triplicatas.

### **5.1.2.3 Características físico-químicas**

#### Teor de água

O teor de água dos grãos foi determinado pelo método de estufa de secagem, a 105 °C ( $\pm 3$  °C) durante 24 horas, com 5 g de amostra cada (BRASIL, 2009).

#### Teor de lipídios em extração a quente (EQ)

Para extração da fração lipídica apolar, utilizou-se o método de Goldfish modificado em equipamento Extrator de Gorduras Tecnal TE-044, utilizando 2 g de farinha e éter petróleo P.A. como solvente por 1 hora e meia a 90 °C. O teor de lipídios foi expresso em porcentagem em base seca.

### Teor de lipídios em extração a frio (EF)

Utilizou-se método de extração a frio de Bligh & Dyer para extração de todas as frações lipídicas. Uma mistura de 10 mL de clorofórmio, 20 mL de metanol e 8 mL de água foi adicionada a 2 g de amostra, submetida a agitação por 30 minutos com posterior adição de 10 mL de clorofórmio e 10 mL de sulfato de sódio 1,5%. A porção lipídica foi obtida da fração inferior em funil de separação, obtida pela evaporação total dos solventes em estufa a 100 °C, e o cálculo realizado segundo a metodologia adaptada por Carvalho; Jong (2002) considerando base seca.

### Teor de proteínas

Utilizou-se a determinação de nitrogênio total por semi-micro-Kjeldahl segundo a metodologia proposta pelo Instituto Adolfo Lutz (2008) e fator de conversão de 6,25 em base seca para transformação em teor de proteína.

### Atividade antioxidante por DPPH (1-difenil-2-picrilhidrazil)

Primeiramente, 0,3 g de amostra foi agitada em mesa agitadora com 3 mL de solução metanol-água (2:1) por 30 minutos, homogeneizada em vórtex por 5 minutos e centrifugada a 3600 rpm por 15 minutos. Esse processo foi repetido duas vezes e os sobrenadantes transferidos e completando o volume em balão de 10 mL.

Então, 200 µL desse extrato foi adicionado à 2800 µL de solução de DPPH 103,2 µM (em metanol, com absorvância aproximada de 1,2 em 515nm) recém preparada. Uma alíquota controle de 200 µL de metanol e 2800 µL de DPPH, bem como a curva de calibração também foram preparadas e postas em agitação por 20 horas em completa ausência de luz. Utilizou-se metanol como branco. Subsequentemente, a absorção da amostra, do controle e do branco foi medida em espectrofotômetro a 515 nm (BRAND-WILLIAMS et al., 1995; REYES et al., 2007).

A capacidade de sequestro do DPPH foi denominada atividade antioxidante (AA) e expressa em termos de porcentagem de redução na concentração de DPPH pelos componentes da farinha de crambe (MIRANDA; FRAGAM, 2006). O cálculo utilizou os valores das leituras de absorção (Abs) e procedeu-se da seguinte forma:

$$AA\% = \frac{100 - \{(Abs_{amostra} - Abs_{branco}) \times 100\}}{Abs_{controle}}$$

### Teor de acidez

O teor de acidez foi obtido conforme metodologia do Instituto Adolfo Lutz (2009), avaliando a acidez de uma solução éter-alcoólica (2:1) de 2g de farinha de crambe e

fenolftaleína 10%, titulada com solução de NaOH 0,1 M padronizada. O resultado foi expresso em porcentagem de ácido oleico.

#### **5.1.2.4 Análise estatística**

Para cada parâmetro avaliado realizou-se a análise descritiva e o teste de Anderson-Darling de normalidade, que estão representados no Apêndice 1. Os dados das variáveis teor de água, teor de lipídios EF, atividade antioxidante e teor de acidez foram transformados pela transformação de Box-Cox para aproximar os dados de uma distribuição normal. O nível de 5% de significância foi escolhido para todas as análises estatísticas.

A análise de variância (ANOVA) foi realizada com três fatores sendo esses as safras (S) com dois níveis: 2014 (S1) e 2015 (S2); armazenamento dos grãos (A) com dois níveis: amostragem inicial (A1) e após 180 dias de armazenamento (A2); e efeito de reguladores vegetais (RV) com quatro níveis: controle, AIA 100 mg L<sup>-1</sup>, GA<sub>3</sub> 100 mg L<sup>-1</sup> e Stimulate® 6 mL L<sup>-1</sup> com 4 repetições.

A diferença significativa entre os tratamentos apontados na ANOVA foram analisados pelo teste Tukey. Essas análises foram realizadas pelo software estatístico Minitab® 17. Por fim, as médias gerais dos tratamentos para cada característica química estudada foram submetidas a uma análise multivariada de agrupamento hierárquico utilizando a distância euclidiana como medida de dissimilaridade para agrupar os grupos formados. A consistência do padrão de agrupamento foi avaliada por meio do coeficiente de correlação cofenética, e a significância desse coeficiente foi verificada por meio do teste t de Student. O resultado foi representado em um gráfico dendrograma. Para esse fim, utilizou-se software R (R CORE TIME, 2016).

### **5.1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **5.1.3.1 Condições climáticas e desenvolvimento da cultura**

A umidade relativa do ar média e a precipitação acumulada referentes aos períodos de cultivo do crambe nos anos de 2014 e 2015 constam na Tabela 4. A umidade relativa em 2014 foi maior em relação a 2015 nos meses de abril, junho e agosto. Os índices de precipitação no ano de 2015 foram mais distribuídos ao longo da temporada de cultivo do que em 2014, quando as chuvas se concentraram principalmente em maio e junho. O grande volume de chuvas pode ter auxiliado no desenvolvimento da cultura, visto que solos bem

regados favorecem o desenvolvimento dessa cultura (DIAS et al., 2015). Na segunda quinzena de junho de 2014, as plantas iniciaram a transição do estágio vegetativo para a floração. Esse processo foi alcançado por todas as plantas apenas na metade de julho, mostrando uma falta de homogeneidade de desenvolvimento da cultura.

Tabela 4 Média de umidade relativa (UR) e valores de precipitação acumulada referentes aos períodos de produção de crambe da safra (S1) de 20 de abril a 30 de agosto de 2014 e da safra (S2) de 01 de abril a 5 de setembro de 2015

Mês	UR (%)		Precipitação acumulada (mm)	
	S1	S2	S1	S2
Abril	83,90	78,47	107,00	102,20
Maio	83,30	84,65	180,8	261,20
Junho	84,70	80,92	442,4	91,20
Julho	79,30	87,03	107,6	384,60
Agosto	65,70	63,82	55,00	55,20
Setembro	-	62,93	-	1,40
Média	79,38	76,30	Total	892,80

O ciclo de produção do ano de 2015 foi mais longo do que em 2014 e esse fato pode estar relacionado a um baixo índice de precipitação no mês de junho de 2015. Apesar de ser resistente à seca, o crambe mostra-se sensível ao excesso de água (ZHU, 2016). Em junho, as plantas de crambe atingiram o auge do desenvolvimento vegetativo e só iniciaram a transição do estágio vegetativo para a floração na primeira quinzena de julho. O período de enchimento dos grãos foi prolongado, provavelmente pelo alto índice pluviométrico em julho e a maturação dos grãos se delongou durante agosto, encerrando no início de setembro. Períodos de chuva recorrentes durante o enchimento de grãos podem afetar a duração desse processo, por alterar o desempenho fotossintético das plantas (GUARIENTI et al., 2003).

Em relação ao armazenamento dos grãos (Tabela 5), o ano de 2014 foi 1 °C mais quente que 2015 em relação à temperatura máxima e também 1,19 °C mais quente que 2015 em relação à temperatura mínima. Entretanto, a temperatura média entre os anos no período do armazenamento foi similar. Quanto à umidade relativa do ar, há um incremento nas médias de outubro, novembro, dezembro, janeiro e fevereiro de 2015 e na média final desse período. Assim, o armazenamento do primeiro experimento decorreu em condições mais úmidas do que o segundo experimento.

Tabela 5 Médias de temperatura máxima (máx), mínima (mín), média e umidade relativa referentes aos períodos de armazenamento (A1) de 01 setembro de 2014 a 15 de março de 2015 e armazenamento (A2) de 06 de setembro de 2015 a 20 de março de 2016

Período	T °C máx		T °C mín		T °C média		UR (%)	
	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2
Setembro	27,31	28,19	15,68	6,10	20,59	21,15	72,97	67,94
Outubro	32,00	29,01	17,99	17,96	24,23	22,99	59,69	76,88
Novembro	28,22	26,47	17,89	18,17	22,37	21,72	75,90	89,87
Dezembro	28,35	27,15	18,63	19,04	22,86	22,39	83,79	91,03
Janeiro	30,56	30,24	19,23	19,74	23,81	24,08	81,70	82,35
Fevereiro	30,34	30,24	18,99	20,20	23,25	23,96	82,24	88,34
Março	30,03	-	18,81	-	23,26	-	79,74	-
Média	29,54	28,57	18,17	16,98	22,91	22,67	76,58	81,66

### 5.1.3.2 Teor de lipídios em extração a frio (EF) e proteína

A interação entre os níveis dos fatores tempo de armazenamento e os tratamentos com reguladores vegetais apresentaram diferença significativa sobre o teor de lipídios EF e de proteínas dos grãos de crambe (Tabela 6).

Tabela 6 Valor de f e p da análise de variância para teor de água, lipídios em extração a quente (EQ), lipídios em extração a frio (EF), proteína, acidez e atividade antioxidante (AA) para os fatores principais e interações entre safra (S), tempo de armazenamento (A) e aplicação de reguladores vegetais (RV)

	Teor de água		Lipídios EQ		Lipídios EF		Proteína		Acidez		AA	
	f	p	f	p	f	P	f	p	f	p	f	p
S	7,20	0,01	13,49	0,00	57,83	0,00	0,90	0,35	31,67	0,00	59,14	0,00
A	1,78	0,19	47,33	0,00	4,07	0,05	4,54	0,04	75,27	0,00	13,15	0,00
S x A	12,22	0,00	0,44	0,51	41,60	0,00	0,10	0,75	65,75	0,00	55,45	0,00
RV	12,74	0,00	3,25	0,03	2,89	0,05	3,96	0,01	13,25	0,00	4,74	0,01
S x RV	11,96	0,00	0,51	0,67	5,12	0,00	1,75	0,17	7,33	0,00	6,58	0,00
A x RV	13,08	0,02	3,36	0,03	16,50	0,00	3,54	0,02	13,13	0,00	3,73	0,02
S x A x RV	3,74	0,00	4,03	0,01	1,88	0,15	1,57	0,21	18,53	0,00	6,35	0,01

O teor de lipídios EF do tratamento controle reduziu após 180 dias de armazenamento (Tabela 7) e, em contraste, os grãos armazenados que foram produzidos com os reguladores vegetais não apresentaram redução no teor de lipídios EF. O teor de lipídios EF dos grãos produzidos com o ácido indol-3-acético (AIA) destacou-se por manter-se em 38,79% no final do armazenamento ao diferir dos demais tratamentos e ser igual estatisticamente ao controle do início do armazenamento.

Tabela 7 Média do teor de lipídios por extração a frio (EF) e teor de proteína de grãos de crambe para a interação entre tempo de armazenamento (A) e produzidos com aplicação de reguladores vegetais (RV)

A	RV	Lipídios EF (%)	Proteína (%)
Inicial	Controle	38,04 AB	22,43 A
	AIA	34,39 C	22,00 A
	GA <sub>3</sub>	34,59 C	22,16 A
	Stimulate®	36,01 BC	21,76 AB
180 dias	Controle	34,49 C	22,15 A
	AIA	38,79 A	22,18 A
	GA <sub>3</sub>	35,11 BC	20,65 B
	Stimulate®	34,62 BC	21,67 AB

Valores seguidos pela mesma letra na coluna não são significantes pelo teste Tukey ( $p \leq 0,05$ ). Controle - água destilada; AIA - ácido indol-3-acético 100 mg L<sup>-1</sup>; GA<sub>3</sub> - ácido 3-giberélico 100 mg L<sup>-1</sup>, Stimulate® - regulador vegetal comercial cinetina-IBA-GA3 6 ml L<sup>-1</sup>.

