

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

**MATURAÇÃO, SECAGEM E ARMAZENAMENTO DE
SEMENTES DE CÁRTAMO: ESTUDOS
MORFOFISIOLÓGICOS**

GUILHERME CARDOSO OBA

**DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2020**

MATURAÇÃO, SECAGEM E ARMAZENAMENTO DE SEMENTES DE CÁRTAMO: ESTUDOS MORFOFISIOLÓGICOS

GUILHERME CARDOSO OBA
Engenheiro Agrônomo

Orientador: PROF. DR. ANDRÉ LUÍS DUARTE GONELI
Coorientadora: PROF^a. DR^a. TATHIANA ELISA MASETTO

Tese apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal, para obtenção do título de Doutor.

Dourados
Mato Grosso do Sul
2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

O12m Oba, Guilherme Cardoso
Maturação, secagem e armazenamento de sementes de cártamo: estudos morfofisiológicos
[recurso eletrônico] / Guilherme Cardoso Oba. -- 2020.
Arquivo em formato pdf.

Orientador: André Luís Duarte Goneli.

Coorientadora: Tathiana Elisa Masetto.

Tese (Doutorado em Agronomia)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2020.

Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:

<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Carthamus tinctorius L.. 2. desenvolvimento. 3. deterioração. 4. dormência. 5. pós-colheita. I.
Goneli, André Luís Duarte. II. Masetto, Tathiana Elisa. III. Título.

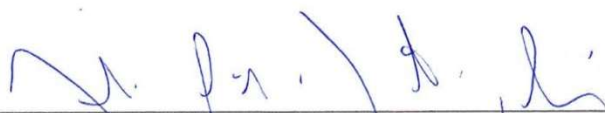
**MATURAÇÃO, SECAGEM E ARMAZENAMENTO DE SEMENTES DE
CÁRTAMO: ESTUDOS MORFOFISIOLÓGICOS**

por

Guilherme Cardoso Oba

Tese apresentada como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de
DOUTOR EM AGRONOMIA

Aprovada em: 25/03/2020



Prof. Dr. André Luís Duarte Goneli
Orientador - UFGD/FCA



Prof.ª Dr.ª Silvana de Paula Quintão Scalon
UFGD/FCA



Prof.ª Dr.ª Mariana Zampar Toledo
UFGD/FCA



Prof.ª Dr.ª Rosilda Mara Mussury Franco Silva
UFGD/FCBA



Prof. Dr. Eber Augusto Ferreira do Prado
IFMS

Dedico

Aos meus pais, Delson Oba e Cleide dos Santos Cardoso, e irmãos, Felipe Cardoso Oba e Iasmin Sayuri Cardoso Oba.

Aos meus avós paternos, Goro Oba (in memoriam) e Sumiko Oba (in memoriam), e avós maternos, José Motta Cardoso (in memoriam) e Adilia Carvalho dos Santos Cardoso.

À minha esposa e companheira, Larissa Pippus Pedroso Oba.

Finalmente, a todos os familiares e amigos.

AGRADECIMENTOS

Ao grandioso e bondoso Deus, por todas as conquistas a mim concedidas.

À Universidade Federal da Grande Dourados, pela oportunidade e auxílio concedido.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pelo auxílio financeiro durante o período de doutoramento.

Ao Prof. Dr. André Luís Duarte Goneli, pela amizade, paciência e orientação durante toda a caminhada de Pós-Graduação.

À Prof^ª. Dr^ª. Tathiana Elisa Masetto, pela amizade e fundamental coorientação durante o doutoramento.

À Prof^ª. Dr^ª. Cristiane Bezerra da Silva, pela amizade e importantes contribuições na realização desta pesquisa.

Ao Prof. Dr. Luiz Carlos Ferreira de Souza, por gentilmente conceder parte da matéria-prima utilizada na execução deste trabalho.

Aos professores dos diversos departamentos da UFGD, que gentilmente permitiram o uso de equipamentos, materiais e estruturas laboratoriais para que fossem realizadas as análises deste estudo.

A todos os professores da Faculdade de Ciências Agrárias, pela amizade e compartilhamento de conhecimento.

Aos colegas de pós-graduação e graduação, pelo importante apoio durante a condução deste trabalho.

À Prof^ª. Dr^ª. Daiane Mugnol Dresch e Prof^ª. Dr^ª. Tathiana Elisa Masetto, pelas importantes contribuições na etapa de Pré-Defesa.

Aos ilustres membros da banca de Defesa, Prof^ª. Dr^ª. Silvana de Paula Quintão Scalon, Prof^ª. Dr^ª. Mariana Zampar Toledo, Prof^ª. Dr^ª. Rosilda Mara Mussury Franco Silva e Prof. Dr. Eber Augusto Ferreira do Prado.

Por fim, a todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram positivamente durante essa jornada.

BIOGRAFIA

Guilherme Cardoso Oba, filho de Delson Oba e Cleide dos Santos Cardoso, nasceu no município de Glória de Dourados - MS, no dia 29 de março de 1990. Passou toda a sua infância e adolescência em Deodópolis - MS, onde fez o ensino fundamental na Escola Estadual Treze de Maio.

No ano de 2006, iniciou o curso de Técnico em Agropecuária, integrado ao Ensino Médio, no Colégio Agrícola Estadual do Noroeste, Diamante do Norte - PR, finalizando o curso em 2008.

Depois de tomar gosto pelas Ciências Agrárias, ingressou no curso de Agronomia da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Dourados - MS, no ano de 2009, obtendo o título de Engenheiro Agrônomo cinco anos mais tarde.

Atraído pela nobre e importante missão da pesquisa, em 2014 iniciou seu mestrado no Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal), tornando-se Mestre no ano de 2016. Não satisfeito, nesse mesmo ano e mesma instituição, começou a longa e difícil jornada de doutoramento, conquistando, finalmente, o título de Doutor em Agronomia (Produção Vegetal) em 2020.

Atualmente, Guilherme é Engenheiro Agrônomo concursado na Prefeitura Municipal de Dourados, MS, desde o ano de 2017, onde trabalha com diversos segmentos da Agricultura Familiar.

Acredita que toda essa trajetória exitosa, ainda que com alguns percalços, não tivesse acontecido em sua vida se não tivesse fé em Deus, o amor incondicional de seus pais e o apoio fundamental de sua esposa, irmãos, familiares e amigos verdadeiros.

Mesmo hoje, Doutor em Agronomia, ainda se mantém em busca de conhecimento, pois...

... "o que sabemos é uma gota; o que ignoramos é um oceano" - Sir Isaac Newton

SUMÁRIO

	PÁGINA
RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	x
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	7
CAPÍTULO 1.....	13
MATURAÇÃO E QUALIDADE DE SEMENTES DE CÁRTAMO COLHIDAS EM DOIS MOMENTOS	13
1.1. INTRODUÇÃO.....	14
1.2. MATERIAL E MÉTODOS	17
1.2.1. Descrição da área experimental	17
1.2.2. Ensaio 1 - Caracterização do processo de maturação das sementes.....	17
1.2.3. Ensaio 2 - Qualidade das sementes em função do momento de colheita	20
1.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	23
1.3.1. Ensaio 1 - Caracterização do processo de maturação das sementes.....	23
1.3.2. Ensaio 2 - Qualidade das sementes em função do momento de colheita	36
1.4. CONCLUSÕES	39
1.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40
CAPÍTULO 2.....	45
SECAGEM ARTIFICIAL DE SEMENTES DE CÁRTAMO EM DIFERENTES TEMPERATURAS DO AR: EFEITO NO POTENCIAL FISIOLÓGICO DE SEMENTES RECÉM-COLHIDAS E ARMAZENADAS ¹	45
2.1. INTRODUÇÃO	46
2.2. MATERIAL E MÉTODOS	49
2.2.1. Obtenção do material biológico e preparo das amostras.....	49
2.2.2. Secagem e armazenamento das sementes	49
2.2.3. Avaliação da qualidade fisiológica das sementes	50
2.2.4. Procedimento estatístico.....	51
2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	53
2.4. CONCLUSÕES	63
2.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64

CAPÍTULO 3.....	68
PÓS-MATURAÇÃO E DETERIORAÇÃO DE SEMENTES DE CÁRTAMO DURANTE O ARMAZENAMENTO: EFEITO DO TEOR DE ÁGUA E TEMPERATURA.....	68
3.1. INTRODUÇÃO.....	69
3.2. MATERIAL E MÉTODOS.....	73
3.2.1. Obtenção do material biológico e preparo das amostras.....	73
3.2.2. Secagem, embalagem e armazenamento das sementes.....	73
3.2.3. Efeitos sobre a pós-maturação e germinação das sementes.....	74
3.2.4. Acesso à germinação e vigor das sementes após superação artificial da dormência.....	75
3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	77
3.3.1. A secagem das sementes.....	77
3.3.2. Influência das condições de armazenamento na manutenção do teor de água das sementes.....	78
3.3.3. Intensidade da dormência e eficácia da estratificação a frio.....	80
3.3.4. Efeitos sobre a pós-maturação e germinação das sementes.....	83
3.3.5. Acesso à germinação e vigor das sementes após superação artificial da dormência.....	93
3.4. CONCLUSÕES.....	102
3.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	103
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	108

OBA, Guilherme Cardoso. **Maturação, secagem e armazenamento de sementes de cártamo: estudos morfofisiológicos**. 2020. 121 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados - MS. Orientador: André Luís Duarte Goneli. Coorientadora: Tathiana Elisa Masetto.

RESUMO

O cártamo é uma planta de múltiplas finalidades; entretanto, tem recebido especial atenção devido à qualidade do óleo extraído de seus grãos, que é rico em ácidos linoleico e oleico. Com grande potencial para expansão no Brasil, como alternativa de inverno em sistemas de rotação, o sucesso para o estabelecimento da cultura do cártamo no país está na dependência, dentre outros fatores, da definição de um programa adequado de produção de sementes. Nesse sentido, neste trabalho realizado na Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados - MS, foram conduzidas três pesquisas abrangendo diferentes etapas da cadeia produtiva das sementes de cártamo. Na primeira pesquisa, dividida em duas partes, se buscou, inicialmente, determinar as alterações que ocorrem no teor de água, tamanho e matéria seca das sementes entre os 5 e 37 dias após a antese (DAA), além de verificar a dinâmica da aquisição da germinação e expressão da dormência fisiológica durante a maturação. Também, identificar possíveis indicadores morfológicos, em capítulos e sementes, vinculados à maturidade fisiológica das sementes. Na segunda parte, objetivou-se verificar diferenças entre a qualidade fisiológica de sementes colhidas imediatamente após a completa senescência dos capítulos e estruturas vegetativas da planta-matriz e de sementes provenientes de colheita única em área total, no fechamento do ciclo da cultura, quando de 97 a 99% das plantas-matrizes apresentavam-se totalmente senescentes. O desenvolvimento das sementes de cártamo é caracterizado pelo rápido crescimento externo e gradual acúmulo de matéria seca, que, nas condições deste trabalho, foi estabilizado aos 29 DAA (maturidade fisiológica), com teor de água correspondente a 26,1%. As sementes adquirem, gradualmente, a habilidade de germinar a partir do terço final do acúmulo de matéria seca, com máxima alcançada poucos dias antes da maturidade fisiológica, sendo essa germinação parcialmente inibida pela presença da dormência fisiológica primária. Ainda se concluiu que o desencadeamento da senescência dos capítulos, junto à transição de cor das sementes de acinzentadas para esbranquiçadas, em razão da desidratação natural, podem ser utilizados como indicadores de maturidade fisiológica para as sementes dessa espécie. Finalmente, pode-se afirmar que a colheita única em área total, levando-se em consideração a disparidade no processo de maturação entre plantas e a ocorrência de condições climáticas adversas, prejudica a germinação e o vigor das sementes de cártamo. Na segunda pesquisa deste trabalho, sementes de cártamo, colhidas com um teor de água de 25,8%, foram submetidas à secagem em secador experimental com temperaturas do ar entre 40 e 70 °C, até atingirem 6,6% de umidade. Posteriormente, essas foram avaliadas quanto à qualidade fisiológica, de imediato à secagem e a cada 60 dias, até os 240 dias de armazenamento sob condições não controladas. O aumento da temperatura do ar de secagem propicia uma remoção mais abrupta das moléculas de água contidas no interior das sementes, provocando danos imediatos e latentes à qualidade fisiológica das sementes, sobretudo a partir de 60 °C. Assim, sugere-se que a temperatura de secagem das sementes de cártamo não exceda 40 °C, especialmente quando essas se apresentarem com teores de água próximos ou superiores a 25,8% no momento da secagem. Na terceira pesquisa, verificou-se o efeito do teor de água da semente e da temperatura ambiente na dinâmica da pós-

maturação e deterioração das sementes de cártamo durante o armazenamento. Para isso, lotes de sementes com teores de água iniciais distintos (7,4; 6,1 e 4,7%), obtidos após secagem artificial, foram acondicionados em embalagens permeáveis e não permeáveis (denominados sistemas convencional e hermético, respectivamente) e, posteriormente, armazenados durante 200 dias em ambiente sem controle de temperatura e umidade relativa do ar ($26,2 \pm 2,3$ °C e $46,4 \pm 8,6\%$). Concomitantemente, um lote de sementes com teor de água inicial de 7,4%, acondicionado em embalagem semipermeável, foi mantido em câmara fria ($16,4 \pm 0,8$ °C e $79,7 \pm 9,3\%$). No início do armazenamento e a cada 50 dias, as sementes foram avaliadas quanto ao teor de água e caracteres fisiológicos vinculados à dormência, viabilidade e vigor. A dinâmica da pós-maturação das sementes de cártamo é influenciada pelo teor de água da semente e temperatura ambiente predominante, em que baixas temperaturas de armazenamento retardam o processo, mas não o impede, e, à temperatura média ambiente, próxima a 25 °C, a pós-maturação é favorecida pela manutenção dos teores de água entre 5,0 e 6,0%, desacelerando, dentro da faixa de 4,7 a 8,5%, à medida que se eleva o teor de água. Considerando a adoção de teores de água iniciais entre 4,7 e 7,4%, o emprego de embalagens que não permitem variações bruscas no teor de água possibilita a manutenção da viabilidade e vigor das sementes de cártamo por períodos de até 150-200 dias sob condições ambientais semelhantes às desta pesquisa, com eficiência similar à proporcionada pela baixa temperatura de uma câmara fria. Por outro lado, o aumento sensível do teor de água das sementes, permitido pelo uso de embalagens permeáveis no armazenamento em ambiente não controlado, acelera o processo de deterioração, mesmo o teor de água não excedendo 8,5%.

Palavras-chave: *Carthamus tinctorius* L., desenvolvimento, deterioração, dormência, pós-colheita.

ABSTRACT

Safflower is a multi-purpose plant; however, it has received special attention due to the quality of the oil extracted from its grains, which is rich in linoleic and oleic acids. With great potential for expansion in Brazil, as a winter alternative in rotation systems, the success in establishing safflower culture in the country depends on, among other factors, the definition of an adequate seed production program. In this sense, in this work carried out at the Federal University of Grande Dourados, Dourados - MS, three researches were conducted covering different stages of the safflower seed production chain. In the first study, divided into two parts, it was initially sought to determine the changes that occur in the moisture content, size and dry matter of the seeds between 5 and 37 days after anthesis (DAA), in addition to verifying the dynamics of acquisition germination and expression of physiological dormancy during maturation. Also, identify possible morphological indicators, in chapters and seeds, linked to the physiological maturity of the seeds. In the second part, the objective was to verify differences between the physiological quality of seeds harvested immediately after the complete senescence of the chapters and vegetative structures of the mother plant and of seeds from a single harvest in a total area, at the end of the crop cycle, when 97 to 99% of the mother plants were completely senescent. The development of safflower seeds is characterized by rapid external growth and gradual accumulation of dry matter, which, under the conditions of this work, was stabilized at 29 DAA (physiological maturity), with a moisture content corresponding to 26.1%. The seeds gradually acquire the ability to germinate from the final third of the dry matter accumulation, with a maximum reached a few days before physiological maturity, this germination being partially inhibited by the presence of primary physiological dormancy. It was also concluded that the triggering of the senescence of the chapters, along with the color transition from greyish to whitish seeds, due to natural dehydration, can be used as physiological maturity indicators for the seeds of this species. Finally, it can be said that the single harvest in total area, taking into account the disparity in the maturation process between plants and the occurrence of adverse climatic conditions, impairs the germination and vigor of the safflower seeds. In the second research of this work, safflower seeds, harvested with a moisture content of 25.8%, were subjected to drying in an experimental dryer with air temperatures between 40 and 70 °C, until reaching 6.6% moisture. Subsequently, these were evaluated for physiological quality, immediately after drying and every 60 days, until 240 days of storage under uncontrolled conditions. The increase in the temperature of the drying air allows for a more abrupt removal of the water molecules contained within the seeds, causing immediate and latent damage to the physiological quality of the seeds, especially from 60 °C. Thus, it is suggested that the drying temperature of safflower seeds does not exceed 40 °C, especially when they present moisture contents close to or above 25.8% at the time of drying. In the third study, the effect of seed moisture content and ambient temperature on the after-ripening dynamics and deterioration of safflower seeds during storage was verified. For that, seed lots with different initial moisture contents (7.4; 6.1 and 4.7%), obtained after artificial drying, were packed in permeable and non-permeable packages (called conventional and airtight systems, respectively) and subsequently stored for 200 days in an environment without temperature and relative humidity control (26.2±2.3 °C and 46.4±8.6%). Concomitantly, a batch of seeds with an initial moisture content of 7.4%, packed in semipermeable packaging, was kept in a cold chamber (16.4±0.8 °C and 79.7±9.3%). At the beginning of storage and every 50 days, the seeds

were evaluated for moisture content and physiological characteristics linked to dormancy, viability and vigor. The dynamics of after-ripening of safflower seeds are influenced by the seed moisture content and the prevailing ambient temperature, in which low storage temperatures slow down the process, but do not prevent it, and, at average ambient temperature, close to 25 °C, after-ripening is favored by the maintenance of moisture contents between 5.0 and 6.0%, decelerating, within the range of 4.7 to 8.5%, as the moisture content increases. Considering the adoption of initial moisture contents between 4.7 and 7.4%, the use of packaging that does not allow sudden variations in the moisture content makes it possible to maintain the viability and vigor of safflower seeds for periods of up to 150-200 days under environmental conditions similar to this research, with efficiency similar to that provided by the low temperature of a cold chamber. On the other hand, the significant increase in the moisture content of the seeds, allowed by the use of permeable packaging in storage in an uncontrolled environment, accelerates the deterioration process, even though the moisture content does not exceed 8.5%.

Keywords: *Carthamus tinctorius* L., deterioration, development, dormancy, postharvest.

INTRODUÇÃO GERAL

O cártamo (*Carthamus tinctorius* L.), espécie possivelmente originada no Oriente-Médio (ABUD et al., 2010), pertencente à família Asteraceae e a única cultivada do gênero *Carthamus* (TONGUÇ et al., 2012), é uma planta herbácea e anual, com ciclo de 130 a 140 dias, propagada por sementes e adaptada ao cultivo em regiões semiáridas (FRANCHINI et al., 2014; FLEMMER et al. 2015; OLIVEIRA et al., 2018). Reconhecido, especialmente, por suas propriedades corantes (LAURSEN e MOURI, 2013) e medicinais (ZHOU et al., 2014), o cártamo também pode ser empregado no pastoreio, fenação e silagem para ruminantes e na alimentação suplementar de aves, na forma de grãos (EMONGOR, 2010).

Os grãos de cártamo dispõem de consideráveis teores de proteínas (15 a 16%) e lipídios (23 a 41%), destacando-se os conteúdos dos ácidos linoleico (72 a 84%) e oleico (8 a 18%) em seu óleo, conferindo-lhe elevado valor medicinal, nutricional e comercial (AL SURMI et al., 2016; KHALID et al., 2017; SANTANA et al., 2017). O óleo de cártamo ainda é dado como uma matéria-prima promissora para a produção do biodiesel, devido suas particularidades físico-químicas (OLIVEIRA et al., 2018).

Segundo dados da FAO (*Food and Agriculture Organization of the United Nations*, 2017), foi estimada uma produção mundial de 690,8 mil toneladas de grãos de cártamo no ano de 2017, com maiores montantes registrados no Cazaquistão (32,5%), Rússia (14,7%), Estados Unidos (11,8%) e México (10,2%). Em termos de área lavrada, destacaram-se a Índia, Cazaquistão e Rússia, que juntos somaram 568,6 mil hectares (ha), quase 68% da área total cultivada com a espécie. A produtividade média estimada de grãos se aproximou dos 910 kg ha⁻¹, destacando-se produtividades de países como a Turquia, México, China e Estados Unidos (1.826, 1.565, 1.429 e 1.408 kg ha⁻¹, respectivamente).

Apesar do cultivo incipiente no Brasil, pesquisas recentes apontaram a possibilidade de inserção do cártamo, dentre outras espécies não convencionais, como cultura alternativa de inverno em sistemas de rotação, associado ao plantio direto (SOUZA et al., 2016a, 2016b), visando a diversificação agrícola naquelas regiões em que há predomínio de monocultivos ou de sucessão de culturas.

Atualmente, com seis cultivares cadastradas no Registro Nacional de Cultivares (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA, 2019), a

cultura do cártamo apresenta grande potencial para a expansão no Brasil, especialmente nas regiões que dispõem de invernos secos e gelados, embora a experiência tenha alertado para a intolerância da espécie à geada e déficit hídrico severo nas fases de florescimento e formação/enchimento de grãos. O aprofundamento do conhecimento da fisiologia e o aprimoramento das técnicas de cultivo e pós-colheita da espécie, nas condições ambientais do país, constituem etapas iniciais e fundamentais para o sucesso do estabelecimento do cártamo no Brasil, especialmente em relação à obtenção de material propagativo (sementes).

A definição ou o ajuste de um programa de produção de sementes requer informações prévias das formas mais adequadas de se conduzir as diferentes etapas do processo, para que sejam produzidos lotes com elevado padrão fisiológico, físico, sanitário e genético (FRANÇA-NETO et al., 2016). Tal padrão de qualidade, atestado pelo agricultor no estabelecimento do estande, é resultante de uma complexa interação entre fatores genéticos e ambientais, nos aspectos abióticos e bióticos, vivenciados pela planta-matriz e progênie (sementes) durante as fases de campo, passando pelas etapas de pós-colheita, até o momento da semeadura (PESKE et al., 2012). No campo, as etapas de maturação (ou seja, de desenvolvimento) e de colheita são consideradas críticas na determinação da qualidade inicial de um lote de sementes (GESCH e JOHNSON, 2012; GU et al., 2017).

Com início na dupla fertilização do óvulo, as sementes passam por uma série de transformações, que incluem o acúmulo de reservas, o decréscimo do teor de água, a aquisição da habilidade de germinar, do vigor, longevidade e da tolerância à dessecação, além de possível expressão da dormência, todas regidas por fatores genéticos (DEVIC e ROSCOE, 2016; LIMA et al., 2017) e influenciadas pelo ambiente (LINDSTRÖM et al., 2006, 2007; ELLIS, 2011; BODRONE et al., 2017; PENFIELD e MACGREGOR, 2017; RAHMAN e ELLIS, 2019). Esse processo é encerrado quando há a interrupção da transferência de matéria seca das plantas-matrizes às sementes, denominado ponto de maturidade fisiológica, momento em que, normalmente, as sementes apresentam maior germinação e vigor (MARCOS-FILHO, 2015b).

A partir da maturidade fisiológica, as sementes encontram-se fisiologicamente independentes da planta-matriz e prontamente sujeitas à deterioração (FINCH-SAVAGE e BASSEL, 2016; LEPRINCE et al., 2017). Ressalta-se que esse processo degenerativo pode ser acelerado ainda no campo na ocorrência de atrasos expressivos na colheita, principalmente, quando em condições de alta umidade, elevada

temperatura e alta pressão de ataques por fitopatógenos, que comprometem, de forma mais evidente, a germinação, vigor e sanidade do lote de sementes (DINIZ et al., 2013; ZUFFO et al., 2017; VERGARA et al., 2019).

Uma das formas de se reduzir tais perdas qualitativas prematuras, consiste na antecipação da colheita das sementes, retirando-as do campo em momentos mais próximos à maturidade fisiológica, anteriormente ao ponto convencional de colheita (SCARIOT et al., 2017, 2018). Todavia, embora favoreça a manutenção da qualidade inicial das sementes, a colheita antecipada apresenta desvantagens consideráveis, como a dificuldade operacional na colheita mecanizada e a necessidade de secagem artificial anteriormente ao armazenamento, em razão dos elevados teores de água apresentados pelas sementes nesse momento (LABBÉ e VILLELA, 2012; MARCOS-FILHO, 2015a).

As sementes, especialmente as ortodoxas, quando armazenadas com elevado teor de água ficam sujeitas ao rápido incremento metabólico e respiratório (BAILLY, 2004; BALLESTEROS e WALTERS, 2011; WALTERS, 2015; XIA et al., 2015; JIANG et al., 2018; RATAJCZAK et al., 2019), além de problemas relacionados ao acréscimo da atividade de microrganismos e insetos presentes na massa (BARROZO et al., 2014), fatores que favorecem a deterioração prematura. Nesse sentido, recomenda-se que sementes colhidas antecipadamente sejam o quanto antes submetidas à secagem artificial para a redução dos teores de água até níveis seguros (BARROZO et al., 2014), situados, geralmente, entre 3 e 11%, de acordo com a espécie, temperatura ambiente e atividade de água na massa (WALTERS et al., 2005; BERJAK, 2006; BUITINK e LEPRINCE, 2008).

Conforme Barrozo et al. (2014), a secagem ideal é aquela que preserva a viabilidade, vigor e integridade física das sementes, associada a uma maior eficiência energética e operacional. Ressalta-se, todavia, que as mesmas condições que promovem altas taxas de secagem, como elevada temperatura e/ou baixa umidade relativa do ar, também são capazes de causar sérios danos às sementes, principalmente quando essas se encontram com elevados teores de água no momento da secagem.

Uma secagem inadequada ocasionada pelo emprego de temperaturas demasiadamente elevadas, que promovem a remoção abrupta das moléculas de água e/ou aquecimento excessivo da massa de sementes, podem resultar na formação de fissuras nos tecidos internos e externos, a desorganização de compostos e estruturas celulares, além do rompimento de membranas celulares com consequente extravasamento de conteúdo celular (SAATH et al., 2010; MENEZES et al., 2012; BORÉM et al., 2013; DONADON et al., 2013; WANG et al., 2017).

Dependendo da severidade, esses eventos deletérios comprometerão a germinação e o vigor das sementes já durante o processo de secagem e/ou provocar danos latentes nelas, que serão expressos somente após determinados períodos de armazenamento, sobretudo quando conduzido em condições desfavoráveis (RESENDE et al., 2012; ULLMANN et al., 2015; HARTMANN FILHO et al., 2016; SARATH et al., 2016; TIMPLE e HAY, 2018).

Conforme supracitado, uma secagem inadequada pode afetar o potencial de armazenamento de um lote de sementes. Contudo, independentemente das situações que tenham vivenciado no campo e primeiras etapas de pós-colheita, as sementes, no geral, não poderão manter sua viabilidade indefinidamente no armazenamento, estando fadadas à perda gradual da germinação ao longo do tempo, a qual também poderá ocorrer de forma repentina após determinado período assintomático (NAGEL e BÖRNER, 2010; WALTERS et al., 2010; WALTERS, 2015; FLEMING et al., 2019).

Esse decréscimo da viabilidade, normalmente precedido pelo declínio do vigor (MATTHEWS et al., 2012; MARCOS-FILHO, 2015b) e por alterações bioquímicas indesejáveis, que incluem a degradação de importantes compostos celulares (BAILLY, 2004; CORBINEAU, 2012; KUMAR et al., 2015; XIA et al., 2015; SAHU et al., 2017; JIANG et al., 2018; FLEMING et al., 2019; RATAJCZAK et al., 2019), ocorre em função do avanço do processo de deterioração, que é inevitável, progressivo e irreversível (LABBÉ e VILLELA, 2012; MARCOS-FILHO, 2015a).

A temperatura ambiente e, especialmente, o teor de água da semente são os dois principais fatores que regulam a cinética das reações físico-químicas que determinam a deterioração em sementes armazenadas (BALLESTEROS e WALTERS, 2011; WALTERS, 2015). Mesmo dentro do limiar de umidade de segurança para o armazenamento, sobretudo acima deste, acréscimos progressivos no teor de água e/ou na temperatura ambiente provocam o aumento da mobilidade molecular no interior das células das sementes, facilitando a ocorrência de reações químicas degenerativas entre os constituintes celulares (WALTERS et al., 2005; BERJAK, 2006; BUITINK e LEPRINCE, 2008; BALLESTEROS e WALTERS, 2011).

Conforme anteriormente mencionado, em presença suficiente de umidade e temperatura, há intensificação no processo respiratório das sementes, devido a maior facilidade no transporte de elétrons nos mitocôndrios, propiciando o acúmulo descontrolado de compostos tóxicos do metabolismo degenerativo, como as espécies reativas de oxigênio (EROs), e o consumo acelerado de substâncias de reserva, também

acelerando a deterioração da massa armazenada (BAILLY, 2004; WALTERS, 2015; XIA et al., 2015; JIANG et al., 2018; RATAJCZAK et al., 2019).

Esses mesmos fatores (isto é, temperatura ambiente e teor de água), atuando na interação ou isoladamente, ainda podem influenciar a dinâmica de outro importante fenômeno em sementes armazenadas, a "pós-maturação" (BAZIN et al., 2011a, 2011b; BASBOUSS-SERHAL et al., 2016; RODRÍGUEZ et al., 2018). Tal fenômeno consiste na superação natural e gradual da dormência fisiológica, para sementes de determinadas espécies, durante o armazenamento em condições de baixa hidratação (BASKIN e BASKIN, 2004; FINCH-SAVAGE e LEUBNER-METZGER, 2006; GRAEBER et al., 2012).

As reações químicas que proporcionam a pós-maturação normalmente ocorrem dentro do limiar de umidade de metabolismo reduzido a inativo (WEITBRECHT et al., 2011; GRAEBER et al., 2012), onde substâncias oxidantes, como algumas EROs, quando mantidas em níveis controlados, atuam na regulação de genes responsáveis pelo metabolismo de compostos promotores e inibidores da germinação, como os ácidos abscísico (ABA) e giberélico (GA), respectivamente (LIU et al., 2010; BASBOUSS-SERHAL et al., 2016). Aparentemente, esses mesmos mecanismos oxidativos ainda exercem importante papel em oxidações seletivas de ácidos nucleicos e proteínas específicas (ORACZ et al., 2007; BAZIN et al., 2011b), que alteram o funcionamento celular de sementes dormentes, desencadeando a pós-maturação (EL-MAAROUF-BOUTEAU et al., 2013). A influência da temperatura ambiente na pós-maturação, segundo Rodríguez et al. (2018), se deve ao potencial de interferência desse fator no balanço hormonal ABA:GA durante o armazenamento.

Considerando-se a necessidade do estabelecimento de um programa adequado de produção de sementes de cártamo e a carência de informações deste cunho, obtidas nas condições do país, realizou-se este trabalho constituído de três pesquisas envolvendo diferentes etapas da cadeia produtiva das sementes da espécie. No primeiro estudo, dividido em duas partes, avaliaram-se as modificações morfológicas, físicas e fisiológicas ocorridas durante o processo de maturação das sementes de cártamo e as diferenças entre a qualidade fisiológica de sementes colhidas na senescência da planta-matriz e de sementes provenientes de colheita única em área total, no fechamento do ciclo da cultura.

No segundo estudo foram verificados os efeitos da secagem artificial, com temperaturas do ar entre 40 e 70 °C, na qualidade fisiológica de sementes de cártamo

recém-colhidas e armazenadas em ambiente não controlado durante 240 dias. Para finalizar, na terceira pesquisa avaliou-se a dinâmica das alterações fisiológicas, associadas à deterioração e à pós-maturação, em sementes de cártamo armazenadas durante 200 dias em diferentes condições de temperatura ambiente e teor de água.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABUD, H.F.; GONÇALVES, N.R.; REIS, R.G.E.; GALLÃO, M.I.; INNECO, R. Morfologia de sementes e plântulas de cártamos. **Revista Ciência Agrônômica**, v.41, n.2, p.259-265, 2010.
- AL SURMI, N.Y.; EL DENGAWY, R.A.H.; KHALIFA, A.H. Chemical and nutritional aspects of some safflower seed varieties. **Journal of Food Processing & Technology**, v.7, n.5, p.1-5, 2016.
- BAILLY, C. Active oxygen species and antioxidants in seed biology. **Seed Science Research**, v.14, p.93-107, 2004.
- BALLESTEROS, D.; WALTERS, C. Detailed characterization of mechanical properties and molecular mobility with dry seed glasses: relevance to the physiology of dry biological systems. **The Plant Journal**, v.68, p.607-619, 2011.
- BARROZO, M.A.S.; MUJUMDAR, A.; FREIRE, J.T. Air-drying of seeds: a review. **Drying technology**, v.32, n.10, p.1127-1141, 2014.
- BASBOUSS-SERHAL, I.; LEYMARIE, J.; BAILLY, C. Fluctuation of Arabidopsis seed dormancy with relative humidity and temperature during drying storage. **Journal of Experimental Botany**, v.67, n.1, p.119-130, 2016.
- BASKIN, J.M.; BASKIN, C.C. A classification system for seed dormancy. **Seed Science Research**, v.14, n.1, p.1-16, 2004.
- BAZIN, J.; BATLLA, D.; DUSSERT, S.; EL-MAAROUF-BOUTEAU, H.; BAILLY, C. Role of relative humidity, temperature, and water status in dormancy alleviation of sunflower seeds during dry after-ripening. **Journal of Experimental Botany**, v.62, n.2, p.627-640, 2011a.
- BAZIN, J.; LANGLADE, N.; VINCOURT, P.; ARRIBAT, S.; BALZERGUE, S.; EL-MAAROUF-BOUTEAU, H.; BAILLY, C. Targeted mRNA oxidation regulates sunflower seed dormancy alleviation during dry after-ripening. **The Plant Cell**, v.23, p.2196-2208, 2011b.
- BERJAK, P. Unifying perspectives of some mechanisms basic to desiccation tolerance across life forms. **Seed Science Research**, v.16, p.1-15, 2006.
- BODRONE, M.P.; RODRÍGUEZ, M.V.; ARISNABARRETA, S.; BATLLA, D. Maternal environment and dormancy in sunflower: the effect of temperature during fruit development. **European Journal of Agronomy**, v.82, p.93-103, 2017.
- BORÉM, F.M.; OLIVEIRA, P.D.; ISQUIERDO, E.P.; GIOMO, G.S.; SAATH, R.; CARDOSO, R.A. Microscopia eletrônica de varredura de grãos de café submetidos a diferentes formas de processamento e secagem. **Coffee Science**, v.8, n.2, p.227-237, 2013.
- BUITINK, J.; LEPRINCE, O. Intracellular glasses and seed survival in the dry state. **Comptes Rendus Biologies**, v.331, p.788-795, 2008.
- CORBINEAU, F. Markers of seed quality: from present to future. **Seed Science Research**, v.22, supl. 1, p.61-68, 2012.

