

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

MATURAÇÃO, SECAGEM E ARMAZENAMENTO DE SEMENTES  
DE CROTALÁRIA (*crotalaria spectabilis* Roth)

KARINA LAIS LEITE SARATH MICHELS

DOURADOS  
MATO GROSSO DO SUL  
2020

**MATURAÇÃO, SECAGEM E ARMAZENAMENTO DE  
SEMENTES DE CROTALÁRIA (*crotalaria spectabilis* Roth)**

**KARINA LAIS LEITE SARATH MICHELS**  
Me. Engenheira Agrônoma

Orientador: PROF. DR. ANDRÉ LUÍS DUARTE GONELI

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).

S243m Sarath, Karina Lais Leite

Maturação, secagem e armazenamento de sementes de crotalária (*crotalaria spectabilis* Roth)  
[recurso eletrônico] / Karina Lais Leite Sarath. -- 2021.  
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. sementes. 2. dormência. 3. vigor. 4. adubação verde. I. Goneli, André Luís Duarte. II. Masetto, Tathiana Elisa. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

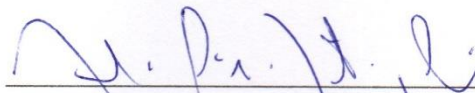
MATURAÇÃO, SECAGEM E ARMAZENAMENTO DE SEMENTES  
DE CROTALÁRIA (*crotalaria spectabilis* Roth)

Por

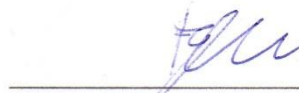
KARINA LAIS LEITE SARATH MICHELS

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

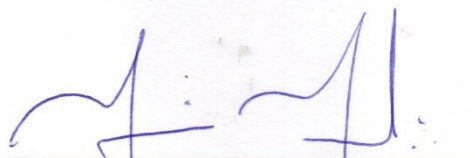
Aprovada em: 08 / 05 / 2020



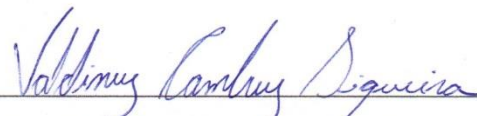
Prof Dr. André Luís Duarte Goneli  
Orientador UFGD/FCA



Profª Dra. Tathiana Elisa Masetto  
Membro da banca UFGD/FCA



Prof Dr Munir Mauad  
Membro da banca UFGD/FCA



Prof. Dr. Valdiney Cambuí Siqueira  
Membro da banca UFGD/FCA



Prof. Dr. Etenaldo Felipe Santiago  
Membro da banca UEMS

*À minha bisavó **Semiramis** (in memoriam) e a minha mãe **Elis**,  
pelo exemplo de integridade, amor e força.*

**Ofereço**

*Com todo meu amor, ao **Guilherme, Stella e Davi**  
**Dedico.***

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus por seu infinito amor que não me desamparou e nem permitiu que eu desistisse, por renovar diariamente minhas forças e acompanhar em cada momento da minha vida.

À Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD) e ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, pela oportunidade concedida para a realização deste trabalho.

Ao Professor André Luís Duarte Goneli, pela orientação, paciência, amizade e pelos valiosos ensinamentos.

A professora Tathiana, a quem carinhosamente chamo de “Tathi”, por toda coorientação, conselhos e amizade durante todos os anos de doutorado.

Ao Guilherme pelo companheirismo, paciência, amor e incentivo.

Aos meus colegas de Pós-Graduação Michele, Luana, Guilherme e Alexandre por toda ajuda e pela amizade.

À Capes pela bolsa concedida.

À todos aqueles que direta ou indiretamente participaram da realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

LISTA DE QUADROS .....	
LISTA DE FIGURAS.....	
RESUMO.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUÇÃO.....	1
1. 1. Hipótese e objetivos.....	3
1. 1. 1. Hipótese.....	3
1. 1. 2. Objetivo geral.....	4
1. 1. 3. Objetivos específicos.....	4
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	5
2. 1. Aspectos gerais Crotalária ( <i>crotalária spectabilis</i> sp Roth).....	5
2. 2 Desenvolvimento da semente.....	6
2. 3. Maturação das sementes.....	10
2. 3. 1. Dormência .....	11
2. 4. Colheita e secagem de sementes.....	14
2. 5. Armazenamento de sementes.....	17
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	19
3. 1. Experimento 1 - Maturação de sementes de crotalária.....	19
3. 1. 1. Área de produção das sementes para estudo da maturação.....	19
3. 1. 2. Antese e marcação de flores.....	19
3. 1. 3. Avaliações da maturação das sementes de crotalária .....	20
3. 1. 4. Biometria (comprimento, largura, espessura, massa).....	21
3. 1. 5. Teor de água e matéria seca.....	21
3. 1. 6. Cor.....	21
3. 1. 8. Curvas de absorção de água .....	22
3. 1. 9. Teste de Germinação e índice de velocidade de germinação.....	23
3. 2. Experimento 2 – Secagem e Armazenamento de sementes de crotalária .....	23
3. 2. 1. Coleta das sementes.....	23
3. 2. 2. Secagem das sementes.....	24
3. 2. 3. Armazenamento.....	26
3. 2. 4. Teste de germinação e primeira contagem.....	26
3. 2. 5. Avaliação de sementes duras.....	26
3. 2. 6. Índice de Velocidade de Germinação.....	27

3. 3. Estudo da temperatura de secagem e do tempo de armazenamento.....	27
3. 3. 1. Teste de germinação e primeira contagem .....	27
3. 3. 2. Teste de condutividade elétrica.....	27
3. 3. 3. Teste de envelhecimento acelerado.....	27
3. 3. 4. Teste de frio modificado.....	28
3. 3. 5. Teste de emergência em campo e índice de velocidade de emergência (IVE).....	28
3. 4. Análise estatística.....	29
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
5. 1. Maturação de sementes .....	30
5. 1. 1. Biometria.....	30
5. 1. 2. Massa fresca, teor de água e massa de matéria seca.....	32
5. 1. 3. Cor.....	35
5. 1. 4. Curvas de absorção de água.....	38
5. 1. 5. Germinação e índice de velocidade de germinação.....	40
5. 2. Secagem e armazenamento.....	44
5. 2. 1. Secagem e taxa de remoção de água .....	44
5. 2. 2. Armazenamento.....	45
5. 2. 3. Influência da temperatura de secagem e do armazenamento na superação da dormência física de sementes de crotalária .....	47
5. 2. 4. Teste de germinação.....	47
5.3. Testes de vigor .....	53
5. 3. 1. Condutividade elétrica .....	53
5. 3. 2. Envelhecimento Acelerado.....	55
5. 3. 3. Frio modificado.....	57
5. 3. 4. Emergência e índice de velocidade de emergência.....	59
6. CONCLUSÕES.....	61
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62



## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1.	Valores médios do teor de água (% b.u.) inicial e final e tempo de secagem (horas) em função de diferentes temperaturas de secagem.....	25
QUADRO 2.	Equações de regressão ajustadas aos valores do comprimento, largura e espessura de sementes de crotalária em função de dias após a antese.....	32
QUADRO 3.	Equações de regressão ajustadas aos valores da massa, teor de água e massa de matéria seca de sementes de crotalária em função de dias após a antese.....	35
QUADRO 4.	Equações de regressão ajustadas às coordenadas “a”, “b” e “L”, da diferença de cor e do croma sementes de crotalária em função de dias após a antese.....	37
QUADRO 5.	Valores das variáveis utilizadas no modelo logístico ( $f = a/(1 + \exp(-(x-x_0)/b))$ ) ajustadas aos dados observados Germinação (%) inicial sem escarificação (GI), de sementes duras (SD) e germinação total (GT) de germinação após a escarificação somada a % de germinação inicial, obtidas no teste de germinação padrão de sementes de crotalária em função de dias após a antese.....	43
QUADRO 6.	Valores das variáveis utilizadas no modelo logístico ( $f = a/(1 + \exp(-(x-x_0)/b))$ ) ajustadas aos dados observados obtidas para o índice de velocidade de germinação (IVG) de sementes de crotalária em função de dias após a antese.....	44
QUADRO 7.	Teor de água (% b.u.) das sementes de crotalária, em função da temperatura do ar de secagem e do tempo de armazenamento....	47
QUADRO 8.	Equações de regressão ajustadas aos valores da primeira contagem (%), germinação sem escarificação(%), sementes duras (%), germinação pós escarificação (%), plântulas anormais (%) e sementes mortas (%) obtidas no teste de germinação de sementes de crotalária em função de diferentes temperaturas de secagem e do tempo de armazenamento.....	53

QUADRO 9.	Equações de regressão ajustadas aos valores da condutividade elétrica de sementes de crotalária em função de diferentes temperaturas de secagem e do tempo de armazenamento	55
QUADRO 10.	Valores médios do teor de água (% b.u.) das sementes de crotalária, submetidas a 72 horas de envelhecimento acelerado a 42 °C, em função da temperatura do ar de secagem e do tempo de armazenamento.....	55
QUADRO 11.	Equações de regressão ajustadas aos valores da primeira contagem e contagem final obtidas no teste de envelhecimento acelerado de sementes de crotalária em função de diferentes temperaturas de secagem e do tempo de armazenamento.....	57
QUADRO 12.	Equações de regressão ajustadas aos valores da primeira contagem e contagem final obtidas no teste de frio modificado de sementes de crotalária em função de diferentes temperaturas de secagem e do tempo de armazenamento.....	58
QUADRO 13.	Equações de regressão ajustadas aos valores da emergência em campo e do índice de velocidade de emergência (IVE) de sementes de crotalária em função de diferentes temperaturas de secagem e do tempo de armazenamento.....	60

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.	Planta de crotalária ( <i>crotalaria spectabilis</i> ) no início da antese, com a haste floral demarcada com fitilho para identificação do primeiro botão floral aberto.....	20
FIGURA 2.	Representação do sólido de Hunter.....	22
FIGURA 3.	Secador experimental de camada fixa utilizado na secagem das sementes de crotalária. (1- Painel de controle de temperatura e fluxo de ar; 2- Ventilador centrífugo; 3- Expansões; 4- Homogeneizadores de ar; 5- Conjunto de resistências elétricas; 6- Plenum; 7- Ponto de medição de temperatura para secagem em camada espessa; 8- Fundo telado para secagem em camada espessa; 9- Câmara de secagem em camada espessa; 10- Ponto de medição de temperatura para secagem em camada delgada; 11- Conjunto de bandejas para secagem em camada delgada.).....	24
FIGURA 4.	Médias diárias de temperatura, umidade relativa do ar e precipitação durante o desenvolvimento das sementes de crotalária.....	30
FIGURA 5.	Comprimento (mm) (a), largura (mm) (b) e espessura (c) de sementes de crotalária em função de dias após a antese (DAA).	31
FIGURA 6.	Massa (g) (a), teor de água (%) (b) e massa de matéria seca (g) (c) de sementes de crotalária em função de dias após a antese (DAA).....	33
FIGURA 7.	Coordenadas “a” (a), “b”(b) e “L”(c), respectivamente, de sementes de crotalária em função de dias após a antese em Dourados.....	36
FIGURA 8.	Croma (a) e Diferença de cor (b) de sementes de crotalária em função de dias após a antese.....	37
FIGURA 9.	Massa (g) de sementes de crotalária ao longo do tempo de embebição (h) em função de dias após a antese (DAA) sem escarificação das sementes.....	39
FIGURA 10.	Curvas ajustadas pelo modelo logístico para germinação (%) inicial sem escarificação (GI), de sementes duras (SD) e	

	germinação total (GT) de germinação após a escarificação somada a % de germinação inicial, obtidas no teste de germinação padrão de sementes de crotalária em função de dias após a antese.....	41
FIGURA 11.	Índice de velocidade de germinação sem escarificação de sementes de crotalária em função de dias após a antese, UFGD, 2018.....	43
FIGURA 12.	Taxa de redução de água durante a secagem de sementes de crotalária em diferentes temperaturas do ar de secagem.....	45
FIGURA 13.	Médias diárias de temperatura e umidade relativa do ar durante o armazenamento das sementes de crotalária em ambiente não controlado.....	46
FIGURA 14.	Primeira contagem de plântulas provenientes do teste de germinação de sementes de crotalária não escarificadas em função da temperatura de secagem e do tempo de armazenamento (dias).....	48
FIGURA 15.	Plântulas normais (%) obtidos do teste de germinação de sementes de crotalária não escarificadas em função da temperatura de secagem e do tempo de armazenamento.....	49
FIGURA 16.	Porcentagem de sementes duras (%) provenientes do teste de germinação de sementes de crotalária em função da temperatura de secagem e do tempo de armazenamento (dias).....	50
FIGURA 17.	Porcentagem de plântulas normais (%) provenientes do teste de germinação de sementes de crotalária escarificadas em função da temperatura de secagem e do tempo de armazenamento (dias).....	51
FIGURA 18.	Porcentagem de plântulas anormais (a) e sementes mortas (b) provenientes do teste de germinação de sementes de crotalária com sementes escarificadas e não escarificadas em função da temperatura de secagem e do tempo de armazenamento (dias). .....	52

FIGURA 19.	Condutividade elétrica ( $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ ) de sementes de crotalária em função da temperatura de secagem e do tempo de armazenamento.....	54
FIGURA 20.	Primeira contagem (a) e contagem final (b) do teste de envelhecimento acelerado (%) de sementes de crotalária em função da temperatura de secagem e do tempo de armazenamento (dias).....	56
FIGURA 21.	Primeira contagem teste de frio modificado (%) (a) e contagem final (b) (%) de sementes de crotalária em função da temperatura de secagem e do tempo de armazenamento (dias).....	58
FIGURA 22.	Emergência em campo (a) e índice de velocidade de emergência (b) de sementes de crotalária em função da temperatura de secagem e do tempo de armazenamento (dias).....	59

## RESUMO

MICHELS, Karina Lais Leite Sarath. **Maturação, secagem e armazenamento de sementes de crotalária (*crotalaria spectabilis* sp Roth)**. 2020. 74p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados.

O desenvolvimento da semente, principalmente os eventos que ocorrem durante a maturação das sementes são de fundamental importância para o conhecimento a aplicação do uso agrônomo das espécies. A crotalária (*crotalaria spectabilis* sp Roth), é uma das espécies mais difundidas para o uso na adubação verde, entretanto o conhecimento da maturação das sementes e o seu comportamento durante processos de secagem e armazenamento são escassos.. Dessa forma, o objetivo do trabalho foi avaliar o desenvolvimento das sementes de crotalária durante a maturação das sementes, assim como avaliar a influência de diferentes temperaturas de secagem na qualidade fisiológica das sementes, assim como o efeito do armazenamento nas mesmas. As avaliações referentes a maturação (Experimento 1) das sementes foram realizadas a cada 7 dias após a antese e os parâmetros avaliados foram: comprimento, largura e espessura, peso, massa seca, germinação, cor, índice de velocidade de germinação, assim como as curvas de absorção de água. Para a avaliação da secagem e o armazenamento das sementes, sementes provenientes de um campo de produção de sementes, localizado na Fazenda de Ciências Agrárias (FAECA) (Experimento 2), foram secas em diferentes temperaturas (40, 50, 60 e 70°C respectivamente) até que o teor de água de  $8 \pm 1\%$  b.u., e, armazenadas em condições ambiente durante 180 dias. A secagem e o armazenamento foram avaliados através do teste de germinação, e o vigor foi avaliado através dos testes de condutividade elétrica, envelhecimento acelerado, frio modificado e índice de velocidade de emergência em campo. Todas as avaliações foram realizadas após a secagem e a cada 60 dias subsequentes. Os dados foram submetidos à análise de regressão. As análises das medidas biométricas constataram o padrão trifásico de desenvolvimento das sementes de crotalária. De modo geral, as análises biométricas apresentaram valores crescentes, nas primeiras avaliações (aos 7 e 14 dias após a antese), sendo as médias máximas encontradas aos 35 e 42 dias após a antese. A maturidade fisiológica foi identificada aos 42 dias após a antese. O teor de água assim como o peso das sementes apresentou o mesmo padrão identificado nas medidas biométricas. A análise das curvas de embebição possibilitou observar que as sementes não se encaixam em um padrão trifásico de embebição, inicialmente por imaturidade das estruturas das sementes e ao longo do desenvolvimento pelo desenvolvimento da dormência física. O teste de germinação das sementes de crotalária possibilitou observar a presença de dormência física das sementes no momento da maturidade fisiológica, em que as sementes apresentaram uma porcentagem de germinação e também a presença de sementes duras, que só germinaram após escarificação. No experimento 2, foi possível observar que a temperatura de 70°C possibilitou a superação da dormência das sementes de crotalária, entretanto ao final de 180 dias de armazenamento as sementes submetidas a esta temperatura de secagem apresentaram queda significativa em sua qualidade fisiológica. Já as menores temperaturas de secagem ao final do armazenamento apresentaram elevada qualidade fisiológica.