Nesse caso, a manutenção na qualidade dos grãos de crambe armazenados por períodos prolongados pode ter sido assegurada por um aumento nos compostos antioxidantes, protetores naturais contra a degradação lipídica. Estudando girassol, Ahmed et al. (2013) aplicaram ácido salicílico, um regulador vegetal que aumenta a produção interna de AIA na planta, e observaram aumento na quantidade e qualidade de óleo nesses grãos. Em ervilha, a aplicação de auxina por pulverização foliar durante o cultivo promove aumento nos compostos fenólicos antioxidantes nas sementes (EL-SHRAIY; HEGAZI, 2009).

Durante a formação dos grãos de canola, os níveis intracelulares de AIA aumentam, evidenciando que essa substância está diretamente correlacionada com o processo de enchimento de grãos e que melhora a acumulação de assimilados em sementes (BOUILLE et al., 1989).

Na literatura disponível, a determinação do conteúdo lipídico de grãos de crambe é realizada por espectroscopia NMR (LAGHETTI et al., 1995; FONTANA et al., 1998; ADEMSEN; COFFELT, 2005; LARA-FIOREZE et al., 2013) ou por método Soxhlet com aquecimento do solvente (LALAS et al., 2012; ROSSETO et al., 2012; VAZQUEZ et al., 2014), o que dificulta a comparação dos resultados obtidos através desse método. Vale ressaltar que o método a frio Bligh & Dyer apresentou melhor rendimento de extração do teor lipídico da amostra em comparação à extração a quente pelo método Soxhlet, como será apresentado a seguir. Essa tendência metodológica confirma as análises de Brum et al. (2009) e Gusso et al. (2012).

O teor de proteína dos grãos de crambe não apresentou alterações ao longo do tempo, com exceção daqueles produzidos com a aplicação de GA<sub>3</sub>, que apresentaram menor conteúdo proteico. Bora e Sarma (2006) verificaram aumento no teor de proteínas de ervilhas produzidas com aplicação foliar de 250 µg mL<sup>-1</sup> de GA<sub>3</sub> e associam o efeito do regulador na ativação de algum gene de transcrição que leva ao acúmulo de proteína. Há possibilidade que

haja efeito contrário e ocorra uma inativação de um gene de produção de proteína ou, ainda, induzir a síntese de RNAm de proteases (KOHLENER; HO, 1990).

Souza et al. (2009) determinaram valores semelhantes de teor de proteína em grãos de crambe. Em relação ao tempo de armazenamento, Donadon et al. (2015) observaram decréscimo no teor proteico de crambe ao estudar 3 diferentes embalagens no armazenamento por 60 e 120 dias. O teor de proteínas de grãos de arroz integral também se manteve inalterado após 6 meses de armazenamento (ZIEGLER et al., 2017). Belmiro et al. (2010), estudando diferentes níveis de teor de água em grãos de abóbora armazenados, também observaram um teor de proteína estático em longos períodos de armazenamento, quanto menor o teor de água nos grãos. Isso mostra que redução no teor de proteína durante o armazenamento pode não ocorrer para todos os grãos, dependendo das condições de armazenamento.

#### **5.1.3.3 Teor de água, lipídios em extração a quente (EQ), atividade antioxidante e acidez**

A análise de variância mostra que há interação significativa entre todos os fatores estudados no teor de água, de lipídios EF, atividade antioxidante e o teor de acidez dos grãos de crambe (Tabela 6).

O teor de água no grão variou nos tratamentos com reguladores vegetais e durante o armazenamento (Tabela 8) entre 5,48 e 8,16 %. Esses valores corroboram os observados por Bezerra et al. (2015), de 8 % de teor de água para crambe armazenado em condições ambientes não controladas por 6 meses. Ainda, os valores são inferiores ao limite máximo recomendado como seguro para armazenagem de crambe, que é de 10% (ENDRES; SCHATZ, 2013), por ser uma oleaginosa.

Quanto menor o teor de água nos grãos durante o armazenamento, maior será a sua longevidade (QUEIROGA et al., 2009). A quantidade de água nos grãos está relacionada com a estabilidade oxidativa dos lipídios presentes, sendo que menor velocidade no processo de oxidação dos lipídios é observada em atividade da água ( $A_w$ ) entre 0,2 e 0,3. Quando os valores de  $A_w$  são inferiores ou próximos a zero (estado de desidratação do grão), a velocidade de oxidação aumenta devido à facilidade de migração do oxigênio (SILVA et al., 1999). A atividade dos grãos de crambe em teores de água entre 6 e 8%, com temperaturas médias entre 20 e 25 °C, situa-se na faixa de 0,6 de atividade de água, o que pode favorecer o início de reações de oxidação lipídica (COSTA et al. 2015).

Os grãos de crambe produzidos em 2014 possuem menor teor de lipídios EQ e maior variação nos valores de acidez ao longo do tempo do que dos grãos da safra de 2015 (Tabela 5). A oscilação no teor de lipídios de grãos de crambe em função do ano de produção também foi reportado por Laghetti et al. (1995) e Fontana et al. (1998). Esses autores relacionam essas

alterações com variações das condições climáticas de temperatura e precipitação durante a emergência, a floração e o enchimento dos grãos entre os anos.

Tabela 8 Média do teor de água, teor de lipídios por extração a quente (EQ), acidez e atividade antioxidante de grãos de crambe para a interação entre safra (S), tempo de armazenamento (A) e aplicação de reguladores vegetais (RV)

S	A	RV	Água (%)	Lipídios EQ (%)	Acidez (%)	AA (%)
2014	Inicial	Controle	6,73 BCDE	26,04 CDEF	3,71 AB	32,18 B
		AIA	6,94 CDE	21,05 FG	2,86 BC	32,60 AB
		GA <sub>3</sub>	6,1 ABC	24,52 DEFG	4,49 A	35,19 A
		Stimulate®	6,29 ABC	26,20 CDE	3,7 AB	32,66 AB
	180 dias	Controle	8,16 E	21,77 EFG	1,78 CDE	30,69 BC
		AIA	7,76 DE	22,94 EFG	0,82 HI	29,22 C
		GA <sub>3</sub>	6,34 ABCD	19,65 G	0,69 I	30,33 BC
		Stimulate®	5,48 A	21,24 EFG	0,86 GH	30,02 BC
2015	Inicial	Controle	6,82 BCD	34,64 A	2,22 CD	13,41 F
		AIA	5,76 DE	33,25 AB	1,55 DEF	13,55 F
		GA <sub>3</sub>	6,59 ABCD	31,48 AB	1,72 CDE	14,01 EF
		Stimulate®	6,31 ABC	34,57 A	1,17 EFG	17,63 D
	180 dias	Controle	6,43 AB	28,67 BCD	1,25 EFG	14,90 DEF
		AIA	7,58 AB	29,47 BCD	1,38 FGH	16,46 DE
		GA <sub>3</sub>	6,35 BCD	29,96 ABC	1,13 EFG	15,77 DEF
		Stimulate®	6,12 ABC	31,02 ABC	1,00 FGH	15,72 DEF

Valores seguidos pela mesma letra na coluna não são significantes pelo teste Tukey ( $p \leq 0,05$ ). Controle - água destilada; AIA - ácido indol-3-acético 100 mg L<sup>-1</sup>; GA<sub>3</sub> - ácido 3-giberélico 100 mg L<sup>-1</sup>, Stimulate® - regulador vegetal comercial cinetina-IBA-GA<sub>3</sub> 6 ml L<sup>-1</sup>.

Verificou-se variação entre 34,64 a 19,65 % no teor de lipídios EQ dos grãos, sendo que os menores valores são observados nos grãos armazenados por 180 dias da safra de 2014 e 2015 em relação ao início de cada período. Destaca-se que o teor lipídico EQ dos grãos produzidos com aplicação dos reguladores GA<sub>3</sub> e Stimulate® na safra de 2015 manteve-se até o final do armazenamento, enquanto que o controle desse período apresentou redução desse parâmetro. Da mesma forma, o teor de acidez do controle desses grãos apresentou redução de 0,97% no final do armazenamento, já os tratamentos com reguladores vegetais não apresentaram diferença na acidez inicial e após 180 dias.

Geralmente, a redução lipídica durante o armazenamento é associada principalmente ao processo de autooxidação, o que parece não ocorrer nos grãos de crambe, visto que a acidez do tratamento controle diminuiu enquanto que a tendência é de aumento em caso de autooxidação, devido ao acúmulo de ácidos graxos livres (MELO, 2010; ELIAS et al., 2010). Condições inadequadas de armazenamento, em resposta à sua natureza higroscópica, levam a mudanças no metabolismo celular que podem aumentar a atividade enzimática e respiratória do grão (VIEIRA; YOKOYAMA, 2000; AGUIAR et al., 2012).

Assim, os ácidos graxos livres podem ser catabolizados na  $\beta$ -oxidação mitocondrial e serem convertidos em acetil-Coa, substrato do ciclo de Krebs (GRAHAM, 2008). Como resultado, o teor de acidez provocado pelos ácidos graxos livres seria reduzido ou inalterado.

Os resultados em relação ao armazenamento são coerentes com os obtidos por Donadon et al. (2015), que observaram redução linear do teor de lipídio no crambe ao longo do armazenamento por até 9 meses. Ainda, esses autores salientam que apesar do teor de óleo diminuir ao longo do armazenamento, o índice de acidez não sofreu influência do tempo do armazenamento. Já Bezerra et al. (2015) observaram redução no teor de óleo e aumento na acidez graxa dos grãos de crambe, estudando diferentes tipos de embalagens e ambientes, ao longo do tempo.

Como matéria-prima para a produção de biodiesel, a redução da acidez do grão de crambe pode ser considerada vantajosa, pois alto índice de acidez pode interferir no processo de transesterificação, ao favorecer a saponificação do óleo (MENEGHETTI et al., 2013).

Já a manutenção da quantidade e qualidade do teor de lipídios após 180 dias de armazenamento em função da aplicação de GA<sub>3</sub> e Stimulate<sup>®</sup> pode estar relacionada a um aumento na produção de compostos antioxidantes que conferem ao grão alta capacidade no controle do processo oxidativo no armazenamento prolongado (GRILO et al., 2015), visto que os grãos de crambe são ricos em antioxidantes (LALAS et al., 2012).

Giannakoula et al. (2012) observaram que a aplicação de GA<sub>3</sub>, AIA e cinetina individualmente aumentaram a concentração de ácido gálico e rutina, dois compostos bioativos na proteção antioxidativa em lentilha. Albrecht et al. (2012), estudando a composição química de soja produzida com aplicação de Stimulate<sup>®</sup>, observou redução no conteúdo lipídico e aumento no conteúdo proteico, o que não corresponde ao observado em crambe.

Avaliando a aplicação dos reguladores vegetais cloreto de clorocolina, ácido salicílico e cinetina (composto presente em Stimulate<sup>®</sup>), Ullah e Asghari (2011) observaram aumento na quantidade e alteração na composição química de ácidos graxos no óleo do grão de cártamo e redução na acidez. Ainda, esses autores demonstraram que essas alterações resultaram em melhoria na qualidade de biodiesel produzido a partir do óleo de cártamo.

Abdelgadir et al. (2010) testaram citocinina e auxina em pinhão-mansão, também utilizado para produção de biodiesel, e obtiveram um aumento na produção de sementes, de óleo nas sementes e melhor qualidade do fruto.

A atividade antioxidante dos grãos de crambe produzidos em 2015 é menor do que nos grãos produzidos em 2014, mostrando que os grãos de 2015 apresentam melhor qualidade nesse quesito. O uso de GA<sub>3</sub> na produção de crambe em 2014 resultou em uma maior atividade antioxidante nos grãos no início do armazenamento quando comparada com seu controle, mas não difere do efeito dos outros reguladores nesse período.