- DEVIC, M.; ROSCOE, T. Seed maturation: simplification of control networks in plants. **Plant Science**, v.252, p.335-346, 2016.
- DINIZ, F.O.; REIS, M.S.; ARAÚJO, E.F.; DIAS, L.A.S.; SEDIYAMA, T.; SEDIYAMA-BHERING, C.A.Z. Incidence of pathogens and field emergence of soybean seeds subjected to harvest delay. **Journal of Seed Science**, v.35, n.4, p.478-484, 2013.
- DONADON, J.R.; RESENDE, O.; TEIXEIRA, S.P.; SANTOS, J.M.; MORO, F.V. Effect of hot air drying on ultrastructure of crambe seeds. **Drying Technology**, v.31, n.3, p.269-276, 2013.
- ELLIS, R.H. Rice seed quality development and temperature during late development and maturation. **Seed Science Research**, v.21, p.95-101, 2011.
- EL-MAAROUF-BOUATEAU, H.; MEIMOUN, P.; JOB, C.; JOB, D.; BAILLY, C. Role of protein and mRNA oxidation in seed dormancy and germination. **Frontiers in Plant Science**, v.4, art.77, p.1-5, 2013.
- EMONGOR, V. Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) the underutilized and neglected crop: a review. **Asian Journal of Plant Sciences**, v.9, n.6, p.299-306, 2010.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **FAOSTAT**. 2017. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em: 23 de out. 2019.
- FINCH-SAVAGE, W.E.; BASSEL, G.W. Seed vigour and crop establishment: extending performance beyond adaptation. **Journal of Experimental Botany**, v.67, n.3, p.567-591, 2016.
- FINCH-SAVAGE, W.E.; LEUBNER-METZGER, G. Seed dormancy and the control of germination. **New Phytologist**, v.171, n.3, p.501-523, 2006.
- FLEMING, M.B.; HILL, L.M.; WALTERS, C. The kinetics of ageing in dry-stored seeds: a comparison of viability loss and RNA degradation in unique legacy seed collections. **Annals of Botany**, v.123, p.1133-1146, 2019.
- FLEMMER, A.C.; FRANCHINI, M.C.; LINDSTRÖM, L.I. Description of safflower (*Carthamus tinctorius*) phenological growth stages according to the extended BBCH scale. **Annals of Applied Biology**, v.166, n.2, p.331-339, 2015.
- FRANÇA-NETO, J.B.; KRZYŻANOWSKI, F.C.; HENNING, A.A.; PÁDUA, G.P.; LORINI, I.; HENNING, F.A. **Tecnologia da produção de semente de soja de alta qualidade**. Londrina-PR: Embrapa Soja, 2016. 82 p. (Documentos, n.380)
- FRANCHINI, M.C.; FLEMMER, A.C.; LINDSTRÖM, L.I.; DAVID, M.A.; FERNANDEZ, P.A. Fruit development of two high oleic safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars. **ΦYTON - Revista Internacional de Botânica Experimental**, v.83, p.379-388, 2014.
- GESCH, R.W.; JOHNSON, B.L. Seed moisture at physiological maturity in oilseed and confectionary sunflower hybrids in the northern U.S. **Field Crops Research**, v.133, p.1-9, 2012.
- GRAEBER, K.; NAKABAYASHI, K.; MIATTON, E.; LEUBNER-METZGER, G.; SOPPE, W.J.J. Molecular mechanisms of seed dormancy. **Plant, Cell and Environment**, v.35, n.10, p.1769-1786, 2012.

- GU, R.; LI, L.; LIANG, X.; WANG, Y.; FAN, T.; WANG, Y.; WANG, J. The ideal harvest time for seeds of hybrid maize (*Zea mays* L.) XY335 and ZD958 produced in multiple environments. **Scientific Reports**, v.7, n.1, 17537, 2017.
- HARTMANN-FILHO, C.P.; GONELI, A.L.D.; MASETTO, T.E.; MARTINS, E.A.S.; OBA, G.C. Physiological quality of second crop soybean seeds after drying and storage. **African Journal of Agricultural Research**, v.11, n.35, p.3273-3280, 2016.
- JIANG, F.L.; BO, L.P.; XU, J.J.; WU, Z. Changes in respiration and structure of non-heading chinese cabbage seeds during gradual artificial aging. **Scientia Horticulturae**, v.238, p.14-22, 2018.
- KHALID, N.; KHAN, R.S.; HUSSAIN, M.I.; FAROOQ, M.; AHMAD, A.; AHMED, I. A comprehensive characterization of safflower oil for its potential applications as a bioactive food ingredient - a review. **Trends in Food Science & Technology**, v.66, p.176-186, 2017.
- KUMAR, S.O.J.; PRESAD, S.R.; BANERJEE, R.; THAMMINENI, C. Seed birth to death: dual functions of reactive oxygen species in seed physiology. **Annals of Botany**, v.116, n. 4, p.663-668, 2015.
- LABBÉ, L. M. B.; VILLELA, F. A. Armazenamento de sementes. In: PESKE, S. T.; VILLELA, F. A.; MENEGHELLO, G. E. (Eds.). **Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos**. 3. ed. Pelotas: Universitária/UFPel, 2012. Cap. 7, p. 481-527.
- LAURSEN, R.; MOURI, C. Decomposition and analysis of carthamin in safflower-dyed textiles. **E-Preservation Science**, v.10, p.35-37, 2013.
- LEPRINCE, O.; PELLIZZARO, A.; BERRIRI, S.; BUITINK, J. Late seed maturation: drying without dying. **Journal of Experimental Botany**, v.68, n.4, p.827-841, 2017.
- LIMA, J.J.P.; BUITINK, J.; LALANNE, D.; ROSSI, R.F.; PELLETIER, S.; SILVA, E.A.A.; LEPRINCE, O. Molecular characterization of the acquisition of longevity during seed maturation in soybean. **PLoS ONE**, v.12, n.7, e0180282, 2017.
- LINDSTRÖM, L.I.; PELLEGRINI, C.N.; AGUIRREZÁBAL, L.A.N.; HERNÁNDEZ, L.F. Growth and development of sunflower fruits under shade during pre and early post-anthesis period. **Field Crops Research**, v.96, p.151-159, 2006.
- LINDSTRÖM, L.I.; PELLEGRINI, C.N.; HERNÁNDEZ, L.F. Histological development of the sunflower fruit pericarp as affected by pre- and early post-anthesis canopy shading. **Field Crops Research**, v.103, p.229-238, 2007.
- LIU, Y.; YE, N.; LIU, R.; CHEN, M.; ZHANG, J. H₂O₂ mediates the regulation of ABA catabolism and GA biosynthesis in *Arabidopsis* seed dormancy and germination. **Journal of Experimental Botany**, v.61, n.11, p.2979-2990, 2010.
- MARCOS-FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. 2. ed. Londrina: ABRATES, 2015a. 660 p.
- MARCOS-FILHO, J. Seed vigor testing: an overview of the past, presente and future. **Scientia Agricola**, v.72, n.4, p.363-374, 2015b.
- MATTHEWS, S.; NOLI, E.; DEMIR, I.; KHAJEH-HOSSEINI, M.; WAGNER, M.H. Evaluation of seed quality: from physiology to international standardization. **Seed Science Research**, v.22, S69-S73, 2012.

- MENEZES, N.L.; CICERO, S.M.; VILLELA, F.A.; BORTOLOTTI, R.P. Using X-Rays to evaluate fissures in rice seeds dried artificially. **Revista Brasileira de Sementes**, v.34, n.1, p.70-77, 2012.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA. **Registro Nacional de Cultivares**. 2019. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/guia-de-servicos/registro-nacional-de-cultivares-rnc>>. Acesso em: 23/10/2019.
- NAGEL, M.; BÖRNER, A. The longevity of crop seeds stored under ambient conditions. **Seed Science Research**, v.20, p.1-12, 2010.
- OLIVEIRA, C.V.K.; SANTOS, R.F.; SIQUEIRA, J.A.C.; BARICCATTI, R.A.; LENZ, N.B.G.; CRUZ, G.S.; TOKURA, L.K.; KLAJN, F.F. Chemical characterization of oil and biodiesel from four safflower genotypes. **Industrial Crops & Products**, v.123, p.192-196, 2018.
- ORACZ, K.; EL-MAAROUF BOUTEAU, H.; FARRANT, J.M.; COOPER, K.; BELGHAZI, M.; JOB, C.; JOB, D.; CORBINEAU, F.; BAILLY, C. ROS production and protein oxidation as a novel mechanism for seed dormancy alleviation. **The Plant Journal**, v.50, p.452-465, 2007.
- PENFIELD, S.; MACGREGOR, D.R. Effects of environmental variation during seed production on seed dormancy and germination. **Journal of Experimental Botany**, v.68, n.4. p.819-825, 2017.
- PESKE, S.T.; VILLELA, F.A.; MENEGHELLO, G.E. **Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos**. 3. ed. rev. e ampl. Pelotas: Editora Universitária/UFPel, 2012. 573 p.
- RAHMAN, S.M.A.; ELLIS, R.H. Seed quality in rice is most sensitive to drought and high in early seed development. **Seed Science Research**, v.29, p.238-249, 2019.
- RATAJCZAK, E.; MAŁECKA, A.; CIERESZKO, I.; STASZAK, A.M. Mitochondria are important determinants of the aging of seeds. **International Journal of Molecular Sciences**, v.20, n.7, 1568 (p.1-12), 2019.
- RESENDE, O.; ALMEIDA, D.P.; COSTA, L.M.; MENDES, U.C.; SALES, J.F. Adzuki beans (*Vigna angularis*) seed quality under several drying conditions. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.32, n.1, p.151-155, 2012.
- RODRÍGUEZ, M.V.; BODRONE, M.P.; CASTELLARI, M.O.; BATLLA, D. Effect of storage temperature on dormancy release of sunflower (*Helianthus annuus*) achenes. **Seed Science Research**, v.28, p.101-111, 2018.
- SAATH, R.; BORÉM, F.M.; ALVES, E.; TAVEIRA, J.H.S.; MEDICE, R.; CORADI, P.C. Microscopia eletrônica de varredura do endosperma de café (*Coffea chinese* L.) durante o processo de secagem. **Ciência e Agrotecnologia**, v.34, n.1, p.196-203, 2010.
- SAHU, B.; SAHU, A.K.; THOMAS, V.; NAITHANI, S.C. Reactive oxygen species, lipid peroxidation, protein oxidation and antioxidative enzymes in dehydrating karanj (*Pongamia pinnata*) seeds during storage. **South African Journal of Botany**, v.112, p.383-390, 2017.
- SANTANA, L.F.; DUTRA, T.S.; SOUZA, M.A.; FREITAS, K.C.; OESTERREICH, S.A.; KASSUYA, C.A.L.; SOARES, F.L.P. Safflower oil (*Carthamus tinctorius* L.) intake increases total cholesterol and LDL-cholesterol levels in an experimental model

of metabolic syndrome. **International Journal of Cardiovascular Sciences**, v.30, n.6, p.476-483, 2017.

SARATH, K.L.L.; GONELI, A.L.D.; HARTMANN-FILHO, C.P.; MASETTO, T.E.; OBA, G.C. Physiological potential of peanut seeds submitted to drying and storage. **Journal of Seed Science**, v.38, n.3, p.233-240, 2016.

SCARIOT, M.A.; RADÜNZ, L.L.; DIONELLO, R.G.; MÜLLER, I.; ALMEIDA, P.M. Physiological performance of wheat seeds as a function of moisture content at harvest and storage system. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.47, n.4, p.456-464, 2017.

SCARIOT, M.A.; RADÜNZ, L.L.; DIONELLO, R.G.; TONI, J.R.; MOSSI, A.J.; REICHERT JÚNIOR, F.W. Quality of wheat grains harvested with different moisture contents and storage in hermetic and conventional system. **Journal of Stored Products Research**, v.75, p.29-34, 2018.

SOUZA, L.C.F.; FREITAS, M.E.; LOURENTE, E.R.P.; SERRA, A.P.; RECH, J.; FROTA, F.; LOUREIRO, G.E.S. The effects of crop rotation systems on maize agronomic traits under no-tillage in optimal and dry cropping seasons. **African Journal of Agricultural Research**, v.11, n.27, p.2369-2377, 2016a.

SOUZA, L.C.F.; LUIS, A.J.; PILETTI, L.M.M.S. Características agronômicas do milho em função da cultura antecessora em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.15, n.2, p.272-280, 2016b.

TIMPLE, S.E.; HAY, F.R. High-temperature drying of seeds of wild *Oryza* species intended for long-term storage. **Seed Science and Technology**, v.46, n.1, p.107-112, 2018.

TONGUÇ, M.; ELKOYUNU, R.; ERBAŞ, S.; KARAKURT, Y. Changes in seed reserve composition during germination and initial seedling development of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). **Turkish Journal of Biology**, v.36, p.107-112, 2012.

ULLMANN, R.; RESENDE, O.; CHAVES, T.H.; OLIVEIRA, D.E.C.; COSTA, L.M. Qualidade fisiológica das sementes de sorgo sacarino submetidas à secagem em diferentes condições de ar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.1, p.64-69, 2015.

VERGARA, R.; SILVA, R.N.O.; NADAL, A.P.; GADOTTI, G.I.; AUMONDE, T.Z.; VILLELA, F.A. Harvest delay, storage and physiological quality of soybean seeds. **Journal of Seed Science**, v.41, n.4, p.506-513, 2019.

WALTERS, C. Orthodoxy, recalcitrance and in-between: describing variation in seed storage characteristics using threshold responses to water loss. **Planta**, v.242, n.2, p.397-406, 2015.

WALTERS, C.; BALLESTEROS, D.; VERTUCCI, V.A. Structural mechanics of seed deterioration: standing the test of time. **Plant Science**, v.179, p.565-573, 2010.

WALTERS, C.; HILL, L.M.; WHEELER, L.J. Dying while dry: kinetics and mechanisms of deterioration in desiccated organisms. **Integrative & Comparative Biology**, v.45, p.751-758, 2005.

WANG, P.; LI, D.; WANG, L.J. Drying damage on physiological properties of rice seed associated with ultrastructure changes. **International Journal of Food Engineering**, v.13, n.12, p.1-12, 2017.

WEITBRECHT, K.; MÜLLER, K.; LEUBNER-METZGER, G. First off the mark: early seed germination. **Journal of Experimental Botany**, v.62, n.10, p.3289-3309, 2011.

XIA, F.; WANG, X.; LI, M.; MAO, P. Mitochondrial structural and antioxidant system responses to aging in oat (*Avena sativa* L.) seeds with different moisture contents. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.94, p.122-129, 2015.

ZHOU, X.; TANG, L.; XU, Y.; ZHOU, G.; WANG, Z. Towards a better understanding of medicinal uses of *Carthamus tinctorius* L. in traditional chinese medicine: a phytochemical and pharmacological review. **Journal of Ethnopharmacology**, v.151, n.1, p.27-43, 2014.

ZUFFO, A.M.; ZUFFO JÚNIOR, J.M.; ZAMBIAZZI, E.V.; STEINER, F. Physiological and sanitary quality of soybean seeds harvested at different periods and submitted to storage. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.47, n.3, p.312-320, 2017.

CAPÍTULO 1

MATURAÇÃO E QUALIDADE DE SEMENTES DE CÁRTAMO COLHIDAS EM DOIS MOMENTOS

RESUMO - O conhecimento da fisiologia do desenvolvimento das sementes e a definição de momentos mais apropriados para a realização da colheita constituem importantes pré-requisitos para a implantação ou melhoria dos programas de produção de sementes de espécies emergentes, como o cártamo. Nesta pesquisa, se buscou determinar as alterações físicas e fisiológicas que ocorrem nas sementes de cártamo ao longo do processo de maturação, entre 5 e 37 dias após a antese (DAA), além de identificar indicadores morfológicos vinculados à maturidade fisiológica das sementes. Objetivou-se, ainda, verificar diferenças entre a qualidade fisiológica de sementes colhidas imediatamente após a completa senescência da planta-matriz e de sementes provenientes de colheita única em área total, no fechamento do ciclo da cultura, quando de 97 a 99% das plantas-matrizes apresentavam-se totalmente senescentes. O desenvolvimento das sementes de cártamo é caracterizado pelo rápido crescimento externo e gradual acúmulo de matéria seca, que, nas condições deste trabalho, foi estabilizado aos 29 DAA (maturidade fisiológica), com teor de água correspondente a 26,1%. As sementes adquirem, gradualmente, a habilidade de germinar a partir do terço final do acúmulo de matéria seca, com máxima alcançada poucos dias antes da maturidade fisiológica, sendo essa germinação parcialmente inibida pela presença da dormência fisiológica primária. Ainda se concluiu que o desencadeamento da senescência dos capítulos, junto à transição de cor das sementes de acinzentadas para esbranquiçadas, em razão da desidratação natural, podem ser utilizados como indicadores de maturidade fisiológica para as sementes dessa espécie. Finalmente, pode-se afirmar que a colheita única em área total, levando-se em consideração a disparidade no processo de maturação entre plantas e a ocorrência de condições climáticas adversas, prejudica a germinação e vigor iniciais do lote de sementes de cártamo.

Palavras-chave: *Carthamus tinctorius* L., dormência primária, maturidade fisiológica, retardamento de colheita, senescência de capítulos.

1.1. INTRODUÇÃO

A qualidade final de um lote de sementes, ou seja, aquela atestada pelo agricultor no estabelecimento de estande, é resultado de uma complexa interação entre fatores genéticos e ambientais envolvidos nas fases de produção no campo (DEVIC e ROSCOE, 2016; FINCH-SAVAGE e BASSEL, 2016; LEPRINCE et al., 2017; PENFIELD e MACGREGOR, 2017; RAHMAN e ELLIS, 2019), bem como do manejo adotado durante os procedimentos de pós-colheita, como na secagem (BARROZO et al., 2014) e armazenamento (BALLESTEROS e WALTERS, 2011). No que se refere às etapas de campo, segundo Gesch e Johnson (2012) e Gu et al. (2017), o conhecimento da fisiologia do desenvolvimento das sementes, junto à definição de momentos mais apropriados para a realização da colheita, constituem importantes pré-requisitos para a implantação ou melhoria de programas de produção de sementes.

Do momento da dupla fertilização do óvulo à completa maturidade, as sementes passam por uma série de transformações morfológicas, físicas, fisiológicas e bioquímicas (MARCOS-FILHO, 2015a). Essas transformações incluem a deposição de reservas (como carboidratos, lipídios e proteínas), a redução do teor de água, a aquisição do vigor, longevidade, tolerância à dessecação e habilidade de germinar, além de possível expressão da dormência, todas regradas por fatores genéticos (DEVIC e ROSCOE, 2016; LIMA et al., 2017), com significativa influência ambiental (LINDSTRÖM et al., 2006, 2007; ELLIS, 2011; BODRONE et al., 2017; PENFIELD e MACGREGOR, 2017; RAHMAN e ELLIS, 2019).

A máxima germinação e vigor das sementes são normalmente alcançados em períodos próximos, anteriores ou posteriores, ao máximo acúmulo de matéria seca, esse último denominado ponto de maturidade fisiológica (GESCH e JOHNSON, 2012; MARCOS-FILHO, 2015b; GU et al., 2017). Neste ponto, as sementes se tornam fisiologicamente independentes da planta-matriz; contudo, ainda podem apresentar incrementos de longevidade após o referido marco (LIMA et al., 2017). A partir da maturidade fisiológica, as sementes estarão prontamente sujeitas à deterioração (FINCH-SAVAGE e BASSEL, 2016; LEPRINCE et al., 2017), a qual é acelerada ainda no campo na ocorrência de condições climáticas e bióticas adversas e/ou retardamentos expressivos na colheita (DINIZ et al., 2013; ZUFFO et al., 2017; VERGARA et al., 2019).

O cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) é uma espécie pertencente à família Asteraceae, possivelmente originada no Oriente-Médio (SINGH et al., 2016). Trata-se de uma planta herbácea e anual, propagada por sementes e adaptada ao cultivo em regiões semiáridas (FRANCHINI et al., 2014; FLEMMER et al., 2015; SINGH et al., 2016). Embora apresente múltiplas finalidades (EMONGOR, 2010; LAURSEN e MOURI, 2013; ZHOU et al., 2014; SOUZA et al., 2016), o maior interesse para o cultivo se deve à quantidade e qualidade do óleo extraído de seus grãos (23 a 41% da matéria seca), que é rico em ácidos linoleico (71,6 a 83,7%) e oleico (7,5 a 18,4%), conferindo-lhe elevado valor fitoterápico, nutricional e comercial (AL SURMI et al., 2016; KHALID et al., 2017). Adicionalmente, o óleo de cártamo ainda é considerado uma matéria-prima promissora para a produção do biodiesel, devido às particularidades físico-químicas (OLIVEIRA et al., 2018).

Com relação ao desenvolvimento de suas sementes, resultados demonstraram ampla variação para o momento de ocorrência do ponto de maturidade fisiológica (17 a 45 dias após a antese) e teores de água relacionados (47 a 13%; SHAKERI-AMOUGHIN et al., 2012; FRANCHINI et al., 2014; GHASSEMI-GOLEZANI et al., 2016). Tais discrepâncias podem ser atribuídas às particularidades genéticas dos genótipos avaliados (RONDANINI et al., 2009; GESCH e JOHNSON, 2012; GU et al., 2017) e às divergências climáticas entre os locais de cultivo (LINDSTRÖM et al., 2006, 2007; ELLIS, 2011; PENFIELD e MACGREGOR, 2017; RAHMAN e ELLIS, 2019).

Também vale destacar que as sementes de cártamo normalmente apresentam dormência fisiológica quando recém-colhidas (DOLATABADIAN e SANAVY, 2008; MAYERHOFER et al., 2011; OBA et al., 2017, 2019); contudo, não foram encontradas informações sobre a ocorrência e comportamento desse fenômeno ao longo do processo de maturação. Nesse sentido, é fundamental que, anteriormente à implantação de extensos campos de produção de sementes, sejam realizados estudos prévios da dinâmica da maturação da espécie, no que se refere aos aspectos físicos e fisiológicos, levando-se em consideração as condições ambientais do local de interesse e materiais genéticos disponíveis.

Em razão do florescimento e maturação desuniformes na própria planta, a colheita das sementes de cártamo é normalmente realizada após a completa senescência das plantas-matrizes, quando o produto já se encontra com teores de água próximos a 13-10% (FRANCHINI et al., 2014; FLEMMER et al., 2015). Prática, essa, que facilita a colheita mecanizada, mas, impossibilita que todas as sementes sejam colhidas na

maturidade fisiológica. Dessa forma, da maturidade fisiológica à colheita, as sementes de cártamo permanecem "armazenadas" no campo, sujeitas a intempéries climáticas e bióticos capazes de provocar a aceleração da deterioração e consequente perda prematura da qualidade (MARCOS-FILHO, 2015b; FINCH-SAVAGE e BASSEL, 2016; LEPRINCE et al., 2017).

Suspeita-se que essa situação pode ser agravada em áreas de produção com ampla disparidade nos processos de desenvolvimento vegetativo e reprodutivo entre plantas, como naquelas provenientes de material propagativo sem estabilidade genética. Provavelmente, tal disparidade resulta em perdas e heterogeneidade na qualidade do lote, devido ao retardamento da colheita de boa parte das sementes até que todas as plantas-matrizes se tornem senescentes e aptas à colheita mecanizada.

Considerando-se a necessidade de se obter mais informações a respeito do processo de maturação da espécie, objetivou-se com esta pesquisa determinar as alterações que ocorrem no teor de água, tamanho e matéria seca das sementes de cártamo ao longo de diferentes períodos pós-antese, além de verificar a dinâmica da aquisição da germinação e expressão da dormência fisiológica durante a maturação. Ainda, identificar possíveis indicadores morfológicos, em capítulos e sementes, vinculados à maturidade fisiológica das sementes.

Adicionalmente, também buscou-se verificar diferenças entre a qualidade fisiológica de sementes colhidas imediatamente após a completa senescência dos capítulos e estruturas vegetativas da planta-matriz e de sementes provenientes de colheita única em área total, no fechamento do ciclo da cultura, quando de 97 a 99% das plantas-matrizes apresentavam-se totalmente senescentes.

1.2. MATERIAL E MÉTODOS

1.2.1. Descrição da área experimental

Dois estudos foram realizados em área experimental localizada na Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Dourados-MS, sob as coordenadas 22°11'51,2" S e 54°55'58,7" W e altitude média de 460 m, na safra 2018. O clima da região é do tipo Cwa (mesotérmico úmido, com invernos secos e verões quentes), segundo a classificação de Köppen (FIETZ et al., 2017), e o solo classificado como Latossolo Vermelho distroférico (SANTOS et al., 2018). Foram utilizadas sementes provenientes de material produzido na safra 2017, na Fazenda Experimental de Ciências Agrárias (FAECA/UFGD).

Anteriormente à implantação da cultura, realizou-se o manejo de solo da área experimental mediante a aplicação de calcário dolomítico em área total (200 g m^{-2}) e adubação química nas linhas de cultivo (10 g m^{-1} do adubo NPK 08-20-20). Da semeadura ao encerramento de ciclo da cultura foram realizados os devidos tratamentos culturais para a obtenção de sementes em quantidade e qualidade adequada, como o tratamento de sementes, irrigação por gotejamento, desbastes e capinas manuais, aplicações de fungicidas e roquiung.

A semeadura foi realizada no dia 10/05/2018, em área de 120 m^2 , estratificada em 13 linhas de cultivo de 20 m de comprimento cada, espaçadas a 0,5 m, com densidade final de $15 \text{ plantas m}^{-1}$. Foi considerada como área útil um total de 95 m^2 , resultado do descarte de 0,5 m de cada extremidade e laterais da área original.

1.2.2. Ensaio 1 - Caracterização do processo de maturação das sementes

Aos 103 dias após a semeadura (DAS), próximo ao florescimento pleno da cultura (108-111 DAS), realizou-se a marcação de 500 capítulos de cártamo que se apresentavam no momento da antese, sem distinção hierárquica de capítulos (ex. primários, secundários, etc.). A antese foi caracterizada pela emissão dos primeiros flósculos tubulares sésseis, de cor amarela, inseridos sobre a base de um receptáculo floral e protegidos por brácteas involucrais, internas e externas, de cor verde (FIGURAS 1A-B).

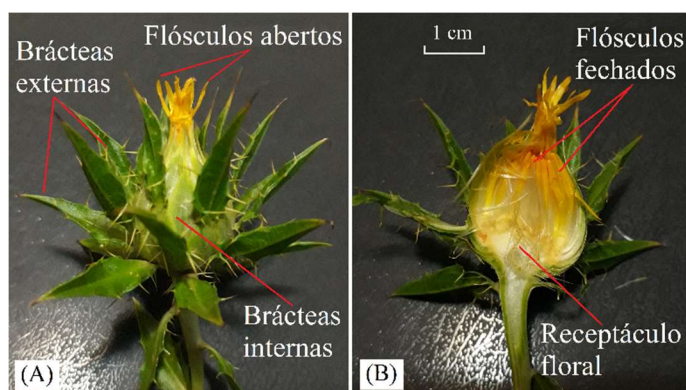


FIGURA 1. Antese do capítulo de cártamo: A- emissão/abertura dos primeiros flósculos tubulares sésseis; e B- corte longitudinal do capítulo, em que se verifica a presença de flósculos ainda não emitidos. Fonte: OBA, G.C. (2020)

As amostragens foram realizadas aos 5, 8, 12, 16, 21, 25, 29, 33 e 37 dias após a antese (DAA), coletando-se, manualmente, 50 capítulos de cártamo por período pós-antese. As análises foram realizadas no Laboratório de Pré-Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas e no Laboratório de Qualidade de Grãos de Oleaginosas, ambos pertencentes à UFGD.

A cada período pós-antese, os capítulos e sementes coletadas foram avaliadas quanto aos aspectos morfológicos, visando caracterizar as alterações que ocorrem nos padrões visuais dos referidos componentes ao longo do processo de maturação, além de identificar possíveis indicadores morfológicos vinculados à maturidade fisiológica das sementes. Para isso, a cada amostragem, 50 capítulos foram avaliados quanto às características visuais externas e internas, após corte longitudinal; porém, no caso das sementes, somente foram estudadas as características visuais externas, em 100 sementes selecionadas ao acaso. Os padrões visuais, de capítulos e sementes, identificados durante a maturação foram apresentados através de registros fotográficos, enquanto a sua ocorrência, a cada período pós-antese, foi expressa em porcentagem.

O teor de água das sementes foi determinado pelo método de estufa, a 105 ± 1 °C, durante 24 horas e em três repetições de 50 sementes, de acordo com as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009). Os valores de massa, obtidos após a secagem em estufa, foram divididos pelo número de sementes de cada repetição para a determinação da matéria seca, expressa em mg por semente.

Também foi determinado o volume unitário das sementes, empregando-se os valores das dimensões dos principais eixos perpendiculares (a- comprimento, b- largura e c- espessura, em mm), em 20 sementes selecionadas aleatoriamente a cada período pós-

antese. O cálculo foi realizado conforme recomendado por Martins et al. (2017), utilizando-se a equação de Jain e Bal (1997), para produtos de forma cônica-esférica:

$$V_u = \frac{\pi D^2 a^2}{6(2a - D)} \quad (1) \quad \text{onde:} \quad D = (b c)^{0,5} \quad (2)$$

em que:

V_u - volume unitário das sementes, em mm^3 ; e

D- média geométrica entre as medidas "b" e "c" da semente, em mm.

Devido à característica da dormência fisiológica, constatada mediante análise prévia, a avaliação da germinação das sementes ao longo de processo de maturação foi realizada de duas formas. A cada período pós-antese, as amostras de sementes foram divididas em duas porções equivalentes, em que uma das porções foi diretamente submetida ao teste padrão de germinação (BRASIL, 2009), enquanto a segunda foi previamente submetida a um tratamento para a superação da dormência.

O procedimento para a superação da dormência consistiu, inicialmente, na redução do teor de água das sementes até 10%, mediante secagem em estufa de circulação forçada de ar, a 35 °C, independentemente do teor de água apresentado no momento da colheita. Em seguida, essas foram submetidas à estratificação a frio em substratos de papel umedecido, mantidos em câmara B.O.D. (*Biochemical Oxygen Demand*) durante cinco dias a 10 °C, no escuro (OBA et al., 2017). Somente após esses procedimentos, as sementes foram submetidas ao teste padrão de germinação.

O teste de germinação foi conduzido conforme Brasil (2009), em substratos constituídos de três folhas de papel próprio, previamente umedecidos com volumes de água destilada correspondentes a 2,5 vezes a massa do papel seco, em quatro repetições de 50 sementes. Os substratos com as sementes foram mantidos durante 14 dias em câmara de germinação do tipo Mangelsdorf, a 25 °C e sob luz branca constante. Ao quarto e 14º dia do teste, foram determinadas as porcentagens de primeira contagem e germinação, respectivamente, levando-se em consideração a ocorrência de plântulas normais (FIGURA 2).

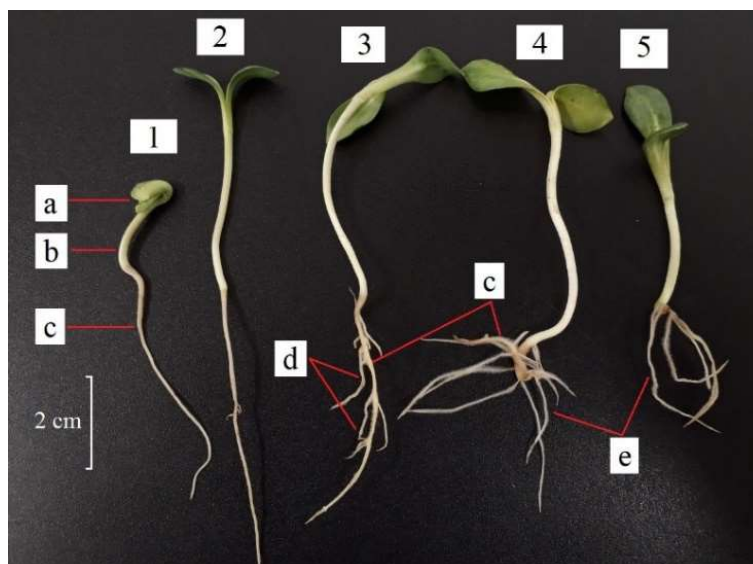


FIGURA 2. Plântulas de cártamo consideradas como normais nos testes de primeira contagem e germinação. Fonte: OBA, G.C. (2020)

em que: 1 a 3- plântulas intactas; 4 e 5- plântulas com raiz primária atrofiada ou inexistente, respectivamente, mas com presença de raízes adventícias fortes; onde: a- cotilédones; b- hipocótilo; c- raiz primária; d- raízes secundárias; e- raízes adventícias.

Os resultados referentes às características físicas (teor de água, massa de matéria seca e volume unitário) e fisiológicas (primeira contagem e germinação) das sementes foram submetidos à análise de regressão e o modelo foi selecionado com base nos valores do coeficiente de determinação (R^2 , decimal), nível de significância da equação (p_{valor} , decimal) e o conhecimento do fenômeno biológico em estudo.

1.2.3. Ensaio 2 - Qualidade das sementes em função do momento de colheita

Foram avaliados lotes procedentes de dois momentos de colheita, sendo eles:

- Maturidade/planta: lote constituído de sementes colhidas imediatamente após a completa senescência dos capítulos e estruturas vegetativas da planta-matriz (FIGURA 3). Neste caso, foram realizadas sucessivas colheitas pontuais dentro das parcelas, que se iniciaram entre 132 e 141 DAS, conforme a parcela, e encerradas ao final do ciclo da cultura (154 DAS); e

- Maturidade/parcela: lote composto por sementes provenientes de colheita única em área total da parcela, no fechamento do ciclo (154 DAS), quando de 97 a 99% das plantas-matrizes apresentavam-se com capítulos e partes vegetativas totalmente senescentes (FIGURA 3).



FIGURA 3. Planta de cártamo (metade superior) com capítulos e estruturas vegetativas totalmente senescentes. Fonte: OBA, G.C. (2020)

O experimento foi conduzido em delineamento de blocos ao acaso, com dois tratamentos (momentos de colheita) e três repetições de campo por tratamento, em que cada repetição foi representada por uma parcela de 9,5 m², composta por, aproximadamente, 285 plantas-matrizes.

Após a colheita e debulha manual, foi determinado o teor de água inicial das sementes (BRASIL, 2009), em triplicatas de 2 g. De posse dos valores de teor de água, as sementes foram secas em estufa de ventilação forçada de ar, a 40 °C (OBA et al., 2019), até atingirem teor de água médio de 6,6±0,2%, conforme indicado para o armazenamento (DESAI, 2004), para então serem submetidas aos estudos fisiológicos.

Em razão da presença da dormência fisiológica, já mencionada anteriormente, a análise da germinação das sementes foi realizada de duas formas. Contudo, em ambos os casos, as sementes foram primeiramente pré-condicionadas durante 24 horas à temperatura de 25 °C e umidade relativa (UR) de 100%, em caixas plásticas transparentes, visando evitar danos por rápida embebição. Em sequência, as sementes foram desinfetadas através de imersão em solução de hipoclorito de sódio a 2,5%, durante 5 minutos, seguido de enxágue em água corrente.

Finalizados esses procedimentos, parte das sementes foi diretamente submetida ao teste padrão de germinação (BRASIL, 2009), em triplicatas de 50 sementes. A outra porção foi previamente estratificada a frio, durante cinco dias a 10 °C, no escuro (OBA et al., 2017), para a superação da dormência fisiológica, e, então, submetida ao

teste de germinação. A primeira contagem e germinação foram determinadas ao quarto e 14º dia, respectivamente, considerando-se somente as plântulas normais (FIGURA 2).

Para a avaliação do desempenho das plântulas, triplicatas de 10 sementes foram pré-condicionadas, desinfetadas, estratificadas a frio e, em seguida, submetidas à germinação. Ao 14º dia, foram determinados os comprimentos de raiz primária, de hipocótilo e total e as massas fresca e seca totais das plântulas normais intactas, apresentando-se os resultados de comprimento e de massa em mm por plântula e mg por plântula, respectivamente.

No teste de envelhecimento acelerado, sementes secas foram acondicionadas em minicâmaras (caixas plásticas transparentes) e mantidas durante 48 horas em câmara B.O.D., à temperatura de 41 °C e 100% de UR, no escuro (MARCOS-FILHO, 1999). Posteriormente, essas foram desinfetadas, estratificadas a frio e, finalmente, submetidas à germinação, em três repetições de 50 sementes, determinando-se a porcentagem de plântulas normais ao quarto dia.

Os dados referentes aos testes fisiológicos foram submetidos à análise de variância e, quando pertinente, as médias foram comparadas pelo teste de t (*Least Significant Difference* - LSD), ao nível de 5% de probabilidade de erro, utilizando-se o software estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011).

1.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 4 estão apresentados os dados médios de temperatura e UR do ar e de precipitação pluviométrica que foram coletados, no município de Dourados-MS (EMBRAPA Agropecuária Oeste, 2018), durante o ciclo da cultura do cártamo (10/05 a 11/10/2018).