**Palavras-chave:** *dormência, adubação verde, germinação*

## ABSTRACT

Seed development, especially events that occur during seed maturation, is of fundamental importance for the knowledge of the application of the agronomic use of the species. The crotalaria (*crotalaria spectabilis* sp Roth), is one of the most widespread species for use in green manure, however the knowledge of seed maturation and its behavior during drying and storage processes are scarce. was to evaluate the development of crotalaria seeds during seed maturation, as well as to evaluate the influence of different drying temperatures on the physiological quality of the seeds, as well as the effect of storage on them. Seed maturation evaluations (Experiment 1) were carried out every 7 days after anthesis and the parameters evaluated were: length, width and thickness, weight, dry mass, germination, color, germination speed index, as well as water absorption curves. For the evaluation of drying and storage of seeds, seeds from a seed production field, located at the Farm of Agricultural Sciences (FAECA) (Experiment 2), were dried at different temperatures (40, 50, 60 and 70 ° C respectively) until the water content of  $8 \pm 1\%$  bu, e, stored in ambient conditions for 180 days. Drying and storage were evaluated using the germination test, and vigor was evaluated using electrical conductivity, accelerated aging, modified cold and emergency speed index in the field. All evaluations were performed after drying and every 60 days thereafter. The data were submitted to regression analysis. The analyzes of the biometric measurements found the three-phase pattern of development of the crotalaria seeds. In general, biometric analyzes showed increasing values in the first assessments (at 7 and 14 days after anthesis), with the maximum averages found at 35 and 42 days after anthesis. Physiological maturity was identified at 42 days after anthesis. The water content as well as the weight of the seeds showed the same pattern identified in the biometric measurements. The analysis of the imbibition curves made it possible to observe that the seeds do not fit in a three-phase pattern of imbibition, initially due to the immaturity of the seed structures and throughout development by the development of physical dormancy. The germination test of the crotalaria seeds made it possible to observe the presence of physical dormancy of the seeds at the moment of physiological maturity, in which the seeds showed a percentage of germination and also the presence of hard seeds, which only germinated after scarification. In experiment 2, it was possible to observe that the temperature of 70 ° C made it possible to overcome the dormancy of crotalaria seeds, however at the end of 180 days of storage, the seeds submitted to this drying temperature showed a significant decrease in their physiological quality. The lowest drying temperatures at the end of storage showed high physiological quality.

**Keyword:** *dormancy, green manure, germination*

## 1. INTRODUÇÃO

A crotalária destaca-se por possuir rápido crescimento e grande potencial de produção de matéria seca. Apresenta ainda fácil decomposição e eficiência na fixação biológica do nitrogênio, além de favorecer a ciclagem de nutrientes no solo (DOURADO et al., 2001; WANG et al., 2002). Em sistemas de rotação ou em consórcio, essa espécie tem efeitos consideráveis na produtividade de culturas de expressão econômica (ARAUJO et al., 2013). É utilizada com eficiência no controle de nematoides e na supressão de plantas daninhas, pelo efeito alelopático (FONTANÉTTI et al., 2007; MONQUERO et al., 2009). Na indústria, essa espécie se caracteriza como uma das principais plantas produtoras de fibra de importância econômica, sendo muito cultivada para esse fim na Rússia e na Ásia tropical (CALEGARI et al., 1993; COOK & WHITE, 1996).

Apesar de sua importância, um dos entraves ao cultivo da *Crotalaria spectabilis* está na baixa disponibilidade de sementes com qualidade no mercado. Como é utilizada para prática da adubação verde, o agricultor não tem o hábito de cultivá-la visando obtenção de lucratividade direta pela comercialização de sementes (KAPPES et al., 2012). Entretanto, esse quadro tende a ser revertido, principalmente devido ao aumento contínuo do uso dessa espécie na agricultura brasileira (DOURADO et al., 2001) e, conseqüentemente, à demanda crescente por sementes.

Para que haja viabilidade econômica da adubação verde é indispensável o uso de sementes de qualidade, pois isso se reflete no estabelecimento uniforme e satisfatório das plantas. Característica essa, relevante em sistemas de rotação ou em consórcio. Sendo assim, a expansão do cultivo dessa espécie perpassa pela geração de informações tangentes às práticas de manejo na produção de sementes.

A prática da adubação verde reduz os custos com fertilizantes sintéticos e melhora as propriedades do solo, principalmente temperatura e umidade, favorecendo os microrganismos do solo e proporcionando uma melhor estrutura do solo, além de elevar os teores de matéria orgânica, do pH, adição de carbono e nitrogênio ao solo que melhoram as características físicas, químicas e biológicas do solo (OLIVEIRA et al., 2017). A *Crotalaria spectabilis* destaca-se na região de Cerrado por seu ciclo relativamente curto, que possibilita semeadura anterior à da cultura principal (TEODORO et al., 2011). Quando utilizada em consórcio com o milho, por exemplo, um fator fundamental é o manejo do corte da leguminosa, pois quando realizado na época correta



ocorre o sincronismo entre a mineralização dos nutrientes presentes na leguminosa e o aproveitamento pela cultura do milho (PEREIRA et al. 2011).

A crotalária apresenta crescimento determinado, mas o florescimento e o desenvolvimento das sementes são desuniformes (CALEGARI et al., 1993). Assim, em uma mesma planta são encontradas sementes em diversos estádios de maturação, que dificulta a determinação da época de maturidade fisiológica das sementes e, conseqüentemente, o momento ideal para a colheita. Pesquisas relacionadas à maturação das sementes são imprescindíveis para o planejamento e definição do momento ideal da colheita, uma vez que essas alcançam sua máxima qualidade em campo.

O desenvolvimento das sementes é caracterizado por uma série de alterações físicas, morfológicas, fisiológicas e bioquímicas, que são iniciadas a partir da fecundação do óvulo (BERGER et al., 2008; HEHENBERGER et al., 2012, SANO et al., 2016), que em Angiospermas leva à formação do embrião, do endosperma e do tegumento (KESAVEN et al., 2013). No início da formação das sementes, ocorre intensa divisão e expansão celular, seguidas por aumento progressivo da massa de matéria seca, devido à síntese e deposição de reservas, tais como carboidratos, lipídios e proteínas (BEWLEY et al., 2013). Esses processos ocorrem em organelas específicas que podem estar presentes no embrião e/ou nos tecidos de reserva, tais como endosperma ou perisperma (LEPRINCE et al., 2016).

Durante a maturação das sementes, mecanismos de proteção são iniciados para preservar a integridade dos componentes celulares quando a água for removida durante a secagem (LEPRINCE et al., 2016). As sementes entram em estado de repouso, permitindo assim sua manutenção e sobrevivência a uma gama de condições ambientais (LEPRINCE e BUITINK, 2010).

A colheita das sementes no momento ideal pode minimizar os efeitos de deterioração que são causados pela maior permanência das sementes no campo. Evita, também, a colheita precoce, diminuindo a quantidade de sementes imaturas no lote e perdas por injúrias mecânicas. O termo maturidade fisiológica é definido por Ellis e Pieta Filho (1992) como o ponto de máxima qualidade fisiológica das sementes. Para Weber et al. (2010), o ponto de maturidade fisiológica é observado quando as sementes atingem o máximo acúmulo de matéria seca e o mais alto nível de diferenciação, antes que se inicie o processo de secagem das sementes.

O interesse agrônômico referente ao estudo do processo de maturação de sementes é devido, principalmente, à obtenção de informações sobre o controle da dormência, a regulação do acúmulo de reservas e o controle do desenvolvimento do endosperma (INGRAM, 2010). O conhecimento a respeito das alterações físicas, fisiológicas, anatômicas e histoquímicas, que ocorrem durante o processo de maturação de sementes de crotalária, são relevantes para obtenção de sementes de alta qualidade fisiológica.

Na maioria das vezes as sementes são mantidas no campo, para que o seu teor de água seja reduzido, e assim facilitar as operações de colheita, ocorrendo então um maior período de exposição às condições climáticas, que podem favorecer a danificação e a aceleração do processo de deterioração. A antecipação da colheita torna-se fundamental para evitar danos qualitativos às sementes. Porém, o teor de água das sementes tende a ser elevado, fazendo necessária a remoção da água de maneira artificial, com a secagem.

Nesse sentido, a secagem torna-se um processo fundamental para a preservação da viabilidade das sementes, pois permite a redução do teor de água a níveis desejados para um armazenamento eficiente, além de minimizar as alterações químicas e físicas que são influenciadas pelo elevado teor de água. Após os processos de secagem e beneficiamento, as sementes podem ser comercializadas imediatamente ou armazenadas por determinados períodos de tempo.

O armazenamento, portanto, fundamental para a manutenção da qualidade das sementes, e requer baixa umidade relativa do ar e baixa temperatura do ambiente, para que as atividades metabólicas sejam minimizadas, preservando então a qualidade. Diante do exposto, o conhecimento das mudanças físicas e fisiológicas nas sementes de crotalária durante a maturação podem fornecer informações importantes com relação a época de colheita, assim como o conhecimento dos efeitos da secagem e do armazenamento na manutenção da qualidade fisiológica das sementes de crotalária.

## **1. 1. HIPÓTESE E OBJETIVOS**

### **1. 1. 1. Hipótese**

As sementes de crotalária apresentam capacidade germinativa a partir da maturidade fisiológica e a dormência é identificada durante todo o processo de maturação das sementes. A temperatura de secagem associada ao tempo de armazenamento causam danos fisiológicas às sementes de crotalária.

### **1. 1. 2. Objetivo Geral**

Avaliar a maturação de sementes de crotalária (*crotalaria spectabilis sp.*) assim como o efeito de diferentes temperaturas de secagem e do armazenamento na qualidade fisiológica das sementes de crotalária.

### **1.1.3. Objetivos específicos**

Diante do exposto o presente trabalho foi desenvolvido com os seguintes objetivos:

- Identificar, durante o período de maturação das sementes de crotalária, o início da capacidade germinativa, assim como verificar o início da dormência das sementes.
- Avaliar a qualidade fisiológica das sementes de crotalária submetidas a diferentes temperaturas de secagem e a 180 dias de armazenamento.
- Avaliar a influência de diferentes temperaturas de secagem sobre a dormência física das sementes de crotalária.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2. 1. Aspectos gerais Crotalária (*Crotalária spectabilis* sp Roth)

A crotalária é uma planta tropical asiática da família das leguminosas, originária da Índia. Possui porte ereto e arbustivo, apresenta ciclo anual de curta duração podendo chegar até 4 metros de altura em determinadas áreas. As hastes são cilíndricas e nervuradas, as folhas são simples e em formato espiral distribuídas ao longo do caule, possui raiz principal forte e raízes laterais bem desenvolvidas (SHIL, et al., 2018). As flores geralmente, são amarelas, as vezes estriadas com vermelho, dispostas em racemos vistosos, com cálice maior que a corola, as vagens são cilíndricas de 4 a 6 cm de comprimento a planta se propaga por sementes, as quais apresentam variação na cor do tegumento (PACHECO & SILVA-LÓPEZ, 2010).

Esta espécie auxilia na fixação de nitrogênio, tem alto potencial de acúmulo de massa seca, favorecendo o fornecimento de matéria orgânica ao solo, que pode ser utilizada como cobertura morta em cultivos consorciados e ainda possui efeito alelopático, reduzindo o desenvolvimento de plantas daninhas (GALDINO et al., 2019)

Estas características tornam a crotalária atrativa para a prática da adubação verde e a rotação de culturas, por apresentar alta produção de massa vegetal e da associação com rizóbios pode suprir total o parcialmente o teor de N necessário ao bom desenvolvimento de outras culturas de interesse comercial, reduzindo assim o uso de fertilizantes minerais (RAMOS et al., 2015).

A época de corte das leguminosas também influencia a decomposição dos resíduos adicionados ao solo. Por ocasião da floração, essas plantas apresentam a máxima acúmulo de N nos tecidos. Na medida que vão sendo formados flores e frutos, ocorre um aumento da relação C/N. Desta forma, recomenda-se fazer o corte das leguminosas durante a floração quando o objetivo é fornecer nutrientes para outras culturas (DOURADO et al. 2001).

Mauad et al., (2019) ao avaliarem a produção de matéria seca e o acúmulo de nutrientes em uma área de produção de *C. spectabilis*, observaram que o acúmulo máximo de matéria seca ocorre aos 158 dias após a emergência da cultura, sendo então a época com maior acúmulo de biomassa para a realização do corte. Entretanto nesta época a planta já apresenta sementes e segundo Costa (1989), o corte não é aconselhável após o

desenvolvimento do fruto, pois isso pode resultar em infestação por sementes de adubo verde, causando problemas para as culturas subsequentes.

A *C. spectabilis* é uma das espécies de crotalária mais tóxica devido alta produção de monocrotalina, principal alcaloide pirrolizidínico produzido pelo gênero *Crotalaria*. Este alcaloide apresenta efeito pneumotóxico, nefrotóxico, cardiotoxico, fetotóxico, carcinogênicos, inflamação, hemorragia e fibrose quando ingerido por animais (HONÓRIO JÚNIOR *et al.*, 2010), além da ação nematicida, inibindo a movimentação de *Meloidogyne incognita* (SILVA, 2012). Charchar (2009) observou que a *C. spectabilis* causou um declínio na população de *Meloidogyne incognita* raça 1 no cultivo de cenoura e Schwan (2003) concluiu em seu trabalho que a espécie se comporta como má hospedeira para *Heterodera glycines* raça 10, apesar do nematoide penetrar nas raízes ele não completa seu ciclo.

Na indústria, essa espécie se caracteriza como uma das principais plantas produtoras de fibra de importância econômica, sendo muito cultivada para esse fim na Rússia e na Ásia tropical. Suas fibras são macias, duráveis e resistentes, detentoras de celulose de alta qualidade, sendo utilizada em cordoaria, fabricação de redes de pesca, sacarias, tapetes e papel para confecção de cigarros (CALEGARI *et al.*, 1993; COOK e WHITE, 1996). A fibra extraída da casca de crotalária é mais durável do que a da juta (*Corchorus sp.*). No Brasil, a *C. spectabilis* foi introduzida inicialmente para a produção de fibras, mas se difundiu como planta condicionadora do solo (BURLE *et al.*, 2006). Por fim, na medicina popular, as sementes são utilizadas como purificadoras do sangue, contra o impetigo e a psoríase (PACHECO & SILVA-LÓPEZ, 2010).

As pesquisas com crotalária estão, em sua maioria, destinadas ao uso da planta para adubação verde e no controle de nematoides, há a necessidade de expansão de pesquisas com as sementes desta espécie, visto que existe uma demanda muito grande de sementes para uso em áreas com solo degradado, entretanto a limitação do uso desta espécie é produção e posterior comercialização das sementes, decorrentes da falta de informações sobre a maturação, necessidade de secagem e do armazenamento das sementes de crotalária.

## **2. 2. Desenvolvimento da semente**

Após a fecundação do óvulo se inicia o desenvolvimento da semente (BEWLEY *et al.*, 2013). Durante o período de retenção na planta mãe, as sementes

passam por uma série de modificações que caracterizam o seu processo de desenvolvimento. Sendo representado por variações quantitativas, relacionadas ao crescimento das sementes; e qualitativas, relacionadas à diferenciação das células (CARDOSO, 2008; TAIZ *et al.*, 2017).