Na safra de 2015, a aplicação de Stimulate® resultou em maior atividade antioxidante e diferiu dos demais tratamentos no início do armazenamento. Essas diferenças não promoveram comportamento diferenciado para os grãos armazenados, visto que, no final do armazenamento, independente dos tratamentos em cada ano, a atividade antioxidante não reduziu.

A ação antioxidante é mediada pela ação de compostos naturais que protegem o conteúdo lipídico contra a ação de radicais livres que iniciam e perpetuam a peroxidação lipídica (CASTELO-BRANCO; TORRES, 2011). Mediante a não alteração da atividade antioxidante, supõe-se que não há indicativo de oxidação e/ou houve um aumento da concentração dos antioxidantes naturais tais como tocoferóis, carotenoide e compostos fenólicos que mediarão o controle natural das reações catabólicas dos lipídios (GRILO et al., 2015). Giannakoula et al. (2012) obtiveram correlação entre o aumento de compostos fenólicos antioxidantes mediante aplicação de GA<sub>3</sub>, AIA e cinetina com a capacidade antioxidante total em sementes de lentilha.

Os resultados mostram que a qualidade dos grãos de crambe responde tanto ao emprego de técnicas nos processos pré-colheita (aplicação de reguladores vegetais) quanto aos efeitos de procedimentos pós-colheita (tempo de armazenamento). Ainda, a aplicação de reguladores vegetais pode ser tão eficiente na manutenção da qualidade dos grãos quanto os adotados na pós-colheita. A redução do teor de lipídios de óleo de soja, por exemplo, pode ser obtido com uma combinação específica de teor de água no grão, umidade relativa e baixas temperaturas durante o armazenamento (ALENCAR et al., 2009; MARINHO et al., 2017), o que pode gerar mais gastos do que a aplicação dos reguladores vegetais durante a produção.

#### **5.1.3.4 Análise de agrupamento das características químicas**

A análise de agrupamento foi utilizada para organizar as características químicas de acordo com as semelhanças entre os tratamentos com reguladores vegetais. As médias gerais utilizadas nessa etapa estão dispostas na Tabela 9.

A distância euclidiana foi a medida de dissimilaridade utilizada para avaliar a diferença multivariada, de forma que, quanto menor seu valor, mais similares são os tratamentos em relação às suas características químicas (Apêndice 2).

O teor de proteínas e o teor de acidez foram as características de maior similaridade entre si. Já a maior distância observada foi entre o teor de água e a acidez nos tratamentos de reguladores, seguida pelo teor de lipídios EF e EQ em relação à atividade antioxidante.

Tabela 9 Médias gerais de teor de água, proteína, lipídios por extração a quente (EQ), lipídios por extração a frio (EF), acidez e atividade antioxidante (AA) de grãos de crambe produzidos com aplicação de reguladores vegetais

Tratamentos	Características físico-químicas					
	Água	Proteína	Lipídios EQ	Lipídios EF	Acidez	AA
Controle (2014)	6,58	30,34	38,04	22,43	2,97	22,80
AIA (2014)	7,26	27,15	34,39	22,00	2,2	23,08
GA <sub>3</sub> (2014)	6,22	28,00	34,59	22,16	3,10	24,60
Stimulate® (2014)	6,20	30,39	36,01	21,75	2,43	25,14
Controle (2015)	6,99	25,22	34,49	22,15	1,51	22,80
AIA (2015)	6,76	22,20	35,79	22,18	1,10	22,84
GA <sub>3</sub> (2015)	6,47	24,79	35,11	20,65	0,95	23,05
Stimulate® (2015)	5,89	26,13	34,62	21,67	0,93	22,87

AIA - ácido indol-3-acético; GA<sub>3</sub> - ácido 3-giberélico; 2014 - produzido na safra de 2014; 2015 - produzido na safra de 2015.

A estrutura hierárquica formada pelas distâncias euclidianas está representada no gráfico dendrograma (Figura 4), com base na distância de ligação do vizinho mais próximo seguindo os níveis de similaridade entre as características físico-químicas, e traz a formação de 3 grupos. O método de agrupamento foi considerado adequado por apresentar coeficiente de correlação cofenética igual a 0,774 (ROHLF, 1970), valor este considerado significativo pelo teste T a 5% de significância.

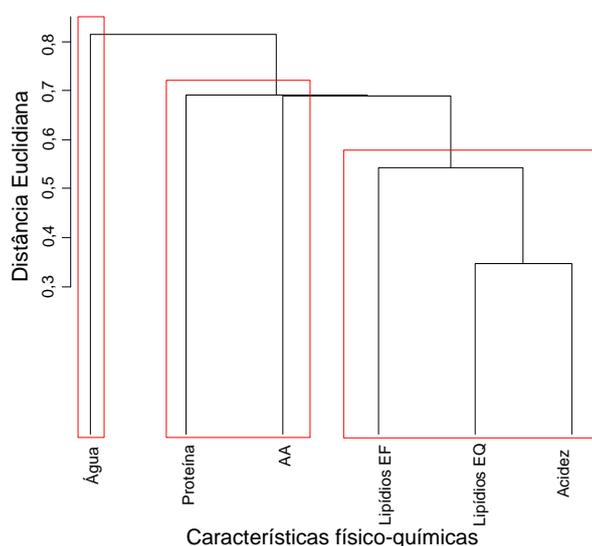


Figura 4 Dendrograma de agrupamento das característica físico-química de acordo com a distância euclidiana. AA - atividade antioxidante; EF - lipídios por extração a frio; EQ - lipídios por extração a quente.

O primeiro grupo é formado apenas pelo teor de água que aparece mais distante dos demais parâmetros devido à grande variação dos valores observados pelos tratamentos, indicando que essa característica talvez não seja a mais adequada para o estudo do efeito

dos reguladores vegetais nos grãos de crambe. O segundo grupo indica similaridade entre o teor de proteína e a atividade antioxidante nos grãos de crambe. Esses foram os parâmetros sobre os quais os reguladores vegetais menos influenciaram.

A caracterização físico-química é utilizada para averiguar a qualidade pós colheita do grão e, corriqueiramente, as relações entre os parâmetros são exploradas a fim de compreender os possíveis eventos bioquímicos que ocorrem durante o armazenamento. Nesse caso, os resultados do dendograma mostram que a atividade antioxidante está mais relacionada ao conteúdo proteico do grão do que à dinâmica do conteúdo lipídico.

O terceiro grupo do dendograma mostra que há similaridade entre os teores de lipídio e a acidez. Esses resultados mostram a coerência em utilizar dois métodos distintos de extração lipídica, o método Soxhlet e Bligh & Dyer, que oferecem diferentes resultados, porém ainda relacionados. Em futuros estudos, a quantificação e a qualidade dos grãos de crambe em função da aplicação de reguladores vegetais deve ser estudada a partir da caracterização de seus constituintes lipídicos.

#### 5.1.4 CONCLUSÃO

De modo geral, o período de 180 dias de armazenamento não se mostrou adequado devido à redução do teor de lipídios EF e EQ. O teor de lipídeos e a atividade antioxidante não alterou ao longo do armazenamento dos grãos produzidos perante aplicação de reguladores vegetais e a acidez desses grãos reduziu. Na safra de 2014, o regulador relevante nesse contexto foi o AIA, enquanto que, na safra de 2015, destacam-se GA<sub>3</sub> e o Stimulate®.

#### 5.1.5 AGRADECIMENTOS

Esse trabalho foi desenvolvido com recursos financeiros e equipamentos cedidos pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo CNPQ e pela Fundação Araucária.

#### 5.1.6 REFERÊNCIAS

ABDELGADIR, H.A.; JAGER, A.K.; JOHNSON, S.D.; STADEN, J.V. Influence of plant growth regulators on flowering, fruiting, seed oil content and oil quality of *Jatropha curcas*. **South African Journal of Botany**, v. 76, p. 440-446, 2010.

ADAMSEN, F.J.; COFFELT, T.A. Planting date effects on flowering, seed yield, and oil content of rape and crambe cultivars. **Industrial Crops and Products**, v. 21, p. 293-307, 2005.

AGUIAR, R.W.S.; BRITO, D.R.; OOTANI, M.A.; FIDELIS, R.R.; PELUZIO, J.N. Efeito do dióxido de carbono, temperatura e armazenamento sobre sementes de soja e microflora associada. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 3, p. 554-560, 2012.

AHMED, F.; BALOCH, D.M.; HASSAN, M.J.; AHMED, N. Role of plant growth regulators in improving oil quantity and quality of sunflower hybrids in drought stress. **Biologia (Pakistan)**, v. 59, n. 2, p. 315-322, 2013.

ALBRECHT, L.P.; BRACCINI, A.L.; SCAPIM, C.A.; ÁVILA, M.R.; ALBRECHT, A.J.P. Biorregulador na composição química e na produtividade de grãos de soja Plant growth regulator in the chemical composition and yield of soybeans. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 4, p. 774-782, 2012.

ALENCAR, E.R.; FARONI, I.R.D.; LACERDA FILHO, A.F.; PETERNELLI, L.A.; COSTA, A.R. Qualidade dos grãos de soja armazenados em diferentes condições. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 5, p. 606-613, 2009.

ARAUJO, M.M.V.; CANEPPELE, M.A.B.; TRAGE, A.K. Grãos de soja submetidos a diferentes condições de armazenamento. **Nativa**, v. 5, n. 2, p. 79-84, 2017.

AVILA, M.R.; BRACCINI, A.L.; SCAPIM, C.A.; ALBRECHT, L.P.; TONIN, T.A.; STULP, M. Bioregulador application, agronomic efficiency and quality of soybean seeds. **Scientia Agrícola**, v. 65, n. 6, p. 567-691, 2008.

BASSEGIO, D.; ZANOTTO, M.D.; SANTOS, R.F.; WERNCKE, I.; DIAS, P.P.D.; OLIVO, M. Oilseed crop crambe as a source of renewable energy in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 66, p. 311-321, 2016.

BELMIRO, T.M.C.; QUEIROZ, A.J.M.; FIGUEIREDO, R.M.F.; FERNANDES, T.K.S.; BEZERRA, M.C.T. Alterações químicas e físico-químicas em grãos de abóbora durante o armazenamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 9, p. 1000-1007, 2010.

BESSA, J.F.V.; DONADO, J.R.; RESENDE, O.; ALVES, R.M.V.; SALES, J.F.; COSTA, L.M. 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.

BEZERRA, P.H.S.; BIAGGIONI, M.A.M.; SILVA, M.A.P.; SPEROTTO, F.C.S.; BRANDÃO, F.J.B. Efeito do armazenamento na qualidade dos grãos e do óleo de crambe para produção de biodiesel. **Revista Energia na Agricultura**, v. 30, n. 3, p. 310-318, 2015.

BLIGH, E.G.; DYER, W.J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian Journal Biochemistry Physiology**, v. 27, p. 911-917, 1959.

BLUM, A.A.S.; ARRUDA, L.F.; REGITANO-D'ARCE, M.A.B. Métodos de extração e qualidade da fração lipídica de matérias-primas de origem vegetal e animal. **Química Nova**, v. 32, n. 4, p. 849-854, 2009.

BORA, R.K.; SARMA, C.M. Effect of giberellic acid and cycocel on growth, yield and protein content of pea. **Asian Journal of Plant Sciences**, v. 5, n. 2, p. 324-330, 2006.

BOUILLE, P.; SOTTA, B.; MIGINIAC, E.; MERRIEN, A. Hormones and pod development in

oilseed rape (*Brassica napus*). **Plant physiology**, v. 90, n. 3, p. 876–880, 1989.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M.E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity, **Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie**, v. 28, p. 25-30, 1995.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análises de sementes**. MAPA/ACS, Brasília, DF, 2009. 399p.