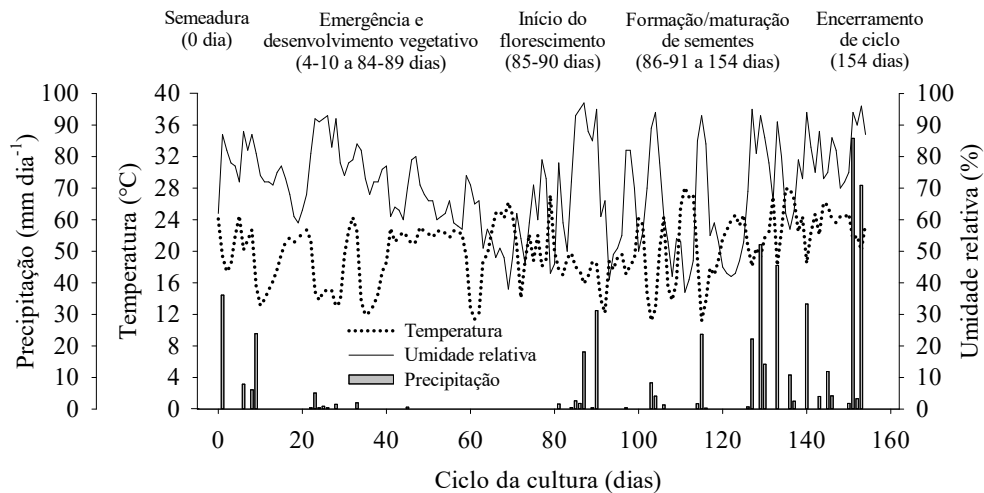


FIGURA 4. Temperatura e umidade relativa do ar e precipitação pluviométrica computada durante o ciclo da cultura do cártamo. Dourados-MS.

Destaca-se que durante a fase de formação/maturação das sementes (86-91 a 154 DAS) ocorreram expressivas e recorrentes precipitações pluviométricas, especialmente a partir dos 127 DAS, resultando em um montante de 455 mm em pouco menos de 70 dias. Nesse mesmo período, a temperatura média do ar oscilou entre 11,2 e 28,1 °C, apresentando média de $20,8 \pm 4,4$ °C, enquanto a UR variou entre 37 e 97%, com valor médio de $70,4 \pm 17,9$ %.

1.3.1. Ensaio 1 - Caracterização do processo de maturação das sementes

A realização das avaliações dos aspectos morfológicos externos e internos dos capítulos, a cada período pós-antese, permitiu a identificação e definição de sete padrões de capítulos entre os 5 e 37 DAA (FIGURA 5). Verificou-se que, a partir da antese (FIGURA 1), houve o rápido incremento e posterior estabilização da quantidade de flósculos emitidos, associado à mudança de cor desses, de amarelados para alaranjados (FIGURA 5A). Em cada capítulo de cártamo, os flósculos são emitidos sequencialmente em progressão centrípeta, em um processo que pode durar vários dias (EMONGOR,

2010), assim como acontece com o girassol (*Helianthus annuus* L.; Asteraceae) (LINDSTRÖM et al., 2006).



FIGURA 5. Padrões visuais, externos e internos, de capítulos de cártamo identificados entre 5 e 37 dias após a antese (A, B, C, D, E, F e G). Fonte: OBA, G.C. (2020)

Conforme apresentado na Tabela 1, 94% dos capítulos avaliados aos 5 DAA apresentavam-se com o padrão visual demonstrado na Figura 5A, em que foi possível constatar o desenvolvimento inicial das primeiras sementes, encontradas inseridas sobre a base de um receptáculo floral. Por se tratarem de flósculos hermafroditos, mais de 90%

da fertilização dos óvulos se deve à autopolinização, a qual ocorre à medida que o estilete-estigma cresce através da coluna da antera circundante (DAJUE e MÜNDEL, 1996).

TABELA 1. Ocorrência de diferentes padrões visuais de capítulos de cártamo em função do período pós-antese. Dourados-MS

Padrão visual de capítulo	Períodos pós-antese (dias)								
	5	8	12	16	21	25	29	33	37
	Ocorrência (%)								
Figura 5A	94	6	0	0	0	0	0	0	0
Figura 5B	6	94	24	0	0	0	0	0	0
Figura 5C	0	0	30	0	0	0	0	0	0
Figura 5D	0	0	46	100	100	70	4	8	0
Figura 5E	0	0	0	0	0	26	50	4	0
Figura 5F	0	0	0	0	0	4	38	28	12
Figura 5G	0	0	0	0	0	0	8	60	88

Conforme o desenvolvimento dos capítulos, verificou-se nova modificação na cor dos flósculos, de alaranjados para avermelhados (FIGURAS 5B-C), bem como a expansão do volume externo dos capítulos, em razão do crescimento em número e tamanho das sementes em seu interior. Aos 8 DAA, 94% dos capítulos encontravam-se com o padrão visual demonstrado na Figura 5B, ao passo que os capítulos com os aspectos mostrados na Figura 5C compuseram 30% das amostras coletadas aos 12 DAA (TABELA 1). Os capítulos dispostos nas Figuras 5A-C também apresentavam como características marcantes, inflorescências (conjunto de flósculos) túrgidas, protegidas por brácteas espinhosas de cor verde intenso e sem sinais de senescência.

Sequencialmente, verificou-se a perda da turgidez dos flósculos (FIGURA 5D), o que, segundo Flemmer et al. (2015), geralmente coincide com a máxima expansão do capítulo devido à estabilização do crescimento das sementes em seu interior. Esse padrão de capítulo foi verificado em 46% das amostras coletadas aos 12 DAA, 100% aos 16 e 21 DAA e em 70% do material colhido aos 25 DAA (TABELA 1).

Ainda na Tabela 1, pode-se averiguar que em 26 e 50% dos capítulos amostrados aos 25 e 29 DAA, respectivamente, constatou-se a ocorrência do padrão visual apresentado na Figura 5E, caracterizado pelo começo do secamento das brácteas internas e externas, indicando o início da senescência dos capítulos. Essa tendência está de acordo com a encontrada por Franchini et al. (2014), trabalhando com as cultivares CW88 OL e CW99 OL nas condições do semiárido argentino, em que também se

verificaram alterações nos aspectos morfológicos externos dos capítulos durante o processo de maturação das sementes. No referido trabalho, sinais de senescência nas brácteas indicaram a proximidade da maturidade fisiológica das sementes, a qual foi atingida quando houve o secamento de mais de 70% da área das estruturas dos capítulos.

A fase seguinte da maturação foi marcada pelo avanço do processo de senescência das brácteas involucrais (FIGURA 5F), o que foi verificado em 38, 28 e 12% dos capítulos coletados aos 29, 33 e 37 DAA, respectivamente (TABELA 1). Finalmente, o último estágio de maturação, identificado para os capítulos, caracterizou-se pela presença de brácteas e inflorescências completamente senescentes (FIGURA 5G); padrão, esse, constatado em 8, 60 e 88% dos capítulos colhidos aos 29, 33 e 37 DAA, nessa ordem. Para Flemmer et al. (2015), a senescência de mais de 90% da área de capítulos saudáveis indica a completa maturidade das sementes contidas em seu interior, as quais estão, portanto, prontas para serem colhidas.

Também foram identificados e apresentados seis padrões de sementes entre os 5 e 37 DAA, de acordo com os aspectos morfológicos externos (FIGURA 6).

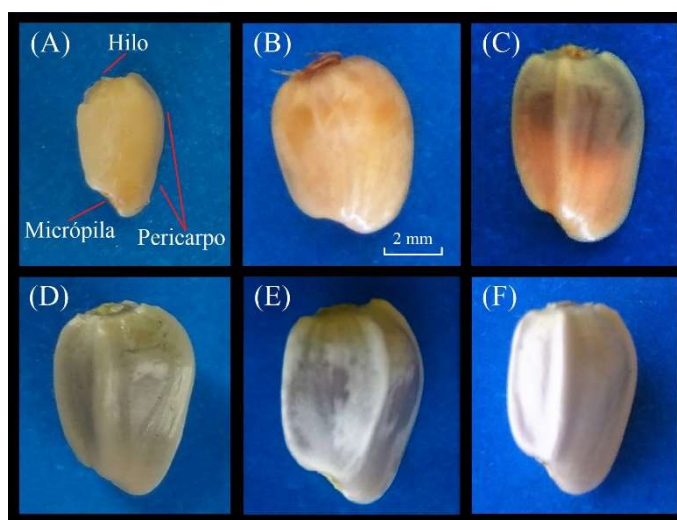


FIGURA 6. Padrões visuais externos de sementes de cártamo identificados entre 5 e 37 dias após a antese (A, B, C, D, E e F). Fonte: OBA, G.C. (2020)

Conforme disposto na Tabela 2, constatou-se que 100 e 30% das sementes avaliadas aos 5 e 8 DAA, respectivamente, apresentavam-se com as características demonstradas na Figura 6A, em que se verificou um pericarpo tenro, de cor "amarelo-leitoso". Ressalta-se que o pericarpo constitui uma casca fina e fibrosa, representando de 33 a 60% da massa seca do aquênio de cártamo, um fruto seco e monospérmico (DAJUE e MÜNDEL, 1996), aqui tratado apenas como semente.

TABELA 2. Ocorrência de diferentes padrões visuais de sementes de cártamo em função do período pós-antese. Dourados-MS

Padrão visual de semente	Períodos pós-antese (dias)								
	5	8	12	16	21	25	29	33	37
	Ocorrência (%)								
Figura 6A	100	30	11	9	1	0	0	0	0
Figura 6B	0	66	10	0	1	0	0	0	0
Figura 6C	0	4	79	0	0	0	0	0	0
Figura 6D	0	0	0	91	98	84	15	1	0
Figura 6E	0	0	0	0	0	16	65	33	2
Figura 6F	0	0	0	0	0	0	20	66	98

Assim como documentado para sementes de girassol (LINDSTRÖM et al., 2007), nesse ponto (FIGURA 6A), o tamanho potencial das sementes de cártamo já se encontra definido, de vez que não há mais divisões celulares nos tecidos do pericarpo, apenas a expansão celular e o aumento da cavidade seminal, a ser preenchida pelo embrião (FRANCHINI et al., 2014). As sementes de cártamo são do tipo eurispérmica, ou seja, apresentam formato irregular, com base achatada e ápice irregular, nas regiões da micrópila e hilo, respectivamente, que se encontram direcionadas para a mesma borda da semente (ABUD et al., 2010), conforme demonstrado na Figura 6A.

A etapa seguinte da maturação foi marcada pela expansão do volume externo das sementes, associada à mudança de cor dessas, de amareladas para alaranjadas (FIGURA 6B). Nesse ponto, essas ainda se mantinham tenras, ou seja, podiam ser facilmente comprimidas com pequenas pressões exercidas sobre sua superfície. Esse padrão de semente foi verificado em 66% das amostras colhidas aos 8 DAA (TABELA 2). Já aos 12 DAA, 79% das sementes analisadas se apresentavam com o padrão visual demonstrado na Figura 6C, onde se verificou a transição de cor dessas, que passaram a assumir tonalidade mais escura. Ressalta-se que foi durante essa etapa que se observou, após corte longitudinal, o início do desenvolvimento aparente do embrião no interior de algumas sementes.

Sementes com padrão morfológico demonstrado na Figura 6D, constatado em 91, 98 e 84% das amostras avaliadas aos 16, 21 e 25 DAA, respectivamente (TABELA 2), apresentavam pericarpo completamente acinzentado e rígido. O aumento da espessura e o endurecimento do pericarpo, em razão da esclerificação das células dos parênquimas interno e externo, são características do avanço do processo de maturação das sementes de cártamo (FRANCHINI et al., 2014), assim como em outras Asteraceae (LINDSTRÖM

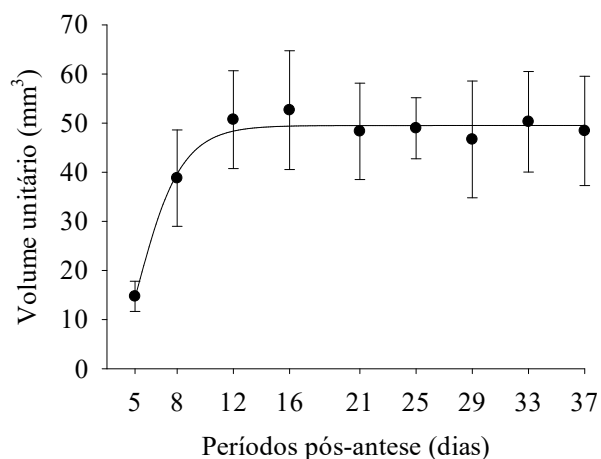
et al., 2007). A completa lignificação do pericarpo não somente impede posteriores alterações em sua espessura e estrutura anatômica, como também determina o tamanho máximo potencial para o desenvolvimento do embrião em seu interior, o qual encerra seu desenvolvimento dias após ao do pericarpo (FRANCHINI et al., 2014).

Além disso, observou-se após corte longitudinal que essas características externas, demonstradas na Figura 6D, estiveram ligadas à principal fase do desenvolvimento e finalização do crescimento do embrião no interior das sementes. Conforme revisado por Abud et al. (2010), o embrião maduro das sementes de cártamo é composto por um eixo hipocótilo-radícula, de coloração esbranquiçada, localizado no eixo central da semente e em posição axial, e por tecidos de reserva cotiledonar (dicotiledônea), de consistência firme e cor amarelada.

Com o avanço da maturação, houve nova modificação na coloração das sementes, de acinzentadas (FIGURA 6D) para parcialmente brancas (FIGURA 6E) e, em seguida, para totalmente esbranquiçadas (FIGURA 6F), sendo uma consequência da secagem natural. Quando desidratadas, as sementes de cártamo apresentam pericarpo com coloração branco-amarelada, novamente assumindo tonalidade acinzentada quando em estado embebido (ABUD et al., 2010). Em relação à ocorrência desses padrões de sementes, verifica-se na Tabela 2 que, 16, 65 e 33% das amostras obtidas aos 25, 29 e 33 DAA, respectivamente, apresentavam características similares àquelas mostradas na Figura 6E, enquanto, o padrão visual demonstrado na Figura 6F foi identificado em 20, 66 e 98% das sementes colhidas aos 29, 33 e 37 DAA, nessa ordem.

Além da determinação das alterações morfológicas, em capítulos e sementes, associadas à maturação (FIGURAS 5 e 6; TABELAS 1 e 2), neste trabalho também foi avaliada a variação ocorrida nos caracteres físicos das sementes entre os 5 e 37 DAA.

O período compreendido entre 5 e 12 DAA foi marcado pela rápida expansão do volume individual das sementes (de 14,5 a 48,4 mm³; FIGURA 7); isso, em razão do aumento dos valores médios de comprimento, largura e espessura (TABELA 3). A partir desse ponto, o modelo de regressão apontou uma tendência de estabilização do volume unitário, verificando-se valor médio de 49,3 mm³ entre 12 e 37 DAA. Ressalta-se que aos 12 DAA, onde houve aparente interrupção do crescimento das sementes (FIGURA 7), 79% das amostras de sementes analisadas apresentavam-se com padrão visual demonstrado na Figura 6C.



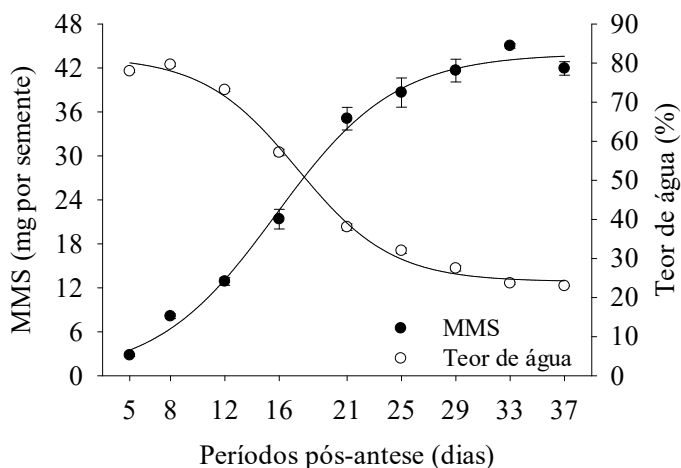
$$V_u = 49,5121 * (1 - \exp(-0,5627 * x))^{19,8748}, R^2 = 0,98 \text{ (p_valor} < 0,0001)$$

FIGURA 7. Volume unitário de sementes de cártamo em função de diferentes períodos pós-antese. As barras representam o desvio padrão da média. Dourados-MS.

TABELA 3. Comprimento, largura e espessura de sementes de cártamo em função de diferentes períodos pós-antese. Dourados-MS

Período pós-antese (dias)	Comprimento - a	Largura - b	Espessura - c
	Medida dos eixos (mm)		
5	5,28±0,47	3,20±0,23	2,42±0,20
8	6,84±0,52	4,25±0,37	3,57±0,39
12	7,20±0,63	4,69±0,36	3,96±0,28
16	7,05±0,47	4,84±0,69	4,00±0,26
21	6,92±0,52	4,62±0,31	3,94±0,31
25	7,07±0,42	4,65±0,27	3,95±0,17
29	7,06±0,34	4,44±0,35	3,95±0,64
33	6,99±0,47	4,69±0,28	4,00±0,36
37	7,02±0,40	4,64±0,40	3,90±0,32

O acúmulo de matéria seca nas sementes ocorreu intensamente entre os 5 a 21 DAA (1,89 mg dia⁻¹ por semente), seguido de acréscimo menos acentuado dos 21 aos 29 DAA (1,02 mg dia⁻¹ por semente), onde houve aparente interrupção do ganho de matéria seca (FIGURA 8).



$$\text{MMS} = 43,9512 / (1 + \exp(-(x - 15,7510) / 4,3915)), R^2 = 0,99 \text{ (p}_{\text{valor}} < 0,0001)$$

$$\text{Teor de água} = 24,0874 + 57,5863 / (1 + \exp(-(x - 17,3506) / -3,4806)), R^2 = 0,99 \text{ (p}_{\text{valor}} < 0,0001)$$

FIGURA 8. Massa da matéria seca (MMS) e teor de água de sementes de cártamo em função de diferentes períodos pós-antese. As barras representam o desvio padrão da média. Dourados-MS.

O ganho acentuado de matéria seca pelas sementes de cártamo, no início do desenvolvimento (FIGURA 8), está relacionado à elevada taxa de crescimento e ao aumento da espessura do pericarpo nesse período. Encerrado o desenvolvimento do pericarpo, as sementes continuam apresentando acréscimo de matéria seca em razão do crescimento do embrião em seu interior, o qual atinge máxima massa seca mais tardiamente (FRANCHINI et al., 2014), similar ao que ocorre na maturação de sementes de girassol (LINDSTRÖM et al., 2006, 2007; RONDANINI et al., 2009).

Com a paralisação da transferência de matéria seca da planta-matriz à progênie, considera-se que as sementes atingiram o ponto de maturidade fisiológica, tornando-se, então, fisiologicamente independentes da planta-matriz (GESCH e JOHNSON, 2012; MARCOS-FILHO, 2015b; GU et al., 2017; LIMA et al., 2017). Neste sentido, pode-se afirmar que, nas condições deste trabalho, a maturidade fisiológica das sementes de cártamo foi atingida depois de 29 dias após a antese dos capítulos (FIGURA 8).

Conforme reportado por diversos pesquisadores, ambos os fatores, genéticos e ambientais, são capazes de influenciar a dinâmica do processo de maturação das sementes (LINDSTRÖM et al., 2007; RONDANINI et al., 2009; ELLIS, 2011; GESCH e JOHNSON, 2012; PENFIELD e MACGREGOR, 2017; GU et al., 2017; RAHMAN e ELLIS, 2019). Nas condições do semiárido iraniano, por exemplo, foi constatado para as

cultivares de cártamo Faraman, Goldasht, Sina e Soffeh, que o acúmulo de matéria seca pelas sementes ocorreu até os 40 DAA, atingindo valores situados na faixa de 33,8 a 54,3 mg por semente, com teores de água variando entre 15 a 20% (GHASSEMI-GOLEZANI et al., 2016).

Resultados similares aos supracitados foram observados por Shakeri-Amoughin et al. (2012), trabalhando com a cultivar Sina, também no semiárido iraniano. Em contrapartida, sementes das cultivares CW88 OL e CW99 OL atingiram a maturidade fisiológica em períodos de apenas 17 a 25 DAA (35,5 a 43,6 mg por semente) ao longo de quatro safras na região central do semiárido argentino, apresentando teores de água na faixa de 47,1 a 29,3% (FRANCHINI et al., 2014).

Os relatos verificados nos trabalhos mencionados acima reforçam a necessidade de estudos sobre o processo de desenvolvimento/maturação das sementes de cártamo nas condições em que se pretende realizar a produção das sementes, especialmente no que se refere aos aspectos genéticos, edafoclimáticos e de manejo a ser adotado. Neste estudo, foi apresentado que a maturidade fisiológica das sementes de cártamo foi alcançada aos 29 DAA, com teor de água, estimado, correspondente a 26,1% (FIGURA 8).

Ressalta-se que aos 29 DAA, 85% das amostras de sementes apresentavam-se com as características apresentadas nas Figuras 6E e 6F, sugerindo que a modificação de cor das sementes de acinzentadas para esbranquiçadas, como resultado da desidratação natural, pode ser utilizada como um indicador de maturidade fisiológica para as sementes dessa espécie. Adicionalmente, a constatação do desencadeamento da senescência dos capítulos também poderá ser útil na identificação da maturidade fisiológica, visto que 88% dos capítulos, analisados aos 29 DAA, apresentaram padrões visuais demonstrados nas Figuras 5E e 5F.

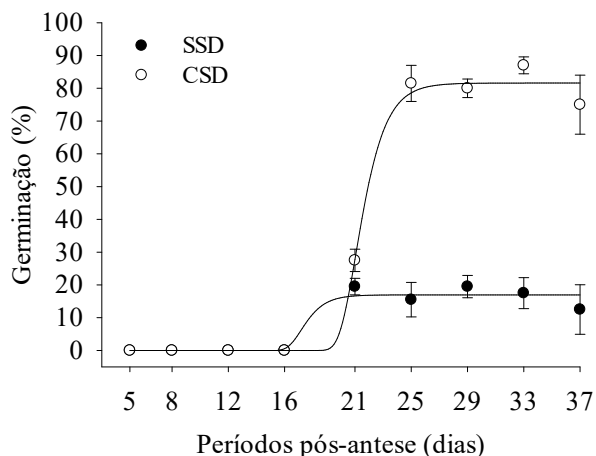
Tratando-se da variação do teor de água das sementes, foi constatado que nos primeiros 8 DAA os valores mantiveram-se elevados ($79,0 \pm 1,5\%$), seguido de decréscimo acentuado até os 25 DAA (2,8% ao dia, em média), onde se verificou valor médio estimado de 29,8% (FIGURA 8). Conforme Marcos-Filho (2015a), a translocação e alocação de fotoassintatos e minerais nas sementes, durante o desenvolvimento, só ocorrem em meio líquido, justificando os elevados teores de água nas fases inicial e intermediária do acúmulo de matéria seca.

A redução acentuada do teor de água durante a maturação, verificada aqui (FIGURA 8), uma característica de sementes ortodoxas por apresentarem tolerância à

dessecação (DEVIC e ROSCOE, 2016; LEPRINCE et al., 2017), se deve à substituição do volume fluido pelo volume sólido (ou seja, matéria seca) no interior das células, juntamente aos processos adicionais de remoção de água. Fenômenos, esses, que conduzem ao aumento da viscosidade citoplasmática e à redução da mobilidade molecular, com conseqüente decréscimo da atividade metabólica nas sementes (WALTERS, 2015).

Especialmente a partir da interrupção do acúmulo de matéria seca (isto é, maturidade fisiológica), a dinâmica do declínio do teor de água das sementes, ainda no campo, estará na dependência das condições climáticas predominantes. A ocorrência de alta umidade/chuvas, nessa fase, pode ocasionar retardamentos na perda de água pelas sementes, além da oscilação no teor de água (VERGARA et al., 2019) devido às propriedades higroscópicas (BARATI et al., 2016). Mesmo ao final do período experimental (33 a 37 DAA), as sementes de cártamo ainda apresentavam teor de água de $24,5 \pm 0,3\%$ (FIGURA 8), sendo, esse valor, superior ao que normalmente essas sementes são retiradas do campo (10 a 13%; FRANCHINI et al., 2014; FLEMMER et al., 2015), o que pode estar relacionado às precipitações pluviométricas ocorridas após a maturidade fisiológica das sementes (92 mm, entre 29 e 37 DAA; FIGURA 4).

Juntamente às alterações morfológicas e físicas, durante o processo de maturação observa-se, para um lote de sementes, o aumento gradual da germinação, a qual pode ser parcial ou totalmente inibida caso haja a expressão da dormência (FINCH-SAVAGE e BASSEL, 2016; DEVIC e ROSCOE, 2016; LEPRINCE et al., 2017). Nesta pesquisa, independentemente da superação ou não da dormência, não se verificou germinação para as sementes colhidas até os 16 DAA (FIGURA 9), o que pode ser atribuído à imaturidade dos embriões (LINDSTRÖM et al.; 2007; RONDANINI et al., 2009; FRANCHINI et al., 2014), embora as sementes já tivessem estabilizado seu crescimento externo (FIGURA 7).



$$\text{SSD} = 16,9540 * (1 - \exp(-1,0455 * x))^{63110584,4751}, R^2 = 0,95 \text{ (p}_{\text{valor}}: 0,0002)$$

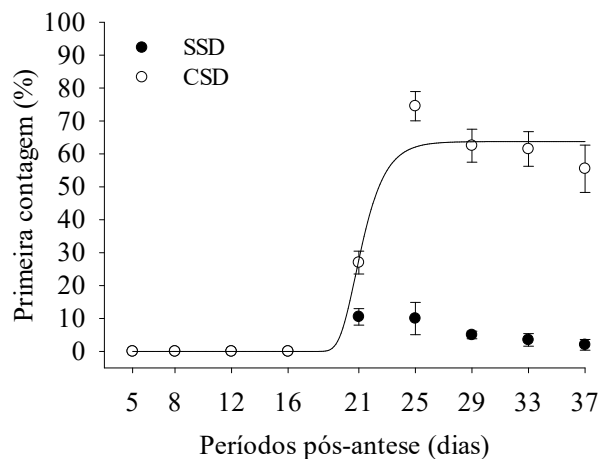
$$\text{CSD} = 81,5995 * (1 - \exp(-0,8395 * x))^{48825828,3027}, R^2 = 0,99 \text{ (p}_{\text{valor}} < 0,0001)$$

FIGURA 9. Germinação¹ de sementes de cártamo em função de diferentes períodos pós-antese. Dourados-MS.

¹ Resultados obtidos para sementes submetidas ou não ao tratamento prévio de superação da dormência, em que: SSD- sem superação da dormência; e CSD- com superação da dormência. As barras representam o desvio padrão da média.

Para as sementes não submetidas à superação da dormência, foram verificadas baixas porcentagens de germinação a partir dos 21 DAA, que se mantiveram estáveis até os 37 DAA (17%, em média; FIGURA 9). Por outro lado, com a superação da dormência das amostras de sementes, foi possível verificar claramente como ocorreu o aumento da germinação no decorrer do processo de maturação, mais expressivo entre os 21 e 25 DAA (28 a 79%), persistindo elevados valores até o encerramento do experimento (81±2%, em média).

Com relação à primeira contagem, também se constatou que as sementes não submetidas à superação da dormência apresentaram baixos valores ao longo dos períodos pós-antese, os quais foram verificados somente a partir dos 21 DAA (em média, 6±4%; FIGURA 10) e sem ajuste de regressão. Esses resultados também estão associados à presença da dormência fisiológica nessas amostras, inibindo o processo de germinação, com consequências já evidenciadas na primeira contagem de plântulas normais (ORACZ et al., 2007; TUTTLE et al., 2015; XU et al., 2016; OBA et al., 2017).



$$\text{SSD} = 3,4444 \pm 4,2533 \text{ (sem ajuste)}$$

$$\text{CSD} = 63,7481 * (1 - \exp(-0,8628 * x))^{61284096,8792}, R^2 = 0,97 \text{ (p}_{\text{valor}} < 0,0001)$$

FIGURA 10. Primeira contagem¹ de sementes de cártamo em função de diferentes períodos pós-antese. Dourados-MS.

¹ Resultados obtidos para sementes submetidas ou não ao tratamento prévio de superação da dormência, em que: SSD- sem superação da dormência; e CSD- com superação da dormência. As barras representam o desvio padrão da média.

Sob outra perspectiva, com a superação da dormência das sementes, assim como para a germinação (FIGURA 9), foi possível visualizar claramente o aumento da primeira contagem entre os 16 e 21 DAA e, mais expressivamente, até os 25 DAA (FIGURA 10). A partir desse ponto, os valores experimentais de primeira contagem decresceram gradativamente até os 37 DAA, de $75 \pm 4\%$ a $56 \pm 7\%$, o que pode estar associado ao desencadeamento da perda do vigor das sementes (MATTHEWS et al., 2012; MARCOS-FILHO, 2015b), em resposta às condições climáticas adversas que estiveram submetidas após terem atingido máxima germinação (FINCH-SAVAGE e BASSEL, 2016; LEPRINCE et al., 2017; VERGARA et al., 2019). Enfatiza-se que, entre os 25 e 37 DAA, registrou-se um montante de 159 mm de precipitação pluviométrica na região (FIGURA 4).

Os resultados encontrados para a germinação e primeira contagem (FIGURAS 9 e 10), que foram similares aos de protrusão radicular (dados não apresentados), confirmaram a presença da dormência fisiológica nas sementes deste estudo, característica em espécies pertencentes à família Asteraceae (BASKIN e BASKIN, 2004). Trata-se, provavelmente, de dormência do tipo primária, pois está presente desde as primeiras etapas do desenvolvimento das sementes (FIGURAS 9 e 10), possivelmente induzida pela biossíntese e atuação do ácido abscísico - ABA (inibidor da

germinação) durante a maturação (FINCH-SAVAGE e LEUBNER-METZGER, 2006), em resposta às condições ambientais presenciadas pelas plantas-matrizes (FINCH-SAVAGE e BASSEL, 2016; PENFIELD e MACGREGOR, 2017).

Aparentemente, o presente trabalho fornece as primeiras informações sobre o comportamento da dormência das sementes de cártamo ainda na fase de maturação (FIGURAS 9 e 10), embora sua ocorrência nas sementes maduras já tenha sido documentada (DOLATABADIAN e SANAVY, 2008; MAYERHOFER et al., 2011; OBA et al., 2017, 2019). Futuras pesquisas poderão ser realizadas com o intuito de verificar a influência da temperatura ambiental, durante as diferentes etapas do desenvolvimento, na expressão quanti-qualitativa da dormência fisiológica das sementes dessa espécie. Na produção de sementes de girassol, por exemplo, temperaturas mais elevadas na fase final da maturação resultaram na intensificação da dormência inicial e sua persistência no armazenamento, também tornando, as sementes, mais sensíveis aos efeitos inibitórios do ABA exógeno (BODRONE et al., 2017).

Outro aspecto relevante, porém, constatado somente com a superação artificial da dormência, foi que a máxima germinação, já verificada aos 25 DAA (FIGURA 9), foi atingida em período anterior à aparente paralisação do acúmulo de matéria seca nas sementes (29 DAA; FIGURA 8). Curiosamente, nas condições do semiárido iraniano, constatou-se que o pico de germinação das sementes da cultivar Sina, sem relatos da presença de dormência, ocorreu aos 48 DAA, exatamente seis dias após à interrupção da conexão vascular entre as sementes e respectivas plantas-matrizes (SHAKERI-AMOUGHIN et al., 2012). Esses resultados apoiam a teoria da influência de fatores climáticos e genéticos na determinação do comportamento fisiológico das sementes de cártamo durante a maturação.

Os resultados obtidos nesta etapa do trabalho fornecem um importante conjunto de informações sobre as modificações físicas e fisiológicas ocorridas nas sementes de cártamo durante o processo de maturação (FIGURAS 7-10), bem como de possíveis indicadores da maturidade fisiológica relacionados às alterações nos padrões visuais de capítulos e sementes (FIGURAS 5 e 6; TABELAS 1 e 2). Essas informações poderão ser úteis para o planejamento ou aprimoramento dos programas de produção de sementes dessa espécie, especialmente sob condições edafoclimáticas similares àquela em que esta pesquisa foi conduzida.

Nas condições deste estudo, as sementes de cártamo atingiram a maturidade fisiológica com 29 dias após a antese dos capítulos, com teor de água correspondente a

26,1%, onde houve a paralisação da transferência de matéria seca das plantas-matrizes às sementes (FIGURAS 8), não obstante a máxima germinação e primeira contagem tivessem sido atingidas quatro dias antes (FIGURAS 9 e 10). Teoricamente, este seria o ponto ideal para a realização da colheita dessas sementes; contudo, problemas relacionados à desuniformidade no processo de florescimento e maturação dos capítulos dentro da própria planta impedem que todas as sementes de cártamo sejam colhidas no ponto de maturidade fisiológica.

Conforme já mencionado, o procedimento de colheita vem sendo realizado, normalmente, após a completa senescência das plantas-progenitoras, quando as sementes já se encontram com teores de água próximos a 13-10%, também facilitando a colheita mecanizada (FRANCHINI et al., 2014; FLEMMER et al., 2015). Apesar da dificuldade, é fundamental que se busquem técnicas que permitam a antecipação da colheita dessas sementes, visando a obtenção de lotes com elevado padrão fisiológico inicial. Isso porque, a partir do ponto de maturidade fisiológica, de modo geral, as sementes estão sujeitas à deterioração no campo até que se proceda a colheita (MARCOS-FILHO, 2015b; FINCH-SAVAGE e BASSEL, 2016), principalmente na ocorrência de condições climáticas adversas (LEPRINCE et al., 2017; VERGARA et al., 2019).

1.3.2. Ensaio 2 - Qualidade das sementes em função do momento de colheita

Devido ao emprego de material propagativo sem estabilidade genética ou, simplesmente, não adaptado para aquela região, em algumas áreas de cultivo de sementes de cártamo se tem constatado ampla disparidade no desenvolvimento vegetativo e reprodutivo entre as plantas-matrizes. Essas condições resultam no atraso da colheita de boa parte das sementes até que todas as plantas do talhão venham a se tornar senescentes e aptas à colheita mecanizada, conforme usualmente é realizado (FRANCHINI et al., 2014; FLEMMER et al., 2015). Nesta pesquisa, os períodos compreendidos entre a total senescência da primeira planta ao completo secamento de 97-99% das plantas-matrizes de cada parcela variaram entre 13 a 22 dias.

Esse retardamento na colheita não afetou os resultados de primeira contagem e germinação das sementes não estratificadas a frio (4 ± 1 e $10\pm 3\%$, respectivamente), tampouco os comprimentos da raiz primária, do hipocótilo e total e massas fresca e seca totais das plântulas normais ($83,5\pm 7,4$; $53,3\pm 4$ e $136,8\pm 11,5$ mm por plântula; $203,7\pm 12,2$ e $6,9\pm 0,7$ mg por plântula, respectivamente). Contudo, os resultados de primeira contagem, germinação e envelhecimento acelerado, após a superação da dormência pela

estratificação a frio, acusaram diferenças qualitativas entre os lotes em função do momento de colheita adotado, conforme demonstrado na Tabela 4.

TABELA 4. Germinação (G), primeira contagem (PC) e envelhecimento acelerado (EA), após estratificação a frio, de sementes de cártamo colhidas em dois momentos. Dourados-MS

Momento de colheita	G	PC (%)	EA
Maturidade/planta ²	84 A ¹	77 A	71 A
Maturidade/parcela ³	63 B	52 B	49 B
CV (%)	4,0	5,4	7,8
Média geral	73,3	64,2	59,9
F calculado	78,8*	74,2*	34,9*

* Significativo, ao nível de 5% de probabilidade de erro, no teste de F da análise de variância; CV: coeficiente de variação; ¹ médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não se diferem pelo teste de t (LSD), a 5%; ² Maturidade/planta: lote constituído de sementes colhidas imediatamente após a completa senescência dos capítulos e estruturas vegetativas da planta-matriz; e ³ Maturidade/parcela: lote composto por sementes provenientes de colheita única em área total da parcela, quando de 97 a 99% das plantas-matrizes apresentavam-se com capítulos e partes vegetativas totalmente senescentes.