O envoltório da semente ou tegumento ou casca da semente, formado pelo tecido diploide da planta mãe, inicia o seu desenvolvimento com a fecundação do óvulo, sofrendo uma série de modificações durante a maturação da semente, a partir do tegumento do óvulo (COLL *et al.*, 2001; CARDOSO, 2008; SOUZA, 2009). O tegumento da semente exerce a função de via de trocas de materiais entre os meios interno e externo. Entretanto, ao longo do processo de desenvolvimento da semente, o tegumento pode ser submetido à suberização ou cutinização, criando, assim, uma maior resistência às trocas de materiais como água, gases e solutos entre a semente e o meio (CARDOSO, 2008).

Ao longo do desenvolvimento as sementes passam por uma série de transformações de tamanho e a caracterização biométrica de sementes pode fornecer informações importantes sobre a variabilidade morfológica e biométrica entre espécies de indivíduos de uma mesma população de plantas. Características morfológicas como massa e tamanho das sementes, estão relacionadas principalmente com estratégias reprodutivas das plantas, sobretudo influenciando o estabelecimento, sobrevivência e o crescimento das espécies (ACCHIRE *et al.*, 2017). Segundo Mata *et al.* (2013), ao estudar o processo de maturação de frutos e sementes deve-se levar em consideração as modificações de natureza morfológica e fisiológica, a exemplo do acúmulo de matéria seca, teor de água e potencial germinativo.

Na maioria das espécies, o desenvolvimento das sementes pode ser dividido em três fases distintas. A primeira fase é caracterizada pela divisão celular e pelo aumento rápido na massa da semente e no conteúdo de água. Nessa fase, a água representa maior parte da massa da semente. Durante essa fase, a histodiferenciação e a morfogênese das sementes acontecem à medida que o zigoto unicelular se submete às divisões mitóticas extensivas (MARCOS FILHO, 2015).

Na segunda fase ocorre o aumento de massa e cessam as divisões celulares devido à síntese e deposição de reservas, tais como carboidratos, lipídios e proteínas. Esses processos ocorrem em organelas específicas que podem estar presentes no embrião e/ou nos tecidos de reserva, tais como endosperma ou perisperma (BEWLEY *et al.*, 2013).

Essa deposição de reservas se intensifica na fase intermediária de desenvolvimento, levando à expansão das células e, conseqüentemente, ao aumento de tamanho das sementes, basicamente em comprimento e largura. Com a intensificação da transferência de reservas da planta para as sementes, há aumento progressivo do tamanho, quanto a espessura, de modo que o máximo é alcançado aproximadamente na metade do período de acúmulo de matéria seca (MARCOS FILHO, 2015).

O elevado teor de água permanece e as sementes exibem alto poder germinativo (BEWLEY et al., 2013). Segundo Marcos Filho (2015) nessa fase o teor de água precisa ser elevado, para que ocorra a movimentação dos solutos (fotossintatos e minerais) da planta-mãe para a semente. No decorrer desta fase, em sementes ortodoxas, os vacúolos diminuem de tamanho à medida que os compostos de armazenamento se acumulam e a massa de matéria seca aumenta.

O desenvolvimento das sementes termina com uma fase pré-programada de secagem (ANGELOVICI et al., 2010; WEBER et al., 2010). Em sementes ortodoxas, como as crotalárias, nessa fase, ocorre um declínio rápido do conteúdo de água. Isso resulta em uma redução gradual do metabolismo e o embrião passa para um estado metabólico mínimo, também chamado de estado quiescente (CASTRO et al., 2004), caracterizado pela redução acentuada da atividade respiratória.

Nesse estado desidratado, as sementes entram em repouso, permitindo sua distribuição e sobrevivência a uma gama de condições ambientais (LEPRINCE & BUITINK, 2010). A menos que esteja dormente, recomeçará a atividade metabólica, o crescimento e o desenvolvimento quando as condições favoráveis à germinação forem fornecidas (CASTRO et al., 2004).

A capacidade de suportar a dessecação requer a presença de proteínas protetoras, carboidratos específicos, moléculas que reestruturam lipídios de membrana e mecanismos regulatórios que orientam um programa de expressão gênica (GIAROLA *et al.*, 2017). A tolerância à dessecação adquirida pelas sementes desempenhou um papel fundamental na evolução das plantas terrestres, uma vez que permitiu que as sementes permanecessem viáveis em seu estado desidratado por anos ou até mesmo séculos, por meio dos mecanismos que mantêm a integridade celular e do DNA por todo esse tempo (GONZÁLEZ-MORALES *et al.*, 2016).

A maturidade fisiológica é o momento em que cessa a transferência de matéria seca da planta para as sementes. Nesse momento, as sementes apresentam potencial fisiológico máximo. O atraso na colheita, a partir desse ponto, expõe as

sementes às condições adversas do ambiente, como variações de temperatura, de umidade, insetos e microrganismos. Com isso, pode haver quedas no potencial fisiológico e na quantidade de sementes (CARVALHO & NAKAGAWA, 2012).

No entanto, a colheita de sementes no ponto de maturidade fisiológica também é inviável, pelo elevado teor de água das sementes, incompatível com o manejo mecanizado, devido, principalmente, à ocorrência de injúrias às sementes e ao embuchamento de máquinas. Mesmo em colheitas manuais, sementes muito úmidas têm que ser submetidas à secagem, que deve ser suficientemente rápida para não predispor as sementes à deterioração. Para isso, pode ser necessária a utilização de altas temperaturas de secagem que, da mesma forma, trará sérios prejuízos à qualidade das sementes (MARCOS FILHO, 2015). Durante a maturação das sementes, mecanismos de proteção são iniciados para preservar a integridade dos componentes celulares quando a água for removida durante a secagem (HOEKSTRA et al., 2001).

A degradação de pigmentos fotossintéticos como clorofila e carotenoides está diretamente ligada à maturidade fisiológica, sendo as diferenças de cores em lotes de sementes consideradas características de imaturidade e assim separar lotes de sementes altamente vigorosas. As razões da degradação da clorofila durante a maturação da semente ainda não são claras. Algumas espécies adquirem tolerância à dessecação ainda verdes, indicando que a presença da clorofila não é prejudicial durante o processo de secagem, entretanto durante o processo de armazenamento a presença desta é um fator de degradação da semente (LEPRINCE et al., 2016). De acordo com Sano et al. (2016), a presença de clorofila e carotenoides ativa genes responsáveis pela realização da fotossíntese nas sementes, e por ser um processo de elevado gasto energético proporciona a deterioração das sementes.

O polimorfismo na cor do tegumento da semente em espécies de *Crotalaria* está relacionado com o vigor (PASCUALIDES; ATECA, 2013). Sementes de *C. juncea*, por exemplo, de tamanho maior e de coloração uniforme apresentam maior vigor e lotes com alta porcentagem de sementes variegadas apresentam baixa emergência. Esses autores ainda afirmaram que, por essas razões, é importante determinar a proporção de sementes variegadas em uma amostra representativa do lote, a fim de determinar a densidade adequada de semeadura (PASCUALIDES; ATECA, 2013). Em sementes de *Crotalaria ochroleuca*, Silva et al. (2016) observaram que a cor do tegumento apresenta influência na germinação e no vigor das sementes, concluindo que a classificação das sementes por cor pode melhorar a qualidade dos lotes de sementes.



As informações a respeito da maturação fisiológica de sementes de *crotalaria spectabilis*, são contrastantes. Mozambani et al. (1993) verificaram que a máxima germinação e vigor ocorreu aos 182 dias após a sementeira, em torno de 86 dias após a antese. Esses autores também constataram que o retardamento da colheita reduziu a qualidade fisiológica das sementes, causada tanto pela deterioração, pela maior exposição às condições adversas de campo, quanto pelo aumento de sementes duras. Lopes et al. (2005) concluíram que a máxima germinação ocorre entre 66 e 73 dias após a antese. A diferença entre os resultados desses trabalhos pode ser explicada pelas diferentes épocas de sementeira, que foi mais precoce no estudo de Mozambani et al. (1993).

### **2. 3. Maturação de sementes**

A crotalaria apresenta crescimento determinado, mas o florescimento e o desenvolvimento das sementes, são desuniformes, sendo assim em uma mesma planta são encontradas sementes em diferentes estádios de maturação, dificultando a determinação da época certa da maturidade fisiológica, e conseqüentemente as sementes permanecem no campo por um maior período de tempo até a colheita, sujeitas à deterioração (CALEGARI et al., 1993). Para a adubação verde a época de corte das leguminosas também influencia a decomposição dos resíduos adicionados ao solo. Por ocasião da floração, essas plantas apresentam a máxima acumulação de N nos tecidos. Na medida que vão sendo formados flores e frutos, ocorre um aumento da relação C/N. Desta forma, recomenda-se fazer o corte das leguminosas durante a floração quando o objetivo é fornecer nutrientes para outras culturas (TEODORO et al., 2011).

A prática de se realizar o corte da cultura da crotalaria durante o período de florescimento acarreta um déficit de informações sobre o desenvolvimento das sementes assim como a maturação (KAPPES et al., 2012). Entretanto, esse quadro tende a ser revertido, principalmente devido ao aumento contínuo do uso dessa espécie na agricultura brasileira e, conseqüentemente, à demanda crescente por sementes.

A crescente demanda por alimentos e conseqüentemente uma maior produção agrícola, tem evidenciado a cada dia a importância da utilização de sementes com elevada qualidade fisiológica, ou seja, com alto vigor. A indústria de sementes considera como vigorosas as sementes que apresentam desempenho satisfatório a campo, ou seja, com elevada porcentagem de germinação e crescimento de plântulas, assim como emergência

em campo em condições desfavoráveis e a manutenção dessas características ao longo do armazenamento (FINCH & SAVAGE & BASSEL, 2015).

A colheita precoce pode resultar em uma menor longevidade das sementes, devido ao baixo vigor destas, visto que quando colhidas prematuramente as sementes podem não ter adquirido todas as características que a tornam vigorosas (LEPRINCE et al., 2016). Por outro lado, o atraso na colheita proporciona as sementes maiores riscos de deterioração no campo, devido às condições climáticas que as sementes são expostas. Outro fator importante a ser considerado com relação a qualidade fisiológica das sementes é o estágio da maturidade e como esta é adquirida.

O processo de maturação (desenvolvimento, embriogênese e maturação) das sementes é caracterizado por uma série de alterações morfológicas, fisiológicas e funcionais, como aumento de tamanho, variações no teor de água, vigor e acúmulo de massa seca, que ocorrem a partir da fecundação do óvulo e continuam até se atingir a maturidade fisiológica (HEHNBERGER et al. 2012), momento em que as sementes adquirem o máximo de matéria seca, germinação e vigor (MARCOS FILHO, 2015).

### **2. 3. 1. Dormência de sementes**

As sementes secas maduras são denominadas quiescentes, geralmente têm baixo teor de água (5 a 15%) e são metabolicamente inativas. Neste estado as sementes podem sobreviver por décadas (LONGA et al., 2015). Somente quando as sementes são hidratadas e colocadas sob condições adequadas para a germinação que a dormência pode ser avaliada. A dormência é então reconhecida como uma propriedade inata (física ou fisiológica) da semente que bloqueia a capacidade de germinar durante um período específico, sob qualquer combinação de condições ambientais (água adequada, temperatura, oxigênio e luz) que apoiarão a germinação (BASKIN & BASKIN, 2004). Uma gama diversificada de mecanismos de dormência evoluiu junto com a diversidade de climas e habitats que as espécies vegetais conseguiram colonizar (WILLIS et al., 2014).

Com base nos mecanismos envolvidos, a dormência pode ser classificada em endógena e exógena. A dormência endógena, também chamada de embrionária, é causada por algum bloqueio à germinação relacionado ao próprio embrião e pode ser dividida em: fisiológica, morfológica e morfofisiológica (CARDOSO, 2009). Na dormência fisiológica, o impedimento à germinação está no próprio embrião, envolvendo

basicamente processos metabólicos e controle de desenvolvimento (CARDOSO, 2009). Neste caso, o embrião pode estar na forma imatura ou com desenvolvimento incompleto de modo que as sementes necessitam de um tempo de pós-maturação para que haja o completo desenvolvimento do embrião (BORGUETTI, 2004).

A dormência morfológica manifesta-se em sementes que são liberadas da planta mãe com embriões diferenciados (CARDOSO, 2009). Segundo Baskin e Baskin (2004) ocorre em sementes que apresentam o embrião pequeno, porém com suas estruturas bem diferenciadas, isto é, o cotilédone e o eixo hipocótilo-radícula bem definidos. Esses embriões morfológicamente dormentes não respondem a tratamentos para superação de dormência, apenas de tempo para se desenvolver completamente e germinar (CARDOSO, 2004).

Já nas sementes com dormência morfofisiológica, os dois mecanismos descritos anteriormente ocorrem simultaneamente (VIVIAN et al., 2008). Além do embrião subdesenvolvido, existe um componente fisiológico que requer tratamentos ou condições para superação de dormência (CARDOSO, 2009). No caso da dormência exógena, também conhecida como tegumentar, esta é extra-embriônica, causada por tecidos que envolvem a semente como o tegumento ou partes do fruto, podendo ser associada a fatores físicos, mecânicos ou químicos (MENEZES et al., 2009).

De acordo com Cardoso (2009), a dormência física é causada por uma ou mais camadas de células impermeáveis à água e/ou às trocas gasosas situadas no tegumento ou nos envoltórios da semente em geral. A dormência química se manifesta a partir da ação de substâncias inibidoras de crescimento presentes no pericarpo ou nas partes internas da semente (VIVIAN et al., 2008). E a dormência mecânica ocorre quando há absorção de água e de oxigênio, mas a expansão do embrião é limitada pela resistência exercida pelo tegumento das sementes, pericarpo ou pelas paredes celulares do tecido de reserva (MARCOS FILHO, 2015). As causas e tipos de dormência variam de acordo com a espécie, e elas podem ocorrer isoladamente ou combinadas (FIGUEIREDO et al., 2014).

As sementes de crotalária apresentam o tegumento impermeável à água, resultando em um grande número de sementes duras (ANTONIOLLI et al., 1993). A estrutura responsável pela impermeabilidade da semente à água é o tegumento, que nas sementes de crotalária possuem as células da camada paliçádica são espessas e recobertas por uma camada cuticular cerosa. Existem relatos na literatura que as espécies selvagens

de crotalária apresentavam dormência de até 100%, entretanto nas sementes já domesticadas da espécie sabe-se que a dormência física é reduzida ao longo do tempo, entretanto faltam informações sobre o mecanismo da dormência em sementes recém colhidas (RAJENDRAPRASAD et al., 2017).

De acordo com Deminicis et al., (2006), Van-Klinken e Goulier (2013) e Andreani et al., (2014), sabe-se que várias espécies de Fabaceae têm, na maioria dos casos, tegumento de sementes resistente e impermeável à água ou gases. A impermeabilidade do tegumento de sementes em espécies de Fabaceae é uma característica importante para a permanência de espécies em campo sob condições climáticas adversas e patogênicas, podendo permanecer viável no solo por um longo período compondo um banco de sementes (SILVA et al., 2018).

Sob condições naturais, sementes com impermeabilidade estão sujeitas à ação de fatores abióticos (amplitude térmica, precipitação, pH do solo, exposição à luz e abrasão com partículas do solo) e bióticos (fungos, bactérias e animais) no tegumento das sementes, promovendo assim a abertura para captação de água e, conseqüentemente, germinação (CARVALHO & NAKAGAWA, 2012; BASKIN & BASKIN, 2014).

A dormência, é um fenômeno intrínseco da semente, a qual permite a distribuição da germinação ao longo do tempo como resultado da estratégia evolutiva da espécie. Esse comportamento caracteriza um mecanismo de sobrevivência, visto que as estruturas internas da semente impedem a germinação até que o ambiente externo propicie condições ideais para o seu desenvolvimento, ocorrendo, assim, um acréscimo na capacidade de sobrevivência da espécie que possui essa característica (FINCH & SAVAGE & FOOTITT, 2017). A superação da dormência em laboratório pode ser feita por meio da escarificação, que visa dissolver a camada cuticular cerosa ou promover estrias e perfurações no tegumento da semente, para possibilitar a absorção de água e fazer iniciar a germinação (CANDIDO & OLIVEIRA, 2018).