BRUM, A.A.S.; ARRUDA, L.F.; REGITANO-D'ARCE, M.A.B. Métodos de extração e qualidade da fração lipídica de matérias-primas de origem vegetal e animal. **Química Nova**, v. 32, n. 4, p. 849-854, 2009.

CAMPOS, M.F.; ONO, E.O.; BOARO, C.S.F.; RODRIGUES, J.D. Análise de crescimento em plantas de soja tratadas com substâncias reguladoras. **Revista Biotemas**, v. 21, n. 3, p. 53-63, 2008.

CARLSSON, A.S. Plant oils as feedstock alternatives to petroleum – a short survey of potential oil crop platforms. **Biochimie**, n. 91, p. 665-670, 2009.

CARVALHO, H.H.; JONG, E.V. de. **Alimentos: métodos físicos e químicos de análise**. Embrapa: Porto Alegre, 2002. 180p.

CARVALHO, M.L.M.; FRANÇA NETO, J.B.; KRZYZANOWSKI, F.C. Controle de qualidade na produção de semente. **Informe Agropecuário**, v. 27, n. 232, p. 52-58, 2006.

CASTELO-BRANCO, V.N.; TORRES, A.G. Capacidade antioxidante total de óleos vegetais comestíveis: determinantes químicos e sua relação com a qualidade dos óleos. **Revista de Nutrição**, v. 24, n. 1, p. 173-187, 2011.

COSTA, L.M.; RESENDE, O.; GONÇALVES, D.N.; MARÇAL, K.A.F.; SALES, J.F. Storage of crambe fruit subjected to different drying conditions. **African Journal of Agricultural Research**, v. 7, n. 47, p. 6274-9280, 2012.

COSTA, L.M.; RESENDE, O.; OLIVEIRA, D.E.C. Determinação das isotermas de equilíbrio higroscópico de frutos de crambe pelo método dinâmico. **Bioscience Journal**, v. 31, n. 2, p. 382-391, 2015.

DANTAS, A.C.V.L.; QUEIROZ, J.M.O.; VIEIRA, E.L.; ALMEIDA, V.O. Effect of gibberellic acid and the biostimulant Stimulate on the initial growth of tamarind. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 34, n. 1, 2012.

DIAS, P.P.; SECCO, D.; SANTOS, R.F.; BASSEGIO, D.; SANTOS, F.S.; SILVA, P.R.A.; SOUSA, S.F.G.; CORREIA, T.P.S. Soil compaction and drought stress on shoot and root growth in crambe (*Crambe abyssinica*). **Australian Journal of Crop Science**, v. 9, n. 5, p. 378-383. 2015.

DONADON, J.R.; BESSA, J.F.V.; RESENDE, O.; CASTRO, C.F.S.; ALVES, R.M.V.; SILVEIRA, E.V. Armazenamento do crambe em diferentes embalagens e ambientes. Parte II – Qualidade química. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 3, p. 231-237, 2015.

ELIAS, M.C.; OLIVEIRA, M.; SCHIAVON, R.A. **Qualidade de arroz na pós-colheita: ciência, tecnologia e normas**. Pelotas: Santa Cruz, 2010. 543p.

EL-SHRAIY, A. M.; HEGAZI, A. M. Effect of Acetylsalicylic Acid, Indole-3-Bytric Acid and Gibberellic Acid on Plant Growth and Yield of Pea (*Pisum sativum* L.). **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 3, n. 4, p. 3514–3523, 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA/EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPQ, 2006.412p.

ENDRES, G.; SCHATZ, B. **Crambe production**. North Dakota State University, NDSU Extension Service, 2013

FARIA, R.Q.; TEIXEIRA, I.R.; CUNHA, D.A.; HONORATO, J.M.; DEVILLA, I.V. Qualidade fisiológica de sementes de crambe submetidas à secagem. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 3, p. 453-460, 2014.

FERREIRA, L.A.; OLIVEIRA, J.A.; VON PINHO, E.V.R.; QUEIROZ, D.L. Bioestimulante e fertilizante associados ao tratamento de sementes de milho. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 29, n. 2, p. 80-89, 2007.

FONTANA, F.; LAZZERI, L.; MALAGUTI, L.; GALLETI, S. Agronomic characterization of some *Crambe abyssinica* genotypes in a locality of the Po Valley. **European Journal of Agronomy**, v. 9, p. 117-126, 1998.

GIANNAKOULA, A.E.; ILIAS, I.F.; MAKSIMOVIC, J.J.D.; MAKSIMOVIC, V.M.; ZIVANOVIC, B.D. The effects of plant growth regulators on growth, yield, and phenolic profile of lentil plants. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 28, n. 1, p. 46–53, 2012.

GRAHAM, I. A. Seed Storage Oil Mobilization. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, p. 115-142, 2008.

GRILO, E.C.; COSTA, P.N.; GURGEL, C.S.S.; BEZERRA, D.F.; BELLOT, P.E.N.R.; DIMENSTEIN, R. Influência do tempo de armazenamento sobre a concentração de alfa-tocoferol e gama-tocoferol em óleos vegetais. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 74, n. 3, p. 216-224, 2015.

GUARIENE, E.M.; CIACCO, C.F.; CUNHA, G.R.; DEL DUCA, L.J.A.; CAMARGO, C.M.O. Avaliação do efeito de variáveis meteorológicas na qualidade industrial e no rendimento de grãos de trigo pelo emprego de análise de componentes principais. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23, n. 3, p. 500-510, 2003.

GUSSO, A.P.; MATTANNA, P.; PELLEGRINI, LG.; CASSANEGO, D.B.; RICHARDS, N.S.P.S.; RIBEIRO, A.S. Comparação de diferentes métodos analíticos para quantificação de lipídios em creme de ricota. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 67, n. 389, p. 51-55, 2012.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.

JASPER, S.P.; BIAGGIONI, M.A.M.; SILVA, P.R.A. Comparação do custo de produção do crambe (*Crambe abyssinica* Hochst) com outras culturas oleaginosas em sistema de plantio direto. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 25, n. 4, p. 141-153, 2010.

KLAHOLD, C.A.; GUIMARÃES, V.F.; ECHER, M.M.; KLAHOLD, A.; CONTIERO, R.L.; BECKER, A. Resposta da soja (*Glycine Max* (L.) Merrill) à ação de bioestimulante. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 28, n. 02, p. 179-185, 2006.

KNIGHTS, S.E. **Crambe**: a North Dakota Case Study, 2002. 25p.

KOHLER, S.M.; HO, T.H.D. Hormonal regulation, processing and secretion of cysteine proteinases in barley aleurone layers. **Plant Cell**, v. 2, p. 769-783, 1990.

LAGHETTI, G.; PIERGIOVANNI, A.R.; PERRINO, P. Yield and oil quality in selected lines of *Crambe abyssinica* Hochst. ex R.R. Fries and *C. hispânica* L. grown in Italy. **Industrial Crops and Products**, v. 4, p. 203-212, 1995.

LALAS, S.; GORTZI, O.; ATHANASIADIS, V.; DOURTOGLOU, E.; DOURTOGLOU, V. Full characterisation of *Crambe abyssinica* Hochst. seed oil. **Journal of American Oil Chemistry Society**, v. 89, p. 2253-2258, 2012.

LARA-FIOREZE, A.C.C.; TOMAZ, C.A.; FIOREZE, S.L.; PILON, C.; ZANOTTO, M.D. Genetic diversity among progênies of *Crambe abyssinica* Hochs for seed traits. **Industrial Crops and Products**, v. 50, p. 771-775, 2013.

LI, X.; LOO, E.N.V.; GRUBER, J.; FAN, J.; GUAN, R.; FRENTZEN, M.; STYMNE, S.; ZHU, L.H. Development of ultra-high erucic acid oil in the industrial oil crop *Crambe abyssinica*. **Plant Biotechnology Journal**, v. 10, p. 862-870, 2012.

MARINI, L. J.; GUTKOSKI, L. C.; ELIAS, M. C.; MEZZOMO, N. Efeito da secagem intermitente na estabilidade de grãos de aveia. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 8, n. 3, p. 260-267, 2005.

MASETTO, T.E.; GORDIN, C.R.B.; QUADROS, J.B.; REZENDE, R.K.S.; SCALON, S.P.Q. Armazenamento de sementes de *Crambe abyssinica* Hochst. ex R.E.Fr. em diferentes embalagens e ambientes. **Revista Ceres**, v. 60, n. 5, p. 646-652, 2013.

MELO, M. A. M. F. **Avaliação das Propriedades de Óleos Vegetais visando a Produção de Biodiesel**. 114f. 2010. Dissertação (Mestrado). Departamento de Química, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2010.

MENEGHETTI, S. M. P.; MENEGHETTI, M. R.; BRITO, Y. C. A Reação de transesterificação, algumas aplicações e obtenção de biodiesel. **Revista Virtual de Química**, v. 5, n. 1, p. 63-73, 2013.

MIRANDA, A. L. P.; FRAGA, C. A. M. Atividade sequestradora de radical livre determinação do potencial antioxidante de substâncias bioativas. In: MONGE, A.; GANELLIN, C. R. (Ed.). **Practical Studies for Medicinal Chemistry**. Genebra: IUPAC, 2006.

MME. Ministério de Minas e Energia. **Boletim dos biocombustíveis nº 107**. Departamento de Biocombustíveis, 2017. 28p. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/1138769/1732805/Boletim+DBio+n%C2%BA+107+jan-fev+de+2017.pdf/e2e102f2-5ce3-4390-89d5-d08fc8bfcce3>>. Acesso em: 25 maio 2017.

OUZOUNIDOU, G.; ILIAS, I.F.; GIANNAKOULA, A.; PAPADOPOULOU, P. Comparative study on the effects of various plant growth regulators on growth, quality and physiology of *Capsicum annum* L. **Pakistan Journal of Botany**, v. 72, p. 805-814, 2010.

QUEIROGA, V.P.; CASTRO, L.B.Q.; GOMES, J.P.; JERÔNIMO, J.F.; PEDROZA, J.P. Qualidade de sementes de algodão armazenadas em função de diferentes cultivares e teores de água. **Revista Caatinga**, v. 22, p. 136-144, 2009

R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2014.

REYES, L. F.; VILLARREAL, J. E.; CISNEROS-ZEVALLOS, L. The increase in antioxidant capacity after wounding depends on the type of fruit or vegetable tissue. **Food Chemistry**, v. 101, p. 1254–1262, 2007.

ROHLF, F.J. Adaptative hierarquical clustering schemes. **Systematic Zoology**, v.19, n.1, p.58-82, 1970.

ROSSETO, R.E.; SANTOS, R.F.; BASSEGIO, D.; SECCO, D.; SOUZA, S.N.M.; CHAVES, L.I.; FORNASARI, C.H. Efeito da secagem na extração de óleos em plantas com potencial energético. **Acta Iguazu**, v. 1, n. 1, p. 69-77, 2012.

RUAS, R.A.A.; NASCIMENTO, G.B.; BERGAMO, E.P.; DAUR JUNIOR, R.H.; ARRUDA R.G. Embebição e germinação de sementes de crambe (*Crambe abyssinica*). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 1, p. 61-65, 2010.

SCANDALIOS, J.G. Oxydative stress: molecular perception and transduction of signals triggering antioxidant gene defenses. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, v. 38, n. 7, p. 995-1014, 2005.

SILVA, F.A.M.; BORGES, M.F.M.; FERREIRA, M.A. Métodos para avaliação do grau de oxidação lipídica e da capacidade antioxidante. **Química Nova**, v. 22, n. 01, p. 94-103, 1999.

SOUZA, A.D.V.; FÁVARO, S.P.; ÍTAVO, L.C.V.; ROSCOE, R. Caracterização química de sementes e tortas de pinhão-mansão, nabo-forrageiro e crambe. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 10, p. 1328-1335, 2009.

SOXHLET, F. Die gewichtsanalytische Bestimmung des Milchfettes. **Dingler's Polytechnisches Journal**, v. 232, p. 461–465, 1879.