Sementes provenientes do tratamento "maturidade/planta", ou seja, oriundas de plantas colhidas, pontualmente, imediatamente após a completa maturação dos capítulos e secamento das partes vegetativas, apresentaram, após estratificação a frio, elevada germinação (84%), bem como resultados de primeira contagem e envelhecimento acelerado superiores a 70% (TABELA 4). Ainda não existe um padrão mínimo de germinação para a comercialização das sementes de cártamo no Brasil (BRASIL, 2013); todavia, a performance de primeira contagem e germinação apresentada pelo lote colhido na maturidade/planta (TABELA 4) pode ser considerada elevada, pois se assemelha àquela verificada para as sementes colhidas em períodos próximos ao ponto de maturidade fisiológica, isto é, entre 25 a 29 dias após a antese dos capítulos (FIGURAS 9 e 10).

Esses resultados podem indicar que, embora houvesse desuniformidade nos processos de florescimento e maturação dentro da própria planta, o período compreendido entre a completa maturação do primeiro capítulo à total senescência da planta-matriz não causou maiores prejuízos à germinação e vigor dos lotes de sementes colhidos na maturidade/planta (TABELA 4). Entretanto, ainda há possibilidade de haver heterogeneidade na qualidade entre sementes de mesmo lote, em razão da presença de sementes colhidas em diferentes estádios pós-maturidade fisiológica (FINCH-SAVAGE e BASSEL, 2016).

Por outro lado, foi constatado que o período médio de espera para que 97-99% das plantas-matrizes atingissem a completa senescência (isto é, $18,3 \pm 2,5$ dias em relação à total senescência da primeira planta da parcela), no tratamento denominado "maturidade/parcela", resultou em perdas significativas na qualidade fisiológica das sementes. Sementes colhidas naquele momento apresentaram, nos testes de germinação, primeira contagem e envelhecimento acelerado, após estratificação a frio, resultados 21, 25 e 22%, respectivamente, inferiores àqueles apresentados pelas sementes colhidas na maturidade/planta (TABELA 4).

O declínio da germinação e primeira contagem, bem como da tolerância às condições adversas impostas pelo envelhecimento acelerado, constituem claras evidências do maior grau de deterioração das sementes colhidas na maturidade/parcela (TABELA 4). Os referidos eventos deletérios estão relacionados ao atraso ou ineficácia na ativação e atuação de mecanismos de reparação metabólica durante a embebição, bem como à baixa capacidade de mobilização de reservas para regiões de metabolismo ativo e à deterioração avançada ou morte de partes dos tecidos de estruturas essenciais, como cotilédones e eixo hipocótilo-radícula (MATTHEWS et al., 2012; MARCOS-FILHO, 2015b; MATERA et al., 2019).

Dessa forma, os resultados apresentados nesta etapa do trabalho demonstraram que a qualidade fisiológica inicial dos lotes de sementes de cártamo pode ser comprometida caso haja retardamentos na colheita, no que se refere ao aguardo para que, praticamente, todas as plantas-matrizes apresentem condições para serem colhidas mecanicamente (TABELA 4). No caso desta pesquisa, a situação provavelmente foi agravada pelos recorrentes e expressivos volumes de chuva ocorridos na fase final da maturação da cultura, juntamente às variações consideráveis de temperatura e UR (FIGURA 4).

Essas referidas condições ambientais adversas podem ter propiciado oscilações no teor de água das sementes, em razão de suas propriedades higroscópicas (BARATI et al., 2016), com conseqüente aceleração do metabolismo degenerativo (BALLESTEROS e WALTERS, 2011), afetando a germinação e o vigor ainda no campo (DINIZ et al., 2013; ZUFFO et al., 2017; VERGARA et al., 2019). Ressalta-se que as sementes colhidas pontualmente na maturidade/planta apresentaram teor de água médio uniforme em relação às três parcelas avaliadas (14,9 a 15,4%), ao passo que, na colheita única, aos 154 DAS (maturidade/parcela), o teor de água variou entre 15,3 e 21,7%.

1.4. CONCLUSÕES

O desenvolvimento das sementes de cártamo é caracterizado pelo rápido crescimento externo e gradual acúmulo de matéria seca, que, nas condições deste trabalho, foi estabilizado aos 29 DAA (maturidade fisiológica), com teor de água correspondente a 26,1%.

As sementes adquirem, gradualmente, a habilidade de germinar a partir do terço final do acúmulo de matéria seca, com máxima alcançada poucos dias antes da maturidade fisiológica, sendo essa germinação parcialmente inibida pela presença da dormência fisiológica primária.

Ainda se concluiu que o desencadeamento da senescência dos capítulos, junto à transição de cor das sementes de acinzentadas para esbranquiçadas, em razão da desidratação natural, podem ser utilizados como indicadores de maturidade fisiológica para as sementes dessa espécie.

Finalmente, pode-se afirmar que a colheita única em área total, no fechamento do ciclo, levando-se em consideração a disparidade no processo de maturação entre plantas e a ocorrência de condições climáticas adversas, prejudica a germinação e vigor iniciais das sementes de cártamo.

1.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABUD, H.F.; GONÇALVES, N.R.; REIS, R.G.E.; GALLÃO, M.I.; INNECO, R. Morfologia de sementes e plântulas de cártamos. **Revista Ciência Agronômica**, v.41, n.2, p.259-265, 2010.
- AL SURMI, N.Y.; EL DENGAWY, R.A.H.; KHALIFA, A.H. Chemical and nutritional aspects of some safflower seed varieties. **Journal of Food Processing & Technology**, v.7, n.5, p.1-5, 2016.
- BALLESTEROS, D.; WALTERS, C. Detailed characterization of mechanical properties and molecular mobility with dry seed glasses: relevance to the physiology of dry biological systems. **The Plant Journal**, v.68, p.607-619, 2011.
- BARATI, M.; ZARE, D.; ZOMORODIAN, A. Moisture sorption isotherms and thermodynamic properties of safflower seed using empirical and neural network models. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v.10, n.2, p.236-246, 2016.
- BARROZO, M.A.S.; MUJUMDAR, A.; FREIRE, J.T. Air-drying of seeds: a review. **Drying Technology**, v.32, n.10, p.1127-1141, 2014.
- BASKIN, J.M.; BASKIN, C.C. A classification system for seed dormancy. **Seed Science Research**, v.14, p.1-16, 2004.
- BODRONE, M.P.; RODRÍGUEZ, M.V.; ARISNABARRETA, S.; BATLLA, D. Maternal environment and dormancy in sunflower: the effect of temperature during fruit development. **European Journal of Agronomy**, v.82, p.93-103, 2017.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa Nº 45, de 17 de setembro de 2013**. Diário Oficial da União da República Federativa do Brasil, de 18/09/2013. Brasília. Seção 1.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: MAPA/ACS, 2009. 395 p.
- DAJUE, L.; MÜNDEL, H.H. **Safflower. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops**. 7.ed. Rome: IPGRI, 1996. 83 p.
- DESAI, B.B. **Seeds handbook. Biology, production, processing, and storage**. 2.ed. New York: Marcel Dekker, Inc., 2004. 800 p.
- DEVIC, M.; ROSCOE, T. Seed maturation: simplification of control networks in plants. **Plant Science**, v.252, p.335-346, 2016.
- DINIZ, F.O.; REIS, M.S.; ARAÚJO, E.F.; DIAS, L.A.S.; SEDIYAMA, T.; SEDIYAMA-BHERING, C.A.Z. Incidence of pathogens and field emergence of soybean seeds subjected to harvest delay. **Journal of Seed Science**, v.35, n.4, p.478-484, 2013.
- DOLATABADIAN, A.; SANAVY, S.A.M.M. Effect of the ascorbic acid, pyridoxine and hydrogen peroxide treatments on germination, catalase activity, protein and malondialdehyde content of three oil seeds. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici**, v.36, n.2, p.61-66, 2008.

- ELLIS, R.H. Rice seed quality development and temperature during late development and maturation. **Seed Science Research**, v.21, p.95-101, 2011.
- EMBRAPA Agropecuária Oeste. **Guia Clima**. 2018. Disponível em: <<https://clima.cpao.embrapa.br/>>. Acesso em: 07 de fev. 2020.
- EMONGOR, V. Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) the underutilized and neglected crop: a review. **Asian Journal of Plant Sciences**, v.9, n.6, p.299-306, 2010.
- FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011.
- FIETZ, C.R.; FISCH, G.F.; COMUNELLO, E.; FLUMIGNAN, D.L. **O clima da região de Dourados, MS**. 3.ed. rev. e atual. Dourados-MS: Embrapa Agropecuária Oeste, 2017. 31 p. (Documentos 138).
- FINCH-SAVAGE, W.E.; BASSEL, G.W. Seed vigour and crop establishment: extending performance beyond adaptation. **Journal of Experimental Botany**, v.67, n.3, p.567-591, 2016.
- FINCH-SAVAGE, W.E.; LEUBNER-METZGER, G. Seed dormancy and the control of germination. **New Phytologist**, v.171, p.501-523, 2006.
- FLEMMER, A.C.; FRANCHINI, M.C.; LINDSTRÖM, L.I. Description of safflower (*Carthamus tinctorius*) phenological growth stages according to the extended BBCH scale. **Annals of Applied Biology**, v.166, n.2, p.331-339, 2015.
- FRANCHINI, M.C.; FLEMMER, A.C.; LINDSTRÖM, L.I.; DAVID, M.A.; FERNANDEZ, P.A. Fruit development of two high oleic safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars. **PHYTON - Revista Internacional de Botânica Experimental**, v.83, p.379-388, 2014.
- GESCH, R.W.; JOHNSON, B.L. Seed moisture at physiological maturity in oilseed and confectionary sunflower hybrids in the northern U.S. **Field Crops Research**, v.133, p.1-9, 2012.
- GHASSEMI-GOLEZANI, K.; MOHAMMADI, M.; ZEHTAB-SALMA, S.; NASRULLAHZADEH, S. Changes in seed vigor of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars during maturity in response to water limitation. **Acta Agriculturae Slovenica**, v.107, n.1, p.15-23, 2016.
- GU, R.; LI, L.; LIANG, X.; WANG, Y.; FAN, T.; WANG, Y.; WANG, J. The ideal harvest time for seeds of hybrid maize (*Zea mays* L.) XY335 and ZD958 produced in multiple environments. **Scientific Reports**, v.7, n.1, 17537, 2017.
- JAIN, R.K.; BAL, S. Properties of pearl millet. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v.66, n.2, p.85-91, 1997.
- KHALID, N.; KHAN, R.S.; HUSSAIN, M.I.; FAROOQ, M.; AHMAD, A.; AHMED, I. A comprehensive characterization of safflower oil for its potential applications as a bioactive food ingredient - a review. **Trends in Food Science & Technology**, v.66, p.176-186, 2017.
- LAURSEN, R.; MOURI, C. Decomposition and analysis of carthamin in safflower-dyed textiles. **e-Preservation Science**, v.10, p.35-37, 2013.
- LEPRINCE, O.; PELLIZZARO, A.; BERRIRI, S.; BUITINK, J. Late seed maturation: drying without dying. **Journal of Experimental Botany**, v.68, n.4, p.827-841, 2017.

- LIMA, J.J.P.; BUITINK, J.; LALANNE, D.; ROSSI, R.F.; PELLETIER, S.; SILVA, E.A.A.; LEPRINCE, O. Molecular characterization of the acquisition of longevity during seed maturation in soybean. **PLoS ONE**, v.12, n.7, e0180282, 2017.
- LINDSTRÖM, L.I.; PELLEGRINI, C.N.; AGUIRREZÁBAL, L.A.N.; HERNÁNDEZ, L.F. Growth and development of sunflower fruits under shade during pre and early post-anthesis period. **Field Crops Research**, v.96, p.151-159, 2006.
- LINDSTRÖM, L.I.; PELLEGRINI, C.N.; HERNÁNDEZ, L.F. Histological development of the sunflower fruit pericarp as affected by pre- and early post-anthesis canopy shading. **Field Crops Research**, v.103, p.229-238, 2007.
- MARCOS-FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. 2. ed. Londrina: ABRATES, 2015a. 660 p.
- MARCOS-FILHO, J. Seed vigor testing: an overview of the past, present and future. **Scientia Agricola**, v.72, n.4, p.363-374, 2015b.
- MARCOS-FILHO, J. Teste de envelhecimento acelerado. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Eds.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina-PR: ABRATES, 1999. Cap.3, p.3.1-3.21.
- MARTINS, E.A.S.; GONELI, A.L.D.; GONÇALVES, A.A.; HARTMANN FILHO, C.P.; RECH, J.; OBA, G.C. Physical properties of safflower grains. Part II: volumetric shrinkage. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.21, n.5, p.350-355, 2017.
- MATERA, T.C.; PEREIRA, L.C.; BRACCINI, A.L.; KRZYZANOWSKI, F.C.; SCAPIM, C.A.; PIANA, S.C.; MARTELI, D.C.V.; PEREIRA, R.C.; FERRI, G.C.; SUZUKAWA, A.K. Accelerated aging test and its relationship to physiological potential of soybean seeds. **Journal of Seed Science**, v.41, n.3, p.301-308, 2019.
- MATTHEWS, S.; NOLI, E.; DEMIR, I.; KHAJEH-HOSSEINI, M.; WAGNER, M.H. Evaluation of seed quality: from physiology to international standardization. **Seed Science Research**, v.22, S69-S73, 2012.
- MAYERHOFER, M.; MAYERHOFER, R.; TOPINKA, D.; CHRISTIANSON, J.; GOOD, A.G. Introgression potential between safflower (*Carthamus tinctorius*) and wild relatives of the genus *Carthamus*. **BMC Plant Biology**, v.11, n.47, p.1-10, 2011.
- OBA, G.C.; GONELI, A.L.D.; MASETTO, T.E.; HARTMANN FILHO, C.P.; MICHELS, K.L.L.S.; ÁVILA, J.P.C. Artificial drying of safflower seeds at different air temperatures: effect on the physiological potential of freshly harvested and stored seeds. **Journal of Seed Science**, v.41, n.4, p.397-406, 2019.
- OBA, G.C.; GONELI, A.L.D.; MASETTO, T.E.; HARTMANN FILHO, C.P.; PATRICIO, V.S.; SARATH, K.L.L. Dormancy of safflower seeds: effect of storage and cold stratification. **Journal of Seed Science**, v.39, n.4, p.433-439, 2017.
- OLIVEIRA, C.V.K.; SANTOS, R.F.; SIQUEIRA, J.A.C.; BARICCATTI, R.A.; LENZ, N.B.G.; CRUZ, G.S.; TOKURA, L.K.; KLAJN, F.F. Chemical characterization of oil and biodiesel from four safflower genotypes. **Industrial Crops & Products**, v.123, p.192-196, 2018.
- ORACZ, K.; EL-MAAROUF BOUTEAU, H.; FARRANT, J.M.; COOPER, K.; BELGHAZI, M.; JOB, C.; JOB, D.; CORBINEAU, F.; BAILLY, C. ROS production and protein oxidation as a novel mechanism for seed dormancy alleviation. **The Plant Journal**, v.50, p.452-465, 2007.

- PENFIELD, S.; MACGREGOR, D.R. Effects of environmental variation during seed production on seed dormancy and germination. **Journal of Experimental Botany**, v.68, n.4. p.819-825, 2017.
- PESKE, S.T.; VILLELA, F.A.; MENEGHELLO, G.E. (Eds.). **Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos**. 3. ed., rev. e ampl. Pelotas: Ed. Universitária / UFPel, 2012. 573 p.
- RAHMAN, S.M.A.; ELLIS, R.H. Seed quality in rice is most sensitive to drought and high in early seed development. **Seed Science Research**, v.29, p.238-249, 2019.
- RONDANINI, D.P.; MANTESE, A.I.; SAVIN, R.; HALL, A.J. Water content dynamics of achene, pericarp and embryo in sunflower: associations with achene potential size and dry-down. **European Journal of Agronomy**, v.30, p.53-62, 2009.
- SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; ARAÚJO FILHO, J.C.; OLIVEIRA, J.B.; CUNHA, T.J.F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed., rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2018. 356 p.
- SHAKERI-AMOUGHIN, R.; TOBEH, A.; SOMARIN, S.J. Evaluation of some qualitative and quantitative traits, strength and quality of safflower seeds obtained from water and dry growing conditions and different plant densities in greenhouse conditions. **International Research Journal of Applied and Basic Sciences**, v.3, n.3, p.545-555, 2012.
- SINGH, S.; ANGADI, S.V.; GROVER, K.; BEGNA, S.; AULD, D. Drought response and yield formation of spring safflower under different water regimes in the semiarid Southern High Plains. **Agricultural Water Management**, v.163, p.354-362, 2016.
- SOUZA, L.C.F.; LUIS, A.J.; PILETTI, L.M.M.S. Características agronômicas do milho em função da cultura antecessora em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.15, n.2, p.272-280, 2016.
- TUTTLE, K.M.; MARTINEZ, S.A.; SCHRAMM, E.C.; TAKEBAYASHI, Y.; SEO, M.; STEBER, C.M. Grain dormancy loss is associated with changes in ABA and GA sensitivity and hormone accumulation in bread wheat, *Triticum aestivum* (L.). **Seed Science Research**, v.25, n.2, p.179-193, 2015.
- VERGARA, R.; SILVA, R.N.O.; NADAL, A.P.; GADOTTI, G.I.; AUMONDE, T.Z.; VILLELA, F.A. Harvest delay, storage and physiological quality of soybean seeds. **Journal of Seed Science**, v.41, n.4, p.506-513, 2019.
- WALTERS, C. Orthodoxy, recalcitrance and in-between: describing variation in seed storage characteristics using threshold responses to water loss. **Planta**, v.242, n.2, p.397-406, 2015.
- XU, Q.; TRUONG, T.T.; BARRERO, J.M.; JACOBSEN, J.V.; HOCART, C.H.; GLUBER, F. A role for jasmonates in the release of dormancy by cold stratification in wheat. **Journal of Experimental Botany**, v.67, n.11, p.3497-3508, 2016.
- ZHOU, X.; TANG, L.; XU, Y.; ZHOU, G.; WANG, Z. Towards a better understanding of medicinal uses of *Carthamus tinctorius* L. in traditional chinese medicine: a phytochemical and pharmacological review. **Journal of Ethnopharmacology**, v.151, n.1, p.27-43, 2014.

ZUFFO, A.M.; ZUFFO JÚNIOR, J.M.; ZAMBIAZZI, E.V.; STEINER, F.
Physiological and sanitary quality of soybean seeds harvested at different periods and submitted to storage. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.47, n.3, p.312-320, 2017.

CAPÍTULO 2

SECAGEM ARTIFICIAL DE SEMENTES DE CÁRTAMO EM DIFERENTES TEMPERATURAS DO AR: EFEITO NO POTENCIAL FISIOLÓGICO DE SEMENTES RECÉM-COLHIDAS E ARMAZENADAS¹

¹ Trabalho publicado na **Journal of Seed Science**, v.41, n.4, p.397-406, 2019 (DOI: 10.1590/2317-1545v41n4197808).

RESUMO - A temperatura do ar empregado no processo de secagem pode determinar a qualidade fisiológica inicial e o potencial de armazenamento de um lote de sementes, sendo esse o objeto de estudo desta pesquisa. Sementes de cártamo, colhidas com um teor de água de 25,8%, foram submetidas à secagem em secador experimental às temperaturas do ar de 40, 50, 60 e 70 °C, até atingirem teor de água de 6,6±0,6%. De imediato à secagem e a cada 60 dias, até 240 dias de armazenamento sob condições não controladas, foram coletadas amostras de sementes para a determinação da qualidade fisiológica. O aumento da temperatura do ar de secagem, entre 40 e 70 °C, propicia uma remoção mais abrupta das moléculas de água contidas no interior das sementes, provocando danos imediatos e latentes à qualidade fisiológica das sementes, sobretudo a partir dos 60 °C. Assim, sugere-se que a temperatura de secagem das sementes de cártamo não exceda 40 °C, especialmente quando essas se apresentarem com teores de água próximos ou superiores a 25,8% no momento da secagem.

Palavras-chave: *Carthamus tinctorius* L., dano térmico, qualidade fisiológica, remoção de água, superação de dormência.

2.1. INTRODUÇÃO

O cártamo (*Carthamus tinctorius* L.), espécie pertencente à família Asteraceae, é uma planta herbácea e anual, adaptada ao cultivo sob condições semiáridas (FLEMMER et al., 2015). Trata-se de uma espécie reconhecida por suas propriedades medicinais (ZHOU et al., 2014) e corantes (LAURSEN e MOURI, 2013), bem como pelo seu uso na alimentação suplementar de aves e ruminantes (EMONGOR, 2010) e possibilidade de emprego como cultura alternativa de inverno em sistemas de rotação (SOUZA et al., 2016).

Suas sementes, botanicamente denominadas aquênios, possuem consideráveis teores de proteínas (14,7 a 16,2%) e lipídios (23 a 41%), destacando-se os conteúdos dos ácidos linoleico (71,6 a 83,7%) e oleico (7,5 a 18,4%) em seu óleo, conferindo-lhe alto valor fitoterápico, nutricional e comercial (AL SURMI et al., 2016; KHALID et al., 2017). Embora possua maior importância para a nutrição humana, o óleo de cártamo também apresenta características satisfatórias para a produção do biodiesel (OLIVEIRA et al., 2018). Apesar da relevância, ainda são escassos os estudos referentes à cadeia produtiva das sementes de cártamo, mormente aqueles relacionados às etapas de pós-colheita.

As sementes de cártamo atingem a maturidade fisiológica com teores de água entre 47 a 29%, conforme o genótipo e condições edafoclimáticas de cultivo (FRANCHINI et al., 2014). Contudo, normalmente a colheita é realizada após a senescência das plantas-matrizes, quando as sementes já se encontram com umidade próxima a 13% (FLEMMER et al., 2015). Ademais, para a manutenção da qualidade fisiológica até a semeadura na safra seguinte, é recomendado que o teor de água dessas sementes não exceda 8% durante o armazenamento (DESAI, 2004).

De modo geral, sementes ortodoxas armazenadas com elevados teores de água, em que os limites de segurança variam de acordo com a espécie, temperatura ambiente e atividade de água no produto, estão sujeitas ao rápido incremento das atividades metabólica e respiratória, que promovem o consumo acelerado de substâncias de reserva e o acúmulo de compostos tóxicos do metabolismo degenerativo, afetando a germinação e o vigor (BAILLY, 2004; BALLESTEROS e WALTERS, 2011; WALTERS, 2015; XIA et al., 2015; JIANG et al., 2018; RATAJCZAK et al., 2019).

Em adição, o acréscimo da umidade e temperatura do ar intergranular, ocasionado pela elevação da taxa respiratória das sementes, ainda favorece a atividade de microrganismos e insetos presentes na massa, que também contribuem para a aceleração da deterioração do produto armazenado (BARROZO et al., 2014). Nesse sentido, quando colhidas com teores de água superiores a 8%, sobretudo em colheitas antecipadas, mais próximas à maturidade fisiológica, é fundamental que se faça o quanto antes a secagem das sementes de cártamo antes de armazená-las (DESAI, 2004).

A secagem artificial, mediante convecção forçada de ar aquecido, consiste em um processo simultâneo de transferência de calor e massa, determinado pelo fenômeno da diferença de pressão parcial de vapor entre a superfície do material a ser seco e o ar que o envolve (KENENI et al., 2019). Além de propiciar a redução do teor de água das sementes até níveis seguros para o armazenamento, a secagem artificial ainda apresenta como vantagem a possibilidade de antecipação da colheita, minimizando-se perdas quanti-qualitativas no campo por naturezas diversas (SCARIOT et al., 2018).

Conforme Barrozo et al. (2014), a secagem ideal é aquela que preserve a viabilidade, vigor e integridade física das sementes, associada a uma maior eficiência energética e operacional. Todavia, de acordo com esses autores, as condições que promovem altas taxas de secagem, como elevada temperatura e/ou baixa umidade relativa do ar, são as mesmas capazes de causar sérios danos físicos e fisiológicos às sementes, principalmente quando essas se encontram com teores de água elevados.

Dentre os danos provocados pela secagem inadequada, especialmente pelo uso de elevadas temperaturas do ar, destacam-se a formação de fissuras nos tecidos internos e externos das sementes (MENEZES et al., 2012), a coalescência de corpos de proteínas e gotículas de óleo presentes no citosol (DONADON et al., 2013), a desorganização de estruturas celulares e o rompimento de membranas citoplasmáticas, com consequente extravasamento de conteúdo celular (SAATH et al., 2010; BORÉM et al., 2013; WANG et al., 2017). Sabe-se que essas respostas ocorrem em razão da remoção abrupta das moléculas de água contidas no interior das sementes e do aquecimento excessivo da massa.

Dependendo da severidade, mormente durante secagens com temperaturas acima da faixa de 40-50 °C, esses eventos deletérios poderão resultar em perdas imediatas da qualidade fisiológica das sementes e/ou provocar danos latentes, que serão expressos somente após determinados períodos de armazenamento, sobretudo em condições

desfavoráveis (RESENDE et al., 2012; ULLMANN et al., 2015; HARTMANN FILHO et al., 2016; SARATH et al., 2016; TIMPLE e HAY, 2018).

Para as sementes de cártamo, supõe-se que o aumento da temperatura do ar de secagem também promova perdas imediatas e progressivas na germinação e vigor das sementes, principalmente a partir dos 50 °C, ainda tornando-as mais suscetíveis à deterioração no armazenamento. Objetivando-se testar essa hipótese, sementes de cártamo, colhidas em período próximo à maturidade fisiológica, foram secas artificialmente com temperaturas entre 40 e 70 °C e avaliadas quanto à qualidade fisiológica entre 0 e 240 dias de armazenamento sob condições não controladas.

2.2. MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1. Obtenção do material biológico e preparo das amostras

O experimento foi conduzido no Laboratório de Pré-Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas e no Laboratório de Qualidade de Grãos de Oleaginosas, ambos pertencentes à Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Dourados-MS, Brasil. Foram utilizadas sementes de cártamo produzidas na Fazenda Experimental de Ciências Agrárias da UFGD (coordenadas 22°13'58,49" S 54°59'15,54" W, 434 m), com todos os tratamentos culturais necessários à cultura.

Realizou-se a colheita manual dos capítulos de cártamo em período próximo ao ponto de maturidade fisiológica, caracterizado pela presença de capítulos com pelo menos 70% da área das brácteas em estado de senescência (FRANCHINI et al., 2014; FLEMMER et al., 2015), quando as sementes apresentavam um teor de água de 25,8%.

2.2.2. Secagem e armazenamento das sementes

Após a debulha manual e beneficiamento, conduziu-se a secagem das sementes em um secador experimental de leito fixo, com fornecimento contínuo de ar aquecido, às temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C e fluxo do ar de 0,2 m³ s⁻¹ m⁻², até atingirem teor de água de 6,6±0,6%, conforme indicado para o armazenamento das sementes dessa espécie (DESAI, 2004).

A redução do teor de água das sementes durante a secagem foi averiguada pelo método gravimétrico (perda de massa), possibilitando determinar a taxa de remoção de água no material para as diferentes condições do ar de secagem, por meio da Equação 1, a qual refere-se à quantidade de água que determinado produto perde por unidade de matéria seca por unidade tempo (CORRÊA et al., 2001).

$$TRA = \frac{Ma_0 - Ma_1}{MS (t_1 - t_0)} \quad (1)$$

em que:

TRA- taxa de remoção de água, kg kg⁻¹ h⁻¹;

Ma₀- massa total de água anterior, kg;

Ma₁- massa total de água atual, kg;

MS- massa de matéria seca, kg;

t₀- tempo total de secagem anterior, h; e

t_t - tempo total de secagem atual, h.

Os teores de água, inicial e final, foram determinados pelo método de estufa, a 105 ± 1 °C, durante 24 horas e em triplicata, de acordo com as Regras para Análise de Sementes - RAS (BRASIL, 2009).

Após a secagem, as sementes foram acondicionadas em recipientes não herméticos, de plástico rígido, simulando um sistema de estoque a granel. Posteriormente, essas foram armazenadas durante 240 dias em condições não controladas de temperatura e umidade relativa do ar (UR), ao abrigo de luz e precipitação. Diariamente, registrou-se a variação da temperatura e UR do ar do ambiente de armazenamento com o auxílio de dois termos-higrômetros instalados próximos aos recipientes contendo as sementes.

De imediato à secagem e até 240 dias após o início do armazenamento, em intervalos de 60 dias, determinou-se o teor de água (BRASIL, 2009) e a qualidade fisiológica das sementes pertencentes aos lotes secos nas diferentes temperaturas do ar.

2.2.3. Avaliação da qualidade fisiológica das sementes

Anteriormente à realização dos testes fisiológicos, as sementes foram pré-condicionadas em minicâmaras (gerbox), à temperatura de 25 °C e UR de 100%, durante 24 horas, visando evitar danos por rápida embebição. Em sequência, realizou-se a desinfestação das sementes através de imersão em solução de hipoclorito de sódio a 2,5%, por cinco minutos, seguido de enxágue em água corrente.

A partir de análises preliminares, verificou-se a presença de dormência fisiológica nas sementes de cártamo, assim como também observado em estudos realizados por Dolatabadian e Sanavy (2008) e Mayerhofer et al. (2011). Essa característica poderia propiciar resultados duvidosos sobre os efeitos imediatos e latentes dos tratamentos de secagem na qualidade fisiológica das sementes. Nesse sentido, se fez necessária a inclusão de um terceiro fator de tratamento neste estudo, relativo ao emprego ou não do método de estratificação a frio para a superação da dormência das sementes recém-colhidas ou armazenadas.

Para isso, a cada período de armazenamento realizou-se a subdivisão das amostras coletadas, de cada tratamento de secagem, em duas porções equivalentes, sendo uma das partes diretamente submetida ao teste de germinação. A outra porção foi previamente submetida ao método da estratificação a frio em substrato umedecido com água destilada, à temperatura de 10 °C durante cinco dias, no escuro (OBA et al., 2017),

visando a superação da dormência das sementes. Após esse período, as sementes foram submetidas ao teste de germinação.

O teste de germinação foi conduzido conforme as RAS (BRASIL, 2009), em substratos de papel, constituídos de três folhas de papel próprio, previamente umedecidos com volumes de água destilada correspondentes a 2,5 vezes a massa do papel seco, em quatro repetições de 50 sementes. Os substratos com as sementes foram mantidos durante 14 dias em câmara de germinação do tipo Mangelsdorf, a 25 °C e sob luz branca constante.

Ao quarto e 14º dia do teste foram determinadas as porcentagens de plântulas normais na primeira contagem e germinação, respectivamente. Concomitantemente, determinou-se o índice de velocidade da protrusão radicular (MAGUIRE, 1962), contabilizando-se diariamente o número de sementes que apresentaram protrusão radicular mínima de 1 mm, do primeiro ao 14º dia do teste de germinação.

Em estudos que envolvem a dormência, a emissão da raiz primária, em condições normais para a germinação de sementes quiescentes, tem sido amplamente empregada como critério para descartar a presença da dormência em sementes viáveis e intactas (BOLINGUE et al., 2010; TUTTLE et al., 2015; XU et al., 2016). Nesse sentido, também foi determinada a porcentagem de protrusão radicular das sementes, através do somatório do número de sementes que emitiram a raiz primária do primeiro ao 14º dia do teste de germinação.

2.2.4. Procedimento estatístico

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema de parcelas sub-subdivididas. As parcelas foram representadas pelas temperaturas do ar de secagem (40, 50, 60 e 70 °C), as subparcelas constituídas pelos períodos de armazenamento (0, 60, 120, 180 e 240 dias) e as sub-subparcelas pelo uso da estratificação a frio (sem e com estratificação). Os dados relativos à qualidade fisiológica das sementes foram submetidos à análise de variância, utilizando-se o software estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011).

Para fins de comparação, os resultados de qualidade fisiológica das sementes não estratificadas e estratificadas a frio, dentro de cada nível de tratamento de secagem e período de armazenamento, foram submetidos ao teste de t (*Least Significant Difference* - LSD), ao nível de 5% de probabilidade. Posteriormente, avaliou-se o desdobramento dos períodos de armazenamento dentro de cada nível de temperatura de secagem por meio

da análise de regressão, separadamente para sementes não estratificadas e estratificadas. Os modelos de regressão foram selecionados com base nos valores do coeficiente de determinação (R^2 , decimal), nível de significância da equação (p_{valor}) e o conhecimento do fenômeno biológico em estudo.

2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os períodos de secagem necessários para as sementes atingirem o teor de água de $6,6 \pm 0,6\%$, às temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C, foram de 3,8; 2,2; 1,5 e 1,1 horas (h), respectivamente, verificando-se que as maiores taxas de remoção de água (TRA) ocorreram nas maiores temperaturas de secagem (70 e 60 °C), sobretudo no início do processo (FIGURA 1).

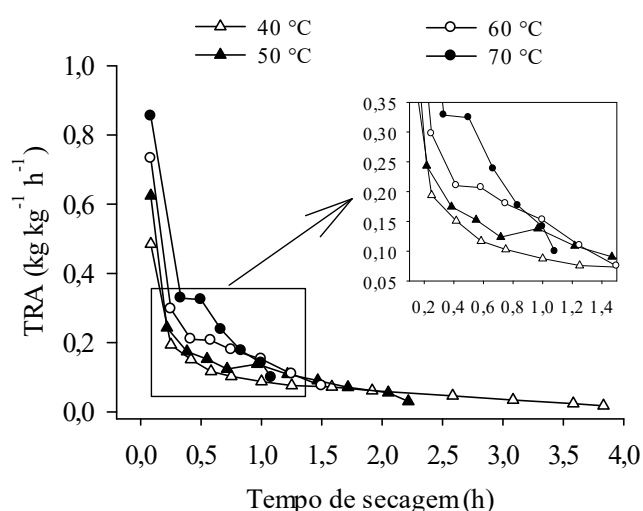


FIGURA 1. Taxa de remoção de água durante a secagem de sementes de cártamo em diferentes temperaturas do ar.

Quanto maior a temperatura de secagem, maior é a diferença de pressão parcial de vapor entre a superfície do material a ser seco e o ar que o envolve, o que resulta na remoção mais veloz das moléculas de água contidas no interior do produto, na forma de vapor (KENENI et al., 2019); conseqüentemente, esse fenômeno propicia a redução do tempo de secagem, como foi verificado no presente estudo (FIGURA 1).

Uma vez que o armazenamento das sementes foi conduzido sob condições não controladas, houve considerável variação da temperatura e UR do ar ambiente ao longo dos 240 dias (FIGURA 2). Nesse período foram registrados, respectivamente, valores médios, máximos e mínimos de temperatura de $24,7 \pm 2,7$; 30,2 e 18,5 °C e UR de $59,4 \pm 10,3\%$; 82,0% e 37,0%.

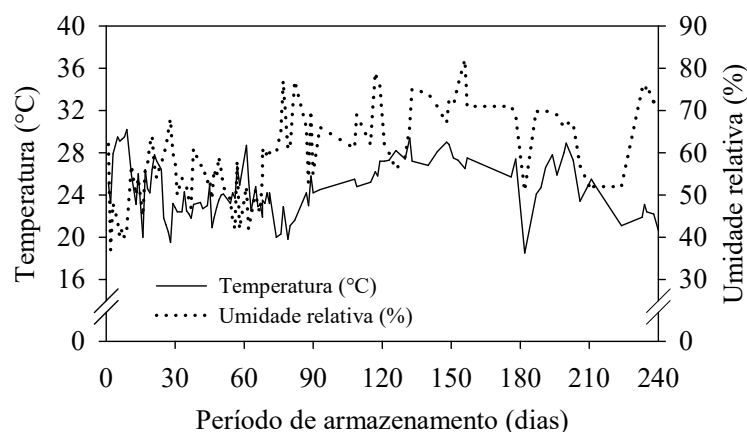


FIGURA 2. Temperatura e umidade relativa média do ar do ambiente de armazenamento das sementes de cártamo. Dourados-MS.

Devido à higroscopicidade, as sementes, como as de cártamo, estão sujeitas à variação do teor de água conforme oscilações das propriedades do ar circundante (BARATI et al., 2016), sobretudo quando acondicionadas em embalagens que não oferecem resistência às trocas gasosas (SCARIOT et al., 2018). Neste estudo, as sementes foram acondicionadas em recipientes não herméticos e armazenadas sob condições não controladas de temperatura e umidade relativa do ar (FIGURA 2). A interação entre esses fatores permitiu o aumento do teor de água das sementes ao longo do armazenamento, em razão da adsorção gradual das moléculas de água do ar ambiente, independentemente do tratamento inicial de secagem (TABELA 1). Ao final dos 240 dias, verificou-se teor de água médio de $8,4 \pm 0,4\%$, superior ao conteúdo de água médio inicial ($6,6 \pm 0,6\%$).