Sementes fisicamente dormentes germinam quando uma camada impermeável do tegumento é rompida. A perda da impermeabilidade da semente geralmente segue altas temperaturas, ou em alguns casos temperaturas flutuantes como em regiões com incidência de fogo (HANLEY & FENNER, 1998). A dependência de fatores exógenos para iniciar a germinação sugere que sementes com dormência física não germinem em condições desfavoráveis de solo e clima (BASKIN & BASKIN, 2014).

Observa-se então que a dormência física é mais vantajosa para a semente em ambientes onde os eventos que possibilitem condições favoráveis à germinação são sazonais (DAILING et al., 2011).

A crotalária, conhecidamente, apresenta dormência física, portanto há a necessidade de alguns processos que favoreçam a entrada de água na semente para que esta inicie o processo de embebição e conseqüentemente germinação. Antonioli et al. (1993) observaram que a escarificação em sementes de crotalária proporcionou maiores porcentagem de germinação quando comparada a embebição com água em temperatura ambiente, demonstrando que a dormência é tegumentar. Araújo et al. (2018) verificaram que o armazenamento por oito meses reduz a dormência física, em decorrência das variações ambientais em que a semente se encontra, o tegumento tende a sofrer rupturas e então possibilitar à germinação.

#### **2. 4. Colheita e secagem de sementes**

A colheita dos campos de produção de sementes, teoricamente, deveria ser realizada no momento em que as sementes atingissem o ponto de maturidade fisiológica, sendo a partir deste ponto, considerada atrasada. Uma vez que o ponto de maturidade fisiológica indica o momento em que a transferência de matéria seca da planta para as sementes é interrompida, e nesta ocasião, o potencial fisiológico é elevado, senão máximo (MARCOS FILHO, 2015).

Ao atingirem este ponto, as sementes apresentam teor de água elevado (30 a 50%, dependendo da espécie), o que torna a colheita inviável. Neste ponto, a planta ainda se encontra com uma grande quantidade de folhas e ramos verdes úmidos, o que ocasionaria o embuchamento das máquinas, além disto, a susceptibilidade das sementes sofrerem injúrias mecânicas por amassamento é elevada. Por isto, na maioria das vezes, as sementes são mantidas no campo visando a redução do teor de água e, viabilizando as operações de colheita. O que conseqüentemente implica em expor as sementes às condições adversas do ambiente, como variações de temperatura e de umidade relativa, e ao ataque de insetos e microrganismos, podendo haver redução no potencial fisiológico e na quantidade de sementes (CARVALHO & NAKAGAWA, 2012).

A secagem com ar aquecido consiste em um processo simultâneo de transferência de calor do ar para as sementes e de massa (água) das sementes para o ar (PETRY & WEBER, 2015). Ou seja, durante o processo, o fornecimento de calor para o

material úmido, promoverá a evaporação da água do material e em seguida a transferência de massa arrastará o vapor formado. Deste modo, para que haja a evaporação de água da superfície do material para ambiente, esta, por sua vez, deve ser transportada do interior do produto até a sua superfície. Neste sentido, a secagem de sementes se dá em duas fases: a primeira é a transferência de água da superfície das sementes para o ar que as circunda, e a segunda consiste no movimento da água do interior para a superfície da semente (CARVALHO & NAKAGAWA, 2012).

Portanto, quando o produto é colocado em contato com ar quente, ocorre a transferência do calor do ar para o produto sob o efeito da diferença de temperatura existente entre eles. Simultaneamente, a diferença de pressão parcial de vapor d'água existente entre o ar e a superfície do produto determina uma transferência de matéria para o ar. Esta última se faz na forma de vapor d'água. Uma parte do calor que chega ao produto é utilizada para vaporizar a água (PARK et al., 2014).

A forma mais utilizada para aumentar o diferencial entre as pressões de vapor da superfície da semente e do ar de secagem é o aquecimento desse último, diminuindo, em consequência, a sua umidade relativa que, dessa forma, adquire maior capacidade de retirada de água (PESKE et al., 2012). O processo de secagem ocorre somente enquanto houver um gradiente de pressão parcial de vapor, já que conforme o ar vai-se saturando, menor é a retirada de água, até um determinado nível em que não se dá mais a transferência de vapor (CARVALHO e NAKAGAWA, 2012).

Baseado na capacidade do ar fornecer calor e na necessidade de aumentar a temperatura do ar, a secagem artificial pode ser dividida em duas categorias: secagem em baixa temperatura e secagem em alta temperatura. A secagem artificial das sementes utilizando ventilação com ar em temperatura ambiente preserva a qualidade fisiológica das sementes, mas podem necessitar de um maior período para a realização completa do processo, enquanto que a utilização do ar aquecido à temperatura adequada possibilita reduzir o teor de água das sementes em menor tempo (VILELA, 1991).

Apesar de ser um processo que apresenta inúmeras vantagens, a secagem artificial tem sido causa de danos nas sementes, com significativas reduções na viabilidade e no vigor das mesmas (COSTA et al., 2018; JUNQUEIRA et al., 2018; SILVA, et al., 2018; ULLMANN et al., 2018). Vale ressaltar que cada tipo de semente possui alguma peculiaridade em relação à tolerância a secagem artificial, e a

suscetibilidade das sementes aos danos por secagem é uma interação de diversos fatores relacionados às condições de cultivo e aos aspectos genéticos de cada espécie. (CHEN & BURRIS, 1991).

Na maioria dos casos, a utilização de temperaturas inadequadas para a secagem de produtos agrícolas contribui para a redução imediata da qualidade, seja ela fisiológica, física ou química. A secagem a altas temperaturas é utilizada com o objetivo de acelerar o processo e otimizar os equipamentos, reduzindo também o desenvolvimento de fungos e toxinas. Entretanto, pode provocar uma diferença de umidade muito grande entre a periferia e o centro do produto, podendo gerar problemas como a supersecagem e aceleração no processo de deterioração (MENEZES et al., 2012; ULLMANN et al., 2010).

A causa primária do dano produzido por alta temperatura do ar de secagem em tecidos vegetativos está relacionada com a desintegração do sistema de membranas celulares, possivelmente por alterações nos lipídeos que as constituem (JOSÉ et al., 2006). Além disto, altas temperaturas de secagem podem diminuir a solubilidade e a capacidade de ligação das proteínas (PEPLINSKI et al., 1994), causar injúria tanto na estrutura da mitocôndria, refletindo na taxa respiratória (BURRIS et al., 1997), como em outros sistemas subcelulares.

Deste modo, as sementes que toleram a dessecação dispõem de alguns mecanismos de proteção capazes de manter os sistemas de membranas das células, as estruturas das macromoléculas e as substâncias de reserva em condições de readquirir suas funções fisiológicas quando as sementes são reembebidas. Portanto, os limites da temperatura do ar de secagem são determinados em função da sensibilidade dos grupos químicos que determinam a viabilidade da semente uma vez que o produto, durante a secagem, em períodos de taxa decrescente, tem sua temperatura aumentada, aproximando-se daquela a qual o processo se desenvolve (CARLESSO et al., 2005).

Percebe-se, portanto, que o processo de secagem traz consigo muitos benefícios, como antecipar a colheita, armazenar o produto por um período de tempo maior e manter a sua viabilidade (OLIVA et al., 2012). Entretanto, se for realizado de maneira errônea, os danos podem ser irreversíveis, devido, principalmente, às condições de temperatura e umidade relativa que geram elevadas taxas de remoção de água prejudicando a comercialização ou o processamento dos produtos agrícolas (RESENDE

et al., 2012). Deste modo, para que o processo de secagem seja realizado de forma adequada devem ser levados em consideração todos os quesitos que podem causar injúrias às sementes, de forma a se maximizar os benefícios e reduzir as perdas a valores mínimos.

Além dos efeitos na redução do avanço da deterioração, a aplicação do ar aquecido, para algumas espécies pode promover a superação da dormência de sementes que apresentam impermeabilidade do tegumento, como relatado por a eficiência do método foi constatada para sementes de *Acacia mangium* por Perez (2004), que cita o emprego da água quente, que amoleceu o tegumento das sementes, favorecendo a sua permeabilidade.

## **2. 5. Armazenamento de sementes**

A etapa de armazenamento constitui um conjunto de procedimentos voltados para a preservação da qualidade do produto, no intuito de proporcionar um ambiente no qual as mudanças fisiológicas e bioquímicas sejam mantidas em um nível aceitável (FERREIRA, 2012). A deterioração é um processo determinado por uma série de alterações fisiológicas, bioquímicas, físicas e citológicas, com início a partir da maturidade e com ritmo progressivo, que reduz o potencial de desempenho levando a morte da semente. A morte da semente refere-se à incapacidade de a mesma retomar o crescimento ativo após a hidratação (YAN & WEN, 2017). O processo de deterioração é inevitável, mas pode ser minimizado, dependendo das condições de armazenamento e das características das sementes (ARJMAND et al., 2014).

Neste sentido, o armazenamento é uma etapa extremamente importante dentro do sistema de produção de sementes pois, por meio dele é possível manter o vigor das mesmas até a próxima semeadura (AZEVEDO et al., 2003). Deste modo, para que a etapa de armazenamento apresente o desempenho almejado é importante que o produto a ser armazenado apresente boa qualidade inicial (CARVALHO & NAKAGAWA, 2012). Dentre os atributos que caracterizam a qualidade da semente, o potencial fisiológico é aquele que reflete melhor a capacidade de desempenho das funções vitais da semente caracterizada pela germinação, vigor e longevidade (POPINIGIS, 1977).

O teor de água das sementes controla os processos metabólicos, enquanto que, a temperatura influencia a velocidade de tais processos, além de indiretamente afetar a quantidade de água das sementes. De acordo com Azeredo et al. (2005), as condições ideais para a conservação das sementes são aquelas em que as suas atividades metabólicas



são reduzidas ao mínimo, mantendo-se baixas a umidade relativa e temperatura no ambiente de armazenamento.

Araújo et al. (2017) trabalhando com sementes de *crotalaria juncea* colhidas em diferentes estágios de maturação, verificaram que oito meses de armazenamento promoveu a superação da dormência de sementes, isto possivelmente ocorreu devido a ruptura do tegumento influenciada pelas variações climáticas ocorridas durante o armazenamento.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3. 1. Experimento 1 - Maturação de sementes de crotalária**

##### **3. 1. 1. Área de produção das sementes para estudo da maturação**

O experimento foi realizado área experimental do campus da Universidade Federal da Grande Dourados, localizada no município de Dourados – MS na safra de 2017/2018. O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é o AM, tropical monsônico. A área de produção das sementes foi de 0,2 hectares, sendo que foram realizadas duas gradagens e a correção da acidez do solo foi realizada com a incorporação de calcário. O arranjo populacional do experimento foi de 30 plantas por metro linear, com espaçamento de 0,5 m entre linhas.

A adubação foi realizada momentos antes da semeadura, com adubo de fórmula 8-20-20. As sementes base foram tratadas com o produto a base do ingrediente ativo piraclostrobina (25g/L) + tiafanato metílico (221g/L) e fipronil (250g/L), antes da semeadura. A semeadura foi realizada com *Crotalária spectabilis*, cujas sementes foram provenientes da Sementes Pirai, sendo esta realizada no dia 10 de maio de 2018. Durante o desenvolvimento da cultura foi realizado um rigoroso controle de pragas e doenças, assim como irrigação através de um sistema de gotejamento, quando necessário. Os tratamentos culturais realizados durante o desenvolvimento da cultura foram realizados manualmente, a fim de se evitar danos à qualidade fisiológica das sementes em formação.

##### **3. 1. 2. Antese e marcação de flores**

A antese foi identificada, quando 50% das plantas apresentaram ao menos uma flor aberta, o que ocorreu no dia 18 de setembro de 2018 (128 dias após a semeadura). Na ocasião, foram então marcadas, com fitilho na colocação azul, ao acaso, cerca de 500 hastes florais. O fitilho foi amarrado na haste floral antes do primeiro botão aberto, para que as plantas marcadas correspondessem ao início da antese (Figura 1).



FIGURA 1. Planta de crotalária (*crotalaria spectabilis*) no início da antese, com a haste floral demarcada com fitilho para identificação do primeiro botão floral aberto (MICHELS, 2018, DOURADOS- MS).

### 3. 1. 3. Avaliações de maturação das sementes de crotalária

As avaliações da maturação das sementes de crotalária foram realizadas a cada sete dias a partir da primeira semana após a antese (7 DAA) e perduraram até os 56 dias após a antese, sendo realizadas oito avaliações no decorrer do experimento. No 42º dia após a antese, foi observada a maturidade fisiológica das sementes de crotalária.

A cada sete dias, cerca de 50 vagens foram colhidas, como critério de avaliação, sendo que apenas as primeiras vagens das hastes florais marcadas com o fitilho foram retiradas das plantas e armazenadas em saco plástico para transporte até o Laboratório de Pré-Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas. No laboratório, as sementes foram retiradas das vagens manualmente.

### 3. 1. 4. Biometria de sementes (comprimento, largura, espessura, massa)

A avaliação da biometria das sementes de crotalária foi realizada medindo-se comprimento (mm), largura (mm), espessura (mm) das sementes efetuadas com auxílio de um paquímetro digital da marca Digimed®. A massa (g) foi obtida com o auxílio de uma balança com três casas decimais.

As medidas de biometria e a massa das sementes foram realizadas individualmente em duzentas sementes, obtidas ao acaso e divididas em quatro repetições de 50 sementes.

### 3. 1. 5. Teor de água e matéria seca de sementes

O teor de água das sementes foi realizado pelo do método da estufa a  $105\pm 3^{\circ}\text{C}$ , durante 24 horas de acordo com as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009). As sementes utilizadas para a determinação do teor de água, foram as mesmas utilizadas na biometria, ou seja, 4 repetições com 50 sementes.

Paralelamente, foi determinada a massa da matéria seca das sementes que consistiu do peso final médio das quatro repetições de 50 sementes após secagem, sendo os resultados também expressos em gramas.

### 3. 1. 6. Cor

O acompanhamento da cor das sementes de crotalária foi realizado pela leitura direta de refletância das coordenadas do sistema “L” (luminosidade), “a” (tonalidades verde - vermelha) e “b” (tonalidades azul - amarela), em colorímetro tristímulo (iluminante  $10^{\circ}/\text{D65}$ ), empregando-se o sistema Hunter de cor (Figura 2). Foram realizadas, para cada época de maturação, a média de quatro determinações para avaliação da cor das sementes. Utilizando-se os valores das coordenadas “L”, “a” e “b”, foram calculadas a diferença total de cor (Equação 2) e o croma que define a intensidade e pureza de uma cor (Equação 3).

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

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

$$\text{Sendo,} \quad (4)$$

$$\Delta L = L(t) - L(t_0)$$

$$\Delta a = a(t) - a(t_0) \quad (5)$$

$$\Delta b = b(t) - b(t_0) \quad (6)$$

em que:

$\Delta E$ : diferença de cor;

$C_r$ : croma;

t: Dias após a antese, dia; e

$t_0$  : período inicial.

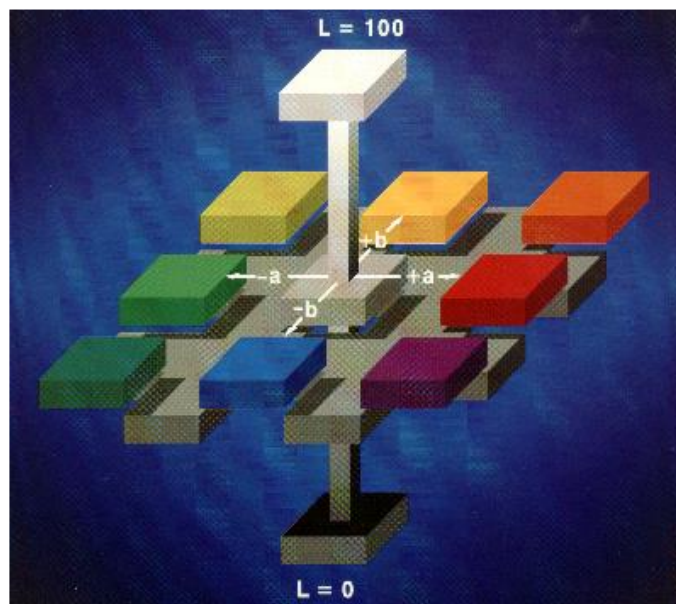


FIGURA 2. Representação do sólido de Hunter

### 3. 1. 7. Teste de Germinação e índice de velocidade de germinação

O teste de germinação foi realizado de acordo com as Regras Para Análises de Sementes (BRASIL, 2009). Foram utilizadas quatro amostras de 50 sementes, totalizando 200 sementes para cada época de maturação. As sementes foram dispostas em papel toalha embebido com 2,5 vezes o seu peso em água destilada e distribuídas de maneira uniforme sobre o papel, e então, foram montados rolos de papel e estes condicionados em sacos de polipropileno e condicionados em germinador por 10 dias a 25°C. Os resultados do teste de germinação foram expressos em porcentagem de plântulas

normais, plântulas anormais e sementes mortas. As sementes que se encontravam duras, após a contagem final do teste de germinação, foram escarificadas com auxílio de lixa de papel na região distal das sementes, e em seguida foram submetidas a um novo teste de germinação (BRASIL, 2009).