STOLLER DO BRASIL. **Stimulate® Mo em hortaliças**: informativo técnico. Cosmópolis: Stoller do Brasil, Divisão Arbore, 1998.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.A.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6 ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888p.

TOLEDO, M.Z.; TEIXEIRA, R.N.; FERRARI, T.B.; FERREIRA, G.; CAVARIANI, C.; CATANEO, A.C. Physiological quality and enzymatic activity of crambe seeds after the accelerated aging test. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 4 p. 687-694, 2011.

ULLAH, F.; ASGHARI, B. Effect of plant growth regulators on oil yield and biodiesel production of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 21, n. 3, p. 27–31, 2011.

VAZQUEZ, G.H.; LAZARINI, E.; CAMARGO, F.P.; FERREIRA, R.B.; PERES, A.R. Produtividade, qualidade fisiológica e composição química de sementes de crambe em diferentes doses de fósforo. **Bioscience Journal**, v. 30m n. 3, p. 707-714, 2014.

VIEIRA, E.H.N.; YOKOYAMA, M. Colheita, processamento e armazenamento. In: VIEIRA, E.H.N.; RAVA, C.A. **Sementes de feijão**. Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2000.

ZEGADA-LIZARARU, W.; MONTI, A. Energy crop in rotation. A review. **Biomass and Energy**, p. 1-14, 2010.

ZHU, L. Crambe (*Crambe abyssinica*). In: MCKEON, A.T.; HAYES, D.G.; HILDEBRAND, D.F.; WESELAKE, R.J. **Industrial oil crops**. London, AOCS Press, p. 195-205, 2016.

ZIEGLER, V.; FERREIRA, C.D.; TONIETO, L.; SILVA, J.G.; OLIVEIRA, M.; ELIAS, M.C. Efeitos da temperatura de armazenamento de grãos de arroz integral de pericarpo pardo, preto e vermelho sobre as propriedades físico-químicas e de pasta. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, e2016051, 2017. 9p. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/1981-6723.5116>>. Acesso em: 10 jun. 2017.

ZUNIGA, A.D.G.; PAULA, M.M.; COIMBRA, J.S.R.; MARTINS, E.C.A.; SILVA, D.X.; TELIS-ROMERO, J. Revisão: propriedades físico-químicas do biodiesel. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 21, p. 55-72, 2011.

## 5.2 ARTIGO 2 - EFEITO DA APLICAÇÃO FOLIAR DE REGULADORES VEGETAIS NA QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE CRAMBE

**RESUMO:** A aplicação de reguladores vegetais pode ser utilizada para manipular o desenvolvimento das plantas cultivadas e seus efeitos fisiológicos nas plantas podem refletir na qualidade fisiológica das sementes. Objetivou-se avaliar o efeito da aplicação de reguladores vegetais na qualidade fisiológica de sementes de crambe produzidos nas safras de 2014 e 2015. Durante o desenvolvimento da cultura, realizou-se duas aplicações por pulverização foliar dos seguintes tratamentos: 1) tratamento controle com água destilada; 2) ácido indol-3-acético 100 mg L<sup>-1</sup> (AIA); 3) ácido 3-giberélico P.A. 100 mg L<sup>-1</sup> (GA<sub>3</sub>); 4) regulador vegetal comercial Stimulate® 6 mL L<sup>-1</sup>. As sementes produzidas foram colhidas e avaliadas por teor de umidade, porcentagem e índice de velocidade de germinação (IVG), condutividade elétrica e concentração dos íons Ca, Mg e K lixiviados. Os tratamentos foram comparados entre si pelo teste Tukey e com o controle pelo teste Dunnett (p≤0,05). Sementes produzidas com aplicação de Stimulate apresentaram maior porcentagem de germinação e IVG, enquanto que a aplicação de AIA mostrou efeito contrário, aumentando a condutividade elétrica das sementes de crambe. A lixiviação de cálcio diminuiu perante aplicação de AIA e todos os reguladores reduziram a lixiviação de K. Assim, conclui-se que os reguladores vegetais aplicados na produção da cultura podem influenciar na qualidade fisiológica das sementes de crambe.

**Palavras-chave:** *Crambe abyssinica*, germinação, promotores de crescimento.

## EFFECT OF FOLIAR APPLICATION OF PLANT GROWTH REGULATOR ON SEED QUALITY OF CRAMBE

**ABSTRACT:** The application of plant growth regulators (PGRs) can be used to manipulate the development of crops and their physiological effects on plants may reflect on the physiological quality of the seeds. Thus, this work aimed to evaluate the effect of foliar application of plant growth regulators on the quality of crambe seeds produced in the harvests 2014 and 2015. During crop development, two applications were performed by foliar pulverization of the following treatments: 1) control with distilled water; 2) indole-3-acetic acid 100 mg L<sup>-1</sup> (IAA); 3) 3-gibberellic acid P.A. 100 mg L<sup>-1</sup> (GA<sub>3</sub>); 4) commercial growth regulator Stimulate® 6 mL L<sup>-1</sup>. Seeds produced were harvested and evaluated by moisture content, germination percentage, germination speed index (GSI), electric conductivity concentration of leached Ca, Mg and K ions. Treatments were compared with each other by Tukey test and with control by Dunnett test (p≤0,05). The application of Stimulate® increased germination percentage and GSI, while IAA application showed opposite effect, increasing the electrical conductivity of crambe seeds. Calcium leaching decreased with IAA application and all PGRs reduced K leaching. Thus, it is concluded that PGRs applied during crop production can influence the physiological quality of crambe seeds.

**Keywords:** *Crambe abyssinica* Hochst Ex R.E. Fries, germination, plant growth promoters.

### 5.2.1 INTRODUÇÃO

O uso de tecnologias inovadoras faz-se necessário para que seja possível atingir o potencial máximo de produtividade de uma planta, assim como sua qualidade produtiva (ALBRECHT et al., 2012). Uma das maneiras mais eficientes e de menor custo para manipular a produção vegetal é o uso de reguladores vegetais, que são compostos análogos aos hormônios vegetais produzidos pelas plantas, que podem ser aplicados com o objetivo de manejar o desenvolvimento das plantas (DANTAS et al., 2012).

Essas substâncias químicas desempenham importante papel em diferentes processos fisiológicos relacionados ao crescimento e ao desenvolvimento de vegetais e culturas (PRAJAPATI et al., 2015). A auxina, giberelina e a citocinina são reguladores conhecidos como promotores de crescimento, pois agem diretamente na dominância apical do vegetal, estimulam a divisão e a diferenciação celular, o alongamento celular e a formação de gemas, previnem a degradação da clorofila, induzem a floração e controlam a formação de sementes (GIANNAKOULA et al., 2012; PRAJAPATI et al., 2015). Além de agir diretamente induzindo os eventos fisiológicos descritos, a aplicação exógena pode refletir nos níveis endógenos, influenciando as vias de biossíntese, catabolismo e conjugação dessas substâncias (TALAAT et al., 2013).

Os reguladores podem ser aplicados por pulverização foliar durante o cultivo com o propósito de melhorar características vegetativas como qualidade físico-química do grão, maior massa de 1000 grãos, produtividade e biomassa seca total (ABRANTES et al., 2011; CARVALHO et al., 2013; SILVA et al., 2016). Em sementes, são comumente utilizados diretamente para melhorar o desempenho germinativo, prolongar o vigor e a superação de dormência fisiológica (PRADO NETO et al., 2007; MOTERLE et al., 2011; NONOGAKI, 2014).

Assim, a aplicação foliar de reguladores vegetais altera o funcionamento fisiológico, culminando em benefícios para o desenvolvimento da planta. A qualidade da semente, por sua vez, dependerá de três fatores principais: constituição genética, armazenamento após colheita e das condições de cultivo durante sua produção (MARCOS FILHO, 2015). Nesse contexto, a qualidade fisiológica das sementes produzidas pelas plantas cultivadas sob aplicação de reguladores vegetais durante seu cultivo pode ser alterada. Essas alterações foram observadas por Kuchlan et al. (2017), avaliando a germinação e a condutividade elétrica de sementes de soja produzidas sob aplicação de reguladores vegetais.

A qualidade fisiológica da semente é definida pela capacidade da semente de germinação do embrião e formação de plântulas normais, longevidade e vigor (AGUILERA et al., 2002). O vigor, por sua vez, diz respeito a todas as propriedades da semente que determinam o potencial de performance da semente após a semeadura (SUN et al., 2007).

O teste de germinação é o teste mais utilizado para avaliar a capacidade da semente de germinar em condições ideais controladas (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012). Em relação ao vigor da semente, indica-se a utilização do teste de condutividade elétrica, pois esse reflete a perda de organização e de permeabilidade seletiva das membranas celulares das sementes através da condutividade gerada pelos solutos lixiviados e diluídos na água de imersão das sementes (MARCOS FILHO, 2015).

A semente, quando imersa em água destilada, lixívia eletrólitos, mudando a resistência elétrica da água (KRZYŻANOWISKY et al., 1999). A quantificação dos íons lixiviados também é importante, pois os íons inorgânicos são os primeiros compostos a serem lixiviados quando a semente entra em contato com a água (COSTA et al., 2007). Estudos realizados por Alves et al. (2004), Binotti et al. (2008) e Zucareli et al. (2013) visam quantificar o potássio, o cálcio e o magnésio como principais íons lixiviados, a fim de desenvolver novos parâmetros para análise de vigor das sementes de diferentes culturas.

O crambe, uma oleaginosa pertencente à família das crucíferas (SOUZA et al., 2009), é considerada uma cultura relativamente nova no cenário agrícola. Informações sobre técnicas de manejo durante o cultivo e desenvolvimento das plantas são escassas (BASSEGIO et al., 2016).

Devido às suas origens, o crambe tolera bem a seca e o frio, sendo indicado para cultivos de outono/inverno no Brasil e é excelente alternativa para a safrinha e a rotação de culturas (CARLSSON et al., 2007). O principal interesse industrial nesse produto agrícola está no óleo, que contém 50 a 60% de ácido erúico, um componente visado para a fabricação de películas plásticas, plastificantes, nylon, colas adesivas, material para isolamento elétrico (LI et al., 2011). Além disso, o óleo de crambe apresenta alta estabilidade oxidativa, o que é um ponto muito interessante para o armazenamento e a produção dos biocombustíveis (LALAS et al., 2012).

O uso de sementes com potencial fisiológico elevado é fundamental para a obtenção de resultados satisfatórios na produção de culturas de expressão econômica (BINOTTI et al., 2008). Para desenvolver tecnologias adequadas à produção e à obtenção de sementes, deve-se obter conhecimento da fisiologia da semente e da germinação (MARTINS et al., 2009). Assim, é importante que sejam realizados estudos laboratoriais que colaborem com o conhecimento fisiológico do crambe, a fim de colaborar com a disponibilização dessa cultura para os agricultores.

O objetivo da pesquisa foi avaliar a qualidade fisiológica de sementes de crambe produzidas com aplicação dos reguladores vegetais ácido indol-3-acético, ácido giberélico e Stimulate® nas safras de 2014 e 2015.

## 5.2.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 5.2.2.1 Cultivo

O crambe FMS Brilhante foi cultivado em duas safras, nos períodos de 20 de abril a 30 de agosto de 2014 e 04 de abril a 05 de setembro de 2015, na área de experimentação agrícola do Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz. As variações na umidade relativa do ar e na precipitação referentes a esses períodos foram cedidas pelo Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR).

O solo foi previamente preparado com 3000 kg ha<sup>-1</sup> de cama de aviário e a semeadura realizada na profundidade de 4 cm da superfície nas entrelinhas separadas entre si com a distância de 0,25 m, seguindo a densidade de semeadura proporcional a 20 kg ha<sup>-1</sup> (KNIGHTS, 2002).