TABELA 1. Teor de água médio das sementes de cártamo armazenadas sob condições não controladas, após secagem artificial em diferentes temperaturas do ar

Tratamento de secagem	Período de armazenamento (dias)				
	0	60	120	180	240
	Teor de água (%)				
40 °C	7,3	7,7	8,0	8,4	8,7
50 °C	6,9	7,4	7,8	8,2	8,6
60 °C	6,1	6,6	7,1	7,6	8,1
70 °C	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0

Verifica-se na Tabela 2 que, para todas as características fisiológicas, houve interação significativa entre os fatores temperatura do ar de secagem, período de armazenamento e estratificação a frio, ao nível de 1% de probabilidade de erro.

TABELA 2. Resumo da análise de variância para as características de protrusão radicular (PR), índice de velocidade da protrusão radicular (IVPR), primeira contagem (PC) e germinação (G) de sementes de cártamo, em função da temperatura do ar de secagem, período de armazenamento e estratificação a frio

FV	GL	F calculado			
		PR	IVPR	PC	G
Temperatura de secagem (TS)	3	1273,8**	2227,9**	542,0**	493,2**
Resíduo (a)	12	-	-	-	-
Período de armazenamento (PA)	4	48,0**	81,3**	77,8**	4,5**
Interação TSxPA	12	27,0**	12,1**	5,9**	9,7**
Resíduo (b)	60	-	-	-	-
Estratificação a frio (EF)	1	1172,1**	7020,0**	3490,4**	1267,8**
Interação TSxEF	3	86,8**	1027,8**	466,9**	122,3**
Interação PAxEF	4	197,5**	288,3**	89,5**	165,1**
Interação TSxPAxEF	12	12,8**	23,8**	7,0**	13,7**
Resíduo (c)	48	-	-	-	-
Total corrigido	159	-	-	-	-
CV 1 (%)	-	11,1	10,2	19,9	20,0
CV 2 (%)	-	10,5	10,2	21,3	17,3
CV 3 (%)	-	12,1	11,4	20,8	14,5
Média geral	-	44,3	12,9	19,7	33,4

** Significativo, ao nível de 1% de probabilidade de erro, pelo teste de F; FV: fontes de variação; GL: graus de liberdade; e CV: coeficiente de variação.

O efeito do tratamento de estratificação a frio (sem e com), dentro de cada nível de temperatura de secagem x período de armazenamento, está apresentado na Tabela 3. Nota-se que, independentemente das condições iniciais de secagem, o emprego da estratificação promoveu o aumento significativo da protrusão radicular e germinação das sementes recém-colhidas ou armazenadas até 120 dias. A partir dos 180 dias de armazenamento, exceto para a protrusão radicular das sementes secas a 40 °C e armazenadas durante 240 dias e na germinação das sementes dos tratamentos 40 °C/180 dias e 40 °C/240 dias, onde foram verificados valores superiores para as sementes estratificadas, não foram detectadas diferenças significativas entre a estratificação e a não estratificação das sementes.

TABELA 3. Protrusão radicular, índice de velocidade da protrusão radicular, primeira contagem e germinação de sementes de cártamo não estratificadas (NEF) e estratificadas a frio (EF) em cinco períodos de armazenamento, após secagem inicial em diferentes temperaturas do ar

Temperatura de secagem	Período de armazenamento (dias)									
	0		60		120		180		240	
	NEF	EF	NEF	EF	NEF	EF	NEF	EF	NEF	EF
Protrusão radicular (%)										
40 °C	9B ¹	96A	32B	96A	36B	96A	80A	86A	75B	83A
50 °C	7B	93A	29B	92A	33B	88A	77A	81A	73A	75A
60 °C	5B	49A	23B	43A	17B	44A	36A	41A	39A	40A
70 °C	4B	31A	4B	24A	3B	23A	4A	5A	3A	4A
Índice de velocidade da protrusão radicular (adimensional)										
40 °C	0,6B	45,7A	2,7B	45,3A	3,8B	46,9A	10,3B	37,1A	9,9B	34,3A
50 °C	0,5B	44,0A	2,2B	36,4A	3,1B	40,9A	9,0B	23,0A	8,3B	17,4A
60 °C	0,3B	19,1A	1,7B	11,0A	1,3B	14,8A	3,8B	7,4A	3,9B	6,3A
70 °C	0,3B	8,8A	0,2B	7,8A	0,3B	6,6A	0,2A	0,8A	0,2A	0,5A
Primeira contagem (%)										
40 °C	0B	88A	3B	77A	0B	71A	4B	64A	0B	62A
50 °C	0B	70A	0B	69A	0B	64A	4B	35A	0B	20A
60 °C	0B	38A	1B	28A	0B	26A	2B	15A	0A	4A
70 °C	0B	17A	0B	17A	0B	13A	0A	0A	0A	1A
Germinação (%)										
40 °C	6B	90A	27B	87A	29B	78A	53B	75A	56B	74A
50 °C	5B	82A	15B	72A	26B	71A	62A	58A	49A	48A
60 °C	3B	43A	14B	36A	10B	37A	21A	22A	13A	12A
70 °C	3B	19A	2B	17A	2B	19A	3A	3A	2A	2A

¹ Para cada período de armazenamento, médias seguidas de mesma letra, nas linhas, não diferem entre si pelo teste de t (LSD), ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Em relação ao índice de velocidade da protrusão radicular (IVPR) e à primeira contagem, os efeitos positivos da estratificação sobre os resultados foram observados até os 240 dias de armazenamento, exceto para as sementes oriundas da secagem a 70 °C, as quais apresentaram, para ambas as características, valores estatisticamente iguais quando submetidas ou não à estratificação aos 180 e 240 dias (TABELA 3). O mesmo foi constatado para a primeira contagem das sementes do tratamento 60 °C / 240 dias.

Esses resultados confirmam a presença da dormência fisiológica nas sementes de cártamo, predominante nos primeiros 120 dias de armazenamento, e a eficácia da estratificação a frio na superação imediata da dormência e consequente aumento da velocidade do processo de germinação (TABELA 3). Dessa forma, justifica-se, neste trabalho, o emprego da estratificação a frio para acessar o real potencial fisiológico das sementes diante dos efeitos imediatos e latentes dos tratamentos de secagem.

Para as sementes não submetidas à estratificação a frio, não foi possível diferenciar os efeitos imediatos das temperaturas de secagem sobre a protrusão radicular e IVPR, verificando-se valores médios de $6\pm 2\%$ (FIGURA 3A) e $0,43\pm 0,15$ (FIGURA 3B), respectivamente, ao 0 dia de armazenamento.

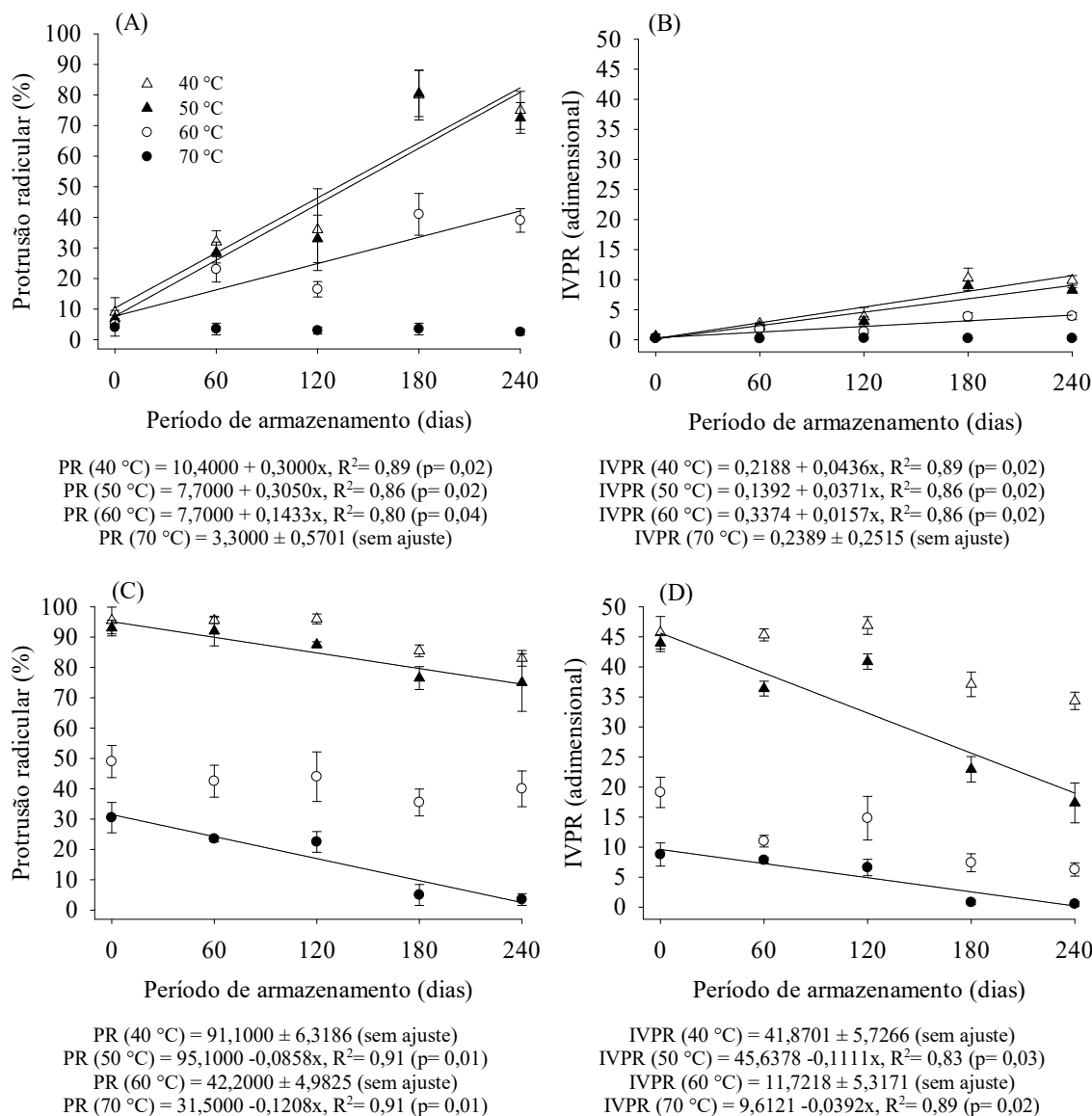


FIGURA 3. Protrusão radicular e índice de velocidade da protrusão radicular - IVPR de sementes de cártamo não estratificadas (A e B) e estratificadas a frio (C e D) em cinco períodos de armazenamento, após secagem inicial em diferentes temperaturas do ar. As barras representam o desvio padrão da média.

Contudo, com a superação natural e gradual da dormência das sementes nos períodos subsequentes de armazenamento, foram verificados valores mais elevados de protrusão radicular e IVPR para as sementes secas a 40 e 50 °C (as quais apresentaram comportamento similar) em relação aos apresentados pelos lotes secos a 60 e 70 °C,

sobretudo a partir dos 120 dias (FIGURAS 3A-B). Os comportamentos dos dados de protrusão radicular e IVPR das sementes secas a 40, 50 e 60 °C foram representados por modelos polinomiais de primeiro grau, não havendo ajuste de regressão para o lote seco a 70 °C.

Reprimindo-se o efeito da dormência fisiológica, mediante a estratificação a frio, observou-se que a aplicação das temperaturas de 60 °C e, sobretudo, 70 °C proporcionou a redução drástica e imediata da protrusão radicular (FIGURA 3C) e do IVPR (FIGURA 3D) das sementes, persistindo baixos valores nos períodos subsequentes de armazenamento.

Por outro lado, os melhores resultados, quando se empregou a estratificação a frio, foram apresentados pelo lote seco a 40 °C, que manteve elevadas porcentagens de protrusão radicular (em média, 96%) e valores de IVPR ($46,0 \pm 0,8$) até os 120 dias de armazenamento, decrescendo gradativamente nos períodos subsequentes (FIGURAS 3C e 3D). Comparado ao lote submetido à secagem a 40 °C, as sementes secas a 50 °C apresentaram declínio mais acentuado da protrusão radicular e, principalmente, do IVPR durante o armazenamento, evidenciando que o incremento de 10 °C na temperatura de secagem foi suficiente para proporcionar danos latentes, principalmente nos aspectos relacionados ao vigor das sementes.

No método de secagem estacionário com fornecimento contínuo de ar aquecido, como o utilizado neste trabalho, as sementes tendem a atingir temperaturas muito próximas às do ar de secagem (BARROZO et al., 2014). Assim, quanto maior a temperatura do ar empregado no processo, maiores são os riscos de desorganização e rompimento de estruturas celulares diversas, de extravasamento de conteúdo citoplasmático e a formação de fissuras internas e externas causadas pela rápida remoção de água interna do produto e aquecimento excessivo da massa (SAATH et al., 2010; BORÉM et al. 2013; DONADON et al., 2013). Quando os danos da secagem atingem estruturas essenciais do embrião, como cotilédones e/ou eixo hipocótilo/radicula, verificam-se atrasos na velocidade de germinação, anormalidades nas plântulas e, em casos mais severos, a morte das sementes (MENEZES et al., 2012; WANG et al., 2017).

Neste trabalho, as maiores taxas de remoção de água ocorreram com o aumento da temperatura do ar de secagem (FIGURA 1), podendo ser um dos fatores responsáveis pelos danos imediatos e latentes à qualidade fisiológica das sementes, constatados pela redução da protrusão radicular e IVPR das sementes secas nas temperaturas superiores a 40 °C, claramente verificados quando empregou-se a

estratificação a frio (sementes não dormentes) (FIGURAS 3C e 3D). Por outro lado, sem a estratificação, tais danos ao processo germinativo só foram revelados com a superação da dormência ao longo dos períodos de armazenamento, sendo que as sementes secas a 40 e 50 °C não se diferiram quanto ao comportamento apresentado durante os 240 dias (FIGURAS 3A e 3B).

Resultados similares aos das sementes não estratificadas (FIGURAS 3A e 3B) foram encontrados por Costa et al. (2012), com sementes de crambe (*Crambe abyssinica*) secas às temperaturas de 35, 45, 60, 75 e 90 °C. Na ocasião, os pesquisadores detectaram diferenças de qualidade fisiológica entre os lotes, devido aos danos de secagem, somente após o terceiro mês de armazenamento, quando houve a redução do nível de dormência dos lotes de sementes.

Não houve ajuste de regressão para a primeira contagem das sementes não estratificadas em relação aos períodos de armazenamento, verificando-se valores abaixo de 5% em todos os períodos, para todas as condições de secagem (FIGURA 4A).

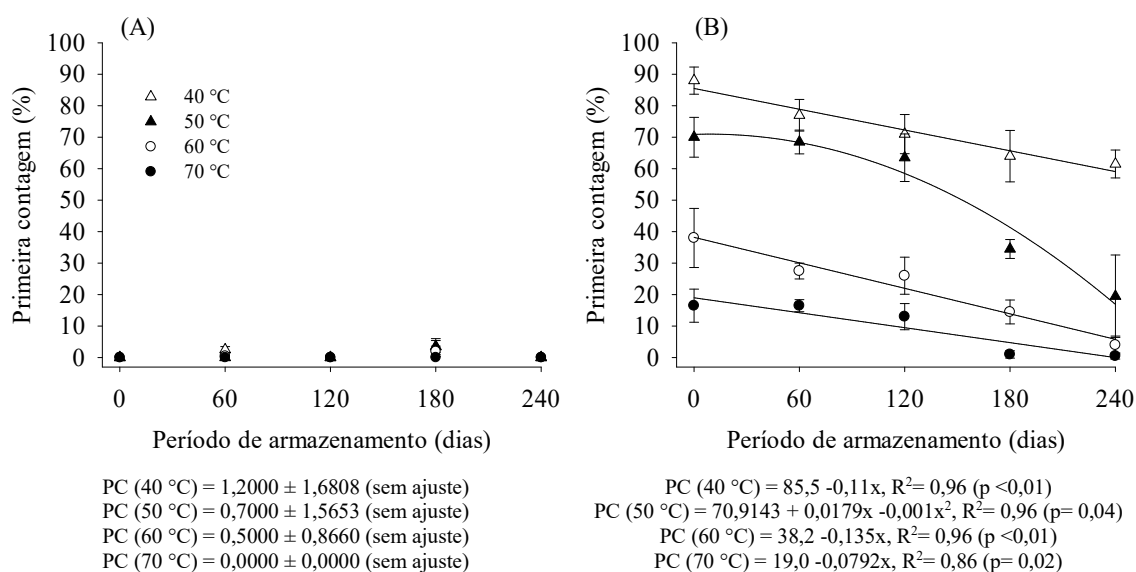


FIGURA 4. Primeira contagem de sementes de cártamo não estratificadas (A) e estratificadas a frio (B) em cinco períodos de armazenamento, após secagem inicial em diferentes temperaturas do ar. As barras representam o desvio padrão da média.

Esses resultados de primeira contagem indicam que houve um atraso na germinação e no desenvolvimento das estruturas essenciais do embrião que determinam a formação das plântulas (FIGURA 4A). Fenômenos, esses, que podem estar associados à maior intensidade da dormência das sementes nos primeiros meses de armazenamento

(FIGURAS 3A e 3B), junto à redução do vigor dessas pelos danos imediatos e latentes proporcionados pelo aumento da temperatura de secagem (FIGURA 3D).

Diferentemente dos resultados verificados para as sementes não estratificadas (FIGURA 4A), constatou-se, com o emprego da estratificação a frio, que o aumento da temperatura de secagem resultou no decréscimo imediato da primeira contagem das sementes, mormente nas secagens a 60 e 70 °C (FIGURA 4B), confirmando, pelo atraso na germinação e formação das plântulas, a perda do vigor das sementes (MARCOS-FILHO, 2015). De modo geral, as sementes secas a 40 °C apresentaram maiores valores na primeira contagem durante o armazenamento, exceto aos 60 e 120 dias, onde não houve diferença em relação aos resultados experimentais obtidos pelas sementes secas a 50 °C. Entre 0 a 240 dias, os valores estimados de primeira contagem variaram de 86 a 59%, 71 a 18%, 38 a 6% e 19 a 0% para as sementes submetidas à secagem às temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C, respectivamente.

Resultados similares aos verificados para as sementes de cártamo, estratificadas a frio (FIGURAS 3C, 3D e 4B), foram encontrados em trabalhos realizados com sementes de pinhão manso (*Jatropha curcas*; ULLMANN et al., 2010), feijão azuki (*Vigna angularis*; RESENDE et al., 2012), sorgo sacarino (*Sorghum bicolor*; ULLMANN et al., 2015), amendoim (*Arachis hypogaea*; SARATH et al., 2016), soja (*Glycine max*; HARTMANN FILHO et al., 2016) e espécies cultivadas e selvagens do gênero *Oryza* (MENEZES et al., 2012; WANG et al., 2017; TIMPLE e HAY, 2018), as quais, quando submetidas à secagem em temperaturas acima da faixa de 40 a 50 °C, apresentaram perda do potencial fisiológico.

Em relação à germinação das sementes não estratificadas (FIGURA 5A), entre 0 a 240 dias de armazenamento houve o aumento linear dos valores apresentados pelos lotes secos a 40 e 50 °C, os quais apresentaram comportamento similar, assim como também observado para a protrusão radicular e IVPR (FIGURAS 3A e 3B). A exceção ocorreu somente aos 60 dias, onde verificou-se valor experimental ligeiramente superior para as sementes secas a 40 °C. Devido aos danos severos ocasionados durante a secagem, evidenciados com a superação natural e gradual da dormência, as sementes não estratificadas secas a 60 °C e, principalmente, 70 °C apresentaram, a partir dos 120 e 60 dias, respectivamente, menor germinação em relação às sementes secas nas menores temperaturas, não havendo ajuste de regressão para essas condições de secagem em relação aos períodos de armazenamento.

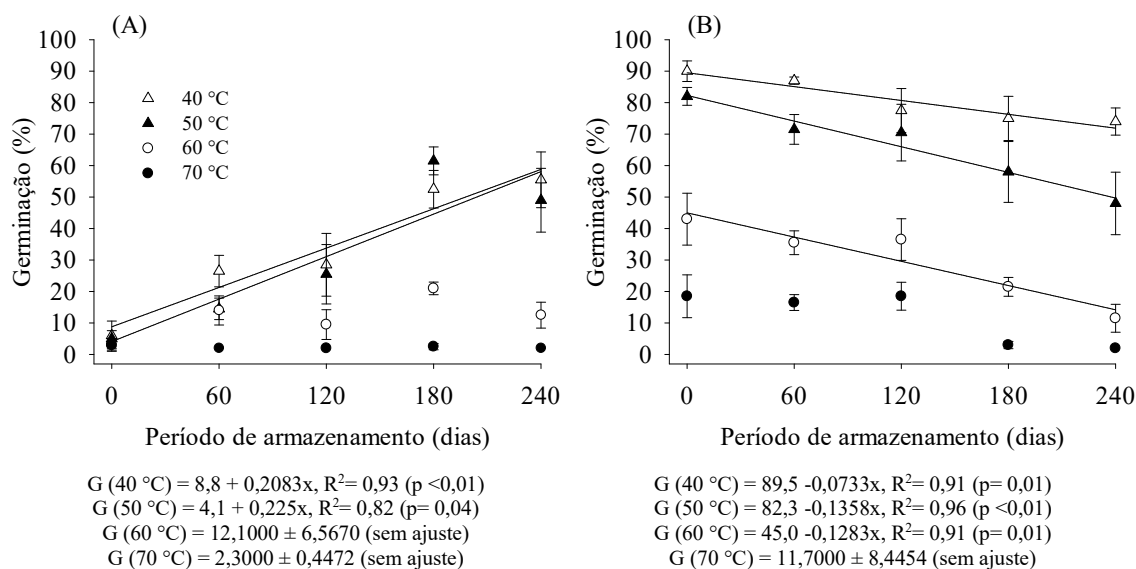


FIGURA 5. Germinação de sementes de cártamo não estratificadas (A) e estratificadas a frio (B) em cinco períodos de armazenamento, após secagem inicial em diferentes temperaturas do ar. As barras representam o desvio padrão da média.

Assim como para a protrusão radicular, IVPR e primeira contagem (FIGURAS 3C, 3D e 4B), o emprego da estratificação a frio possibilitou a compreensão dos efeitos imediatos e latentes dos tratamentos de secagem sobre a real viabilidade das sementes. Com a elevação da temperatura do ar, houve o decréscimo imediato da germinação, ou seja, da capacidade de as sementes originarem plântulas normais, principalmente nas secagens a 60 e 70 °C, sendo constatados, para esses lotes, resultados inferiores a 46 e 20%, respectivamente, desde o primeiro período de armazenamento (FIGURA 5B).

Por outro lado, sementes secas a 40 °C, quando estratificadas, apresentaram valores estimados entre 90 a 81% até os 120 dias de armazenamento, verificando-se ainda 72% de germinação ao final dos 240 dias. Já para o lote seco a 50 °C, os valores reduziram linearmente de 82 a 50%, entre 0 a 240 dias, confirmando o menor potencial fisiológico em relação ao demonstrado pelas sementes secas a 40 °C, embora tivessem apresentado mesmo valor experimental aos 120 dias (FIGURA 5B).

Ressalta-se que, quando não estratificadas, as sementes secas a 40 e 50 °C apresentaram comportamentos fisiológicos similares durante todo o período experimental, diferentemente do que foi observado ao ser empregada a estratificação (FIGURAS 3-5). Nesse contexto, vale destacar a importância do conhecimento a respeito

da fisiologia das sementes, sobretudo aos aspectos da presença de dormência, que podem direcionar ao uso de técnicas adequadas, como a estratificação a frio, para a obtenção de resultados mais confiáveis acerca da viabilidade e vigor das sementes em função dos tratamentos aplicados.

Ademais, constatou-se, ao se empregar a estratificação a frio, que os períodos de armazenamento sob condições não controladas promoveram o declínio da qualidade fisiológica das sementes, embora tenha sido menos acentuado para as sementes secas a 40 °C (FIGURAS 3C, 3D, 4B e 5B). Excluindo-se casos excepcionais, as sementes da maioria das espécies mantêm sua viabilidade indefinidamente, podendo apresentar, após determinado período assintomático, queda repentina do potencial fisiológico durante o armazenamento devido a uma série de processos degenerativos que atuam, com maior ou menor intensidade, conforme a qualidade inicial do lote e condições do armazenamento (WALTERS et al., 2010). Dentre as diversas manifestações fisiológicas da deterioração em sementes armazenadas, evidenciaram-se, para as sementes estratificadas (FIGURAS 3C, 3D, 4B e 5B), reduções da porcentagem e velocidade da protrusão radicular, primeira contagem e germinação.

2.4. CONCLUSÕES

O aumento da temperatura do ar de secagem, entre 40 e 70 °C, propicia uma remoção mais abrupta das moléculas de água contidas no interior das sementes, provocando danos imediatos e latentes à qualidade fisiológica das sementes, sobretudo a partir dos 60 °C. Assim, sugere-se que a temperatura de secagem das sementes de cártamo não exceda 40 °C, especialmente quando essas se apresentarem com teores de água próximos ou superiores a 25,8% no momento da secagem.

2.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL SURMI, N.Y.; EL DENGAWY, R.A.H.; KHALIFA, A.H. Chemical and nutritional aspects of some safflower seed varieties. **Journal of Food Processing & Technology**, v.7, n.5, p.1-5, 2016.
- BAILLY, C. Active oxygen species and antioxidants in seed biology. **Seed Science Research**, v.14, p.93-107, 2004.
- BALLESTEROS, D.; WALTERS, C. Detailed characterization of mechanical properties and molecular mobility with dry seed glasses: relevance to the physiology of dry biological systems. **The Plant Journal**, v.68, p.607-619, 2011.
- BARATI, M.; ZARE, D.; ZOMORODIAN, A. Moisture sorption isotherms and thermodynamic properties of safflower seed using empirical and neural network models. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v.10, n.2, p.236-246, 2016.
- BARROZO, M.A.S.; MUJUMDAR, A.; FREIRE, J.T. Air-drying of seeds: a review. **Drying Technology**, v.32, n.10, p.1127-1141, 2014.
- BOLINGUE, W.; VU, B.L.; LEPRINCE, O.; BUITINK, J. Characterization of dormancy behavior in seeds of the model legume *Medicago truncatula*. **Seed Science Research**, v.20, n.2, p.97-107, 2010.
- BORÉM, F.M.; OLIVEIRA, P.D.; ISQUIERDO, E.P.; GIOMO, G.S.; SAATH, R.; CARDOSO, R.A. Microscopia eletrônica de varredura de grãos de café submetidos a diferentes formas de processamento e secagem. **Coffee Science**, v.8, n.2, p.227-237, 2013.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 395 p.
- CORRÊA, P.C.; MACHADO, P.F.; ANDRADE, E.T. Cinética de secagem e qualidade de grãos de milho-pipoca. **Ciência e Agrotecnologia**, v.25, n.1, p.134-142, 2001.
- 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.6274-6280, 2012.
- DESAI, B.B. **Seeds handbook. Biology, production, processing, and storage**. 2.ed. New York: Marcel Dekker, Inc., 2004. 800 p.
- DOLATABADIAN, A.; SANAVY, S.A.M.M. Effect of the ascorbic acid, pyridoxine and hydrogen peroxide treatments on germination, catalase activity, protein and malondialdehyde content of three oil seeds. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici**, v.36, n.2, p.61-66, 2008.
- DONADON, J.R.; RESENDE, O.; TEIXEIRA, S.P.; SANTOS, J.M.; MORO, F.V. Effect of hot air drying on ultrastructure of crambe seeds. **Drying Technology**, v.31, n.3, p.269-276, 2013.
- EMONGOR, V. Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) the underutilized and neglected crop: a review. **Asian Journal of Plant Sciences**, v.9, n.6, p.299-306, 2010.

- FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011.
- FLEMMER, A.C.; FRANCHINI, M.C.; LINDSTRÖM, L.I. Description of safflower (*Carthamus tinctorius*) phenological growth stages according to the extended BBCH scale. **Annals of Applied Biology**, v.166, n.2, p.331-339, 2015.
- FRANCHINI, M.C.; FLEMMER, A.C.; LINDSTRÖM, L.I.; DAVID, M.A.; FERNANDEZ, P.A. Fruit development of two high oleic safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars. **ΦYTON - Revista Internacional de Botânica Experimental**, v.83, n.2, p.379-388, 2014.
- HARTMANN-FILHO, C.P.; GONELI, A.L.D.; MASETTO, T.E.; MARTINS, E.A.S.; OBA, G.C. Physiological quality of second crop soybean seeds after drying and storage. **African Journal of Agricultural Research**, v.11, n.35, p.3273-3280, 2016.
- JIANG, F.L.; BO, L.P.; XU, J.J.; WU, Z. Changes in respiration and structure of non-heading Chinese cabbage seeds during gradual artificial aging. **Scientia Horticulturae**, v.238, p.14-22, 2018.
- KENENI, Y.G.; HVOSLEF-EIDE, A.K.; MARCHETTI, J.M. Mathematical modelling of the drying of *Jatropha curcas* L. seeds. **Industrial Crops & Products**, v.132, p.12-20, 2019.
- KHALID, N.; KHAN, R.S.; HUSSAIN, M.I.; FAROOQ, M.; AHMAD, A.; AHMED, I. A comprehensive characterization of safflower oil for its potential applications as a bioactive food ingredient - a review. **Trends in Food Science & Technology**, v.66, p.176-186, 2017.
- LAURSEN, R.; MOURI, C. Decomposition and analysis of carthamin in safflower-dyed textiles. **E-Preservation Science**, v.10, p.35-37, 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.
- MAYERHOFER, M.; MAYERHOFER, R.; TOPINKA, D.; CHRISTIANSON, J.; GOOD, A.G. Introgression potential between safflower (*Carthamus tinctorius*) and wild relatives of the genus *Carthamus*. **BMC Plant Biology**, v.11, n.47, p.1-10, 2011.
- MENEZES, N.L.; CICERO, S.M.; VILLELA, F.A.; BORTOLOTTI, R.P. Using X-Rays to evaluate fissures in rice seeds dried artificially. **Revista Brasileira de Sementes**, v.34, n.1, p.70-77, 2012.
- OBA, G.C.; GONELI, A.L.D.; MASETTO, T.E.; HARTMANN-FILHO, C.P.; PATRICIO, V.S.; SARATH, K.L.L. Dormancy of safflower seeds: effect of storage and cold stratification. **Journal of Seed Science**, v.39, n.4, p.433-439, 2017.
- OLIVEIRA, C.V.K.; SANTOS, R.F.; SIQUEIRA, J.A.C.; BARICCATTI, R.A.; LENZ, N.B.G.; CRUZ, G.S.; TOKURA, L.K.; KLAJN, F.F. Chemical characterization of oil and biodiesel from four safflower genotypes. **Industrial Crops & Products**, v.123, p.192-196, 2018.
- RATAJCZAK, E.; MAŁECKA, A.; CIERESZKO, I.; STASZAK, A.M. Mitochondria are important determinants of the aging of seeds. **International Journal of Molecular Sciences**, v.20, n.7, 1568 (p.1-12), 2019.

- RESENDE, O.; ALMEIDA, D.P.; COSTA, L.M.; MENDES, U.C.; SALES, J.F. Adzuki beans (*Vigna angularis*) seed quality under several drying conditions. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.32, n.1, p.151-155, 2012.
- SAATH, R.; BORÉM, F.M.; ALVES, E.; TAVEIRA, J.H.S.; MEDICE, R.; CORADI, P.C. Microscopia eletrônica de varredura do endosperma de café (*Coffea arabica* L.) durante o processo de secagem. **Ciência e Agrotecnologia**, v.34, n.1, p.196-203, 2010.
- SARATH, K.L.L.; GONELI, A.L.D.; HARTMANN-FILHO, C.P.; MASETTO, T.E.; OBA, G.C. Physiological potential of peanut seeds submitted to drying and storage. **Journal of Seed Science**, v.38, n.3, p.233-240, 2016.
- SCARIOT, M.A.; RADÜNZ, L.L.; DIONELLO, R.G.; TONI, J.R.; MOSSI, A.J.; REICHERT JÚNIOR, F.W. Quality of wheat grains harvested with different moisture contents and storage in hermetic and conventional system. **Journal of Stored Products Research**, v.75, p.29-34, 2018.
- SOUZA, L.C.F.; LUIS, A.J.; PILETTI, L.M.M.S. Características agronômicas do milho em função da cultura antecessora em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.15, n.2, p.272-280, 2016.
- TIMPLE, S.E.; HAY, F.R. High-temperature drying of seeds of wild *Oryza* species intended for long-term storage. **Seed Science and Technology**, v.46, n.1, p.107-112, 2018.
- TUTTLE, K.M.; MARTINEZ, S.A.; SCHRAMM, E.C.; TAKEBAYASHI, Y.; SEO, M.; STEBER, C.M. Grain dormancy loss is associated with changes in ABA and GA sensitivity and hormone accumulation in bread wheat, *Triticum aestivum* (L.). **Seed Science Research**, v.25, n.2, p.179-193, 2015.
- ULLMANN, R.; RESENDE, O.; CHAVES, T.H.; OLIVEIRA, D.E.C.; COSTA, L.M. Qualidade fisiológica das sementes de sorgo sacarino submetidas à secagem em diferentes condições de ar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.1, p.64-69, 2015.
- ULLMANN, R.; RESENDE, O.; SALES, J.F.; CHAVES, T.H. Qualidade das sementes de pinhão-mansão submetidas à secagem artificial. **Revista Ciência Agronômica**, v.41, n.3, p.442-447, 2010.
- WALTERS, C. Orthodoxy, recalcitrance and in-between: describing variation in seed storage characteristics using threshold responses to water loss. **Planta**, v.242, n.2, p.397-406, 2015.
- WALTERS, C.; BALLESTEROS, D.; VERTUCCI, V.A. Structural mechanics of seed deterioration: standing the test of time. **Plant Science**, v.179, p.565-573, 2010.
- WANG, P.; LI, D.; WANG, L.J. Drying damage on physiological properties of rice seed associated with ultrastructure changes. **International Journal of Food Engineering**, v.13, n.12, p.1-12, 2017.
- XIA, F.; WANG, X.; LI, M.; MAO, P. Mitochondrial structural and antioxidant system responses to aging in oat (*Avena sativa* L.) seeds with different moisture contents. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.94, p.122-129, 2015.
- XU, Q.; TRUONG, T.T.; BARRERO, J.M.; JACOBSEN, J.V.; HOCART, C.H.; GLUBER, F. A role for jasmonates in the release of dormancy by cold stratification in wheat. **Journal of Experimental Botany**, v.67, n.11, p.3497-3508, 2016.

ZHOU, X.; TANG, L.; XU, Y.; ZHOU, G.; WANG, Z. Towards a better understanding of medicinal uses of *Carthamus tinctorius* L. in traditional chinese medicine: a phytochemical and pharmacological review. **Journal of Ethnopharmacology**, v.151, n.1, p.27-43, 2014.