O índice de velocidade de germinação (IVG) foi realizado juntamente com o teste de germinação, as avaliações ocorreram a partir do 1º dia após a semeadura e analisada, diariamente. O índice de velocidade de germinação foi calculado por meio das equações propostas por Maguire (1962).

$$IVG = \frac{G_1}{D_1} + \frac{G_2}{D_2} + \dots + \frac{G_n}{D_n} \quad (1)$$

em que:

$G_1, G_2, G_n$ : número de plântulas germinadas a cada dia;

$D_1, D_2, D_n$ : número de dias após a instalação do teste.

### **3. 1. 8. Curvas de absorção de água**

A avaliação das curvas de absorção de água foi realizada com 5 sementes dispostas sobre papel do tipo Germitest, embebido em 2,5 o peso do papel com água destilada, condicionados em placas de petri e mantidos em B.O.D. (Biochemical Oxygen Demand) com iluminação contínua e temperatura regulada a 25°C.

As sementes foram pesadas individualmente no início do teste e pesadas a cada hora até a protrusão da raiz primária (DRESH et al. 2013). Quando as sementes não apresentaram protrusão da raiz primária as sementes foram pesadas até quando apresentaram boas características de sanidade, como integridade do tegumento e sem a presença de fungos, durante um período de 24 horas.

## **3. 2. Experimento 2 – Secagem e Armazenamento de sementes de crotalária**

### **3. 2. 1. Coleta das sementes**

As sementes foram produzidas em uma área experimental localizada na FAECA (Fazenda Experimental de Ciências Agrárias), pertencente à Universidade Federal da Grande Dourados, no período de abril a outubro de 2019.

A colheita das sementes foi realizada logo após o ponto de maturidade fisiológica da cultura, ou sejam quando as sementes se encontram soltas dentro das vagens, no caso da crotalária, ao serem sacudidas, as vagens no ponto de maturidade fisiológica, produzem um som semelhante ao guizo de cascavel. As vagens foram

colhidas e armazenadas em sacos de polipropileno para transporte até o Laboratório de Pré-Processamento de Produtos Agrícolas, onde foram então debulhadas manualmente.

Após a debulha, as sementes foram homogeneizadas e acondicionadas em embalagens de polietileno, devidamente lacradas, e mantidas em câmara fria regulada a  $5 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ , por pelo menos 72 horas, até o início dos testes.

### 3. 2. 2. Secagem das sementes

O processo de secagem foi realizado em um secador experimental de leito fixo (Figura 2), com uma câmara de secagem de 0,80 m de diâmetro por 1,0 m de altura (GONELI et al., 2016). O secador utiliza como fonte de aquecimento um conjunto de resistências elétricas, as quais totalizam 12 kW de potência e, associado a essas, um ventilador do tipo centrífugo de 0,75 kW de potência, da marca Ibram, modelo VSI-160, com motor de 1 cv.

O controle de temperatura foi realizado por meio de um controlador universal de processos, modelo N1200, da marca Novus, trabalhando com controle Proporcional Integral Derivativo-PID, e a velocidade do ar foi selecionada por meio de um inversor de frequência ligado ao motor do ventilador.

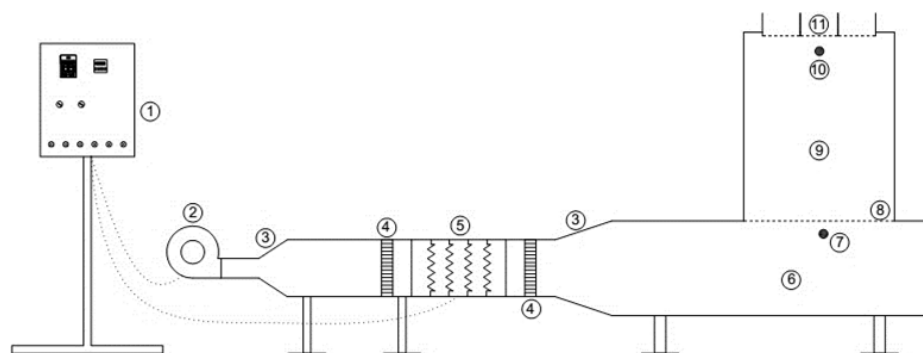


FIGURA 3. Secador experimental de camada fixa utilizado na secagem das sementes de crotalária. (1- Painel de controle de temperatura e fluxo de ar; 2- Ventilador centrífugo; 3- Expansões; 4- Homogeneizadores de ar; 5- Conjunto de resistências elétricas; 6- Plenum; 7- Ponto de medição de temperatura para secagem em camada espessa; 8- Fundo telado para secagem em camada espessa; 9- Câmara de secagem em camada espessa; 10- Ponto de medição de temperatura para secagem em camada delgada; 11- Conjunto de bandejas para secagem em camada delgada.)

O secador é dotado de um sistema que controla com precisão a velocidade e a temperatura do ar de secagem, e dispõe de uma série de sensores conectados a um painel de controle, visando a obtenção de um ajuste fino e o monitoramento das condições do ar de secagem. A secagem das sementes de crotalária, foi realizada de forma contínua nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70°C e com velocidade do ar de secagem de 0,3m/s. A velocidade foi ajustada pela rotação do motor do ventilador, por meio do inversor de frequência, até atingir a velocidade desejada, sendo averiguada com auxílio de um termoanemômetro de pás rotativas, da marca Instrutherm®, modelo TAD 500, com resolução de  $\pm 0,1 \text{ m s}^{-1}$ .

O leito de secagem das sementes foi composto por quatro bandejas de fundo telado, alocadas no interior do secador, cada uma contendo aproximadamente 250g de produto, totalizando 1 kg de produto por temperatura de secagem.

A perda de água das sementes durante a secagem foi avaliada por meio do método gravimétrico (diferença de massa), conhecendo-se o teor de água inicial. Deste modo, o acompanhamento da secagem das sementes foi realizado pela determinação da massa das bandejas contendo as amostras do produto. A determinação das massas foi realizada em balança com resolução de 0,01 g, em intervalos de tempo pré-estabelecidos.

A secagem foi interrompida quando as sementes atingiram o teor de água de, aproximadamente,  $8\% \pm 1\%$  b.u. (Quadro 1), sendo este o teor de água recomendado para o armazenamento das sementes de crotalária. O teor de água das sementes antes e após o processo de secagem, bem como ao longo do armazenamento, foi determinado pelo método padrão da estufa a  $105 \pm 1^\circ\text{C}$  durante 24 horas, de acordo com as Regras para Análises de Sementes (BRASIL, 2009), adaptado para três repetições.

QUADRO 1. Valores médios do teor de água (% b.u.) inicial e final e tempo de secagem (horas) em função de diferentes temperaturas de secagem

Temperatura (°C)	Teor de água inicial (% b.u)	Teor de água final (% b.u.)	Tempo de secagem (horas)
40	28	8,6	10
50	27,9	7,9	4,5
60	27,5	8,1	2,0
70	28	7,7	1,5

Para a avaliação da secagem das sementes de milho, foi determinada a taxa de redução de água do produto de acordo com a seguinte expressão:



$$\text{TRA} = \frac{\text{Ma}_0 - \text{Ma}_i}{\text{MS}(t_i - t_0)} \quad (7)$$

em que:

TRA: taxa de redução de água,  $\text{kg kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ;

$\text{Ma}_0$ : massa de água total anterior, kg;

$\text{Ma}_i$ : massa de água total atual, kg;

MS: massa de matéria seca, kg;

$t_0$ : tempo total de secagem anterior, h; e

$t_i$ : tempo total de secagem atual, h.

### 3. 2. 3. Armazenamento

Após o processo de secagem as sementes foram divididas em três repetições para cada temperatura, então, foram armazenadas em sacos de papel do tipo Kraft e posteriormente alocadas em caixas de papelão do tipo empastado microondulado. As caixas foram armazenadas em condição ambiente, com variação natural da temperatura e da umidade relativa durante 180 dias, e as avaliações foram realizadas a cada 60 dias. A temperatura e a umidade relativa do ar foram determinadas diariamente com o auxílio de dois termo-higrômetros.

### 3. 2. 4. Teste de germinação e primeira contagem

O teste de germinação foi realizado da mesma forma como descrito no item 3. 1. 6.. A primeira contagem do teste de germinação foi realizada no quarto dia e os resultados da primeira contagem foram expressos em porcentagem de plântulas normais.

### 3. 2. 5. Avaliação de sementes duras

As sementes que permaneceram duras, após o período final do teste de germinação (10 dias), foram escarificadas em sua região distal, com auxílio de lixa de papel, conforme recomendação das Regras Para Análises de Sementes (Brasil, 2009), para que a superação da dormência física fosse realizada. Posteriormente um novo teste de germinação foi montado apenas com as sementes escarificadas.

### **3. 2. 6. Índice de Velocidade de Germinação**

O índice de velocidade de germinação (IVG) foi realizado juntamente com o teste de germinação, as avaliações ocorreram a partir do 1º dia após a semeadura e analisada, diariamente, até que o número de sementes germinadas fosse constante. O índice de velocidade de germinação foi calculado por meio da equação proposta por Maguire (1962), (Equação 1).

### **3. 3. Estudo da temperatura de secagem e do tempo de armazenamento**

#### **3. 3. 1. Teste de germinação e primeira contagem**

O teste de germinação foi realizado da mesma forma como descrito no item 3. 1. 6.. A primeira contagem do teste de germinação foi realizada no quarto dia e os resultados da primeira contagem foram expressos em porcentagem de plântulas normais.

#### **3. 3. 2. Teste de condutividade elétrica**

O teste de condutividade elétrica foi realizado conforme a metodologia descrita por Vieira & Krzyzanowski (1999). Utilizou-se quatro amostras de 50 sementes para cada temperatura de secagem, sendo descartadas as sementes com trincas e/ou fraturas visíveis. Em seguida, a massa das sementes foi obtida por meio de uma balança analítica com resolução de 0,01 g, e em seguida, as sementes foram colocadas em copos de plástico contendo 75 mL de água deionizada. Posteriormente, foram condicionados em uma câmara do tipo B.O.D. regulada à temperatura de 25 °C, durante 24 horas.

Após esse período, as amostras foram agitadas durante 15 segundos para a homogeneização dos exsudados liberados na água. A leitura da condutividade elétrica da solução de embebição das sementes foi realizada com um condutivímetro digital da marca Gehaka®, modelo CG 1800. O resultado obtido com a leitura ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) foi posteriormente dividido pela massa de cada repetição, sendo o resultado final expresso em  $\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$  de sementes.

#### **3. 3. 3. Teste de envelhecimento acelerado**

O teste de envelhecimento acelerado foi realizado segundo o método do gerbox descrito por Marcos Filho (1999a). Foram colocadas cerca de 300 sementes sobre telas de alumínio, fixadas em caixas plásticas do tipo “gerbox”, com 40 mL de água destilada no fundo, para cada tratamento de sementes.

As caixas foram mantidas em câmara do tipo B.O.D. durante 72 horas, conforme recomendado por Peixoto (2007), com temperatura de 40°C, aproximadamente. Após este período foi realizado o teste de germinação, conforme descrito no item 3. 1. 6. O número de plântulas normais foi avaliado no 4º dia após a semeadura.

O teor de água das sementes após o período de 72 horas em câmara do tipo B.O.D. foi determinada de acordo as Regras Brasileiras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009).

#### **3. 3. 4. Teste de frio modificado**

O teste de frio modificado foi realizado segundo metodologia proposta por Barros et al. (1999), com quatro amostras de 50 sementes para cada tratamento de secagem. O substrato utilizado para a realização da semeadura foi o papel toalha, tipo Germitest<sup>®</sup>, previamente esterilizado a  $105 \pm 1$  °C durante 2 horas. Após esse procedimento, as folhas foram umedecidas com água destilada, utilizando-se o volume equivalente a duas vezes e meia a massa do papel seco. As sementes foram uniformemente distribuídas por todo o substrato e realizou-se a montagem dos rolos de modo semelhante ao teste de germinação.

Os rolos foram colocados em sacos plásticos, os quais foram fechados e acondicionados em câmara incubadora do tipo B.O.D., previamente regulada a 10 °C durante 5 dias. Após esse período, os sacos foram abertos e os rolos colocados em um germinador tipo câmara, regulado a  $25 \pm 1$  °C, por 10 dias. A avaliação foi realizada segundo os critérios estabelecidos pelas Regras para Análises de Sementes para o teste de germinação, os resultados obtidos foram expressos em porcentagem de plântulas normais (BRASIL, 2009).

#### **3. 3. 5. Teste de emergência em campo e índice de velocidade de emergência (IVE)**

O teste de emergência em campo foi conduzido com quatro repetições de 50 sementes para cada tratamento de secagem. A semeadura foi realizada em canteiros preparados sem correção, as sementes foram distribuídas em sulcos com 2,5 m de comprimento e com profundidade uniforme de 2,5 cm. Durante o período de avaliação, foi realizado quando necessário, a irrigação complementar, tornando as condições favoráveis à emergência das plântulas. A contagem das plântulas emergidas foi realizada ao final de um período de 10 dias, o resultado foi expresso em porcentagem de plântulas emergidas (NAKAGAWA, 1994).

O índice de velocidade de emergência (IVE) foi obtido juntamente com o teste de emergência em campo, avaliando-se diariamente, até que o número de sementes emergidas fosse constante. O índice de velocidade de emergência foi calculado por meio da equação proposta por Maguire (1962) (Equação 8).

$$\text{IVE} = \frac{N_1}{D_1} + \frac{N_2}{D_2} + \dots + \frac{N_n}{D_n} \quad (8)$$

em que:

$N_1, N_2, N_n$ : número de plântulas emergidas a cada dia;

$D_1, D_2, D_n$ : número de dias após a instalação do teste.

### 3. 4. Análise estatística

No experimento 1, (Item 3. 2.) as hastes florais foram marcadas ao acaso em área total, assim como a coleta das vagens, não configurando um esquema estatístico. Os dados referentes às análises da maturação das sementes de crotalária foram submetidos à análise de regressão e a fim de se estabelecer equações que possam representar as interações entre as variáveis analisadas. Os modelos foram selecionados considerando-se a significância da regressão, pelo teste F e o fenômeno em estudo, bem como a magnitude do coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

O experimento referente à secagem e ao armazenamento foi constituído em um esquema de parcelas subdivididas 4x5, com quatro temperaturas do ar secagem e cinco épocas distintas de armazenamento nas subparcelas, em um delineamento inteiramente casualizado. Assim como para o experimento 1, os dados foram submetidos à análise de regressão, a fim de se estabelecer equações que possam representar as interações entre as variáveis analisadas. Os modelos foram selecionados considerando-se a significância da regressão, pelo teste F e o fenômeno em estudo, bem como a magnitude do coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5. 1. Maturação de sementes

Na Figura 4, são apresentados os valores médios diários de temperatura e umidade relativa do ar do ambiente durante o desenvolvimento da cultura da crotalária, desde o plantio até a colheita final das sementes. De acordo com a figura 4, pode-se observar que a temperatura máxima foi de 33°C e a mínima de 11,7°C, sendo a temperatura média de 22 °C. A umidade relativa máxima do ar durante o desenvolvimento da cultura foi de 99% e mínima foi de 39%, apresentando a média de 69% de umidade relativa do ar e precipitação média de 6,59mm durante o desenvolvimento da cultura.