O cultivo foi conduzido em delineamento inteiramente casualizados com quatro parcelas por tratamento (repetições). Cada parcela possuiu 6 x 6 m (36 m<sup>2</sup>), com espaçamento de dois metros entre si, totalizando em 936 m<sup>2</sup> de área experimental. As bordas de cada parcela (0,5 m) foram desprezadas durante a colheita.

As aplicações dos reguladores vegetais foram realizadas manualmente através de pulverização foliar com pulverizador costal em um volume de 2 L por parcela quando as plantas se encontravam em transição do estágio vegetativo para o início do florescimento, cerca de 60 dias após a semeadura na safra de 2014 e 90 dias após a semeadura em 2015. Uma segunda aplicação foi realizada novamente após 15 dias (OUZOUNIDOU et al., 2010; GIANNAKOULKA et al., 2012).

Para a preparação das caldas, utilizou-se 10 mL de álcool etílico P.A. como diluente e corresponderam a:

1. tratamento controle com água destilada;
2. ácido indol-3-acético 100 mg L<sup>-1</sup> (AIA);
3. ácido 3-giberélico P.A. 100 mg L<sup>-1</sup> (GA<sub>3</sub>);
4. regulador vegetal comercial Stimulate® 6 mL L<sup>-1</sup>.

O Stimulate é um regulador vegetal comercial cuja formulação consiste em cinetina 0,009% + ácido giberélico 0,005% + ácido 4-indol-3-ilbutírico 0,005% + 99,98% de inipientes e a concentração aplicada nesse experimento seguiu a bula indicada pelo fabricante, proporcional à área da parcela (STOLLER DO BRASIL, 1998).

### 5.2.2.2 Bioensaios laboratoriais

As sementes produzidas foram colhidas e levadas ao Laboratório de Controle de Qualidade de Produtos Agrícolas (UNIOESTE *campus* Cascavel), selecionadas e higienizadas. O teor de umidade foi determinado pelo método padrão de estufa de secagem a  $105 \pm 3$  °C por 24 horas, como indicado por Brasil (2009) e os resultados expressos em porcentagem.

Para o teste de germinação foram utilizadas placas de Petri previamente autoclavadas por 20 minutos a 125 °C com 2 folhas de papel filtro. O teste foi conduzido com quatro repetições contendo 25 sementes, umedecidas com 2,5 vezes a massa do papel seco, e acondicionadas em câmara de germinação do tipo B.O.D. a  $20 \pm 2$  °C com fotoperíodo de 12 horas. As avaliações foram realizadas diariamente por 5 dias e os resultados utilizados nos cálculos de porcentagem total de sementes germinadas e do índice de velocidade de germinação (IVG) segundo equação proposta por Maguire (1962):

$$IVG = \sum_{i=1}^n \frac{G_i}{N_i}$$

Em que: IVG - índice de velocidade de germinação;  $i - 1, \dots, n$ ;  $G_i$  - número de sementes germinadas no  $i$ -ésimo dia;  $N_i$  -  $i$ -ésimo dia após a montagem do experimento.

O teste de condutividade elétrica das sementes de crambe foi realizado com 50 sementes por replicata, colocadas em copos de plástico com 75 mL de água deionizada (COSTA et al., 2012) e mantidas a 20 °C em câmara de germinação do tipo B.O.D. durante 24 horas. Após esse período foi realizada a leitura da condutividade elétrica do lixiviado das sementes de crambe com auxílio de condutivímetro de bancada, e os dados expressos em  $\text{mS cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ .

As soluções de lixiviados obtidas no teste de condutividade elétrica foram analisadas em espectrofotometria de absorção atômica com leitura direta, seguindo metodologia proposta por Instituto Adolf Lutz (2008), em equipamento Shimadzu modelo AA-6300 para determinar a concentração dos íons de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e potássio (K) (ALVES et al., 2004). As concentrações foram expressas em  $\mu\text{g mL}^{-1}$ .

### 5.2.2.3 Análise estatística

Os experimentos laboratoriais seguiram delineamento experimental inteiramente casualizados com triplicatas para cada repetição (4) dos tratamentos realizados em campo. Realizou-se análise descritiva dos dados, assim como o teste de normalidade teste Anderson-Darling (Apêndice 3). Nenhum conjunto de dados necessitou ser transformado.

Os dados referentes às duas safras foram submetidos separadamente à análise de variância para o fator tratamento com reguladores vegetais com quatro níveis: 1) controle; 2) AIA; 3) GA<sub>3</sub>; e 4) Stimulate®. Os níveis do fator que apresentaram efeito significativo foram comparados entre si pelo teste Tukey e comparadas com o tratamento controle pelo teste Dunnett. Para todas as análises assumiu-se 5% de significância e foram realizadas pelo software Minitab® 17.

### 5.2.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As diferenças na umidade relativa e na precipitação acumulada entre as safras de 2014 e 2015 podem ser observadas na Tabela 10. O ano de 2014 apresentou maior umidade relativa do que 2015 nos meses de abril, junho e agosto. Em 2014, as chuvas se concentraram principalmente em maio e junho. Já em 2015 nota-se um baixo índice de precipitação no mês de junho.

Tabela 10 Média de umidade relativa (UR) e valores de precipitação acumulada referentes aos períodos de produção de crambe da safra (S1) de 20 de abril a 30 de agosto de 2014 e da safra (S2) de 01 de abril a 5 de setembro de 2015

Mês	UR (%)		Precipitação acumulada (mm)	
	S1	S2	S1	S2
Abril	83,90	78,47	107,00	102,20
Maio	83,30	84,65	180,80	261,20
Junho	84,70	80,92	442,40	91,20
Julho	79,30	87,03	107,60	384,60
Agosto	65,70	63,82	55,00	55,20
Setembro	-	62,93	-	1,40
Média	79,38	76,30	Total	892,80

O ciclo de produção de 2015 foi mais longo que no ano de 2014. Notou-se também que o desenvolvimento das plantas não ocorreu de forma homogênea. Quando parte da plantação estava iniciando a floração, outras plantas já estavam em fase de formação de sementes.

Os tratamentos com reguladores vegetais influenciaram significativamente na porcentagem de germinação, no índice de velocidade de germinação, na condutividade elétrica e nas concentrações de cálcio, magnésio e potássio das sementes de crambe na safra de 2014 (Tabela 11). Em relação às sementes colhidas em 2015, o p-valor foi significativo para porcentagem e germinação, índice de velocidade de germinação, condutividade elétrica e concentração de potássio lixiviado.

A diferença entre as safras pode ser resultado das condições climáticas de cultivo nos dois anos agrícolas. A forma com que a variação climática entre os anos influencia na qualidade do produto agrícola ainda não é bem entendida devido aos diversos fatores envolvidos. Contudo, pequenas diferenças na UR e na precipitação acumulada já são suficientes para influenciar em diferentes componentes da produção agrícola (KANG et al., 2009).

Tabela 11 Valor de f e p da análise de variância para porcentagem de germinação (G, %), índice de velocidade de germinação (IVG; sementes/dia), condutividade elétrica (C.E.; mS cm<sup>-1</sup> g<sup>-1</sup>), teor de umidade (U; %), concentração (µg mL<sup>-1</sup>) de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e potássio (K) para os tratamentos com reguladores vegetais

	G	IVG	U	C.E.	Ca	Mg	K
Saфра 2014							
f-valor	7,530	5,790	1,89	7,280	5,800	6,870	4,62
p-valor	0,004	0,011	0,184	0,005	0,011	0,006	0,023
Saфра 2015							
f-valor	4,900	3,870	3,170	2,830	1,330	1,130	14,20
p-valor	0,019	0,038	0,064	0,008	0,311	0,374	0,000

As sementes de crambe produzidas com aplicação de Stimulate® em 2014 apresentaram maior porcentagem de germinação e maior índice de velocidade de germinação do que as sementes do tratamento controle (Tabela 12). Na safra de 2015, a aplicação de AIA resultou em menor porcentagem de germinação em relação ao controle e à aplicação de Stimulate®. Além disso, apresentaram atraso no processo germinativo com menor índice de velocidade de germinação.

Tabela 12 Valores médios de porcentagem de germinação (G, %), índice de velocidade de germinação (IVG; sementes/dia), condutividade elétrica (C.E.; mS cm<sup>-1</sup> g<sup>-1</sup>), teor de umidade (U; %), concentração (µg mL<sup>-1</sup>) de íons cálcio (Ca), magnésio (Mg) e potássio (K) lixiviados de sementes de crambe produzidas com reguladores vegetais

	G	IVG	U	C.E.	Ca	Mg	K
Saфра 2014							
Controle	47,67 b	4,48 b	6,01 <sup>ns</sup>	94,01 ab	4,56 a	1,33 a	0,103 ab
AIA	55,33 ab	5,05 ab	6,42	84,80 b	3,56 b <sup>(+)</sup>	1,10 b	0,094 b
GA <sub>3</sub>	47,33 b	4,25 b	6,15	104,1 a	4,53 a	1,33 a	0,108 ab
Stimulate®	66,67 a <sup>(+)</sup>	6,29 a <sup>(+)</sup>	6,94	99,51 a	4,23 a	1,33 a	0,113 b
Saфра 2015							
Controle	57,00 a	6,14 a	5,82 <sup>ns</sup>	47,51 a	2,60 <sup>ns</sup>	0,86 <sup>ns</sup>	0,097 a
AIA	35,02 b <sup>(+)</sup>	3,35 b <sup>(+)</sup>	5,77	65,28 a <sup>(+)</sup>	3,27	1,05	0,096 b <sup>(+)</sup>
GA <sub>3</sub>	54,50 a	3,99 ab	6,30	56,60 a	2,80	0,96	0,096 b <sup>(+)</sup>
Stimulate®	56,50 a	5,38 ab	6,31	50,70 a	3,04	0,99	0,096 b <sup>(+)</sup>

Valores seguidos pela mesma letra na coluna não são significantes pelo teste Tukey ( $p \leq 0,05$ ). Valores seguidos de (+) diferem estatisticamente do tratamento controle pelo teste Dunnett ( $p \leq 0,05$ ). Controle - água destilada; AIA - ácido indol-3-acético 100 mg L<sup>-1</sup>; GA<sub>3</sub> - ácido 3-giberélico 100 mg L<sup>-1</sup>, Stimulate® - regulador vegetal cinetina-IBA-GA<sub>3</sub> comercial 6 ml L<sup>-1</sup>.

Amaro et al. (2014) analisaram cinco lotes de sementes de crambe e obtiveram germinação média de 42%, indicando que as sementes de crambe não apresentam alta porcentagem de germinação, como também foi observado no presente estudo trabalho. Essa característica está relacionada ao fato do crambe apresentar dormência pós-colheita em suas sementes, resultando em uma baixa porcentagem de germinação quando comparada a outras sementes agrícolas (COSTA et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2014). Assim, um incremento para 66,67% de sementes germinadas pode ser considerado um aumento expressivo.

Fatores como as condições de manejo, a nutrição mineral e a condição fisiológica da planta durante a produção da semente também podem influenciar a instauração do processo de dormência (HILHORST, 2007). Na semente, o processo de dormência pode ter origem no controle hormonal, sendo induzido e mantido por altas concentrações de ácido abscísico (ABA) ou revertido pelo aumento na concentração de giberelina (NONOGAKI, 2014). É comum observar interações entre as classes hormonais, sendo que, muitas vezes, uma substância pode interferir na atividade enzimática de biossíntese ou inativação de outra (KUCERA et al., 2005; TAIZ et al., 2017).

Através desse mecanismo, a mistura de promotores de crescimento vegetal que compõe o Stimulate® pode ter alterado o balanço hormonal das sementes de crambe, levando a um melhor desempenho germinativo. O tratamento com giberelina diretamente na semente é prática comum e efetiva para melhorar o desempenho germinativo de diversas espécies (SILVA et al., 2013; FEITOSA et al., 2015).