CAPÍTULO 3

PÓS-MATURAÇÃO E DETERIORAÇÃO DE SEMENTES DE CÁRTAMO DURANTE O ARMAZENAMENTO: EFEITO DO TEOR DE ÁGUA E TEMPERATURA

RESUMO - O teor de água e a temperatura ambiente são importantes agentes reguladores de reações que provocam alterações fisiológicas em sementes armazenadas. Nesta pesquisa, verificou-se o efeito desses dois fatores na dinâmica da pós-maturação e deterioração de sementes de cártamo durante o armazenamento. Lotes de sementes com teores de água iniciais distintos (7,4; 6,1 e 4,7%), obtidos após secagem artificial, foram acondicionados em embalagens permeáveis e não permeáveis (denominados sistemas convencional e hermético, respectivamente) e, posteriormente, armazenados durante 200 dias em ambiente sem controle de temperatura e umidade relativa ($26,2 \pm 2,3$ °C e $46,4 \pm 8,6\%$). Concomitantemente, um lote de sementes com teor de água inicial de 7,4%, acondicionado em embalagem semipermeável, foi mantido em câmara fria ($16,4 \pm 0,8$ °C e $79,7 \pm 9,3\%$). No início do armazenamento e a cada 50 dias, as sementes foram avaliadas quanto ao teor de água e caracteres fisiológicos vinculados à dormência, viabilidade e vigor. A dinâmica da pós-maturação das sementes de cártamo é influenciada pelo teor de água da semente e temperatura ambiente predominante, em que baixas temperaturas de armazenamento retardam o processo, mas não o impede, e, à temperatura média ambiente, próxima a 25 °C, a pós-maturação é favorecida pela manutenção dos teores de água entre 5,0 e 6,0%, desacelerando, dentro da faixa de 4,7 a 8,5%, à medida que se eleva o teor de água. Considerando a adoção de teores de água iniciais entre 4,7 e 7,4%, o emprego de embalagens que não permitem variações bruscas no teor de água possibilita a manutenção da viabilidade e vigor das sementes de cártamo por períodos de até 150-200 dias sob condições ambientais semelhantes às desta pesquisa, com eficiência similar à proporcionada pela baixa temperatura de uma câmara fria. Por outro lado, o aumento sensível do teor de água das sementes, permitido pelo uso de embalagens permeáveis no armazenamento em ambiente não controlado, acelera o processo de deterioração, mesmo o teor de água não excedendo 8,5%.

Palavras-chave: *Carthamus tinctorius* L., dormência fisiológica, embalagem hermética, estratificação a frio, qualidade fisiológica.

3.1. INTRODUÇÃO

Durante o período em que se encontram armazenadas, as sementes, no geral, estão sujeitas a diversas reações físico-químicas capazes de proporcionar modificações em seu estado fisiológico (BALLESTEROS e WALTERS, 2011). Dentre essas alterações, a mais evidente, para sementes não dormentes, é a da perda repentina da viabilidade após determinado período assintomático, como consequência do avanço do processo de deterioração, que é inevitável, progressivo e irreversível (NAGEL e BÖRNER, 2010; WALTERS et al., 2010; WALTERS, 2015; FLEMING et al., 2019).

Atrasos no processo de germinação e no crescimento inicial de plântulas, bem como o aumento das taxas de anormalidades em plântulas e o decréscimo da tolerância das sementes a condições de estresse, constituem outros indicativos da progressão da deterioração (MATTHEWS et al., 2012; MARCOS-FILHO, 2015), podendo, futuramente, comprometer o estabelecimento de estandes (CORBINEAU, 2012).

Essas manifestações fisiológicas da deterioração, em sementes armazenadas, são normalmente precedidas por alterações na atividade normal da respiração mitocondrial e de sistemas antioxidantes, bem como pela degradação de ácidos nucleicos, ácidos graxos poli-insaturados, proteínas e outros compostos. É sabido que muitos desses eventos degenerativos são desencadeados pelo acúmulo descontrolado e atuação de radicais livres e espécies reativas de oxigênio - EROs, que originam-se de processos não enzimáticos ou enzimáticos, por exemplo, via autooxidação de compostos celulares e pela intensificação da atividade metabólica/respiratória, respectivamente (BAILLY, 2004; CORBINEAU, 2012; KUMAR et al., 2015; XIA et al., 2015; SAHU et al., 2017; JIANG et al., 2018; FLEMING et al., 2019; RATAJCZAK et al., 2019).

Outra importante alteração no estado fisiológico, em sementes de determinadas espécies, consiste na superação natural e gradual da dormência fisiológica durante o armazenamento em condições de baixa hidratação das sementes, pelos períodos de "pós-maturação" (BASKIN e BASKIN, 2004; FINCH-SAVAGE e LEUBNER-METZGER, 2006; GRAEBER et al., 2012). Esse fenômeno é determinado, principalmente, pela modificação no balanço hormonal entre substâncias inibidoras e promotoras da germinação, como os ácidos abscísico (ABA) e giberélico (GA), respectivamente, presentes nos tecidos internos e externos das sementes (BOLINGUE et al., 2010; TUTTLE et al., 2015; XU et al., 2016; RODRÍGUEZ et al., 2018).

Curiosamente, é proposto que os mesmos mecanismos oxidativos associados à deterioração, quando mantidos em níveis controlados, também sejam os responsáveis por mediar a pós-maturação (BAILLY, 2004; BAILLY et al., 2008; WEITBRECHT et al., 2011; KUMAR et al., 2015). Aparentemente, algumas substâncias oxidantes, como o peróxido de hidrogênio (H_2O_2), oriundas de processos não enzimáticos e/ou enzimáticos, podem regular a expressão de genes responsáveis pelo catabolismo do ABA e biossíntese do GA (LIU et al., 2010; BASBOUSS-SERHAL et al., 2016), além de exercer importante papel em oxidações seletivas em subconjuntos de ácidos ribonucleicos mensageiros (mRNA) e proteínas específicas (ORACZ et al., 2007; BAZIN et al., 2011b). Acredita-se que esses eventos provocam a alteração no funcionamento celular de sementes dormentes, resultando na sinalização positiva para a liberação da dormência e subsequente germinação (EL-MAAROUF-BOUTEAU et al., 2013).

A cinética das reações físico-químicas que determinam as alterações fisiológicas em sementes armazenadas, como a deterioração e a pós-maturação, são reguladas pelas condições prevalentes de temperatura ambiente e, especialmente, de teor de água das sementes (ORACZ et al., 2007; BALLESTEROS e WALTERS, 2011; BAZIN et al., 2011a, 2011b; WALTERS, 2015; BASBOUSS-SERHAL et al., 2016). Em sementes ortodoxas, a redução do teor de água até níveis geralmente situados entre 3 e 11%, de acordo com a espécie, temperatura e atividade de água no produto, conduz o citoplasma a um estado vítreo (isto é, sólido amorfo e saturado), de baixíssima mobilidade molecular e atividade metabólica inativa, que retarda, mas não impede a deterioração das sementes apesar das fortes restrições de difusão de solutos (WALTERS et al., 2005; BERJAK, 2006; BUITINK e LEPRINCE, 2008).

Mesmo dentro do limiar de segurança, sobretudo acima desse, acréscimos progressivos no teor de água e/ou temperatura provocam a redução gradual da viscosidade do citosol, facilitando e intensificando a difusão de solutos e a ocorrência de reações químicas degenerativas entre moléculas próximas no interior das células, acelerando o processo de deterioração das sementes (BALLESTEROS e WALTERS, 2011; WALTERS, 2015).

Também, em presença suficiente de água e temperatura, a respiração das sementes é intensificada devido a maior facilidade no transporte de elétrons nos mitocôndrios, provocando a formação e acúmulo de compostos tóxicos do metabolismo degenerativo, como as EROs, além do consumo prematuro de substâncias de reserva (BAILLY, 2004; WALTERS, 2015; XIA et al., 2015; JIANG et al., 2018; RATAJCZAK

et al., 2019). Nessas condições, ainda há o favorecimento à atividade de insetos e microrganismos presentes na massa armazenada (BARROZO et al., 2014).

Uma secagem excessiva, por outro lado, além de não incrementar o potencial de armazenamento das sementes, pode resultar na remoção da proteção e perda da integridade estrutural de macromoléculas, facilitando processos de autooxidação e, conseqüente, produção de radicais livres (WALTERS et al., 2005; BERJAK, 2006; BUITINK e LEPRINCE, 2008; ZHANG et al., 2010; BALLESTEROS e WALTERS, 2011; WALTERS, 2015).

Na pós-maturação, as reações que proporcionam esse fenômeno geralmente ocorrem dentro do limiar de umidade de metabolismo reduzido a inativo (WEITBRECHT et al., 2011; GRAEBER et al., 2012), onde as EROs, provenientes da autooxidação de compostos ou da difusão de solutos/transporte de elétrons, supostamente desempenham papel fundamental no desencadeamento e evolução do processo (BAZIN et al., 2011a; BASBOUSS-SERHAL et al., 2016). Ressalta-se que o teor de água considerado ótimo para a ocorrência da pós-maturação pode variar entre espécies e, para uma mesma espécie, conforme a temperatura do ambiente de estocagem e vice-versa (BAZIN et al., 2011a, 2011b; BASBOUSS-SERHAL et al., 2016; RODRÍGUEZ et al., 2018).

No que se refere aos efeitos da temperatura ambiente, resultados obtidos com sementes de girassol (*Helianthus annuus*) revelaram que baixas temperaturas durante o armazenamento podem retardar o processo de pós-maturação, por estimular uma nova biossíntese de ABA durante o processo de embebição. Em contrapartida, temperaturas mais elevadas favorecem a produção do GA e conseqüente superação da dormência (RODRÍGUEZ et al., 2018). Relatos encontrados para sementes de arroz (*Oryza sativa*) apontaram a mesma tendência (MARQUES et al., 2014).

Para as sementes de cártamo (*Carthamus tinctorius* L., Asteraceae), ortodoxas (BARATI et al., 2016) e que apresentam teores consideráveis de proteínas (15 a 16%) e lipídios (23 a 41%), além de um óleo rico em ácidos linoleico (72 a 84%) e oleico (8 a 18%; AL SURMI et al., 2016; KHALID et al., 2017), há relatos de efeitos positivos da redução do teor de água, associada ou não ao emprego de baixas temperaturas de armazenamento, na manutenção da germinação das sementes (BASS e CLARK, 1974; VIJAY e DADLANI, 2003; DESAI, 2004; ZHANG et al., 2010; SINGH et al., 2016). Por outro lado, essas apresentaram-se altamente suscetíveis à perda da viabilidade quando em condições de elevada temperatura e umidade relativa (a saber, 32-40 °C e 70-90%) e, principalmente, quando armazenadas com teores de água superiores a 8%.

Apesar da relevância, nos trabalhos supracitados não foram identificadas quais alterações de vigor precederam ou acompanharam as modificações no padrão de germinação das sementes de cártamo durante o armazenamento nas diferentes condições de teor de água e temperatura. Também, não contemplaram aspectos relacionados aos efeitos desses dois fatores (isto é, teor de água e temperatura) na dinâmica da pós-maturação das sementes de cártamo, fenômeno, esse, já observado no armazenamento em ambiente não controlado (MAYERHOFER et al., 2011; OBA et al., 2017, 2019).

Assim como para o girassol (BAZIN et al., 2011a, 2011b; RODRÍGUEZ et al., 2018), também pertencente à família Asteraceae, supõe-se que o teor de água seja um dos principais fatores que regulam a velocidade das reações que determinam a pós-maturação das sementes de cártamo e que baixas temperaturas durante o armazenamento desaceleram o referido processo. Adicionalmente, acredita-se que a adoção de teores de água mais reduzidos no início do armazenamento, associado à manutenção desses teores em baixos níveis mediante o emprego de embalagens impermeáveis, possa incrementar a eficiência de armazenamento das sementes de cártamo em ambientes não controlados, propiciando resultados de manutenção de qualidade fisiológica comparáveis aos proporcionados pelas baixas temperaturas de uma câmara fria.

Com o objetivo de testar essas hipóteses, avaliaram-se, nesta pesquisa, as alterações fisiológicas, associadas à pós-maturação e deterioração, que ocorrem em sementes de cártamo ao longo de 200 dias de armazenamento em diferentes condições de teor de água, no início e ao longo do armazenamento, e de temperatura ambiente. Tais condições, no total de sete, resultaram da combinação de três teores de água iniciais pós-secagem artificial (7,4; 6,1 e 4,7%) e dois sistemas de acondicionamento de sementes (convencional e hermético), em ambiente sem controle de temperatura e umidade relativa, mais um lote de sementes armazenado em câmara fria, com teor de água inicial de 7,4%.

3.2. MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1. Obtenção do material biológico e preparo das amostras

Foram utilizadas sementes de cártamo produzidas em área experimental localizada nas coordenadas 22°11'51,2" S e 54°55'58,7" W, 460 m, na Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD, Dourados-MS, Brasil. O experimento foi implantado no Laboratório de Pré-Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas e Laboratório de Sementes, enquanto as análises foram realizadas nas dependências do Laboratório de Qualidade de Grãos de Oleaginosas, todos da UFGD.

As sementes foram manualmente colhidas a partir do ponto de maturidade fisiológica, onde os capítulos apresentavam-se com mais de 70% da área das brácteas em senescência (FRANCHINI et al., 2014; FLEMMER et al., 2015). Posteriormente, essas foram debulhadas e beneficiadas manualmente e, então, avaliadas quanto ao teor de água pelo método de estufa, a 105 ± 1 °C, durante 24 horas e em triplicata (BRASIL, 2009).

3.2.2. Secagem, embalagem e armazenamento das sementes

De posse do teor de água inicial do lote ($22,7 \pm 1,3\%$), realizou-se o ajuste do teor das sementes mediante secagem contínua em secador experimental de leito fixo, à temperatura de 40 ± 1 °C (OBA et al., 2019) e velocidade do ar de $0,8 \text{ m s}^{-1}$, interrompendo a secagem quando as sementes atingiram teores de água de 7,4; 6,1 e 4,7%. Imediatamente, realizou-se a coleta de amostras de sementes, em triplicatas de 50 g, para a determinação dos parâmetros fisiológicos iniciais dos três lotes.

Em sequência, as sementes, de acordo com o teor de água inicial pós-secagem, foram subdivididas e acondicionadas em embalagens permeáveis e não permeáveis, denominados sistemas de acondicionamento convencional e hermético, respectivamente. Posteriormente, essas foram mantidas em ambiente de laboratório, sob condições não controladas de temperatura e umidade relativa - UR do ar, ao abrigo de luz e precipitação, durante 200 dias. O monitoramento da temperatura e UR foi realizado diariamente e em horários próximos, com o auxílio de um termo-higrômetro instalado próximo às sementes. A cada 50 dias, a partir da análise inicial, as sementes foram avaliadas quanto ao teor de água (BRASIL, 2009) e caracteres fisiológicos vinculados à pós-maturação e deterioração.

Ressalta-se que, no sistema de acondicionamento convencional, as sementes foram embaladas em envelopes triplos de papel kraft, em três repetições biológicas de 200 g, e, a cada período de avaliação, 50 g de sementes por repetição biológica foram amostradas para a realização dos testes. Para simular o acondicionamento em sistema hermético, 600 g de sementes, por teor de água inicial pós-secagem, foram subdivididas em doze subamostras equivalentes de 50 g, as quais foram individualmente embaladas em sacos duplos de polietileno de baixa densidade - PEBD, expulsando-se o ar interno excedente, e acondicionadas no interior de recipientes de vidro com tampas de plástico rígido, seladas com fita veda-rosca. Para cada três subamostras de 50 g de sementes, por tratamento e período de armazenamento, empregou-se um recipiente de vidro.

Concomitantemente, parte do lote de sementes seco até o teor de água de 7,4%, em triplicatas de 200 g de sementes, foi armazenada em câmara fria, à temperatura de $16,4 \pm 0,8$ °C e UR de $79,7 \pm 9,3\%$, ao abrigo de luz e precipitação, sendo avaliada conforme os mesmos critérios adotados para as outras condições de armazenamento. Nesse caso, as sementes foram acondicionadas em envelopes triplos de papel kraft, com embalagem adicional de saco duplo de PEBD, visando evitar alterações bruscas no teor de água das sementes ao longo do armazenamento devido à alta UR média da câmara fria.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema de parcelas subdivididas no tempo, composto por um fatorial duplo e um tratamento adicional nas parcelas, com três repetições biológicas por tratamento. As parcelas foram constituídas pela interação entre os teores de água iniciais pós-secagem (7,4; 6,1 e 4,7%) e os sistemas de acondicionamento das sementes no ambiente não controlado (convencional e hermético), mais as sementes armazenadas na câmara fria (tratamento adicional). As subparcelas foram representadas pelos períodos de armazenamento (0, 50, 100, 150 e 200 dias).

3.2.3. Efeitos sobre a pós-maturação e germinação das sementes

Inicialmente, as sementes foram pré-condicionadas durante 24 horas em minicâmaras de plástico transparente, à temperatura de 25 °C e UR de 100%, visando evitar danos por rápida embebição em água. Posteriormente, realizou-se a desinfestação através da imersão das sementes em solução de hipoclorito de sódio a 2,5%, por 5 minutos, seguido de enxágue em água corrente.

Em seguida, as sementes foram submetidas ao teste padrão de germinação (BRASIL, 2009), em substratos de papel constituídos de três folhas, previamente

umedecidos com água destilada em volumes correspondentes a 2,5 vezes a massa do papel seco, em três repetições técnicas de 50 sementes por repetição biológica. Os substratos, com as sementes, foram mantidos em câmara de germinação do tipo Mangelsdorf, a 25 °C e sob luz branca constante, durante 14 dias.

Ao quarto e 14º dia, respectivamente, foram determinadas as porcentagens de primeira contagem e germinação, levando-se em consideração a ocorrência de plântulas normais. Também foi determinada a porcentagem de sementes que apresentaram protrusão radicular, mínima de 1,0 mm, no teste de germinação, indiretamente, pela contabilização do número de plântulas normais e anormais ao 14º dia do teste.

3.2.4. Acesso à germinação e vigor das sementes após superação artificial da dormência

Antes de submetê-las à germinação e a cada período de armazenamento, as sementes foram submetidas ao processo de estratificação a frio para a superação artificial da dormência. Para isso, as sementes, já pré-condicionadas e desinfetadas, foram dispostas em substratos de papel umedecido, como no teste padrão de germinação, e mantidas em câmara *Biochemical Oxygen Demand* - B.O.D. por um período de cinco dias à 10 °C, no escuro (OBA et al., 2017).

Para a condução do teste de germinação, após a estratificação, os substratos contendo as sementes, em três repetições técnicas de 50 sementes, foram transferidos para a câmara de germinação Mangelsdorf, permanecendo mais 14 dias a 25 °C, sob luz branca constante (BRASIL, 2009). Os resultados de primeira contagem e germinação foram contabilizados ao quarto e 14º dia, respectivamente, determinando-se, também, a protrusão radicular das sementes até o 14º dia do teste, conforme descrito anteriormente.

No teste de envelhecimento acelerado, sementes secas foram acondicionadas em minicâmaras de plástico transparente e mantidas em câmara B.O.D. à temperatura de 41 °C e UR de 100% durante 48 horas, no escuro (MARCOS-FILHO, 1999). Posteriormente, essas foram desinfetadas, estratificadas a frio durante cinco dias e, finalmente, submetidas ao teste de germinação, em três repetições técnicas de 50 sementes. Ao quarto dia, foi determinada a porcentagem de plântulas normais na primeira contagem.

3.2.5. Procedimento estatístico

Os dados referentes aos caracteres fisiológicos foram submetidos à análise de variância, utilizando-se o programa computacional SISVAR (FERREIRA, 2011),

considerando-se somente a interação entre os teores de água iniciais pós-secagem (7,4; 6,1 e 4,7%), sistemas de acondicionamento no ambiente não controlado (convencional e hermético) e períodos de armazenamento (0, 50, 100, 150 e 200 dias). Após conhecidas as interações existentes entre os fatores, realizou-se a comparação dos resultados com aqueles apresentados pelas sementes armazenadas na câmara fria, com teor de água inicial de 7,4%.

Quando pertinente, dentro de cada período de armazenamento, as médias foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott ou distinguidas pelo teste de Tukey, nas comparações entre sete e três médias, respectivamente, ambos ao nível de 5% de probabilidade de erro. A tendência das médias, em relação aos períodos de armazenamento, foi avaliada por meio da análise de regressão e os modelos foram selecionados com base nos valores do coeficiente de determinação (R^2 , decimal), nível de significância da equação (p_{valor} , decimal) e o conhecimento do fenômeno biológico em estudo.

Adicionalmente, para verificar a intensidade da dormência nos lotes de sementes recém-colhidos e armazenados, bem como a eficácia da estratificação a frio na superação artificial da dormência, confrontaram-se os resultados de protrusão radicular das sementes não estratificadas e estratificadas a frio, dentro de cada nível de condição e período de armazenamento, por meio do teste de t (*Least Significant Difference* - LSD), a 5%, após submissão prévia dos dados à análise de variância.

3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1. A secagem das sementes

Na Figura 1 estão apresentadas as curvas de redução do teor de água das sementes de cártamo durante o processo de secagem, até a obtenção de 7,4; 6,1 e 4,7% de umidade. Os períodos de secagem requeridos para alcançar os referidos valores foram de 3,0; 4,2 e 7,1 horas (h), respectivamente, considerando-se o teor de água médio inicial de $22,7 \pm 1,3\%$.

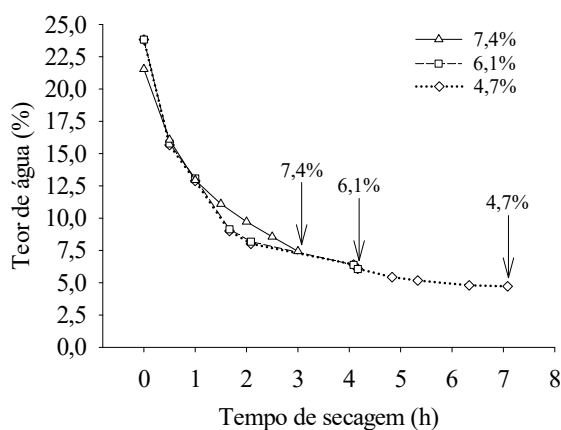


FIGURA 1. Curvas de redução do teor de água das sementes de cártamo ao longo do processo de secagem estacionário e contínuo, à temperatura de 40 ± 1 °C, até a obtenção dos teores de água de 7,4; 6,1 e 4,7%.

Além da necessidade de maior gasto de tempo de secagem para a obtenção de teores de água mais reduzidos, embora as divergências no teor inicial não possam ser desconsideradas, verificou-se que, à medida que se avançou o processo de remoção de água das sementes, mais longos foram os períodos de secagem necessários para se reduzir um percentual semelhante de umidade no produto (FIGURA 1). Tomando-se como exemplo o lote seco até 4,7%, constatou-se, no transcorrer do processo, que o decréscimo do teor de água de 9,0 a 8,0% (diferença de 1,0% de umidade) requereu um período adicional de secagem de 0,42 h, enquanto, de 6,1 para 5,2% (diferença de 0,9%) foi necessária 1,17 h a mais de secagem.

O fenômeno, acima mencionado, pode ser explicado pelo fato de que à medida que a secagem prossegue, sobretudo depois de exaurida a água multicamada, há um aumento exponencial da força de atração entre as moléculas de água e os sítios hidrofílicos de macromoléculas, como proteínas, nas sementes. Nesse contexto,

demanda-se mais energia e tempo para que ocorra o desprendimento e movimentação da água até as camadas mais superficiais das sementes, onde haverá o restabelecimento da diferença de pressão parcial de vapor e consequente retomada da secagem (GONELI et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2010; PESKE e VILELLA, 2012).

3.3.2. Influência das condições de armazenamento na manutenção do teor de água das sementes

Na Figura 2 estão apresentados os dados diários de temperatura e UR do ar do ambiente de armazenamento não controlado. Devido à ausência de controle ambiental, nota-se que houve considerável variação dos valores de ambas as propriedades do ar ao longo dos 200 dias de armazenamento, em que foram registrados valores médio, máximo e mínimo de temperatura de $26,2 \pm 2,3$; $32,0$ e $20,9$ °C e UR de $46,4 \pm 8,6$; $66,0$ e $28,0\%$. Na câmara fria, a temperatura e a UR do ar mantiveram-se entre $15,1$ e $17,5$ °C e 50 e 89% , respectivamente, com valores médios de $16,4 \pm 0,8$ °C e $79,7 \pm 9,3\%$ (dados não apresentados).

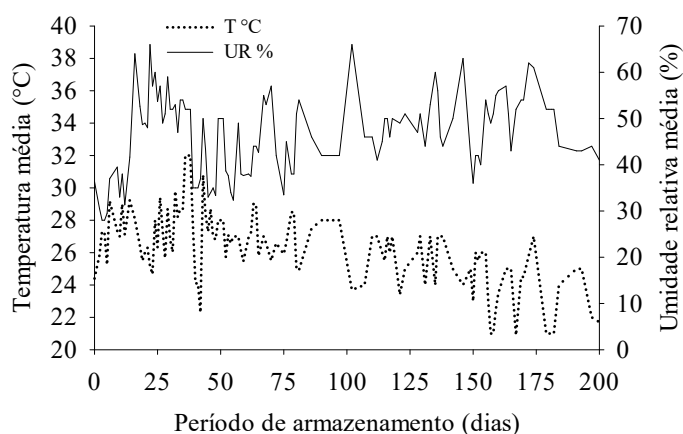


FIGURA 2. Temperatura (T) e umidade relativa (UR) do ar durante o armazenamento das sementes de cártamo, em ambiente não controlado. Dourados-MS.

Devido à higroscopicidade, as sementes estão sujeitas à modificação do teor de água conforme oscilações das propriedades do ar que as envolvem, por processos de dessorção e adsorção de água (GONELI et al., 2016), principalmente quando acondicionadas em embalagens que não oferecem resistência às trocas gasosas (SCARIOT et al., 2018). Para as sementes de cártamo, assim como pode ocorrer com sementes de outras espécies (GONELI et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2010), a uma dada temperatura, o teor de água do produto aumenta à medida que se eleva a UR do ar, enquanto, a uma mesma UR, os valores reduzem com o acréscimo da temperatura e vice-versa (ZHANG et al., 2010; BARATI et al., 2016).

Neste estudo, o acondicionamento das sementes no sistema convencional (envelopes triplos de papel kraft), em ambiente não controlado, permitiu a alteração do teor de água das sementes ao longo dos 200 dias, sobretudo para aquelas armazenadas com os teores de água iniciais (TA_i) de 6,1 e 4,7% (FIGURA 3A). Os referidos lotes apresentaram expressivos incrementos no teor de água entre 0 e 50 dias, alcançando valores próximos ao apresentado pelo lote armazenado com TA_i de 7,4% ($7,2 \pm 0,1\%$, na média dos três lotes aos 50 dias). Ainda houve o aumento generalizado dos teores de água desses lotes nos períodos subsequentes de armazenamento, verificando-se, aos 200 dias, umidade de $8,3 \pm 0,2$; $8,2 \pm 0,1$ e $7,9 \pm 0,1\%$, para as sementes armazenadas com TA_i de 7,4; 6,1 e 4,7%, respectivamente.

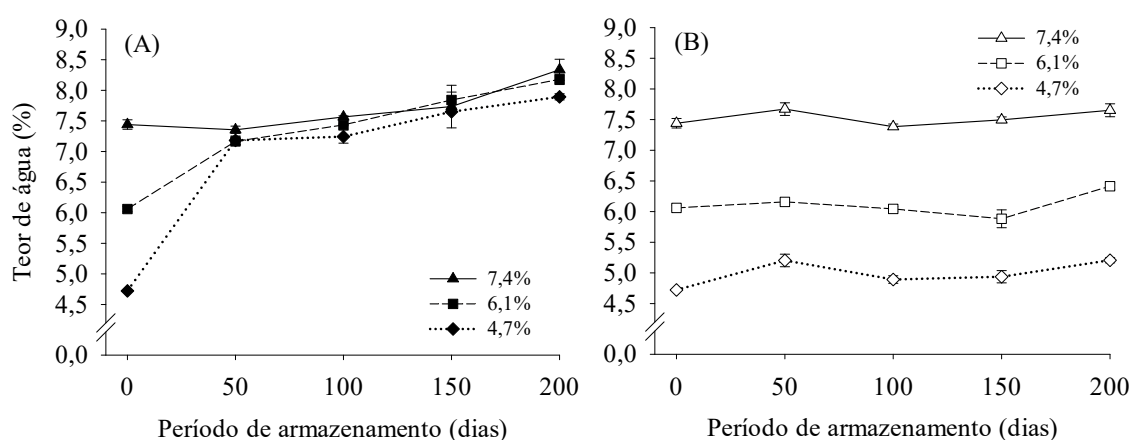


FIGURA 3. Teor de água de sementes de cártamo armazenadas com diferentes teores de água iniciais pós-secagem, nos sistemas convencional (A) e hermético (B), em ambiente não controlado. As barras representam o desvio padrão da média.

Por outro lado, quando armazenadas hermeticamente (sacos duplos de PEBD + recipiente de vidro com fechamento hermético), ainda em ambiente não controlado, as sementes apresentaram, em relação aos respectivos valores iniciais, pouca variação em seus teores de água durante todo o período experimental (FIGURA 3B). Entre 0 a 200 dias, os lotes armazenados hermeticamente com TA_i de 7,4; 6,1 e 4,7% apresentaram valores médios de $7,5 \pm 0,1$; $6,1 \pm 0,2$ e $5,0 \pm 0,2\%$ de umidade, respectivamente, evidenciando a eficiência do sistema adotado na supressão dos efeitos do ar externo às embalagens sobre o teor de água das sementes.

Na câmara fria, o lote de sementes armazenado com TA_i de 7,4% também apresentou baixa oscilação no teor de água ao longo do experimento, verificando-se 7,8; 7,5; 7,8 e 8,1% de umidade aos 50, 100, 150 e 200 dias, respectivamente. A relativa

estabilidade no teor de água dessas sementes pode ser atribuída à constância da temperatura do ar nesse ambiente durante todo o período experimental ($16,4\pm 0,8$ °C) e às características de baixa permeabilidade das embalagens empregadas (envelopes triplos de papel kraft + sacos duplos de PEBD), que conferiram certa resistência às trocas de vapor de água entre as sementes e o ar da câmara fria, mesmo sob UR considerada elevada ($79,7\pm 9,3\%$).

3.3.3. Intensidade da dormência e eficácia da estratificação a frio

Resultados da análise de variância apontaram significância na interação tripla entre as condições de armazenamento, os períodos de armazenamento e o emprego ou não da estratificação a frio sobre os resultados de protrusão radicular, ao nível de 1% de probabilidade de erro (dados não apresentados), indicando a existência de efeito diferencial da estratificação a frio dentro de cada nível de condição e período de armazenamento.

Verificou-se que a utilização da estratificação resultou no aumento significativo da protrusão radicular dos lotes de sementes recém-colhidos e daqueles armazenados até os 50 dias, independentemente do teor de água inicial pós-secagem (TA_i) e da forma que foram acondicionados (TABELA 1).

TABELA 1. Protrusão radicular de sementes de cártamo não estratificadas (NEF) e estratificadas a frio (EF), em cinco períodos de armazenamento sob diferentes condições

Condição de armazenamento	Período de armazenamento (dias)									
	0 ²		50		100		150		200	
	NEF	EF	NEF	EF	NEF	EF	NEF	EF	NEF	EF
Protrusão radicular (%)										
7,4% Conv ³			36B	79A	59B	75A	62B	75A	61B	71A
7,4% Herm ³	32B ¹	74A	38B	81A	65B	78A	69B	80A	74A	75A
7,4% C.F. ⁴			32B	79A	48B	77A	52B	79A	59B	79A
6,1% Conv ³			38B	78A	60B	78A	70B	74A	57B	69A
6,1% Herm ³	30B	76A	61B	82A	83A	79A	84A	77B	78A	81A
4,7% Conv ³			38B	78A	61B	76A	62B	72A	53B	71A
4,7% Herm ³	27B	72A	46B	81A	78A	80A	76A	77A	79A	80A

¹ Para cada período de armazenamento, médias seguidas de mesma letra, nas linhas, não diferem entre si pelo teste de t (LSD), ao nível de 5% de probabilidade de erro; ² refere-se à avaliação inicial dos lotes secos até os teores de água de 7,4; 6,1 e 4,7%, respectivamente; ³ condições resultantes da combinação do teor de água inicial pós-secagem e sistemas de acondicionamento (convencional- Conv e hermético- Herm), no armazenamento em ambiente não controlado; e ⁴ lote de sementes armazenado na câmara fria (C.F.), com teor de água inicial de 7,4%.

Esses efeitos positivos, da estratificação, foram verificados até os 200 dias de armazenamento dos lotes acondicionados no sistema convencional (Conv), em ambiente não controlado, independentemente do TA_i , inclusive para aquele armazenado na câmara fria (7,4% C.F.; TABELA 1).

A emissão da raiz primária, com posterior formação ou não de uma plântula normal, é botanicamente definida como germinação e a ausência desse fenômeno, em condições favoráveis para a germinação de sementes quiescentes, consiste em um indicativo da presença da dormência em sementes viáveis e intactas (FINCH-SAVAGE e LEUBNER-METZGER, 2006; ORACZ et al., 2007; BOLINGUE et al., 2010; TUTTLE et al., 2015; XU et al., 2016). Portanto, os resultados de protrusão radicular encontrados para as sementes armazenadas convencionalmente no ambiente não controlado, independentemente do TA_i , e das sementes da câmara fria indicam que parte das sementes desses lotes mantiveram a característica da dormência durante todo o período experimental (TABELA 1).

Por outro lado, no armazenamento no sistema hermético (Herm), também em ambiente não controlado, não mais se verificou efeito diferencial e positivo da estratificação a partir dos 100 dias para os lotes de sementes armazenados com TA_i de 6,1 e 4,7% (TABELA 1), indicando que a dormência havia sido completamente superada nos primeiros 100 dias. Destaca-se que, aos 150 dias de armazenamento do tratamento TA_i 6,1% Herm, sementes não estratificadas apresentaram protrusão radicular 7% superior àquela alcançada pelas sementes estratificadas, o que pode ser atribuído a um possível efeito deletério da baixa temperatura da estratificação na protrusão radicular das sementes não mais dormentes (ou seja, estresse); entretanto, esse efeito negativo não foi identificado nas sementes do tratamento TA_i 4,7% Herm.

Com relação ao lote de sementes seco até 7,4% e armazenado hermeticamente em ambiente não controlado, houve o aumento dos valores com o emprego da estratificação a frio até os 150 dias de armazenamento, não mais havendo diferença aos 200 dias, provavelmente em razão do encerramento da dormência do lote (TABELA 1). Os resultados apresentados confirmam a presença da dormência nas sementes deste estudo, mais intensa nos lotes recém-colhidos e, de modo geral, naqueles armazenados até os 50 dias, a qual foi gradualmente suprimida no decorrer dos períodos de armazenamento, mediante o fenômeno da pós-maturação (BASKIN e BASKIN, 2004; WEITBRECHT et al., 2011; GRAEBER et al., 2012).

Essa última afirmativa é sustentada pelo fato de que, a partir dos 100 dias de armazenamento, os lotes apresentaram incrementos cada vez menos acentuados na protrusão radicular em resposta à estratificação a frio ou, simplesmente, não mais responderam ao referido tratamento de quebra de dormência (TABELA 1). A intensidade de resposta à estratificação a frio depende do atual nível de dormência populacional, de modo que lotes de sementes em estádios mais avançados de pós-maturação são menos influenciados pelo referido método e vice-versa (BOLINGUE et al., 2010; TUTTLE et al., 2015).

Ainda não estão claramente definidos os mecanismos que desencadeiam a superação da dormência fisiológica durante a embebição a baixas temperaturas; contudo, sabe-se que o processo de estratificação a frio propicia o aumento da sensibilidade ao GA endógeno e a retomada da produção do GA bioativo nas sementes. Adicionalmente, é conhecido que o referido método promove a repressão da biossíntese e a degradação do ABA, possibilitando a germinação sob uma ampla faixa de condições físico-ambientais, antes não permitida pela dormência (FINCH-SAVAGE e LEUBNER-METZGER, 2006; WEITBRECHT et al., 2011; GRAEBER et al., 2012; TUTTLE et al., 2015; XU et al., 2016).

Conforme Su et al. (2016), essas alterações no balanço hormonal ABA:GA, propiciadas pela estratificação a frio, podem estar relacionadas ao acúmulo celular de EROs, como o H_2O_2 e o radical superóxido (O_2^-), os quais atuam na mediação de genes ligados à dormência. Essa teoria é reforçada pelo fato de que o H_2O_2 apresentou estreita relação com a regulação da atividade de genes responsáveis pelo catabolismo do ABA e biossíntese do GA em sementes de *Arabidopsis thaliana* (LIU et al., 2010). Ressalta-se que, tanto o H_2O_2 quanto o GA exógenos, quando presentes na solução de embebição, podem provocar a superação da dormência das sementes de cártamo, conforme foi documentado por Dolatabadian e Sanavy (2008) e Mayerhofer et al. (2011).