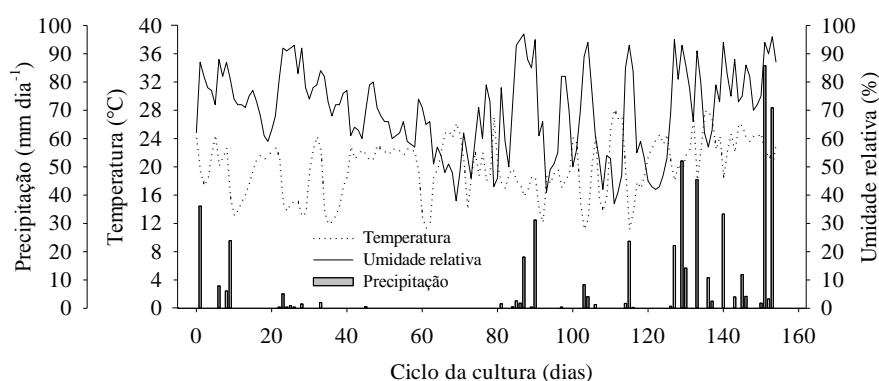


FIGURA 4. Médias diárias de temperatura, umidade relativa do ar e precipitação durante o desenvolvimento das sementes de crotalária.

#### 5. 1. 1. Biometria

Na Figura 5 são encontrados os valores de comprimento, largura e espessura das sementes de crotalária durante o seu desenvolvimento acompanhado a cada sete dias após a antese. Nas primeiras avaliações, observou-se que as sementes apresentam rápido crescimento em termos de comprimento largura e espessura, e isto se deve a rápida divisão celular que acontece nas primeiras fases de desenvolvimento das sementes. Este rápido crescimento pode ser observado para todas as variáveis analisadas (Figura 5) até o 21° DAA, e a partir de então, o desenvolvimento das sementes possivelmente passa para a fase II, fase esta que além da intensa divisão celular gera acúmulo de matéria seca nas sementes, sem que ocorra então alterações muito evidentes das medidas biométricas. A análise da Figura 5, permite observar que para as sementes de crotalária, a fase II, possivelmente ocorre a partir do 21°DAA e se estende até o 35°DAA.

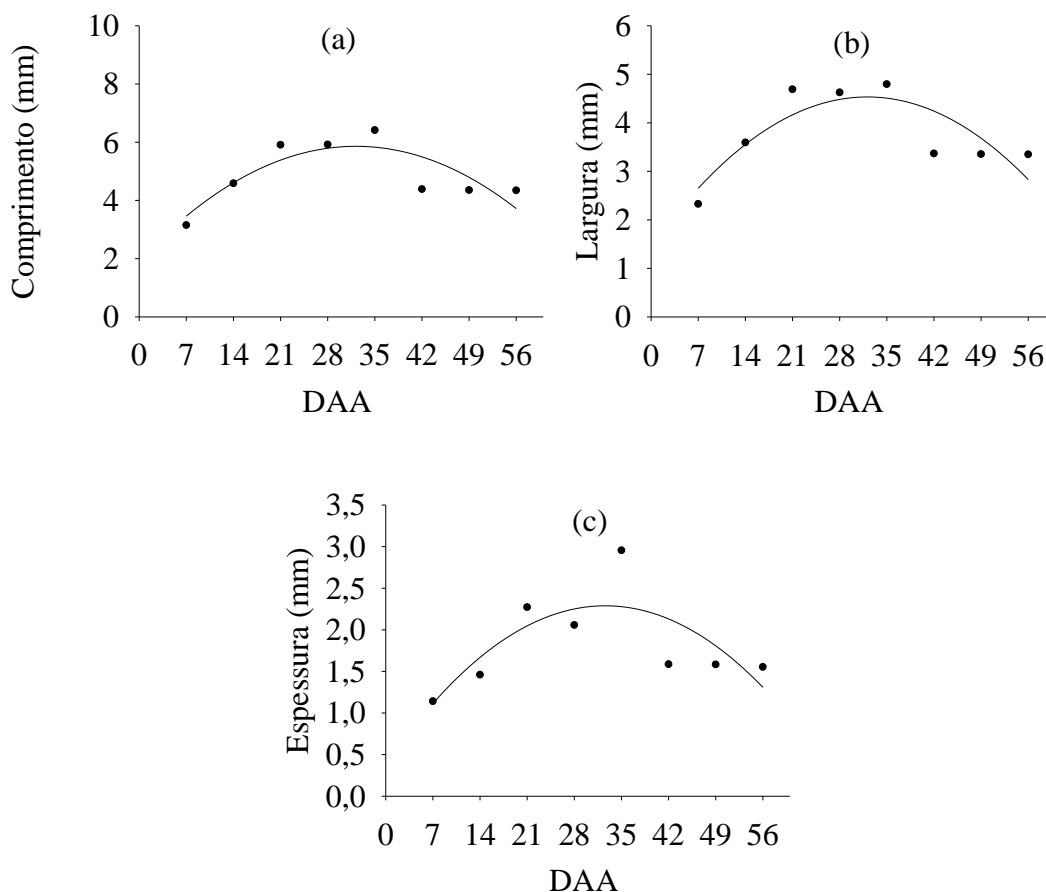


FIGURA 5. Comprimento (mm) (a), largura (mm) (b) e espessura (c) de sementes de crotalária em função de dias após a antese (DAA) em Dourados, 2018.

Ao 42° DAA, foi verificada a maturidade fisiológica das sementes de crotalária, pois observou-se que estas se encontravam soltas dentro da vagem, como relatado por Henrique e Figueiredo et al. (2018) e a partir deste ponto ocorreu a redução do tamanho da semente de maneira geral, principalmente com relação à espessura das sementes (fase III). As sementes crescem, de maneira geral, rapidamente em tamanho, atingindo o máximo num período de tempo curto, em relação à duração total do período de maturação, cujo rápido crescimento em tamanho é resultado da multiplicação e desenvolvimento das células que constituem o eixo embrionário e o tecido de reserva (cotilédones, endosperma e/ou perisperma), sendo que uma vez atingido o tamanho máximo é mantido por certo tempo, para, no final do período, ser um pouco reduzido, dependendo da espécie e corresponde ao período de rápida e intensa desidratação (CARVALHO e NAKAGAWA, 2012).

No estudo biométrico de frutos de *Poincianella pyramidalis*, Mendonça et al. (2016) verificaram diferenças no aumento de tamanho das sementes nos estádios iniciais da maturação, isso ocorreu devido ao acúmulo de massa seca ao longo do período de maturação. Tal fenômeno, justifica-se pela multiplicação e o desenvolvimento das células embrionárias, bem como do tecido de reserva (FERREIRA e BORGHETTI, 2004). Posteriormente, o tamanho tende a diminuir, pela perda de água no interior da semente (MARCOS FILHO, 2015). No Quadro 2, são apresentadas as equações de regressão ajustadas aos dados observados do comprimento, largura e espessura de sementes de crotalária em função de dias após a antese, assim como o coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

QUADRO 2. Equações de regressão ajustadas aos valores do comprimento, largura e espessura de sementes de crotalária em função de dias após a antese.

	Equação	$R^2$	Pvalor
Comprimento	$C = 1,9392 + 1,7042DAA - 0,1852DAA^2$	83,43	0,0510
Largura	$L = 1,4528 + 0,1918DAA - 0,0030DAA^2$	83,08	<0,0001
Espessura	$E = 0,3836 + 0,1168DAA - 0,0018DAA^2$	75,58	<0,0001

### 5. 1. 2. Massa fresca, teor de água e massa de matéria seca

A análise da massa e do teor de água das sementes (Figura 6) permitiu ajuste quadrático das médias do desenvolvimento da semente durante sua maturação. A massa apresentou o mesmo comportamento observado nas medidas biométricas das sementes durante o seu desenvolvimento, ou seja, nas primeiras avaliações ao 7° e 14 dias após a antese apresentou valores crescentes, sendo que nas avaliações correspondentes ao 35° dia após a antese, as sementes apresentaram a máxima massa obtido, 0,05g. A partir do 42° dia após a antese (maturidade fisiológica) observou-se a redução da massa das sementes, assim como as demais características biométricas, visto que a massa assim como o comprimento, a largura e a espessura são influenciados pelo teor de água da semente (Figura 6).

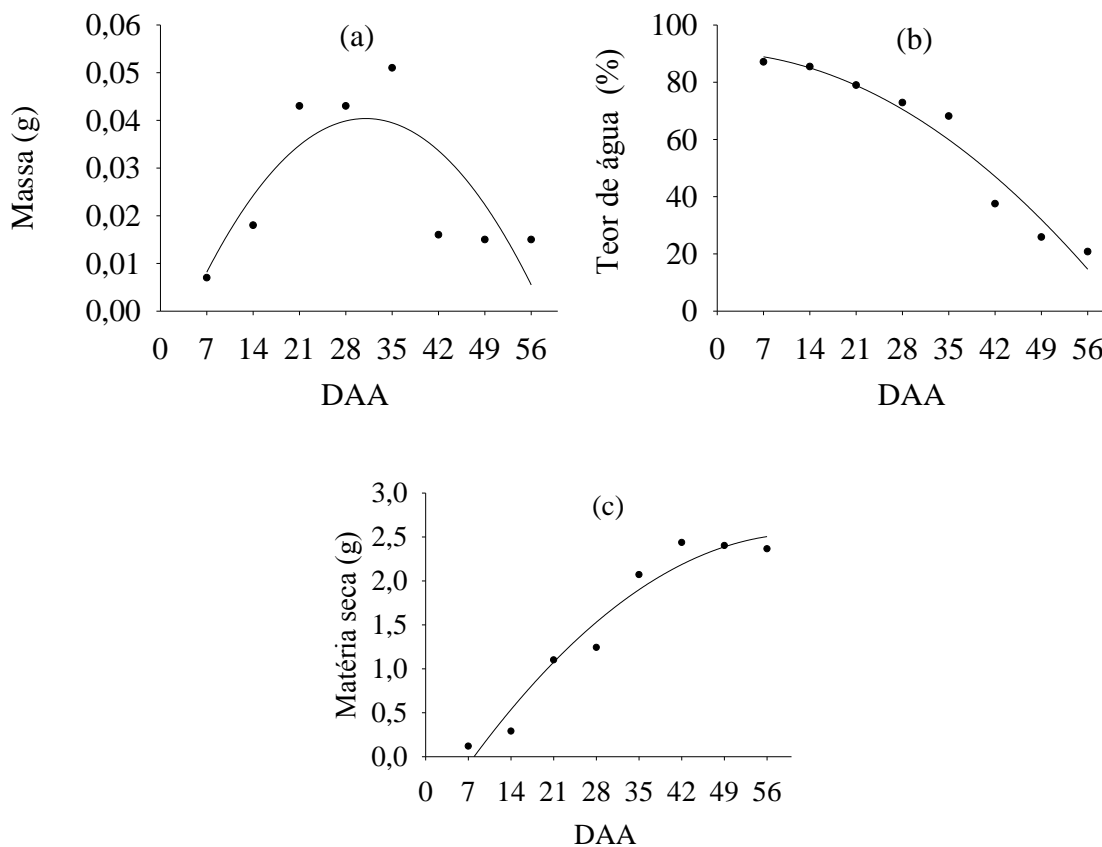


FIGURA 6. Massa (g) (a), teor de água (%) (b) e massa de matéria seca (g) (c) de sementes de crotalária em função de dias após a antese (DAA) em Dourados, 2018.

Com relação ao teor de água, verifica-se que inicialmente os valores do teor de água são elevados, e ao longo da maturação há uma redução gradativa dos valores. O teor de água das sementes na fase inicial, divergem para cada espécie, mas, esse valor está entre 80 a 90% da massa total da semente (MARCOS FILHO, 2015a). Após a fase inicial de desenvolvimento, o teor de água das sementes tende a diminuir continuamente, como visto no presente estudo (Figura 6). Ao atingir o ponto de maturação fisiológica, a planta ativa mecanismos de dessecação, promovendo uma aceleração na queda do teor de água das sementes.

A mudança de cor nos frutos, a abscisão foliar e o amarelecimento das folhas nesse estágio fenológico. O teor de água nas sementes decresce até se igualar à umidade relativa do ar (MARCOS FILHO, 2015a). A qualidade fisiológica das sementes pode ser influenciada pela diferença no tamanho das sementes, conforme observado por Araldi et al. (2013) ao avaliar a emergência de sementes pequenas, médias e grandes de *Ipomea*



*purpurea*, os quais verificaram que as sementes pequenas apresentaram menor porcentagem de emergência em relação às médias e grandes.

Na Figura 6, também está representado o acúmulo de matéria seca nas sementes de crotalária durante o seu desenvolvimento e maturação, sendo observado que este é crescente durante a formação das sementes, apresentando o ponto máximo encontrado ao 42º dia, que corresponde à maturidade fisiológica. Esses resultados corroboram com os encontrados por Araújo et al. (2018), que observaram em sementes de *crotalaria juncea* que na maturidade fisiológica as sementes apresentavam maior acúmulo de matéria seca, comparado a outros estágios de maturação.

Nas sementes ortodoxas, como a, após atingirem o máximo acúmulo e matéria seca, observa-se que o decréscimo no teor de água prossegue (ANGELOVICI et al., 2010). Isso ocorre porque, durante o desenvolvimento, as sementes adquirem a capacidade de tolerar a dessecação e, dessa forma, reduzem a atividade metabólica, o que pode aumentar sua longevidade, além de conferir a tolerância às condições ambientais extremas (LEPRINCE E BUITINK, 2010).

A redução do teor de água na semente favorece a posterior expressão de genes que controlam o conteúdo de giberelinas e ácido abscísico. Esses fitormônios estão relacionados à expressão de enzimas, como as expansinas, que proporcionam o afrouxamento da parede celular, e as hidrolases, que participam da degradação de compostos de reserva. O afrouxamento do endosperma e do tegumento diminui a força contrária exercida por essas estruturas ao embrião, facilitando a protrusão da radícula. Ademais, a ação dessas enzimas promove o reajuste osmótico necessário à germinação (NONOGAKI et al., 2010).

Nas avaliações realizadas aos 49º e 56º DAA (Figura 6) (c), foi observada uma pequena variação na matéria seca das sementes, visto que estas permaneceram no campo após a maturidade fisiológica, este é um fator importante a ser considerado, pois a crotalária é uma planta que apresenta floração desuniforme, ou seja, até a época ideal de colheita as sementes ficam expostas às variações climáticas. A maior permanência das sementes da última colheita no campo também pode ter favorecido a perda de massa das sementes, uma vez que a manutenção da quantidade de matéria seca depositada depende diretamente das condições ambientais.

A umidade relativa, a temperatura e a ação de insetos e microrganismos contribuem para a aceleração do processo respiratório e a consequente oxidação dos compostos de reserva, com redução na massa das sementes (BEWLEY et al., 2013). No Quadro 3, são apresentadas as equações de regressão ajustadas aos dados observados da massa, do teor de água e da massa de matéria seca das sementes de crotalária em função de dias após a antese (DAA), assim como o coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

QUADRO 3. Equações de regressão ajustadas aos valores da massa, teor de água e massa de matéria seca de sementes de crotalária em função de dias após a antese.

	Equação	$R^2$	Pvalor
Massa	$M = -0,0134 + 0,0243DAA - 0,0027DAA^2$	80,15	<0,0001
Teor de água	$TA = 90,5299 - 0,5158DAA - 1,1216DAA^2$	97,63	<0,0001
Matéria Seca	$MS = -0,7966 + 0,7508DAA - 0,0423DAA^2$	97,63	0,0005

### 5. 1. 3. Cor

Durante o desenvolvimento das sementes de crotalária, foi possível observar as variações ocorridas na cor das sementes. Inicialmente as sementes apresentaram a coloração verde amarelada de acordo com os resultados obtidos através das coordenadas “a” e “b” (Figura 10). Com relação a coordenada “L”, no início do desenvolvimento das sementes as sementes apresentaram a coloração clara, mais próxima do branco. Uma das características relacionadas à maturidade fisiológica é a alteração da cor das sementes associada a redução do teor de água das mesmas, sendo essa condição observada 42° DAA, aonde as sementes passaram a apresentar a coloração do tegumento, marrom escura.