Além disso, a citocinina, presente na forma de cinetina no Stimulate®, tem como um de seus principais efeitos o estabelecimento de drenos, atuando em proteínas necessárias para o descarregamento apoplástico do floema e favorecendo a chegada contínua de nutrientes para frutos e flores (KERBAUY, 2012), o que pode contribuir para a produção de sementes de melhor qualidade fisiológica.

Efeito da aplicação de Stimulate® no aumento da velocidade de germinação foi observado em sementes de soja (MOTERLE et al., 2011) e jeripapeiro (PRADO NETO et al., 2007). A aplicação de Stimulate® durante a produção de soja (CAMPOS et al., 2008; CARVALHO et al., 2013), feijão (ALLEONI et al., 2000; ABRANTES et al., 2011), feijão-caupi (OLIVEIRA et al., 2015) e algodão (SILVA et al., 2016) resultou em melhoria no desenvolvimento vegetativo dessas culturas, afetando parâmetros, aumentando a qualidade físico-química do grão, gerando maior massa de 1000 grãos, produtividade e biomassa seca total. Esses aspectos morfológicos resultam das alterações fisiológicas causadas pela ação desse regulador de crescimento nas plantas e refletem diretamente na qualidade fisiológica das sementes produzidas.

Kuchlan et al. (2017) observaram que a aplicação foliar do regulador vegetal ácido salicílico durante a produção resultou em melhores aspectos na germinação e no vigor das sementes produzidas, além de prover manutenção da qualidade destas após armazenamento.

Observa-se que o teor de umidade não apresentou diferença estatística significativa entre os tratamentos aplicados. Os valores de umidade observados nesse trabalho variaram de 5,77 a 6,94%, semelhantes ao obtido por Cardoso et al. (2012) e Cardoso et al. (2014). O crambe é uma semente ortodoxa e oleaginosa podendo apresentar de 5-10% de teor de água no final do processo de maturação fisiológica (OLIVEIRA et al., 2014).

O teste de condutividade elétrica avalia o grau de deterioração das membranas celulares, sendo que quanto maior a quantidade de íons inorgânicos e enzimas lixiviados, menor será a qualidade do lote de sementes (KRZYZANOWSKI et al., 1999). A condutividade elétrica das sementes de crambe produzidas na safra 2014 com aplicação de GA<sub>3</sub> e Stimulate<sup>®</sup> foi maior do que nas sementes produzidas com aplicação de AIA, porém não diferem quando comparados com o tratamento controle. Em 2015, a aplicação foliar de AIA na planta possuiu efeito significativo na integridade das membranas de crambe, o que refletiu em maior lixiviação de solutos do que o tratamento controle.

Sementes nessas condições exigem maior consumo de nutrientes de suas reservas para restaurar suas membranas deterioradas e reativação de seu metabolismo, comprometendo seu vigor (VANZOLINI; NAKAGAWA, 2005). Ressalta-se que os valores de condutividade elétrica observados nesse trabalho são inferiores aos apresentados por outros autores (COSTA et al., 2012, OLIVA et al., 2012, BESSA et al., 2015) e semelhantes aos observados por Bezerra et al. (2015). Cruz et al. (2013) avaliaram 5 lotes de sementes de crambe e observaram variação de 58 a 877 mS cm<sup>-1</sup> g<sup>-1</sup> em diferentes tempos de embebição.

Enquanto parâmetros de avaliação de qualidade e vigor de sementes, os resultados do teste de germinação corroboram os resultados de condutividade elétrica, discordando de Cruz et al. (2013), que concluíram, perante outros métodos, que o teste de condutividade elétrica pode não ser o mais adequado para avaliar a qualidade fisiológica de sementes de crambe.

Dessa forma, baseado nos resultados de porcentagem e índice de velocidade de germinação e na condutividade elétrica de sementes de crambe, constata-se que houve redução da qualidade fisiológica das sementes de crambe perante aplicação de AIA durante a produção.

O aumento na concentração endógena de um promotor de crescimento pode ser atribuído ao aumento de sua biossíntese ou ao decréscimo em sua degradação e conjugação (TALAAT et al., 2013). Estudos realizados por Liu et al. (2013) mostram que a auxina controla

o processo de dormência mediada pelo ABA nas sementes em nível de expressão gênica e comprovaram também esse efeito para a aplicação exógena de auxina. Esses autores elencam dois mecanismos possíveis pelos quais a auxina age nesses processos mediados por ABA: ou a auxina estimula a biossíntese de ABA ou ativa a resposta de ABA.

Já as concentrações dos íons cálcio e magnésio no lixiviado de sementes produzidas com aplicação AIA na produção de 2014 foram estatisticamente menores quando comparadas com os demais reguladores vegetais, porém apenas a lixiviação de cálcio diferiu do tratamento controle. A lixiviação de potássio de crambe produzido com AIA, GA3 e Stimulate® foi menor e diferiu estatisticamente do controle; contudo, não houve diferença estatística entre os tratamentos. Sendo assim, a aplicação do AIA e dos demais reguladores vegetais levaram à redução da lixiviação de íons de Ca e K, respectivamente, que são importantes para o desenvolvimento do embrião e no processo de germinação.

A auxina regula muitos aspectos do desenvolvimento e do crescimento das plantas (CHAPMAN; ESTELLE, 2009). Da mesma forma que há associação entre a auxina e a produção endógena de ABA nas sementes, os níveis intracelulares de auxina também estão associados à giberelina (TAIZ et al., 2017). Nas sementes, o aumento na concentração de giberelina ativa enzimas que degradam substâncias de reservas (CASTRO et al., 2005), assim como a redução na sua concentração evita a degradação de amidos e outras substâncias. Nessa situação, menos íons estariam livres para serem lixiviados através dos tegumentos das sementes.

Conforme os autores Favorato et al. (2011), Barbieri et al. (2012) e Zucareli et al. (2013), os íons de maior concentração na solução lixiviada são o potássio, o magnésio e o cálcio e, assim, podem ser utilizados como teste de vigor. No presente trabalho, o cálcio foi o íon que apresentou maior concentração na lixiviação, divergindo dos resultados obtidos pelos autores citados acima.

#### **5.2.4 CONCLUSÃO**

As sementes produzidas com a aplicação de Stimulate® na produção crambe apresentaram maior porcentagem de germinação, enquanto que a aplicação de AIA comprometeu a qualidade fisiológica da germinação e a qualidade do sistema de membrana das sementes de crambe. Entretanto, houve redução na perda por lixiviação de cálcio em resposta à aplicação de AIA e de potássio perante aplicação de todos os reguladores aqui estudados.

### 5.2.5 AGRADECIMENTOS

Essa pesquisa foi desenvolvida com fomento, recursos e equipamentos mediados pela CAPES, CNPq e Fundação Araucária.

### 5.2.6 REFERÊNCIAS

ABRANTES, F.L.; SÁ, M.E.; SOUZA, L.C.D.; SILVA, M.P.; SIMIDU, H.M.; ANDREOTTI, M.; BUZETTI, S.; VALERIO FILHO, W.V.; ARRUDA, N. Uso de regulador vegetal em cultivares de feijão de inverno. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 2, p. 148-154, 2011.

AGUILERA, L.A.; MELO, P.T.B.S.; MAIA, M.S.; VILLELA, F.A. Testes para avaliação da qualidade fisiológica de sementes de milheto. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 24, n. 2, p. 108-112, 2002.

ALBRECHT, L.P.; DE LUCCA E BRACCINI, A.; SCAPIM, C.A.; ÁVILA, M.R.; ALBRECHT, A.J.P. Biorregulador na composição química e na produtividade de grãos de soja. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 4, p. 774-782, 2012.

ALLEONI, B.; BOSQUEIRO, M.; ROSSI, M. Efeito dos reguladores vegetais de Stimulate no desenvolvimento e produtividade do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Publicatio UEPG**, v. 6, n. 1, p. 23-25, 2000.

ALVES, E.; CAVARIANI, C.; CORREA, M.R.; SOUZA, F.L.G.; CORREA, T.M.; NAKAGAWA, J. Efeito dos períodos de envelhecimento na lixiviação de íons e de proteínas solúveis em sementes de milho. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 26, n. 2, p. 119-125, 2004.

AMARO, H.T.R.; DAVID, A.M.S.S.; SILVA NETA, I.C.; ASSIS, M.O., ARAÚJO, E.F., ARAÚJO, R.F. Teste de envelhecimento acelerado em sementes de crambe (*Crambe abyssinica* Hochst), cultivar FMS Brilhante. **Revista Ceres**, v. 24, n. 2, 202-208, 2014.

BARBIERI, A.P.P.; MENEZES, N.L.; CONCEIÇÃO, G.M.; TUNES, L.M. Teste de lixiviação de potássio para a avaliação do vigor de sementes de arroz. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 34, n. 1, p. 117-124, 2012.

BASSEGIO, D.; ZANOTTO, M.D.; SANTOS, R.F.; WERNCKE, I.; DIAS, P.P.D.; OLIVO, M. Oilseed crop crambe as a source of renewable energy in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 66, p. 311-321, 2016.

BESSA, J.F.V.; DONADON, J.R.; RESENDE, O.; ALVES, R.M.V.; SALES, J.F.; COSTA, L.M. Armazenamento do crambe em diferentes embalagens e ambientes: Parte I – Qualidade fisiológica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 3, 224-230, 2015.

BEZERRA, P.H.S.; BIAGGIONI, M.A.M.; SILVA, M.A.P.; SPEROTTO, F.C.S.; BRANDÃO, F.J.B. Efeito do armazenamento na qualidade dos grãos e do óleo de crambe para produção de biodiesel. **Revista Energia na Agricultura**, v. 30, n. 3, p. 310–318, 2015.

BINOTTI, F. F. DA S.; HAGA, K.I.; CARDOSO, E. D.; ALVES, C. Z.; SÁ, M. E.; ARF, O. Efeito do período de envelhecimento acelerado no teste de condutividade elétrica e na qualidade fisiológica de sementes de feijão. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.30, n.2, p.247-254, 2008.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Regras para análise de sementes**. Secretaria de Defesa Agropecuária – Brasília: Mapa/ACS, 2009. 399p.

CAMPOS, M.F.; ONO, E.O.; BOARO, C.S.F.; RODRIGUES, J.D. Análise de crescimento em plantas de soja tratadas com substâncias reguladoras. **Biotemas**, v. 21, n. 3, p. 53-63, 2008.

CARDOSO, R.R.; BINOTTI, F.F.S.; CARDOSO, E.D. Potencial fisiológico de sementes de crambe em função de embalagens e armazenamento. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 3, p. 272-278, 2012.

CARDOSO, R.R.; NOBRE, D.A.C.; DAVID, A.M.S.S.; AMARO, H.T.R.; BORGHETTI, R.A.; COSTA, M.R.C. Desempenho de sementes de crambe expostas à tratamentos pré-germinativos. **Acta Biológica Colombiana**, v. 19, n. 2, p. 251-260, 2014.

CARLSSON, A.S. Plant oils as feedstock alternatives to petroleum – a short survey of potential oil crop platforms. **Biochimie**, n. 91, p. 665-670, 2009.

CARVALHO, J.C.; VIECELLI, C.A.; ALMEIDA, D.K. Produtividade e desenvolvimento da cultura da soja pelo uso de regulador vegetal. **Acta Iguazu**, v. 2, n. 1, p. 50-60, 2013.

CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. Sementes: ciência, tecnologia e produção. 5ed. Jaboticabal: FUNEP, 2012. 590p.

CASTRO, P.R.C.; KLUGE, R.A.; PERES, L.E.P. **Manual de fisiologia vegetal: teoria e pratica**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 2005. 640p.

CHAPMAN, E.J.; ESTELLE, M. Mechanism of auxin-regulated gene expression in plants. **Annual Reviews of Genetics**, v. 43, p. 265-285, 2009.

COSTA, C.J.; VAHL, L.C.; VILLELA, F.A. Testes de lixiviação de íons inorgânicos e condutividade elétrica para avaliação do potencial fisiológico de sementes de cebola. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 13, n. 4, p. 449-453, 2007.