Também há relatos de que as EROs e produtos da peroxidação lipídica, como o malondialdeído, gerados e acumulados durante a estratificação a frio, aparentam exercer importante papel na carbonilação (oxidação) de proteínas específicas nas sementes, resultando em sinalização celular positiva para a superação da dormência e início do processo de germinação (SU et al., 2016).

Os resultados disponibilizados na Tabela 1 confirmam a eficácia da estratificação a frio na supressão imediata da dormência das sementes de cártamo, justificando seu uso neste trabalho por permitir o acesso próximo à real qualidade

fisiológica das sementes em resposta aos tratamentos de interesse aplicados, como já verificado em trabalho anterior com o cártamo (OBA et al., 2019).

Para exemplificação, em pesquisa realizada com *Arabidopsis thaliana*, Basbouss-Serhal et al. (2016) também empregaram a estratificação a frio para acessar a viabilidade real de sementes que haviam sido armazenadas sob diferentes combinações de temperatura e UR do ar. Dessa forma, foi constatado que as reduções na germinação de determinados lotes, após as primeiras sete semanas de armazenamento, não estiveram associadas à perda da viabilidade, mas sim à indução da dormência secundária nas sementes em resposta a certas condições de armazenamento impostas.

3.3.4. Efeitos sobre a pós-maturação e germinação das sementes

A protrusão radicular, a primeira contagem e a germinação das sementes não estratificadas a frio foram influenciadas pela interação entre o teor de água inicial pós-secagem (TA_i), o sistema de acondicionamento (SA) e o período de armazenamento (PA), todas ao nível de 1% de probabilidade de erro (TABELA 2).

TABELA 2. Resumo da análise de variância para as características de protrusão radicular (PR), primeira contagem (PC) e germinação (G) das sementes de cártamo em função de diferentes teores de água iniciais pós-secagem (TA_i), sistemas de acondicionamento (SA) e períodos de armazenamento (PA)

FV	GL	F calculado		
		PR	PC	G
TA_i	2	44,1**	27,0**	45,9**
SA	1	410,7**	174,4**	458,6**
TA_i x SA	2	28,5**	33,9**	26,8**
Resíduo (a)	12	-	-	-
PA	4	568,7**	170,8**	609,3**
TA_i x PA	8	7,3**	13,2**	7,5**
SA x PA	4	23,6**	91,8**	29,2**
TA_i x SA x PA	8	3,4**	11,4**	5,5**
Resíduo (b)	48	-	-	-
Total corrigido	89	-	-	-
CV a (%)	-	4,9	25,8	5,3
CV b (%)	-	5,9	19,7	6,0
Média geral	-	55,5	13,7	52,2

** Significativo no teste de F, ao nível 1% de probabilidade de erro; FV: fontes de variação; GL: graus de liberdade; e CV: coeficiente de variação.

Devido à presença da dormência (TABELA 1), as sementes recém-colhidas apresentaram valores reduzidos de protrusão radicular na avaliação inicial (0 dia),

verificando-se $30\pm 2\%$ na média dos lotes secos até os TA_i de 7,4; 6,1 e 4,7% (FIGURA 4). Contudo, houve o aumento desses valores ao longo dos períodos de armazenamento, independentemente das condições impostas aos lotes, em razão da superação natural da dormência pela pós-maturação (BASKIN e BASKIN, 2004; FINCH-SAVAGE e LEUBNER-METZGER, 2006; GRAEBER et al., 2012), já relatada em trabalhos anteriores com o cártamo (MAYERHOFER et al., 2011; OBA et al., 2017, 2019).

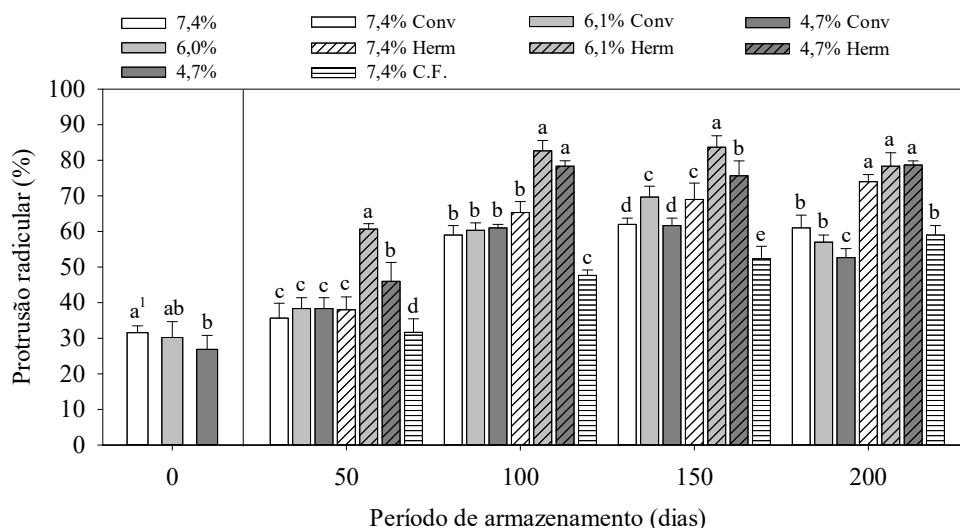


FIGURA 4. Protrusão radicular de sementes de cártamo em função de diferentes condições² e períodos de armazenamento.

¹ Dentro de cada período de armazenamento, médias seguidas de mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey, na avaliação inicial (0 dia), e de Scott-Knott, nos demais períodos de armazenamento, ambos a 5% de probabilidade de erro; ² condições resultantes da combinação do teor de água inicial pós-secagem (7,4; 6,1 e 4,7%) e sistema de acondicionamento das sementes (convencional- Conv e hermético- Herm), no armazenamento em ambiente não controlado, mais lote de sementes seco até o teor de água 7,4% e armazenado na câmara fria (C.F.). As barras representam o desvio padrão da média.

A pós-maturação ocorreu em todos os lotes de sementes armazenados; entretanto, as diferentes condições impostas (ou seja, a interação TA_i x SA) promoveram diferenças quanto à dinâmica da superação da dormência em relação aos períodos de armazenamento (FIGURA 4; TABELA 3). Entre 50 e 150 dias, sementes armazenadas com TA_i de 4,7% e 6,1%, no sistema hermético (Herm) e em ambiente não controlado, apresentaram protrusões radiculares superiores àquelas verificadas para os lotes de sementes submetidos às demais condições de estocagem. Reflexo, esse, dos incrementos mais acentuados de protrusão radicular desses dois lotes nos primeiros 100 dias de armazenamento, os quais, a partir de então, mantiveram valores estáveis até o encerramento do experimento ($79\pm 5\%$, na média).

TABELA 3. Equações de regressão ajustadas aos dados experimentais de protrusão radicular de sementes de cártamo armazenadas em diferentes condições

Condição de armazenamento ¹	Equação de regressão	R ² (decimal)	p _{valor} (decimal)
7,4% Conv	$y = 31,4891 + 30,0228 / (1 + \exp(-(x - 71,5839) / 11,8331))$	0,99	0,0313
6,1% Conv	$y = 51,1111 \pm 16,3069$ (Sem ajuste)	-	-
4,7% Conv	$y = 48,1111 \pm 15,1379$ (Sem ajuste)	-	-
7,4% Herm	$y = 32,4 + 0,2318x$	0,90	0,0149
6,1% Herm	$y = 30,0444 + 0,7673x - 0,0026x^2$	0,99	0,0054
4,7% Herm	$y = 80,6846 / (1 + \exp(-(x - 30,0147) / 35,1049))$	0,96	0,0451
7,4% C.F.	$y = 29,3333 + 0,1511x$	0,93	0,0080

¹ Condições resultantes da combinação do teor de água inicial pós-secagem (7,4; 6,1 e 4,7%) e sistema de acondicionamento das sementes (convencional- Conv e hermético- Herm), no armazenamento em ambiente não controlado, mais lote de sementes seco até o teor de água 7,4% e armazenado na câmara fria (C.F.); x: período de armazenamento, em dias.

Ressalta-se que as sementes armazenadas hermeticamente com TA_i de 7,4% apresentaram, nos primeiros 150 dias, tendência similar àquelas verificadas para os lotes acondicionados no sistema convencional (Conv), ainda no armazenamento em ambiente não controlado (FIGURA 4; TABELA 3). Aos 200 dias, contudo, o referido lote atingiu protrusão radicular estatisticamente igual àquelas apresentadas pelos outros dois lotes armazenados hermeticamente (79±1%, no geral), sendo, essas médias, superiores às encontradas para todos os lotes armazenados convencionalmente e lote armazenado na câmara fria.

No armazenamento no sistema convencional, por sua vez, os lotes de sementes armazenados com TA_i de 7,4; 6,1 e 4,7% apresentaram tendência similar durante todo o período experimental (FIGURA 4), embora tenha sido encontrado ajuste de regressão somente para protrusão radicular das sementes do tratamento TA_i 7,4% Conv (TABELA 3). Aos 0, 50, 100, 150 e 200 dias, verificaram-se, para os lotes supracitados, valores médios experimentais 30±2, 37±2, 60±1, 64±5 e 57±4%, respectivamente, que não se diferiram estatisticamente até os 100 dias.

Ressalta-se que, no sistema convencional, os teores de água dos lotes armazenados com os diferentes TA_i praticamente se igualaram aos 50 dias (7,2±0,1%, na média), atingindo 8,1±0,2% de umidade ao final dos 200 dias (FIGURA 3A). Em contrapartida, os teores de água dos lotes acondicionados hermeticamente mantiveram-se estáveis durante todo o período experimental, em relação aos respectivos teores iniciais (FIGURA 3B). Nesse sentido, parece mesmo haver uma estreita relação entre o teor de água das sementes de cártamo e a manutenção do estado da dormência dessas (FIGURA

4; TABELA 3), neste caso, quando mantidas a uma temperatura média de $26,2 \pm 2,3$ °C (FIGURA 2).

Em relação ao lote de sementes armazenado com TA_i de 7,4%, na câmara fria (C.F.), o qual apresentou teor de água médio de $7,7 \pm 0,3\%$ entre 0 a 200 dias, verificou-se que o processo de pós-maturação ocorreu de forma menos acentuada que no armazenamento em ambiente não controlado, convencional ou hermético, evidenciado pelos menores valores de protrusão radicular apresentados aos 50, 100 e 150 dias de armazenamento (FIGURA 4). Todavia, com tendência linear de aumento (TABELA 3), ao final do experimento (200 dias) o referido lote apresentou protrusão radicular comparável ao do grupo de lotes acondicionados no sistema convencional ($57 \pm 4\%$, na média dos quatro lotes); porém, abaixo das médias alcançadas pelos três lotes armazenados hermeticamente, acerca de 18 ± 3 pontos percentuais inferior.

Os resultados supracitados corroboram a hipótese de que baixas temperaturas durante o armazenamento retardam, mas não impedem, o progresso da pós-maturação em sementes de cártamo (FIGURA 4; TABELA 3). Assim como relatado para o girassol (RODRÍGUEZ et al., 2018), suspeita-se que essas divergências quanto dinâmica da pós-maturação em relação à temperatura de armazenamento, observadas aqui, também estejam relacionadas a diferenças no balanço hormonal ABA:GA nos tecidos das sementes, hipótese a ser testada em trabalhos futuros.

Ainda poderíamos atribuir o retardamento da pós-maturação, em condições de baixa temperatura e, conseqüentemente, de menor mobilidade molecular (WALTERS et al., 2005; BERJAK, 2006; BALLESTEROS e WALTERS, 2011; WALTERS, 2015), à menor intensidade de produção, acúmulo e atuação de EROs nas células? Ressalta-se que essas moléculas oxidantes, segundo a literatura, estão relacionadas a eventos responsáveis pela sinalização positiva para a superação da dormência (BAILLY, 2004; BAILLY et al., 2008; WEITBRECHT et al., 2011; EL-MAAROUF-BOUTEAU et al., 2013; KUMAR et al., 2015), como reações de metabolismo de ABA/GA e oxidações seletivas de proteínas e mRNA (ORACZ et al., 2007; LIU et al., 2010; BAZIN et al., 2011b; BASBOUSS-SERHAL et al., 2016).

No que se refere à relação entre o teor de água e as EROs na superação da dormência, Bazin et al. (2011a) e Basbouss-Serhal et al. (2016) sugeriram, em função do grau de hidratação das sementes, a atuação de mecanismos oxidativos distintos no desencadeamento e evolução da pós-maturação. Sob maior teor de água, a liberação da dormência seria mediada por EROs provenientes da atividade metabólica/respiratória

intensificada; logo, favorecida por temperaturas mais elevadas durante o armazenamento. Por outro lado, em condições de menor ou baixíssimo teor de água, com atividade metabólica/respiratória inativa, a pós-maturação seria sinalizada pela ação de EROs originadas de processos não enzimáticos, principalmente, via autoxidação de compostos celulares, como os lipídios (BAILLY, 2004; BERJAK, 2006; BUITINK e LEPRINCE, 2008; KUMAR et al., 2015).

Ressalta-se que, nesta pesquisa, as sementes armazenadas com TA_i de 4,7% e, especialmente, 6,1%, no sistema hermético e em ambiente não controlado, que mantiveram teores de água médios de $5,0\pm 0,2$ e $6,1\pm 0,2\%$, respectivamente, entre 0 e 200 dias (FIGURA 3), apresentaram incrementos mais acentuados na protrusão radicular que os demais lotes entre 0 e 100 dias (FIGURA 4; TABELA 3), não apresentando mais sinais de dormência a partir de então (TABELA 1). Em contrapartida, nenhum dos três lotes armazenados convencionalmente, ainda no ambiente não controlado, onde os teores de água médios variaram entre $7,2\pm 0,1$ e $8,3\pm 0,2\%$ entre 50 a 200 dias, atingiram a completa superação da dormência até o encerramento do experimento. Um comportamento intermediário foi verificado para o lote de sementes armazenado hermeticamente com TA_i de 7,4%, que manteve teor de água médio de $7,5\pm 0,1\%$ entre 0 e 200 dias.

Baseando-se nas hipóteses de Bazin et al. (2011a) e Basbouss-Serhal et al. (2016), os resultados desta pesquisa sugerem que a pós-maturação das sementes de cártamo, à temperatura ambiente ($26,2\pm 2,3$ °C), pode ter sido mediada pela atuação de mecanismos oxidativos não-enzimáticos, visto que foi favorecida pela manutenção dos teores de água abaixo dos $7,5\pm 0,1\%$, com nível ótimo provavelmente situado entre $5,0\pm 0,2$ e $6,1\pm 0,2\%$ (TABELAS 1 e 3; FIGURA 4).

Corroborando trabalhos anteriores (OBA et al., 2017, 2019), nesta pesquisa, os lotes de sementes de cártamo apresentaram dormência mais intensa quando recém-colhidos, a qual foi gradualmente suprimida pelo fenômeno da pós-maturação, aqui, com significativa influência da temperatura ambiente e do teor de água (TABELAS 1 e 3; FIGURA 4). Levando-se em consideração que a dormência fisiológica é uma característica comum em espécies pertencentes à família Asteraceae (BASKIN e BASKIN, 2004; FINCH-SAVAGE e LEUBNER-METZGER, 2006), supõe-se que as alterações de estado dormente para parcial ou completamente não-dormente observadas nos lotes de cártamo (TABELA 1; FIGURA 4) também estiveram relacionadas às modificações no balanço hormonal ABA:GA durante o armazenamento (TUTTLE et al., 2015; RODRÍGUEZ et al., 2018).

Infelizmente, as prováveis alterações nas expressões de genes responsáveis pela repressão da biossíntese e/ou pelo catabolismo do ABA e indução da biossíntese do GA, assim como as mudanças nos níveis desses hormônios nas sementes, não foram objetos de estudo aqui. Contudo, a hipótese, lançada no parágrafo anterior, é reforçada pelo fato de que a estratificação a frio é capaz suprimir a dormência das sementes dessa espécie (TABELA 1; OBA et al., 2017, 2019), sendo, esse, um método que reconhecidamente promove modificações no metabolismo do ABA/GA durante a embebição a baixas temperaturas (WEITBRECHT et al., 2011; SU et al., 2016; XU et al., 2016).

Na avaliação da primeira contagem, não foram verificadas diferenças expressivas entre os resultados dos diferentes lotes de sementes até os 100 primeiros dias de armazenamento, embora significativas em determinadas comparações, encontrando-se porcentagens situadas entre 5 e 14% (FIGURA 5).

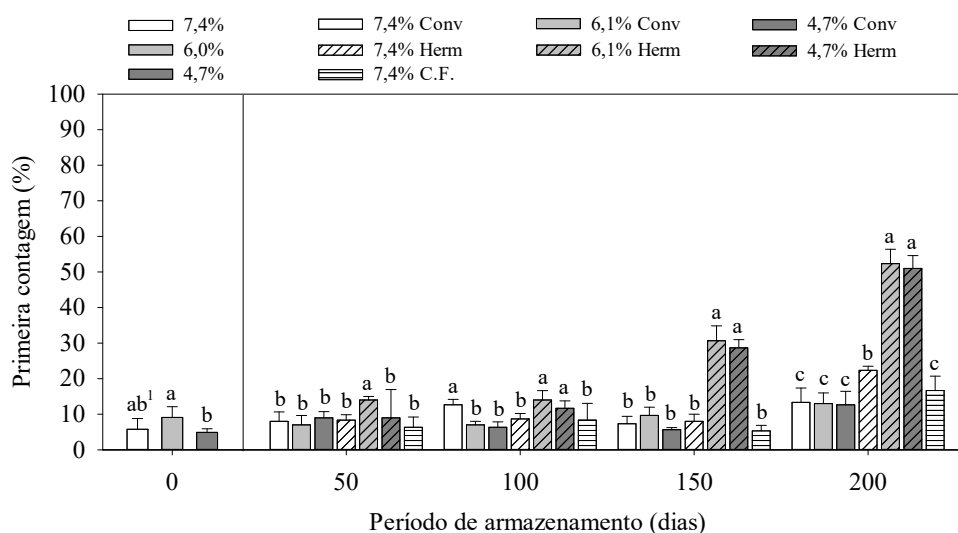


FIGURA 5. Primeira contagem de sementes de cártamo em função de diferentes condições² e períodos de armazenamento.

¹ Dentro de cada período de armazenamento, médias seguidas de mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey, na avaliação inicial (0 dia), e de Scott-Knott, nos demais períodos de armazenamento, ambos a 5% de probabilidade de erro; ² condições resultantes da combinação do teor de água inicial pós-secagem (7,4; 6,1 e 4,7%) e sistema de acondicionamento das sementes (convencional- Conv e hermético- Herm), no armazenamento em ambiente não controlado, mais lote de sementes seco até o teor de água 7,4% e armazenado na câmara fria (C.F.). As barras representam o desvio padrão da média.

Entretanto, os lotes armazenados hermeticamente com TA_i de 6,1% e 4,7%, no ambiente não controlado, se destacaram em relação aos demais lotes em razão do aumento expressivo da primeira contagem a partir dos 100 dias, atingindo valores médios de 30 e 52±2% aos 150 e 200 dias, respectivamente, sem diferença entre os dois

tratamentos nesses dois períodos (FIGURA 5; TABELA 4). No encerramento do experimento (200 dias), os piores desempenhos na primeira contagem foram encontrados para todos lotes armazenados no sistema convencional, no ambiente não controlado, e lote estocado na câmara fria ($14 \pm 2\%$, na média), enquanto as sementes armazenadas hermeticamente com TA_i de 7,4% obtiveram resultado intermediário (22%).

TABELA 4. Equações de regressão ajustadas aos dados experimentais de primeira contagem e germinação de sementes de cártamo armazenadas em diferentes condições

Condição de armazenamento ¹	Equação de regressão	R ² (decimal)	P _{valor} (decimal)
Primeira contagem			
7,4% Conv	$y = 9,4222 \pm 3,3724$ (Sem ajuste)	-	-
6,1% Conv	$y = 9,0032 - 0,0566x + 0,0004x^2$	0,99	0,0124
4,7% Conv	$y = 7,7111 \pm 3,1726$ (Sem ajuste)	-	-
7,4% Herm	$y = 10,6222 \pm 6,6437$ (Sem ajuste)	-	-
6,1% Herm	$y = 10,5746 - 0,0808x + 0,0014x^2$	0,99	0,0201
4,7% Herm	$y = 5,9206 - 0,0664x + 0,0015x^2$	0,99	0,0092
7,4% C.F.	$y = 8,4889 \pm 4,7132$ (Sem ajuste)	-	-
Germinação			
7,4% Conv	$y = 46,2 \pm 14,2216$ (Sem ajuste)	-	-
6,1% Conv	$y = 47,6889 \pm 16,2327$ (Sem ajuste)	-	-
4,7% Conv	$y = 20,2 + 0,5287x - 0,0019x^2$	0,96	0,0455
7,4% Herm	$y = 75,1569 / (1 + \exp(-(x - 36,9414) / 53,4244))$	0,96	0,0451
6,1% Herm	$y = 27,3365 + 0,7914x - 0,0028x^2$	0,99	0,0039
4,7% Herm	$y = 78,4629 / (1 + \exp(-(x - 37,3240) / 31,5973))$	0,96	0,0428
7,4% C.F.	$y = 26,4667 + 0,1507x$	0,93	0,0078

¹ Condições resultantes da combinação do teor de água inicial pós-secagem (7,4; 6,1 e 4,7%) e sistema de acondicionamento das sementes (convencional- Conv e hermético- Herm), no armazenamento em ambiente não controlado, mais lote de sementes seco até o teor de água 7,4% e armazenado na câmara fria (C.F.); x: período de armazenamento, em dias.

Os resultados de primeira contagem demonstram que, além de interferir diretamente sobre a dinâmica da pós-maturação (TABELAS 1 e 3; FIGURA 4), o teor de água no armazenamento, em condições ambientais similares as deste estudo ($26,2 \pm 2,3$ °C e $46,4 \pm 8,6$), ainda poderá exercer efeito indireto sobre a velocidade de germinação das sementes de cártamo, levando-se em consideração a formação de uma plântula normal (FIGURA 5; TABELA 4).

Com relação à germinação das sementes, também se verificaram baixos valores na avaliação inicial, com média ligeiramente inferior para o lote seco até 4,7% ($26 \pm 3\%$, na média geral; FIGURA 6). Esses valores reduzidos de germinação são reflexo da alta incidência de dormência nas sementes que compunham esses lotes ao 0 dia

(TABELA 1; FIGURA 4); entretanto, com a pós-maturação, todos os lotes também apresentaram o aumento da germinação no decorrer dos períodos de armazenamento (FIGURA 6; TABELA 4). Ressalta-se que, somente para os lotes armazenados com TA_i de 7,4 e 6,1%, no sistema convencional e em ambiente não controlado, não foram encontrados ajustes de regressão em relação aos períodos de armazenamento.

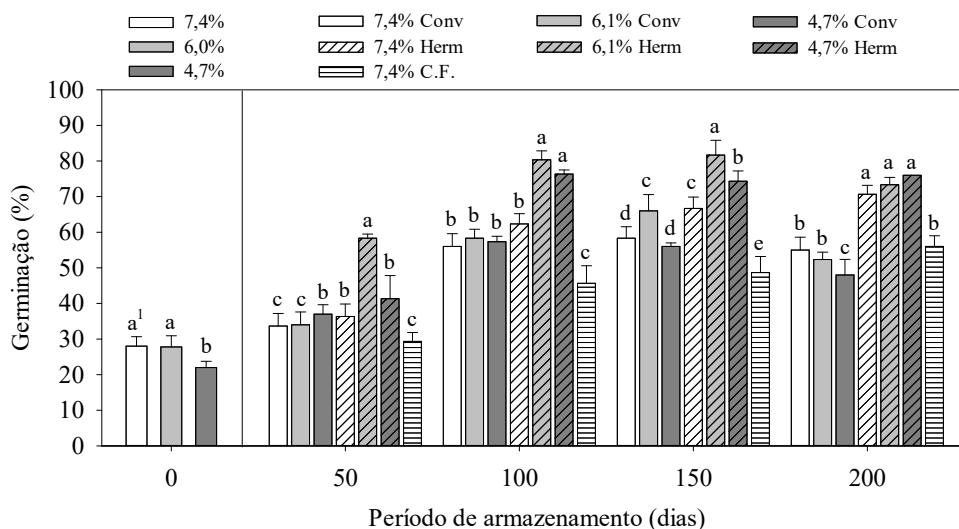


FIGURA 6. Germinação de sementes de cártamo em função de diferentes condições² e períodos de armazenamento.

¹ Dentro de cada período de armazenamento, médias seguidas de mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey, na avaliação inicial (0 dia), e de Scott-Knott, nos demais períodos de armazenamento, ambos a 5% de probabilidade de erro; ² condições resultantes da combinação do teor de água inicial pós-secagem (7,4; 6,1 e 4,7%) e sistema de acondicionamento das sementes (convencional- Conv e hermético- Herm), no armazenamento em ambiente não controlado, mais lote de sementes seco até o teor de água 7,4% e armazenado na câmara fria (C.F.). As barras representam o desvio padrão da média.

Esses incrementos na germinação, assim como para a protrusão radicular (FIGURA 4; TABELA 3), também ocorreram de forma diferencial conforme as condições de armazenamento impostas aos lotes de sementes (FIGURA 6; TABELA 4). Entre 0 e 100 dias, lotes de sementes armazenados hermeticamente com TA_i de 4,7% e, principalmente, 6,1%, em ambiente não controlado, apresentaram acréscimos de germinação com intensidade superior à constatada para os outros lotes, resultando em maiores valores aos 100 e 150 dias ($77 \pm 6\%$, no geral). Nesses mesmos períodos, isto é, 100 e 150 dias, sementes da câmara fria apresentaram os menores resultados ($45 \pm 5\%$), enquanto os demais lotes obtiveram desempenho intermediário ($59 \pm 5\%$, na média).

Ao final do experimento (200 dias) houve clara diferença entre a germinação das sementes em função do sistema de acondicionamento empregado, verificando-se que todos os lotes armazenados hermeticamente, em ambiente não controlado, apresentaram

maior germinação e não diferiram entre si ($74\pm 3\%$, na média; FIGURA 6; TABELA 4). Esses valores foram superiores àqueles expressos pelos lotes armazenados de forma convencional, em ambiente não controlado, e lote estocado na câmara fria, os quais apresentaram desempenho similar nesse período ($53\pm 3\%$, na média).

Os resultados demonstram que, além de promover uma pós-maturação mais rápida e eficiente (TABELAS 1 e 3; FIGURA 4), a preservação dos teores de água dos lotes entre $5,0\pm 0,2$ e $7,5\pm 0,1\%$, mediante acondicionamento hermético, ainda pode garantir a manutenção da viabilidade (germinação) das sementes por pelo menos 150-200 dias de armazenamento (FIGURA 6; TABELA 4), levando-se em consideração condições ambientais similares as desta pesquisa (FIGURA 2). Isso constitui um importante conjunto de informações para o aprimoramento dos programas de pós-colheita das sementes dessa espécie e resultados similares foram relatados por Scariot et al. (2017), no armazenamento de sementes de trigo (*Triticum aestivum*).

Ressalta-se que os acréscimos de germinação, constatados durante o armazenamento nas diferentes condições, ocorreram majoritariamente até os 100-150 dias, exceto para a germinação das sementes da câmara fria, em que incrementos significativos ocorreram até os 200 dias (FIGURA 6; TABELA 4). Posteriormente a isso, houve relativa estabilização ou, para determinadas condições, a redução da germinação entre 150 e 200 dias, como para os lotes armazenados convencionalmente com TA_i de 6,1 e 4,7% e lote acondicionado hermeticamente com TA_i de 6,1%, todos no ambiente não controlado. No caso das sementes do tratamento de TA_i de 6,1% Conv, a redução foi constatada nos valores experimentais, uma vez que não houve ajuste de regressão.

Os resultados supracitados podem estar associados a uma provável redução da viabilidade dos referidos lotes, ocasionada pelo avanço do processo de deterioração devido ao prolongamento do armazenamento (NAGEL e BÖRNER, 2010; WALTERS et al., 2010; MARCOS-FILHO, 2015; BASBOUSS-SERHAL et al., 2016; FLEMING et al., 2019). Conforme reportado por diversos pesquisadores (BAILLY, 2004; WEITBRECHT et al., 2011; GRAEBER et al., 2012; KUMAR et al., 2015), embora propicie a superação natural da dormência, o armazenamento seco prolongado pode resultar na degradação gradual de diversos componentes celulares, como lipídios, proteínas, ácidos nucleicos, membranas e organelas, culminando na perda progressiva do vigor e viabilidade das sementes. Eventos, esses, que se dão em função do acúmulo e atuação das EROs, devido à inatividade de sistemas antioxidantes enzimáticos sob

condições de baixa hidratação, embora antioxidantes não enzimáticos ainda possam estar atuando.

A redução na germinação do lote armazenado hermeticamente com TA_i de 6,1%, identificada entre 150 e 200 dias (de 83 para 74%; FIGURA 6; TABELA 4), ocorreu posteriormente à completa superação da dormência do lote sementes (TABELA 1). Tal comportamento trata-se de um indicativo de que os possíveis mecanismos oxidativos não-enzimáticos, responsáveis pelo desencadeamento e avanço da pós-maturação, passaram ocasionar danos aos componentes celulares dessas sementes, iniciando a deterioração uma vez finalizada a dormência (BAILLY et al., 2008; BASBOUSS-SERHAL et al., 2016).

Para as sementes armazenadas convencionalmente com TA_i de 6,1 e 4,7%, por outro lado, os decréscimos na germinação, verificados entre 150 e 200 dias (de 66 para 52% e 57 a 50%, respectivamente; FIGURA 6; TABELA 4), aconteceram antes que a dormência dos referidos lotes fosse totalmente suprimida (TABELA 1). Acredita-se que isso seja uma consequência do aumento sensível do teor de água dessas sementes entre 0 e 200 dias (de 6,1 a 8,2% e 4,7 a 7,9%, respectivamente; FIGURA 3A), que resultou na aceleração do processo de deterioração.

Ressalta-se que incrementos no teor de água promovem o aumento da mobilidade molecular, facilitando a ocorrência de reações químicas degenerativas no citoplasma (WALTERS et al., 2005; BURJAK, 2006; BUITINK e LEPRINCE, 2008; BALLESTEROS e WALTERS, 2011). O acúmulo descontrolado de EROs e o consumo prematuro de substâncias de reserva, devido à intensificação da atividade respiratória, também constituem efeitos negativos do aumento do teor e atividade de água em sementes armazenadas (BAILLY, 2004; WALTERS, 2015; XIA et al., 2015; JIANG et al., 2018; RATAJCZAK et al., 2019).

Nesse sentido, os resultados de germinação encontrados para os lotes de sementes dos tratamentos TA_i 6,1 e 4,7% Conv (FIGURA 6; TABELA 4) corroboram a teoria da "janela oxidativa" proposta por Bailly et al. (2008). Essa pressupõe que, sob condições estressantes e, conseqüentemente, de elevada produção de EROs, as taxas de pós-maturação em sementes armazenadas podem ser superadas pelas de deterioração, provocando a perda da viabilidade anteriormente à completa liberação da dormência do lote.

Os resultados obtidos aqui permitem sugerir, para armazenamentos de até 150-200 dias, que as sementes de cártamo sejam armazenadas em ambiente com

temperatura próxima a 25 °C e de forma hermética, mantendo-se teores de água próximos a 6,0%, visando-se uma rápida e eficiente pós-maturação, sem maiores prejuízos à viabilidade do material de propagação (TABELAS 1, 3 e 4; FIGURAS 4-6).

3.3.5. Acesso à germinação e vigor das sementes após superação artificial da dormência

Houve interação entre os fatores sistemas de acondicionamento (SA) e períodos de armazenamento (PA) para as características de germinação e primeira contagem, a 1%, ainda verificando-se efeito isolado do teor de água inicial pós-secagem (TA_i) sobre a primeira contagem, ao nível de 1% (TABELA 5). O envelhecimento acelerado foi influenciado pela interação tripla TA_i x SA x PA, a 1%.

TABELA 5. Resumo da análise de variância para os testes de germinação (G), primeira contagem (PC) e envelhecimento acelerado (EA) das sementes de cártamo, estratificadas a frio, em função de diferentes teores de água iniciais pós-secagem (TA_i), sistemas de acondicionamento (SA) e períodos de armazenamento (PA)

FV	GL	F calculado		
		G	PC	EA
TA _i	2	1,5	10,6**	1,0
SA	1	60,1**	44,2**	187,8**
TA _i x SA	2	0,2	1,0	1,3
Resíduo (a)	12	-	-	-
PA	4	19,9**	37,4**	145,9**
TA _i x PA	8	1,2	0,8	3,4**
SA x PA	4	9,3**	6,8**	27,7**
TA _i x SA x PA	8	0,7	0,6	5,2**
Resíduo (b)	48	-	-	-
Total corrigido	89	-	-	-
CV a (%)	-	3,4	3,4	4,9
CV b (%)	-	3,7	3,8	5,0
Média geral	-	73,4	66,4	57,7

** Significativo no teste de F, ao nível 1% de probabilidade de erro; FV: fontes de variação; GL: graus de liberdade; e CV: coeficiente de variação.

Ambos os lotes armazenados em ambiente não controlado, nos sistemas convencional (CONV) e hermético (HERM), e lote armazenado na câmara fria (C.F.) não se diferiram quanto à germinação apresentada na avaliação inicial (0 dia), com média geral de 72% (FIGURA 7A).

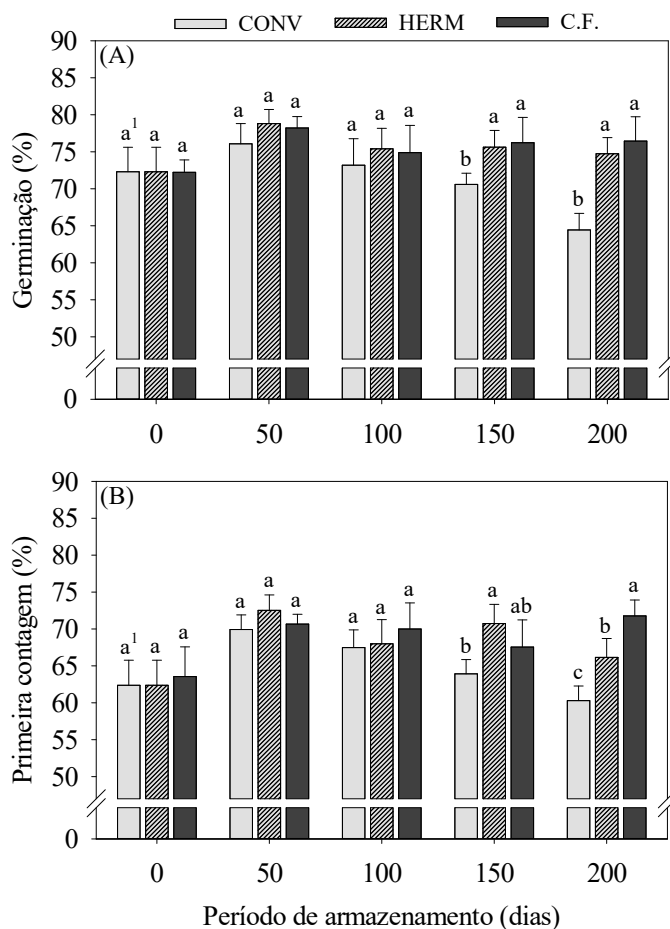


FIGURA 7. Germinação (A) e primeira contagem (B) de sementes de cártamo, estratificadas a frio, em função de diferentes condições² e períodos de armazenamento.

¹ Dentro de cada período de armazenamento, médias seguidas de mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey, a 5%; ² referem-se às médias dos lotes de sementes armazenados em ambiente não controlado nos sistemas convencional (CONV) e hermético (HERM), independentemente do teor de água inicial pós-secagem, juntamente com o lote de sementes seco até o teor de água 7,4% e armazenado na câmara fria (C.F.). As barras representam o desvio padrão da média.