De acordo com Silva et al. (2016), as sementes de crotalária de várias espécies se diferenciam quanto à coloração do tegumento e essa heteromorfia, observada em gêneros da família Fabaceae, Euphorbiaceae, entre outros, está associada à qualidade fisiológica das sementes, sendo que a diferença na coloração das sementes pode estar relacionada com o estágio de maturação e, por isso, o índice morfológico visual muitas vezes indica informações sobre a maturidade fisiológica.

De acordo com Leprince et al., (2016) a degradação da clorofila faz parte do processo de maturação das sementes sendo controlada, durante maturidade fisiológica pelo ácido abscísico, a síntese deste, por sua vez, ocorre a partir da ativação de genes que degradam a clorofila. As razões fisiológicas pelas quais a clorofila é degradada durante a maturação das sementes ainda não está clara. Sementes da maioria das espécies adquirem

sua tolerância à dessecação quando ainda estão verdes, indicando que a presença de clorofila não é prejudicial para a sobrevivência à secagem. No entanto, a retenção de clorofila pode ser prejudicial à longevidade (LEPRINCE et al., 2016).

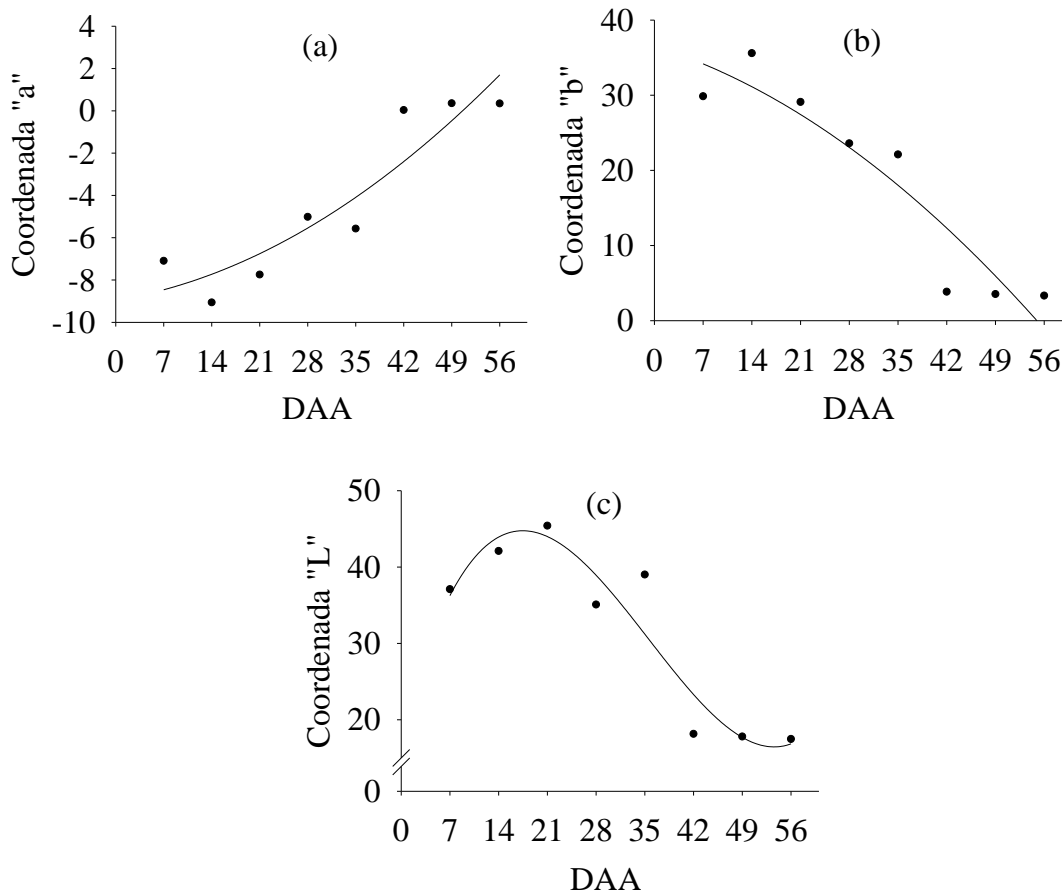


FIGURA 7. Coordenadas “a” (a), “b”(b) e “L”(c), respectivamente, de sementes de crotalária em função de dias após a antese em Dourados.

A medida do croma (Figura 11) representa a quantidade de luz de um dado comprimento de onda indicando a proporção em que a cor está misturada com o branco, preto ou cinza (SARATH, 2013). As sementes de crotalária apresentaram nas primeiras avaliações da maturação a coloração mais verde clara e com a proximidade do ponto de maturidade fisiológica estas se tornaram mais escuras, com a coloração final basicamente em tons de marrom. Essas variações são observadas na Figura 11, pois inicialmente por serem mais claras as médias obtidas com o Croma são mais altas, demonstrando a proximidade da cor branca e ao longo do desenvolvimento das sementes os valores do croma reduzem evidenciando a coloração mais escura das sementes.

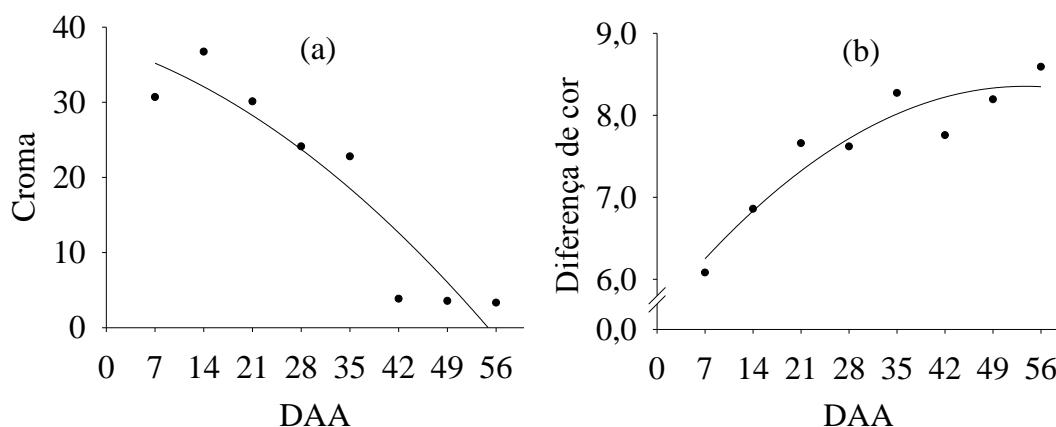


FIGURA 8. Croma (a) e Diferença de cor (b) de sementes de crotalária em função de dias após a antese

A diferença de cor assim como o croma apresentou resultados que demonstram o escurecimento das sementes, característica essa de origem genética. Silva et al., (2016) estudando sementes de *crotalaria ochroleuca* encontrou resultados semelhantes, ou seja, durante a maturação as sementes apresentaram variações na coloração do tegumento, havendo ainda, para a espécie em estudo variações de qualidade fisiológica em detrimento a coloração do tegumento das sementes.

Equações de regressão ajustadas aos dados observados das coordenadas “a”, “b” e “L”, da diferença de cor e do croma das sementes de crotalária em função de dias após a antese (DAA), assim como o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), são apresentadas no Quadro 4.

QUADRO 4. Equações de regressão ajustadas às coordenadas “a”, “b” e “L”, da diferença de cor e do croma sementes de crotalária em função de dias após a antese.

	Equação	$R^2$	Pvalor
Coordenada “a”	$A = -8,9549 + 0,0535DAA + 0,0024DAA^2$	92,42	0,0081
Coordenada “b”	$B = 36,5482 - 0,2915DAA - 0,0068DAA^2$	93,53	0,0056
Coordenada “L”	$L = 18,4972 + 3,3740DAA - 0,1281DAA^2 + 0,0012DAA^3$	94,22	0,0227
Diferença de cor	$DF = 5,5717 - 0,1036DAA - 0,0010DAA^2$	94,36	0,0040
Croma	$CR = 37,6485 - 0,2995DAA - 0,0071DAA^2$	93,45	0,0057

#### 5. 1. 4. Curvas de absorção de água

Na Figura 7, estão representadas as curvas de absorção de água das sementes de crotalária durante o seu desenvolvimento para cada época de maturação avaliada. Dadas as curvas, pode-se observar que nas primeiras épocas de avaliação, dos 7 aos 28 dias as sementes não apresentaram o padrão trifásico de embebição que resulta na emissão da raiz primária (BEWLEY E BLACK, 1994). Neste período as sementes apresentaram um ganho de peso durante as primeiras horas em que foram expostas a condições favoráveis à germinação, porém algumas horas depois passaram a perder massa.

As horas iniciais que compreendem a rápida transferência de água para a semente são conhecidas como Fase I do padrão trifásico proposto por Bewley e Black (1999). A fase II do processo de embebição tem ocorrência e variação dependentes da espécie considerada (MARCOS FILHO, 2015). Nesta fase a velocidade de absorção de água torna-se mais lenta, tendendo para o equilíbrio entre os potenciais onde ocorrem diversas reações metabólicas como preparação para à emergência da raiz primária (BEWLEY e BLACK, 2013).

A fase II é caracterizada pelo aumento rápido e sucessivo da massa da semente, entretanto, nas figuras acima é possível observar que massa permanece constante. Nas primeiras avaliações isso pode ser decorrente da imaturidade da semente, corroborando então com os resultados encontrados na análise biométrica, de peso, de teor de água e do acúmulo de massa seca das sementes, pois até os 28 DAA pode-se observar de acordo com os dados apresentados que as sementes estão em processo de formação, pois ainda apresentam elevado teor de água, cerca de 65% (Figura 6).

A protrusão da raiz primária é o fenômeno que marca o início da terceira fase da curva de embebição (MARCOS FILHO, 2015). Segundo Bewley e Black (2013), a fase III é caracterizada pelo rompimento do tegumento da semente, retoma a absorção de água em grande quantidade e ocorre alongamento da raiz primária. Araújo et al., (2014) trabalhando com curvas de absorção de pinhão manso observaram que para protrusão da raiz primária das sementes o início da fase III na curva de embebição não se mostrou bem definida, com aumento marcante da absorção de água, assim como a crotalária.

A indefinição do início da fase III pode ser observada também para as sementes de crotalária, visto que as sementes apresentaram nas curvas, a partir dos 35 DAA, intervalos subsequentes de ganho e estabilização do peso das sementes.

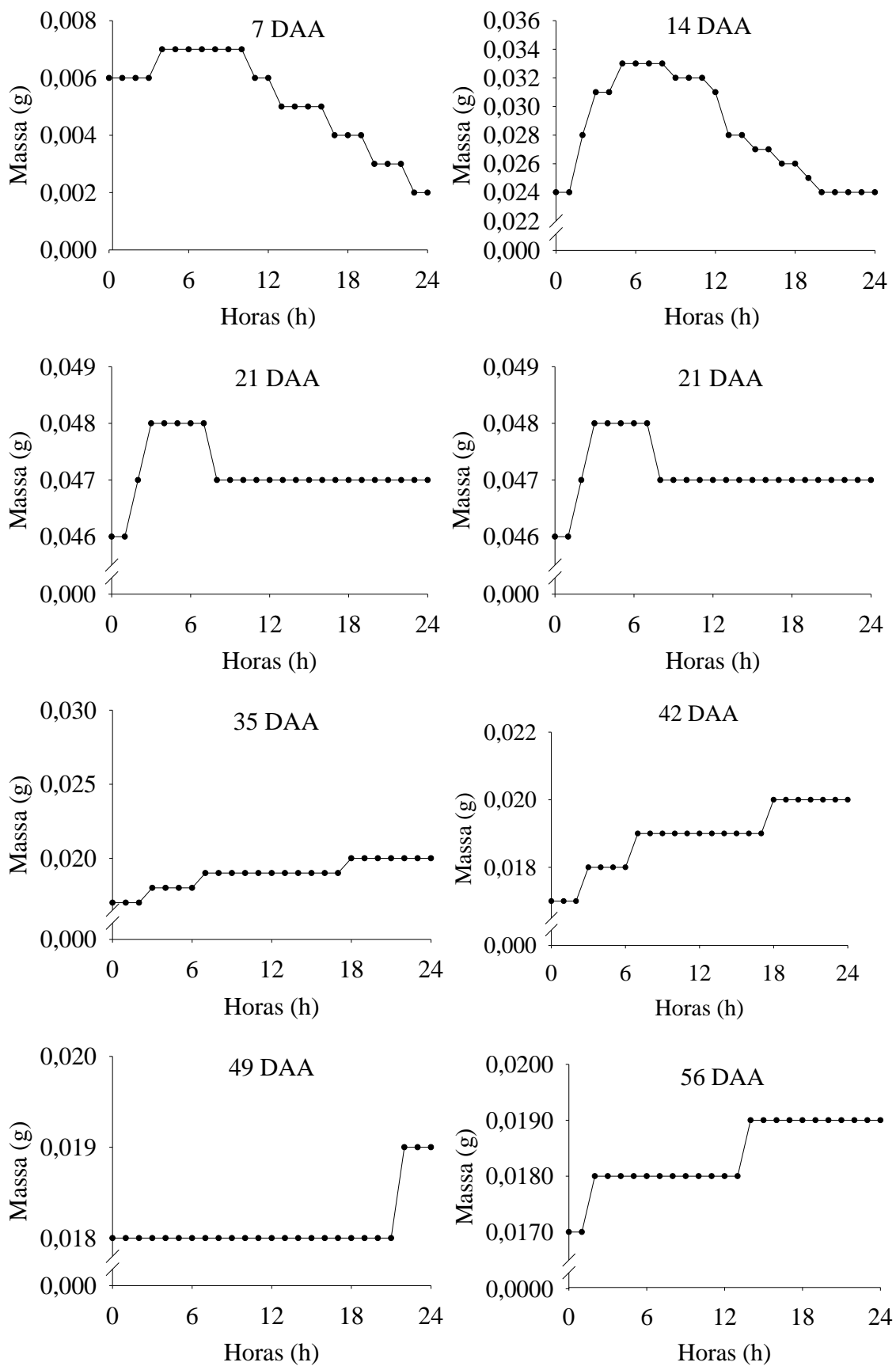


FIGURA 9. Massa (g) de sementes de crotalária ao longo do tempo de embebição (h) em função de dias após a antese (DAA) sem escarificação das sementes

Este fato pode estar relacionado à proximidade com a dormência física das sementes, ou seja, com o tegumento impermeável a ponto de não permitir a entrada de água na semente.

Dados semelhantes foram obtidos por Silva *et al.* (2018) em sementes de ervilha e lentilha. Peixoto (2007) trabalhando com desenvolvimento pós-seminal de sementes de *crotalaria spectabilis* observou que a fase I, apresenta rápida absorção de água pela semente em contato com o substrato nas primeiras horas do contato da semente com o substrato, resultado semelhante ao apresentado na Figura 7. No entanto a fase II não foi facilmente identificada. Contudo, o tempo de duração de cada fase depende de propriedades inerentes às sementes de cada espécie e das condições térmicas e hídricas durante a hidratação.

Os resultados apresentados na Figura 7, não permitem observar a diferença do ganho de massa durante a realização dos testes de embebição reforça a presença da dormência física nas sementes de crotalária, pois embora em ambiente com água e luz disponíveis à germinação, estas permaneceram “duras”, a princípio, pela imaturidade da semente e rusticidade do embrião, e após a maturidade fisiológica, em decorrência das barreiras que o tegumento oferece à entrada de água nas sementes.

#### **5. 1. 5. Germinação e índice de velocidade de germinação**

Os dados analisados referentes às porcentagens de germinação, sem escarificação, inicial, final e sementes duras apresentaram ajuste quadrático dos dados (Figura 8). As sementes de crotalária apresentaram uma pequena porcentagem de germinação aos 28 DAA. Essa baixa porcentagem de germinação provavelmente é consequência da imaturidade das sementes, associada a presença de diversos hormônios inibidores de germinação encontrados nas sementes em formação (MARCOS FILHO, 2015).