COSTA, L.M.; RESENDE, O.; GONÇALVES, D.N.; SOUSA, K.A. Qualidade dos frutos de crambe durante o armazenamento. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 34, p. 239-301, 2012.

CRUZ, S.M.; NERY, M.C.; ROCHA, A.S.; PINHO, E.V.R.; ANDRADE, R.C.R.; DIAS, D.C.F.S. Vigor tests for evaluation of crambe (*Crambe abyssinica* Hochst) seed quality. **Journal of Seed Science**, v. 25, n. 4, p. 485-494, 2013.

DANTAS, A.C.V.L.; QUEIROZ, J.M.O.; VIEIRA, E.L.; ALMEIDA, V.O. Effect of gibberellic acid and the biostimulant Stimulate on the initial growth of tamarind. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 34, n. 1, p. XXX, 2012.

FAVORATO, L.F.; ROCHA, V.S.; ESPINDULA, M.C.; SOUZA, M.A.; PAULA, G.S. Teste de lixiviação de potássio para avaliação da qualidade de sementes de trigo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 6, n. 4, p. 670-674, 2011.

FEITOSA, F.M.; JUNIOR, I.O.A.; DAVID, A.M.S.S.; RODRIGUES, B.R.A.; DAMASCENA, N.S.; ARAÚJO, E.D.; AMARO, H.T.R. Efeito dos reguladores giberelina e citocinina na quebra de dormência de sementes de capim-andropogon. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 38, n. 1, p. 34-40, 2015.

GIANNAKOULA, A.E.; ILIAS, I.F.; MAKSIMOVIC, J.J.D.; MAKSIMOVIC, V.M.; ZIVANOVIC, B.D. The effects of plant growth regulators on growth, yield and phenolic profile of lentil plants. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 28, p. 46-53, 2012.

HILHORST, H.W.M. Definitions and hypotheses of seed dormancy. In: BRADFORD, K.J.; NONOGAKI, H. **Seed development, dormancy and germination**. Oxford: Blackwell, 2007.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. 1020p.

KANG, Y.; KHAN, S.; MA, X. Climate change impacts on crop yield, crop water productivity and food security – a review. **Progress in Natural Science**, v. 19, n. 12, p. 1665-1674, 2009.

KERBAUY, G.B. **Fisiologia Vegetal**. 2 Ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2012. 431p.

KNIGHTS, S.E. **Crambe**: a North Dakota Case Study, 2002. 25p.

KRZYŻANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Ed.) **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999.

KUCERA, B.; COHN, M.A.; LEUBNER-METZGER, G. Plant hormone interactions during seed dormancy release and germination. **Seed Science Research**, v. 15, p. 281-307, 2005.

KUCHLAN, P.; KUCHLAN, M.K.; HUSAIN, S.M. Effect of foliar application of growth activator, promoter and antioxidant on seed quality of soybean. **Legume Research**, v. 40, n. 2, p. 313-318, 2017.

LALAS, S.; GORTZI, O.; ATHANASIADIS, V.; DOURTOGLOU, E.; DOURTOGLOU, V. Full characterisation of *Crambe abyssinica* Hochst. seed oil. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 89, p. 2253-2258, 2012.

LI, X.; AHLMAN, A.; LINDGREN, H.; Highly efficient in vitro regeneration of the industrial oilseed crop *Crambe abyssinica*. **Industrial Crops and Products**, v. 33, p. 170-175, 2011.

LIU, X.; ZHANG, H.; ZHAO, Y.; FENG, Z.; LI, Q.; YANG, H.; LUAN, S.; LI, J.; HE, Z. Auxin controls seed dormancy through stimulation of abscisic acid signaling by inducing ARF-mediated ABI3 activation in *Arabidopsis*. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 110, n. 38, p. 15485-15490, 2013.

MAGUIRE, J.D. Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v.2, n.1, p.176-177, 1962.

MARCOS FILHO, J. Seed vigor testing: an overview of the past, present and future perspective. **Scientia Agricola**, v. 72, n. 4, p. 363-374, 2015.

MARTINS, C.C.; NAKAGAWA, J.; BOVI, M.L.A. Avaliação da qualidade fisiológica de sementes de açaí. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 31, n. 1, p. 231-235, 2009.

MOTERLE, L.M.; SANTOS, R.F.; SCAPIM, C.A.; BRACCINI, A.L.; BONATO, C.M.; CONRADO, T. Efeito de biorregulador na germinação e no vigor de sementes de soja. **Revista Ceres**, v. 58, n. 5, p. 651-660, 2011.

NONOGAKI, H. Seed dormancy and germination – emerging mechanisms and new hypotheses. **Frontiers in Plant Science**, v. 5, n. 233, 14 p., 2014.

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**, v. 27, p. 16-30, 2012.

OLIVEIRA, F.A.; MEDEIROS, J.F.; ALVES, R.C.; LIMA, L.A.; SANTOS, S.T.; RÉGIS, L.R.L. Produção de feijão caupi em função da salinidade e regulador de crescimento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 11, p. 1049-1056, 2015.

OLIVEIRA, M.B.; DAVID, A.M.S.S.; AMARO, H.T.R.; ASSIS, M.O.; RODRIGUES, B.R.A.; ASPIAZÚ, I.; CARVALHO, A.J. Épocas de colheita e qualidade fisiológica de sementes de crambe. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 4, p. 1785-1792, 2014.

OUZOUNIDOU, G.; ILIAS, I.F.; GIANNAKOULA, A.; PAPADOPOULOU, P. Comparative study on the effects of various plant growth regulators on growth, quality and physiology of *Capsicum annuum* L. **Pakistan Journal of Botany**, v. 72, p. 805-814, 2010.

PRAJAPATI, S.; SINGH, T.J.O.P.; RAYPURIYA, N.; MANDLOI, R.; JAIN, P.K. Plant growth regulators in vegetable production: an overview. **Plant Archives**, v. 15, n. 2, p. 619-626, 2015.

PRADO NETO, M.; DANTAS, A.C.V.L.; VIEIRA, E.L.; ALMEIDA, V.O. Germinação de sementes de jenipapeiro submetidas à pré-embebição em regulador e estimulante vegetal. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, p. 693-698, 2007.

SILVA, A.B.; LANDGRAF, P.R.C.; MACHADO, G.W.O. Germinação de sementes de braquiária sob diferentes concentrações de giberelina. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 2, p. 657-662, 2013.

SILVA, R.A.; SANTOS, J.L.; OLIVEIRA, L.S.; SOARES, M.R.S.; SANOS, S.M.S. Biostimulants on mineral nutrition and fiber quality of cotton crop. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 12, p. 1062-1066, 2016.

SOUZA, A.D.V.; FAVARO, S.P.; ÍTAVO, L.C.; ROSCOE, R. Caracterização química de sementes e tortas de pinhão-manso, naboforrageiro e crambe. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, p. 1328-1335, 2009.

STOLLER DO BRASIL. **Stimulate® Mo em hortaliças**: informativo técnico. Cosmópolis: Stoller do Brasil, Divisão Arbore, 1998.

SUN, Q.; WANG, J.; SUN, B. Advances on seed vigor physiological and genetic mechanisms. **Agricultural Sciences in China**, v. 6, n. 9, p. 1060-1066, 2007

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.A.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6 ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888p.

TALAAT, I.M.; KHATTAB, H.I.; AHMED, A.M. Changes in growth, hormones levels and essential oil content of *Ammi visnaga* L. plants treated with some bioregulators. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 21, n. 4, p. 355-365, 2014.

VANZOLINI, S.; NAKAGAWA, J. Teste de condutividade elétrica em sementes de amendoim. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 27, n. 2, p. 151-15, 2005.

ZUCARELI, C.; BRZEZINSKI, C.R.; ABATI, J.; HENNING, F.A.; RAMOS JUNIOR, E.U.; NAKAGAWA, J. Lixiviação de íons potássio, cálcio e magnésio para determinação do vigor em sementes de milho doce. **Informativo Abrates**, v. 23, n. 3, p. 56-60, 2013.

## 6 APÊNDICES

Apêndice 1 Análise descritiva dos parâmetros teor de água, lipídios por extração a quente (EQ), lipídios por extração a frio (EF), proteína, acidez e atividade antioxidante (AA) de grãos de crambe produzidos nas safras de 2014 e 2015 com aplicação de reguladores vegetais e armazenados. Cascavel-PR, 2017.

Análise descritiva	Água	Lipídios EQ	Lipídios EF (%)	Proteína	Acidez	AA
Média	6,55	27,28	37,77	21,88	1,90	23,40
C.V.	12,74	19,12	12,85	4,24	61,3	36,00
Mediana	6,36	28,25	36,69	21,82	1,46	23,34
Q1	5,98	23,02	31,69	21,37	1,03	15,45
Q3	6,86	30,85	39,01	22,42	2,37	31,26
Mínimo	5,29	17,71	25,52	19,17	0,65	11,81
Máximo	8,89	36,17	44,36	22,42	4,78	35,89
Desvio padrão	0,83	5,22	4,60	0,93	1,164	8,49
Anderson-Darling	<0,005	0,115	0,020	0,195	<0,005	<0,005

C.V. - coeficiente de variação; teste Anderson-Darling ( $p \leq 0,05$ ).

Apêndice 2 Valores da matriz de distâncias euclidianas para as 6 características físico-químicas dos tratamentos com reguladores vegetais estudados. Cascavel-PR, 2017.

	X1	X2	X3	X4	X5
X2	0,85				
X3	0,99	0,54			
X4	0,92	0,78	0,91		
X5	0,81	0,69	1,00	1,00	
X6	1,00	0,35	0,85	0,69	0,70

X1 - teor de água; X2 - teor de proteína; X3 - teor de lipídeos A; X4 - teor de lipídeos T; X5 - atividade antioxidante; X6 - teor de acidez.

Apêndice 3 Análise descritiva da porcentagem de germinação (PG), índice de velocidade de germinação (IVG), condutividade elétrica (C.E.), teor de umidade (U) e concentração de íons cálcio (Ca), magnésio (Mg) e potássio (K) lixiviados de sementes de crambe produzidas com reguladores vegetais. Cascavel-PR, 2017.

Análise descritiva	PG (%)	IVG -	U (%)	C.E. (mS cm <sup>-1</sup> g <sup>-1</sup> )	Ca	Mg μg mL <sup>-1</sup>	K
Safrá 2014							
Média	54,25	5,02	6,38	65,6	4,22	1,27	0,104
C.V.	18,5	21,14	10,13	9,66	12,87	10,43	9,61
Mediana	53,33	4,84	6,27	94,53	4,24	1,29	0,1035
Q1	45,33	4,23	5,88	89,48	3,77	1,25	0,0945
Q3	64,67	5,95	6,85	103,98	4,57	1,34	0,1115
Mínimo	37,33	3,57	5,35	78,37	3,17	0,98	0,092
Máximo	69,33	7,11	7,63	112,17	5,26	1,48	0,1272
Desvio padrão	10,03	1,06	0,65	9,23	0,54	0,13	0,01
Anderson-Darling	0,384	0,546	0,93	0,546	0,766	0,068	0,159
Safrá 2015							
Média	50,75	4,71	6,05	55,02	2,93	0,97	0,096
C.V.	25,05	34,43	6,62	19,72	17,65	15,72	0,22
Mediana	51,35	4,43	6	53,78	2,87	0,99	0,0959
Q1	44,33	3,49	5,85	47,77	2,6	0,85	0,0962
Q3	57,32	5,75	6,23	60,4	3,12	1,06	0,0964
Mínimo	22,67	1,58	5,29	37,85	2,03	0,67	0,096
Máximo	74	7,58	6,89	75,78	4,23	1,27	0,0966
Desvio padrão	12,71	1,62	0,4	10,85	0,52	0,15	0,0002
Anderson-Darling	0,907	0,698	0,421	0,214	0,301	0,894	0,337

C.V. - coeficiente de variação; teste Anderson-Darling ( $p \leq 0,05$ ).