Ressalta-se que houve um ligeiro aumento dos valores experimentais de germinação dos lotes entre 0 e 50 dias, independentemente da condição de armazenamento (FIGURA 7A). Esse fenômeno, similar ao que foi observado para a protrusão radicular (TABELA 1), indica que a estratificação a frio, durante cinco dias a 10 °C, não foi suficiente para suprimir toda a dormência dos lotes de sementes recém-colhidos, dessa forma, afetando a distinção adequada dos efeitos dos tratamentos de interesse na avaliação inicial (0 dia; FIGURA 7A) e o ajuste de regressão dos dados em relação aos períodos de armazenamento (TABELA 6). Considera-se que, neste caso, maiores períodos de estratificação deveriam ter sido aplicados às sementes de cártamo

recém-colhidas, devido a maior intensidade da dormência nesse período (TUTTLE et al., 2015).

TABELA 6. Equações de regressão ajustadas aos dados experimentais de germinação e primeira contagem de sementes de cártamo, estratificadas a frio, armazenadas em diferentes condições

Condição de armazenamento ¹	Equação de regressão	R ² (decimal)	P _{valor} (decimal)
Germinação			
CONV	y= 71,3185 ± 4,3254 (Sem ajuste)	-	-
HERM	y= 75,3778 ± 2,5479 (Sem ajuste)	-	-
C.F.	y= 75,6000 ± 2,2300 (Sem ajuste)	-	-
Primeira contagem			
CONV	y= 64,8000 ± 3,8864 (Sem ajuste)	-	-
HERM	y= 67,9556 ± 4,0440 (Sem ajuste)	-	-
C.F.	y= 68,7111 ± 3,2713 (Sem ajuste)	-	-

¹ Referem-se aos lotes de sementes armazenados em ambiente não controlado nos sistemas convencional (CONV) e hermético (HERM), independentemente do teor de água inicial pós-secagem, juntamente com o lote de sementes seco até o teor de água 7,4% e armazenado na câmara fria (C.F.).

Considerando-se somente o período compreendido entre 50 e 200 dias, notou-se que as sementes armazenadas hermeticamente, em ambiente não controlado (média dos lotes secos até os TA_i de 7,4; 6,1 e 4,7%), mantiveram valores estáveis de germinação durante todo o referido período (76±2%, na média), não se diferindo daqueles apresentados pelo lote armazenado na câmara fria (76±1%, na média; FIGURA 7A).

Por outro lado, no sistema convencional, ainda em ambiente não controlado, as sementes apresentaram declínio da germinação entre os 50 e 200 dias (de 77 a 65%; FIGURA 7A), com tendência linear representada pela equação $y = 80,4444 - 0,0750x$ ($R^2 = 0,95$; $p_{\text{valor}} = 0,0233$). Esse decréscimo resultou, a partir dos 150 dias, em médias significativamente inferiores àquelas observadas para as sementes do sistema hermético e lote da câmara fria. O declínio da germinação ou viabilidade pode estar atrelado ao início da desorganização de membranas celulares, associada a uma reparação metabólica incompleta, bem como à deterioração avançada ou morte de partes dos tecidos de estruturas essenciais, afetando, dessa forma, a formação de plântulas normais (MATTHEWS et al., 2012; MARCOS-FILHO, 2015).

Assim como para a germinação (FIGURA 7A), não houve diferença entre os resultados de primeira contagem na avaliação inicial dos lotes de sementes (62%, na média), ressaltando-se, também, o acréscimo dos valores experimentais entre 0 e 50 dias

(FIGURA 7B) e a ausência de ajuste de regressão dos dados com relação aos períodos de armazenamento (TABELA 6). Considerando-se exclusivamente os resultados obtidos a partir dos 50 dias, verificou-se que as sementes mantidas na câmara fria apresentaram médias estáveis até os 200 dias ($70 \pm 2\%$), o que era de se esperar, visto que baixas temperaturas propiciam menores chances de reações químicas degenerativas ocorrerem nas sementes, por mantê-las em um estado de menor atividade metabólica e respiratória (WALTERS et al., 2005; BERJAK, 2006; BALLESTEROS e WALTERS, 2011; WALTERS, 2015).

Sob condições não controladas, as sementes armazenadas hermeticamente obtiveram médias de primeira contagem estatisticamente iguais às da câmara fria até os 150 dias; entretanto, ao final do experimento (200 dias), apresentaram desempenho inferior ao da câmara fria, quase seis pontos percentuais (em valores experimentais; FIGURA 7B), sendo um indício de um possível início da perda do vigor dessas sementes (MATTHEWS et al., 2012; MARCOS-FILHO, 2015).

Seguindo a mesma tendência constatada na germinação (FIGURA 7A), o armazenamento das sementes no sistema convencional propiciou o declínio linear da primeira contagem entre os 50 e 200 dias (de 70 a 61%, representado por $y = 73,5185 - 0,0649x$, $R^2 = 0,99$; $p_{\text{valor}}: 0,0038$), resultando, ao final do período experimental, em pior desempenho quando comparado aos apresentados pelas sementes do sistema hermético e, principalmente, da câmara fria (FIGURA 7B). O decréscimo da primeira contagem, isto é, da velocidade de germinação, é uma das primeiras manifestações fisiológicas da deterioração em sementes. Esse evento degenerativo está relacionado ao maior período necessário para a ativação de mecanismos de reparação metabólica durante a fase II do processo germinativo (período-lag) e menor eficiência na mobilização de reservas para as regiões de metabolismo ativo do eixo embrionário (MATTHEWS et al., 2012; MARCOS-FILHO, 2015).

Quanto ao efeito isolado do teor de água inicial pós-secagem na primeira contagem das sementes, em que cada valor representa a média geral dos sistemas de acondicionamento e períodos de armazenamento, verificou-se que as sementes armazenadas com TA_i de 4,7% apresentaram resultado ligeiramente inferior, entretanto significativo, em relação àqueles dos lotes com TA_i de 7,4 e 6,1% (TABELA 7). Todavia, somente com esses resultados, com diferença pouco expressiva, é impossível afirmar se a secagem até o teor de água de 4,7% afetou, de fato, o vigor das sementes.

TABELA 7. Primeira contagem de sementes de cártamo, estratificadas a frio, armazenadas durante 200 dias, em ambiente não controlado, com diferentes teores de água iniciais pós-secagem (TA_i)

TA_i (%)		
7,4	6,1	4,7
Primeira contagem (%)		
67A ¹	67A	65B

¹ Médias seguidas de mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey, a 5%.

Foi verificado que o armazenamento no sistema hermético, mesmo sob condições não controladas de temperatura e umidade relativa e independentemente do TA_i , propiciou a manutenção da qualidade fisiológica das sementes de cártamo ao longo dos 200 dias, com desempenho similar ao obtido no armazenamento na câmara fria (FIGURA 7). Por outro lado, quando armazenadas convencionalmente, também em ambiente não controlado, as sementes apresentaram significativa redução da germinação e primeira contagem entre os 50 e 200 dias. Assim como para a pós-maturação (TABELAS 1 e 3; FIGURA 4), acredita-se que essas discrepâncias na manutenção da germinação e primeira contagem das sementes armazenadas nos sistemas convencional e hermético, a temperatura e umidade relativa média de $26,2 \pm 2,3$ °C e $46,4 \pm 8,6\%$, respectivamente (FIGURA 2), também estiveram associadas às diferenças no teor de água das sementes ao longo dos 200 dias de armazenamento.

Novamente ressalta-se que no sistema hermético, essas sementes mantiveram estáveis seus teores de água durante todo o período experimental ($7,5 \pm 0,1$; $6,1 \pm 0,2$ e $5,0 \pm 0,2\%$, para os lotes armazenados com TA_i de 7,4; 6,1 e 4,7%, respectivamente); entretanto, no convencional, os teores de água dos três lotes praticamente se igualaram aos 50 dias ($7,2 \pm 0,1\%$, na média), seguido de ligeiro aumento generalizado até os 200 dias ($8,1 \pm 0,2\%$, na média; FIGURA 3). Pode ser que esse aumento no teor de água das sementes armazenadas convencionalmente, ainda que mantido abaixo de 8,6%, provocou a redução da viscosidade citoplasmática, o suficiente para facilitar a difusão de solutos e a ocorrência de reações químicas deletérias entre os constituintes celulares (BALLESTEROS e WALTERS, 2011), acelerando a deterioração das sementes (FIGURA 7).

Também não se pode descartar um possível acréscimo na atividade respiratória das sementes armazenadas convencionalmente, em razão do aumento do teor e atividade de água, que pode ter provocado o consumo prematuro de substâncias de

reserva e, principalmente, o acúmulo de compostos tóxicos do metabolismo degenerativo nas células (BAILLY, 2004; WALTERS, 2015; XIA et al., 2015; JIANG et al., 2018; RATAJCZAK et al., 2019). Conforme sugeriram Bailly et al. (2008), o acúmulo descontrolado de EROs (como o H_2O_2 , O_2^- e radical hidroxila - OH), especialmente durante o armazenamento sob condições estressantes, provoca o declínio da eficiência de sistemas antioxidantes, assim como a degradação de importantes biomoléculas, como lipídios, açúcares, proteínas e ácidos nucleicos, mais intensamente após a embebição das sementes, justificando perdas acentuadas de germinação e vigor em determinados lotes após períodos de armazenamento relativamente curtos.

Em contrapartida, supõe-se que a relativa estabilidade no teor de água proporcionada pelo sistema hermético, de acordo com o TA_i de cada lote e nunca excedendo 7,8% (FIGURA 3B), impediu que ocorressem alterações sensíveis no estado de repouso metabólico das sementes de cártamo durante todo o período experimental, minimizando-se as taxas de deterioração (WALTERS et al., 2005; BERJAK, 2006; BUITINK e LEPRINCE, 2008). Isso possibilitou que as sementes acondicionadas hermeticamente ainda mantivessem, mesmo após 200 dias de armazenamento com temperaturas variando entre 20,9 e 32,0 °C (FIGURA 2), germinação média de 75% (FIGURA 7A), não se diferindo daquela apresentada pelas sementes armazenadas na câmara fria (76%), onde a temperatura se manteve entre 15,1 e 17,5 °C e o teor de água médio oscilou entre 7,4 e 8,1%.

Os resultados de germinação e primeira contagem das sementes estratificadas a frio (FIGURA 7) apoiam, em parte, a hipótese inicial de que o armazenamento hermético, mesmo sob condições não controladas, pode propiciar a manutenção da qualidade fisiológica das sementes de cártamo com eficiência similar à estocagem em uma câmara fria. Contudo, a adoção de teores de água mais reduzidos no início e durante o armazenamento hermético, considerando-se os teores médios de $7,5 \pm 0,1$; $6,1 \pm 0,2$ e $5,0 \pm 0,2\%$ (FIGURA 3B), não resultou em diferenças positivas quanto à porcentagem e velocidade de germinação das sementes, como esperava-se.

Esses resultados (FIGURA 7) apontam que, desde que mantidos os teores de água das sementes de cártamo na faixa de $7,5 \pm 0,1$ a $5,0 \pm 0,2\%$, possíveis gastos com a implantação e manutenção de ambientes refrigerados em unidades armazenadoras, aparentemente, podem ser dispensados em prol de investimentos em embalagens que ofereçam bom grau de resistência às trocas de vapor de água com o ar ambiente. Para

reforçar essa hipótese, também se avaliou o desempenho fisiológico dessas sementes quando submetidas ao teste de envelhecimento acelerado.

A secagem até os diferentes níveis de TA_i (7,4; 6,1 e 4,7%) promoveu diferenças significativas, porém pouco expressivas, sobre os resultados de envelhecimento acelerado na avaliação inicial ($47 \pm 2\%$, na média; FIGURA 8). Assim como constatado para a germinação e primeira contagem das sementes estratificadas a frio (FIGURA 7), houve o aumento dos valores experimentais entre os 0 e 50 dias, para todas as condições de armazenamento, também comprometendo o ajuste de regressão das médias em relação aos períodos de armazenamento (TABELA 8).

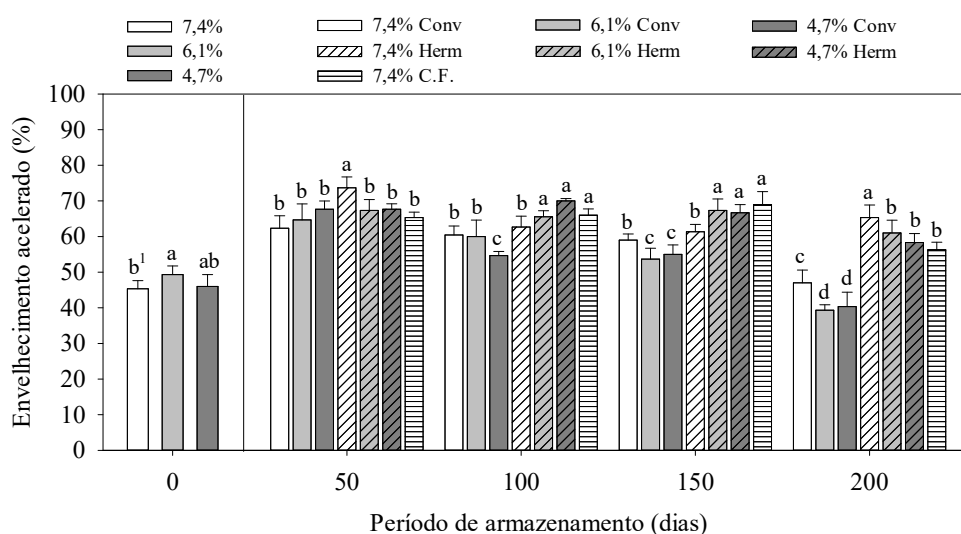


FIGURA 8. Resultados de envelhecimento acelerado para as sementes de cártamo, estratificadas a frio, em função de diferentes condições² e períodos de armazenamento.

¹ Dentro de cada período de armazenamento, médias seguidas de mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey, na avaliação inicial (0 dia), e de Scott-Knott, nos demais períodos de armazenamento, ambos a 5% de probabilidade de erro; ² condições resultantes da combinação do teor de água inicial pós-secagem (7,4; 6,1 e 4,7%) e sistema de acondicionamento das sementes (convencional- Conv e hermético- Herm), no armazenamento em ambiente não controlado, mais lote de sementes seco até o teor de água 7,4% e armazenado na câmara fria (C.F.). As barras representam o desvio padrão da média.

TABELA 8. Equações de regressão ajustadas aos dados experimentais de envelhecimento acelerado de sementes de cártamo, estratificadas a frio, armazenadas em diferentes condições

Condição de armazenamento ¹	Equação de regressão	R ² (decimal)	p _{valor} (decimal)
7,4% Conv	y= 54,8222 ± 8,0110 (Sem ajuste)	-	-
6,1% Conv	y= 53,4000 ± 9,8105 (Sem ajuste)	-	-
4,7% Conv	y= 52,7333 ± 10,3800 (Sem ajuste)	-	-
7,4% Herm	y= 61,6667 ± 10,3118 (Sem ajuste)	-	-
6,1% Herm	y= 62,1111 ± 7,5979 (Sem ajuste)	-	-
4,7% Herm	y= 61,7333 ± 9,8359 (Sem ajuste)	-	-
7,4% C.F.	y= 60,4000 ± 9,6592 (Sem ajuste)	-	-

¹ Condições resultantes da combinação do teor de água inicial pós-secagem (7,4; 6,1 e 4,7%) e sistema de acondicionamento das sementes (convencional- Conv e hermético- Herm), no armazenamento em ambiente não controlado, mais lote de sementes seco até o teor de água 7,4% e armazenado em câmara fria (C.F.); x: período de armazenamento, em dias.

Levando-se em consideração os eventos fisiológicos ocorridos entre 50 e 200 dias, se constatou uma clara tendência de declínio nos resultados de envelhecimento acelerado apresentados pelo lote armazenado convencionalmente com TA_i de 6,1%, em ambiente não controlado (67 a 42%; FIGURA 8), com tendência linear representada por $y = 75,0000 - 0,1647x$ ($R^2 = 0,93$; $p_{\text{valor}} = 0,0354$). Para os lotes armazenados com TA_i de 7,4 e 4,7%, ainda no sistema convencional, verificaram-se decréscimos mais expressivos nos valores experimentais entre os 150 e 200 dias, decaindo de 59 para 47% e de 55 a 40%, respectivamente, sem ajuste de regressão.

Essas reduções, acima mencionadas, fizeram com que todos os lotes armazenados convencionalmente apresentassem, ao final do período experimental (200 dias), os piores desempenhos no envelhecimento acelerado ($43 \pm 3\%$, na média; FIGURA 8), revelando a menor tolerância dessas sementes às condições desfavoráveis de temperatura (41 °C) e UR (100%) impostas pelo teste, em razão do maior nível de deterioração e, conseqüentemente, menor vigor (MATTHEWS et al., 2012; MARCOS-FILHO, 2015; MATERA et al., 2019).

Por outro lado, todos os lotes armazenados no sistema hermético, também em ambiente não controlado, e lote de sementes da câmara fria mantiveram resultados de envelhecimento acelerado relativamente estáveis e similares entre 50 e 150 dias ($67 \pm 3\%$, na média), verificando-se ainda valor médio de $60 \pm 4\%$ mesmo após 200 dias (FIGURA 8), apoiando os resultados de germinação e primeira contagem (FIGURA 7).

Os resultados encontrados para a germinação, primeira contagem e envelhecimento acelerado, das sementes estratificadas a frio (FIGURAS 7 e 8), permitem

afirmar que o armazenamento no sistema convencional, sob condições ambientais similares as deste estudo ($26,2 \pm 2,3$ °C e $46,4 \pm 8,6\%$ UR; FIGURA 2), com consequente aumento dos teores de água (FIGURA 3), acelera a perda da viabilidade e vigor das sementes de cártamo. Em contrapartida, nessas mesmas condições ambientais, adotando-se teores de água iniciais na faixa de $4,7-7,4\%$, o processo de deterioração dessas sementes, no aspecto fisiológico, pode ser minimizado ao se evitar alterações bruscas no teor de água utilizando-se embalagens impermeáveis. Nas condições supracitadas, as sementes de cártamo podem manter a qualidade fisiológica por até 150-200 dias de armazenamento, com eficiência similar à obtida em uma câmara fria, a $16,4 \pm 0,8$ °C e UR de $79,7 \pm 9,3\%$.

Com base na análise conjunta dos resultados apresentados nesta pesquisa (TABELAS 1, 3 e 4; FIGURAS 4-8), sugere-se, para armazenamentos de até 150-200 dias, sob condições ambientais similares às do presente estudo, o armazenamento das sementes de cártamo com teores de água próximos a $6,0\%$, em embalagens herméticas, à temperatura média de 25 °C, objetivando-se uma rápida e eficiente pós-maturação e o retardamento do processo de deterioração.

3.4. CONCLUSÕES

A dinâmica da pós-maturação das sementes de cártamo é influenciada pelo teor de água da semente e temperatura ambiente predominante durante o armazenamento, em que baixas temperaturas retardam o processo, mas não o impede. À temperatura média ambiente, próxima a 25 °C, a pós-maturação das sementes é favorecida pela manutenção dos teores de água entre 5,0 e 6,0%, desacelerando, dentro da faixa de 4,7 a 8,5%, à medida que se eleva o teor de água.

Considerando a adoção de teores de água iniciais entre 4,7 e 7,4%, o emprego de embalagens que não permitem variações bruscas no teor de água possibilita a manutenção da viabilidade e vigor das sementes de cártamo por períodos de armazenamento de até 150-200 dias sob condições ambientais semelhantes às desta pesquisa, com eficiência similar à proporcionada pela baixa temperatura de uma câmara fria. Por outro lado, o aumento sensível do teor de água das sementes, permitido pelo uso de embalagens permeáveis no armazenamento em ambiente não controlado, acelera o processo de deterioração, mesmo o teor de água não excedendo 8,5%.

3.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL SURMI, N.Y.; EL DENGAWY, R.A.H.; KHALIFA, A.H. Chemical and nutritional aspects of some safflower seed varieties. **Journal of Food Processing & Technology**, v.7, n.5, p.1-5, 2016.
- BAILLY, C. Active oxygen species and antioxidants in seed biology. **Seed Science Research**, v.14, p.93-107, 2004.
- BAILLY, C.; EL-MAAROUF-BOUTEAU, H.; CORBINEAU, F. From intracellular signaling networks to cell death: the dual role of reactive oxygen species in seed physiology. **Comptes Rendus Biologies**, v.331, p.806-814, 2008.
- BALLESTEROS, D.; WALTERS, C. Detailed characterization of mechanical properties and molecular mobility with dry seed glasses: relevance to the physiology of dry biological systems. **The Plant Journal**, v.68, p.607-619, 2011.
- BARATI, M.; ZARE, D.; ZOMORODIAN, A. Moisture sorption isotherms and thermodynamic properties of safflower seed using empirical and neural network models. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v.10, n.2, p.236-246, 2016.
- BARROZO, M.A.S.; MUJUMDAR, A.; FREIRE, J.T. Air-drying of seeds: a review. **Drying technology**, v.32, n.10, p.1127-1141, 2014.
- BASBOUSS-SERHAL, I.; LEYMARIE, J.; BAILLY, C. Fluctuation of Arabidopsis seed dormancy with relative humidity and temperature during drying storage. **Journal of Experimental Botany**, v.67, n.1, p.119-130, 2016.
- BASKIN, J.M.; BASKIN, C.C. A classification system for seed dormancy. **Seed Science Research**, v.14, n.1, p.1-16, 2004.
- BASS, L.N.; CLARK, D.C. Effects of storage conditions, packaging materials, and seed moisture content on longevity of safflower seeds. **Proceedings of the Association of Official Seed Analysts**, v.64, p.120-128, 1974.
- BAZIN, J.; BATLLA, D.; DUSSERT, S.; EL-MAAROUF-BOUTEAU, H.; BAILLY, C. Role of relative humidity, temperature, and water status in dormancy alleviation of sunflower seeds during dry after-ripening. **Journal of Experimental Botany**, v.62, n.2, p.627-640, 2011a.
- BAZIN, J.; LANGLADE, N.; VINCOURT, P.; ARRIBAT, S.; BALZERGUE, S.; EL-MAAROUF-BOUTEAU, H.; BAILLY, C. Targeted mRNA oxidation regulates sunflower seed dormancy alleviation during dry after-ripening. **The Plant Cell**, v.23, p.2196-2208, 2011b.
- BERJAK, P. Unifying perspectives of some mechanisms basic to desiccation tolerance across life forms. **Seed Science Research**, v.16, p.1-15, 2006.
- BOLINGUE, W.; VU, B.L.; LEPRINCE, O.; BUITINK, J. Characterization of dormancy behavior in seeds of the model legume *Medicago truncatula*. **Seed Science Research**, v.20, n.2, p.97-107, 2010.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 395 p.

BUITINK, J.; LEPRINCE, O. Intracellular glasses and seed survival in the dry state. **Comptes Rendus Biologies**, v.331, p.788-795, 2008.

CORBINEAU, F. Markers of seed quality: from present to future. **Seed Science Research**, v.22, supl. 1, p.61-68, 2012.

DESAI, B.B. **Seeds handbook. Biology, production, processing, and storage**. 2.ed. New York: Marcel Dekker, Inc., 2004. 800 p.

DOLATABADIAN, A.; SANAVY, S.A.M.M. Effect of the ascorbic acid, pyridoxine and hydrogen peroxide treatments on germination, catalase activity, protein and malondialdehyde content of three oil seeds. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici**, v.36, n.2, p.61-66, 2008.

EL-MAAROUF-BOUTEAU, H.; MEIMOUN, P.; JOB, C.; JOB, D.; BAILLY, C. Role of protein and mRNA oxidation in seed dormancy and germination. **Frontiers in Plant Science**, v.4, art.77, p.1-5, 2013.

FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011.

FINCH-SAVAGE, W.E.; LEUBNER-METZGER, G. Seed dormancy and the control of germination. **New Phytologist**, v.171, n.3, p.501-523, 2006.

FLEMING, M.B.; HILL, L.M.; WALTERS, C. The kinetics of ageing in dry-stored seeds: a comparison of viability loss and RNA degradation in unique legacy seed collections. **Annals of Botany**, v.123, p.1133-1146, 2019.

FLEMMER, A.C.; FRANCHINI, M.C.; LINDSTRÖM, L.I. Description of safflower (*Carthamus tinctorius*) phenological growth stages according to the extended BBCH scale. **Annals of Applied Biology**, v.166, n.2, p.331-339, 2015.

FRANCHINI, M.C.; FLEMMER, A.C.; LINDSTRÖM, L.I.; DAVID, M.A.; FERNANDEZ, P.A. Fruit development of two high oleic safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars. **ΦYTON - Revista Internacional de Botânica Experimental**, v.83, p.379-388, 2014.

GONELI, A.L.D.; CORRÊA, P.C.; OLIVEIRA, G.H.H.; BOTELHO, F.M. Water desorption and thermodynamic properties of okra seeds. **Transactions of the ASABE**, v.53, n.1, p.191-197, 2010.

GONELI, A.L.D.; CORRÊA, P.C.; OLIVEIRA, G.H.H.; RESENDE, O.; MAUAD, M. Moisture sorption isotherms of castor beans. Part 1: mathematical modeling and hysteresis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.20, n.8, p.751-756, 2016.

GRAEBER, K.; NAKABAYASHI, K.; MIATTON, E.; LEUBNER-METZGER, G.; SOPPE, W.J.J. Molecular mechanisms of seed dormancy. **Plant, Cell and Environment**, v.35, n.10, p.1769-1786, 2012.

JIANG, F.L.; BO, L.P.; XU, J.J.; WU, Z. Changes in respiration and structure of non-heading Chinese cabbage seeds during gradual artificial aging. **Scientia Horticulturae**, v.238, p.14-22, 2018.

- KHALID, N.; KHAN, R.S.; HUSSAIN, M.I.; FAROOQ, M.; AHMAD, A.; AHMED, I. A comprehensive characterization of safflower oil for its potential applications as a bioactive food ingredient - a review. **Trends in Food Science & Technology**, v.66, p.176-186, 2017.
- KUMAR, S.O.J.; PRESAD, S.R.; BANERJEE, R.; THAMMINENI, C. Seed birth to death: dual functions of reactive oxygen species in seed physiology. **Annals of Botany**, v.116, n. 4, p.663-668, 2015.
- LIU, Y.; YE, N.; LIU, R.; CHEN, M.; ZHANG, J. H₂O₂ mediates the regulation of ABA catabolism and GA biosynthesis in *Arabidopsis* seed dormancy and germination. **Journal of Experimental Botany**, v.61, n.11, p.2979-2990, 2010.
- MARCOS-FILHO, J. Seed vigor testing: an overview of the past, present and future. **Scientia Agricola**, v.72, n.4, p.363-374, 2015.
- MARCOS-FILHO, J. Teste de envelhecimento acelerado. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Eds.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina-PR: ABRATES, 1999. Cap.3, p.3.1-3.21.
- MARQUES, E.R.; ARAÚJO, R.F.; ARAÚJO, E.F.; MARTINS FILHO, S.; SOARES, P.C.; MENDONÇA, E.G. Dormancy and enzymatic activity of rice cultivars seeds stored in different environments. **Journal of Seed Science**, v.36, n.4, p.435-442, 2014.
- MATERA, T.C.; PEREIRA, L.C.; BRACCINI, A.L.; KRZYZANOWSKI, F.C.; SCAPIM, C.A.; PIANA, S.C.; MARTELI, D.C.V.; PEREIRA, R.C.; FERRI, G.C.; SUZUKAWA, A.K. Accelerated aging test and its relationship to physiological potential of soybean seeds. **Journal of Seed Science**, v.41, n.3, p.301-308, 2019.
- MATTHEWS, S.; NOLI, E.; DEMIR, I.; KHAJEH-HOSSEINI, M.; WAGNER, M.H. Evaluation of seed quality: from physiology to international standardization. **Seed Science Research**, v.22, S69-S73, 2012.
- MAYERHOFER, M.; MAYERHOFER, R.; TOPINKA, D.; CHRISTIANSON, J.; GOOD, A.G. Introgression potential between safflower (*Carthamus tinctorius*) and wild relatives of the genus *Carthamus*. **BMC Plant Biology**, v.11, n.47, p.1-10, 2011.
- NAGEL, M.; BÖRNER, A. The longevity of crop seeds stored under ambient conditions. **Seed Science Research**, v.20, p.1-12, 2010.
- OBA, G.C.; GONELI, A.L.D.; MASETTO, T.E.; HARTMANN FILHO, C.P.; MICHELS, K.L.L.S.; ÁVILA, J.P.C. Artificial drying of safflower seeds at different air temperatures: effect on the physiological potential of freshly harvested and stored seeds. **Journal of Seed Science**, v.41, n.4, p.397-406, 2019.
- OBA, G.C.; GONELI, A.L.D.; MASETTO, T.E.; HARTMANN FILHO, C.P.; PATRICIO, V.S.; SARATH, K.L.L. Dormancy of safflower seeds: effect of storage and cold stratification. **Journal of Seed Science**, v.39, n.4, p.433-439, 2017.
- OLIVEIRA, G.H.H; CORRÊA, P.C.; ARAÚJO, E.F.; VALENTE, D.S.M.; BOTELHO, F.M. Desorption isotherms and thermodynamic properties of sweet corn cultivars (*Zea mays* L.). **International Journal of Food Science & Technology**, v.45, p.546-554, 2010.
- ORACZ, K.; EL-MAAROUF BOUTEAU, H.; FARRANT, J.M.; COOPER, K.; BELGHAZI, M.; JOB, C.; JOB, D.; CORBINEAU, F.; BAILLY, C. ROS production and protein oxidation as a novel mechanism for seed dormancy alleviation. **The Plant Journal**, v.50, p.452-465, 2007.

- PESKE, S.T.; VILLELA, F.A. A secagem de sementes. In: PESKE, S.T.; VILLELA, F.A.; MENEGHELLO, G.E. (Eds.). **Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos**. 3. ed. rev. e ampl. Pelotas: Ed. Universitária / UFPel, 2012. 573 p.
- RATAJCZAK, E.; MAŁECKA, A.; CIERESZKO, I.; STASZAK, A.M. Mitochondria are important determinants of the aging of seeds. **International Journal of Molecular Sciences**, v.20, n.7, 1568 (p.1-12), 2019.
- RODRÍGUEZ, M.V.; BODRONE, M.P.; CASTELLARI, M.O.; BATLLA, D. Effect of storage temperature on dormancy release of sunflower (*Helianthus annuus*) achenes. **Seed Science Research**, v.28, p.101-111, 2018.
- SAHU, B.; SAHU, A.K.; THOMAS, V.; NAITHANI, S.C. Reactive oxygen species, lipid peroxidation, protein oxidation and antioxidative enzymes in dehydrating karanj (*Pongamia pinnata*) seeds during storage. **South African Journal of Botany**, v.112, p.383-390, 2017.
- SCARIOT, M.A.; RADÜNZ, L.L.; DIONELLO, R.G.; MÜLLER, I.; ALMEIDA, P.M. Physiological performance of wheat seeds as a function of moisture content at harvest and storage system. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.47, n.4, p.456-464, 2017.
- SCARIOT, M.A.; RADÜNZ, L.L.; DIONELLO, R.G.; TONI, J.R.; MOSSI, A.J.; REICHERT JÚNIOR, F.W. Quality of wheat grains harvested with different moisture contents and storage in hermetic and conventional system. **Journal of Stored Products Research**, v.75, p.29-34, 2018.
- SINGH, N.; DASH, S.; KHAN, Y.J. Survival of chickpea, sesame, niger, castor and safflower seeds stored at low and ultra low moisture contents for 16-18 years. **Seed Science and Technology**, v.44, n.3, p.1-14, 2016.
- SU, L.; LAN, Q.; PRITCHARD, H.W.; XUE, H.; WANG, X. Reactive oxygen species induced by cold stratification promote germination of *Hedysarum scoparium* seeds. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.109, p.406-415, 2016.
- TUTTLE, K.M.; MARTINEZ, S.A.; SCHRAMM, E.C.; TAKEBAYASHI, Y.; SEO, M.; STEBER, C.M. Grain dormancy loss is associated with changes in ABA and GA sensitivity and hormone accumulation in bread wheat, *Triticum aestivum* (L.). **Seed Science Research**, v.25, n.2, p.179-193, 2015.
- VIJAY, D.; DADLANI, M. Seed longevity and water absorption patterns in maize, soybean and safflower. **Indian Journal of Plant Physiology**, v.8, p.244-248, 2003.
- WALTERS, C. Orthodoxy, recalcitrance and in-between: describing variation in seed storage characteristics using threshold responses to water loss. **Planta**, v.242, n.2, p.397-406, 2015.
- WALTERS, C.; BALLESTEROS, D.; VERTUCCI, V.A. Structural mechanics of seed deterioration: standing the test of time. **Plant Science**, v.179, p.565-573, 2010.
- WALTERS, C.; HILL, L.M.; WHEELER, L.J. Dying while dry: kinetics and mechanisms of deterioration in desiccated organisms. **Integrative & Comparative Biology**, v.45, p.751-758, 2005.
- WEITBRECHT, K.; MÜLLER, K.; LEUBNER-METZGER, G. First off the mark: early seed germination. **Journal of Experimental Botany**, v.62, n.10, p.3289-3309, 2011.

XIA, F.; WANG, X.; LI, M.; MAO, P. Mitochondrial structural and antioxidant system responses to aging in oat (*Avena sativa* L.) seeds with different moisture contents. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.94, p.122-129, 2015.

XU, Q.; TRUONG, T.T.; BARRERO, J.M.; JACOBSEN, J.V.; HOCART, C.H.; GLUBER, F. A role for jasmonates in the release of dormancy by cold stratification in wheat. **Journal of Experimental Botany**, v.67, n.11, p.3497-3508, 2016.

ZHANG, M.; ZHUO, J.J.; WANG, X.; WU, S.; WANG, X.F. Optimizing seed water content: relevance to storage stability and molecular mobility. **Journal of Integrative Plant Biology**, v.52, n.3, p.324-331, 2010.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo contemplou diferentes etapas da cadeia produtiva das sementes de cártamo, com o intuito de fornecer informações que possam ser úteis para a elaboração de um programa adequado de produção de sementes dessa espécie.

Foram apresentadas as alterações morfológicas, físicas e fisiológicas que ocorrem durante o processo de maturação das sementes, sendo possível destacar alguns pontos importantes, como a presença da dormência fisiológica nas sementes, desde as primeiras etapas do desenvolvimento, e a possibilidade de identificação da maturidade fisiológica através da observação de modificações específicas nos padrões visuais de capítulos e sementes.

Ainda tratando-se das fases de produção no campo, ficou evidente que a disparidade no processo reprodutivo entre plantas, ocasionada pela utilização de material propagativo sem estabilidade genética, pode provocar atrasos expressivos na colheita de boa parte das sementes de mesmo talhão, até que se realize a colheita única em área total. Com esse retardamento na colheita, sobretudo se acompanhado de condições climáticas adversas, aumentam-se os riscos de deterioração prematura das sementes de cártamo.

Para sementes de cártamo colhidas antecipadamente, objetivando-se minimizar perdas qualitativas no campo por naturezas diversas após a maturidade fisiológica, e que serão submetidas à secagem artificial, de forma contínua e estacionária, sugere-se o emprego de temperaturas do ar não superiores a 40 °C, para que sejam evitados danos às sementes por rápida remoção de água e/ou aquecimento excessivo. Danos, esses, capazes de comprometer a germinação e vigor iniciais e o potencial de armazenamento das sementes.

Especificamente na etapa de armazenamento, fatores como o teor de água da semente e a temperatura ambiente atuam diretamente sobre a regulação dos fenômenos de pós-maturação e deterioração das sementes de cártamo. A manutenção de teores de água entre 5,0 e 6,0% acelera o processo de superação natural da dormência fisiológica das sementes quando essas são mantidas à temperatura média ambiente, próxima a 25 °C, enquanto baixas temperaturas, como as de uma câmara fria, retardam o referido fenômeno.

Com relação à deterioração, o aumento sensível no teor de água das sementes, mesmo não excedendo 8,5%, acelera a perda da viabilidade e vigor durante o

armazenamento em condições não controladas de temperatura e umidade relativa. Em contrapartida, adotados teores de água iniciais entre 4,7 e 7,4%, a relativa estabilidade no teor de água das sementes de cártamo durante o armazenamento, proporcionada pelo emprego de embalagens não-permeáveis, propicia melhores condições para a manutenção da qualidade fisiológica à temperatura média ambiente, com eficiência similar à obtida no armazenamento em câmara fria.