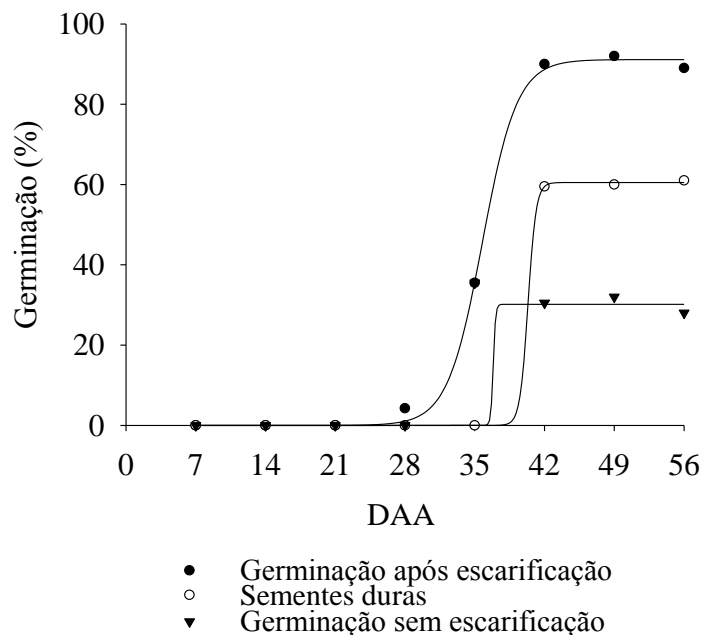


FIGURA 10. Curvas ajustadas pelo modelo logístico para germinação (%) inicial sem escarificação (GI), de sementes duras (SD) e germinação total (GT) de germinação após a escarificação somada a % de germinação inicial, obtidas no teste de germinação padrão de sementes de crotalária em função de dias após a antese

Aos 35 DAA a porcentagem de germinação é de 35% de plântulas normais, não sendo ainda um resultado satisfatório para colheita de sementes, por exemplo. A baixa porcentagem de germinação aos 35 DAA, sugere que assim como aos 28 DAA, as sementes ainda não apresentaram o embrião totalmente formado e capaz de gerar uma nova plântula. As altas taxas de germinação nos últimos estádios analisados são indicativos de maturidade fisiológica, identificada no 42º DAA, tendo em vista que ao alcançar o ponto de maturidade fisiológica, as sementes estão com suas estruturas bem desenvolvidas, sendo capazes de germinar e originar plântulas normais (POPINIGIS, 1985; CARVALHO; NAKAGAWA, 2012; MARCOS FILHO, 2012a).

O conhecimento do processo germinativo é vital para a obtenção de alta produtividade de uma determinada cultura, tendo em vista que é a fase do crescimento inicial da planta, na qual está mais suscetível à influência de fatores ambientais externos, como umidade, oxigênio, luz e temperatura, que quando em condições desfavoráveis à espécie, podem impossibilitar o seu desenvolvimento ou até mesmo causar a morte da planta (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012).



No 42° DAA as sementes de crotalária apresentaram maiores porcentagens de germinação (Figura 8) e de massa de matéria seca (Figura 6) indicando o ponto de maturidade fisiológica, entretanto, nessa mesma época de análise houve o aparecimento das sementes duras pois, que não apresentavam aspecto algum de embebição. Essas sementes foram escarificadas e um novo teste de germinação foi montado, o resultado final da germinação corresponde a germinação inicial somada a porcentagem de germinação das sementes que foram escarificadas de acordo com as Regras para Análises de Sementes (BRASIL, 2009). A presença de sementes duras é perceptível até a última avaliação aos 56 DAA. Observa-se também que após a escarificação das sementes a porcentagem de germinação é elevada. Para sementes de *crotalária spectabilis*, verificou-se que com o avanço da maturação das sementes o tegumento se tornou mais rígido, conforme resultados apresentados na Figura 8.

Araújo et al., (2017) também observaram que a maior porcentagem de sementes duras ocorre quando as sementes apresentam seu máximo acúmulo de matéria seca. Isso também foi observado em mucuna-preta por Nakagawa et al. (2007b). Segundo Baskin e Baskin (2013), o percentual e a intensidade de desenvolvimento da impermeabilidade do tegumento dependem, entre outros fatores, do estágio de maturação das sementes quando a secagem se inicia. Esse mecanismo este que tem importância fundamental para perpetuação e estabelecimento de certas espécies vegetais, promovendo a distribuição temporal e espacial da germinação, que ocorrerá quando condições favoráveis forem atingidas (CARVALHO; NAKAGAWA 2012).

A dureza tegumentar é característica hereditária, em função de células paliçádicas de paredes espessas e recobertas externamente recobertas por camada cuticular cerosa, causada por um bloqueio físico que a torna o tegumento resistente e impermeável às trocas gasosas e ao transito aquoso, não permitindo que o embrião embeba água e dê início ao processo germinativo (SHIMIZU et al., 2011; AGRA et al., 2016, GULARTE et al., 2019).

No Quadro 5, são apresentadas as equações dos valores das variáveis utilizadas no modelo logístico ( $f = a / (1 + \exp(-(x-x_0)/b))$ ) ajustadas aos dados observados da Germinação (%) inicial sem escarificação (GI), de sementes duras (SD) e germinação total (GT) de germinação após a escarificação somada a % de germinação inicial, obtidas no teste de germinação padrão de sementes de crotalária em função de dias após a antese, assim como o coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

QUADRO 5. Valores das variáveis utilizadas no modelo logístico ( $f= a/(1+\exp(-(x-x_0)/b))$ ) ajustadas aos dados observados Germinação (%) inicial sem escarificação (GI), de sementes duras (SD) e germinação total (GT) de germinação após a escarificação somada a % de germinação inicial, obtidas no teste de germinação padrão de sementes de crotalária em função de dias após a antese

	Germinação inicial	Sementes duras	Germinação Total
a	31,5000	60,5000	91,1373
b	0,1637	0,4059	1,7457
r	30,3886	40,3414	35,7598
R <sup>2</sup>	97,95	99,99	99,82
Pvalor	<0,0001	<0,0001	<0,0001

Os maiores índices de velocidade de germinação foram encontrados a partir dos 42 dias após a antese (Figura 9), mais um indicativo do ponto de maturidade fisiológica, e assim como o relatado através do teste de germinação.

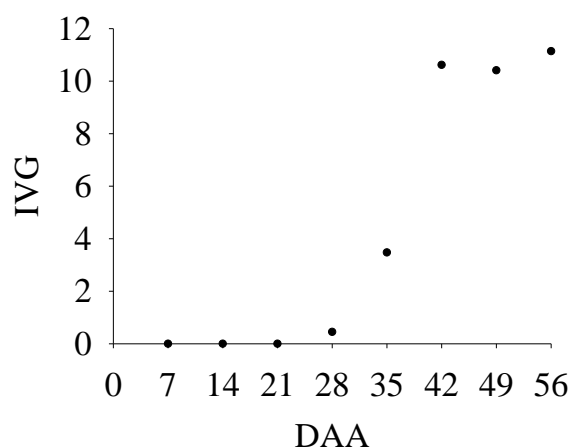


FIGURA 11. Índice de velocidade de germinação sem escarificação de sementes de crotalária em função de dias após a antese, UFGD, 2018.

No Quadro 6, Valores das variáveis utilizadas no modelo logístico ( $f= a/(1+\exp(-(x-x_0)/b))$ ) ajustadas aos dados observados obtidas para o índice de velocidade de germinação (IVG) de sementes de crotalária em função de dias após a antese, assim como o coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>).

QUADRO 6. Valores das variáveis utilizadas no modelo logístico ( $f = a/(1 + \exp(-(x - x_0)/b))$ ) ajustadas aos dados observados obtidas para o índice de velocidade de germinação (IVG) de sementes de crotalária em função de dias após a antese

IVG	
a	10,8231
b	1,6378
r	36,2125
R <sup>2</sup>	99,70
Pvalor	<0,0001

## 5. 2. Secagem e armazenamento

### 5. 2. 1. Secagem e taxa de remoção de água

O aumento da temperatura do ar de secagem resultou nas maiores taxas de remoção de água do produto (Figura 12), visto que este aumento acarreta na ampliação da diferença de pressão parcial de vapor entre o ar de secagem e o produto, de modo que, a remoção de água do mesmo ocorre de maneira mais rápida e fácil (RESENDE et al., 2014). No entanto, a secagem lenta das sementes permite a redução gradual do teor de água e gradual colapamento de células com adequada acomodação dos tecidos, conseqüentemente, a ação de mecanismos de tolerância à dessecação. Por outro lado, taxas de secagem podem reduzir a qualidade fisiológica das sementes, isto ocorre em função das tensões exercidas nas camadas mais superficiais das sementes, uma vez que a rápida remoção de água do produto é forçada (MARCOS FILHO, 2015) resultando em maiores danos às células.

A análise da Figura 12, para as temperaturas mais elevadas (70°C e 60°C), permite observar que as taxas de redução de água em determinados momentos apresentam uma elevação, quando comparadas às baixas temperaturas de secagem. Isto possivelmente ocorre, devido ao rompimento do tegumento das sementes durante a secagem com temperaturas mais elevadas, visto que elevadas temperaturas causam danos às estruturas das sementes pela rápida remoção de água.

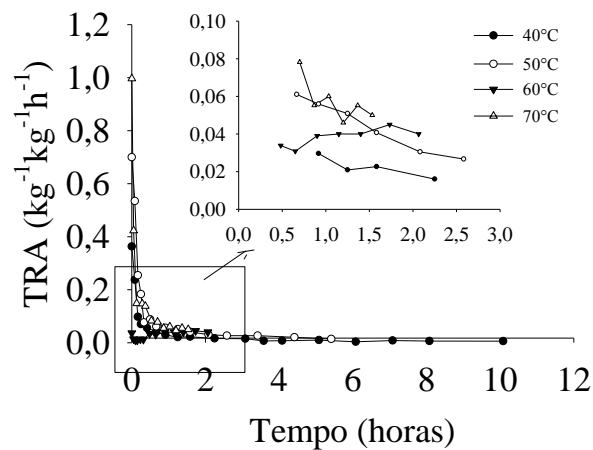


FIGURA 12. Taxa de redução de água durante a secagem de sementes de crotalária em diferentes temperaturas do ar de secagem.

O mesmo foi observado por Costa et al. (2018) para sementes de crambe, quando realizada a secagem a 90°C, verificando que com aumento da temperatura há uma diminuição do tempo de secagem, acelerando o processo de retirada de água das sementes. Deste modo, a redução do teor de água ocorre no período de secagem decrescente, o que evidencia uma maior resistência à transferência de energia e massa do interior do produto para a periferia.

### 5. 2. 2. Armazenamento

Em virtude de o armazenamento das sementes de *crotalaria spectabilis* ter sido realizado em condição ambiente, foram observadas variações naturais de temperatura e umidade relativa do ar (Figura 13). A temperatura média durante este período foi de 25 °C, sendo a máxima de 29 °C, e a mínima de 21 °C, enquanto, a umidade relativa do ar ao longo dos 180 dias de armazenamento apresentou valor médio de 52%, com máxima e mínima de 79 e 32%, respectivamente.

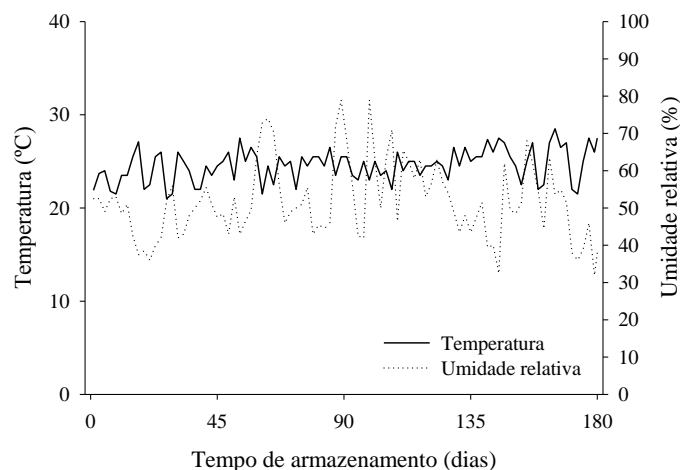


FIGURA 13. Médias diárias de temperatura e umidade relativa do ar durante o armazenamento das sementes de crotalária em ambiente não controlado.

Um dos fatores mais importantes que afeta a conservação das sementes é seu teor de água, e este é função direta da umidade relativa do ar e temperatura. Neste sentido, a semente e a atmosfera são dois sistemas que se encontram em permanente troca de água, sendo que estas trocas dependem da intensidade da pressão de vapor d'água atmosférico e da pressão de vapor d'água da semente. Assim, verifica-se que as sementes apresentaram variação nos valores de teor de água durante o período de armazenamento (Quadro 7), em relação ao seu teor de água inicial, uma vez que as mesmas foram acondicionadas em embalagens permeáveis (sacos de papel multifoliado).

No entanto, percebe-se que a maiores valores para todas as sementes armazenadas ocorreu na avaliação realizada aos 180 dias de armazenamento, quando comparada com o teor de água obtido logo após o processo de secagem. Tal variação ocorreu, principalmente, pelo fato das sementes estarem armazenadas em embalagens permeáveis, e como as sementes são higroscópicas, sujeitas aos processos de sorção, ou seja, o seu teor de água está sempre em equilíbrio com a umidade relativa e a temperatura do ar ambiente.

As variações observadas neste estudo são próprias da natureza biológica do material, sem maiores consequências que possam interferir na interpretação dos resultados. Desta forma, constatou-se neste estudo que de maneira geral, não houve variações expressivas de temperatura e umidade relativa do ar do ambiente de armazenamento e que o teor de água das sementes permaneceu dentro da faixa de temperatura (°C) e U(%) adequadas para o armazenamento de sementes ortodoxas.

QUADRO 7. Teor de água (% b.u.) das sementes de crotalária, em função da temperatura do ar de secagem e do tempo de armazenamento

Tempo de armazenamento (dias)	Temperatura do ar de secagem (°C)			
	40	50	60	70
0	8,69	7,9	8,1	7,6
60	9,8	8,5	8,6	7,0
120	10,0	8,7	9,0	8,0
180	10,3	9,6	9,5	8,9

### 5. 2. 3. Influência da temperatura de secagem e do armazenamento na superação da dormência física de sementes de crotalária

#### 5. 2. 4. Teste de germinação

Na Figura 14, são apresentados os resultados da primeira contagem da germinação das sementes de crotalária em função de diferentes temperaturas de secagem e armazenamento. De acordo com os resultados encontrados no tempo zero, ou seja, ao avaliar apenas o efeito da temperatura de secagem sobre a qualidade fisiológica das sementes, pode-se observar que a temperatura de secagem de 70° C apresentou maior porcentagem de plântulas normais, seguida da temperatura de 60° C. As temperaturas mais elevadas promoveram maiores porcentagens de germinação, em contrapartida, as temperaturas de secagem mais baixas apresentaram menores porcentagens de germinação na primeira contagem.

A secagem de sementes com temperaturas elevadas proporciona uma rápida remoção de água, em contrapartida, na maioria das vezes, causa danos à integridade das membranas das sementes podendo proporcionar a formação de fissuras no tegumento das sementes. O tempo de armazenamento associado às diferentes temperaturas de secagem reduziu a porcentagem de plântulas normais para todas as temperaturas avaliadas, sendo as menores médias encontradas aos 180 dias de armazenamento.

Os valores da porcentagem de germinação (Figura 15) no tempo zero de armazenamento são semelhantes aos obtidos na primeira contagem, sendo que a temperatura de 70°C proporcionou a maior porcentagem plântulas normais no teste de germinação (cerca de 90%), comparada às outras temperaturas avaliadas. Já as temperaturas de 60°C, 50°C e 40°C apresentaram cerca de 60% de plântulas normais no tempo zero de armazenamento, o qual se manteve até os 180 dias de armazenamento, pode-se inferir que houve pouca influência das temperaturas mais baixas de secagem sobre a germinação das sementes de crotalária, indicando que a elevação da temperatura

de secagem acima de 60°C é eficiente para a superação da dormência física das sementes de *crotalaria spectabilis*.

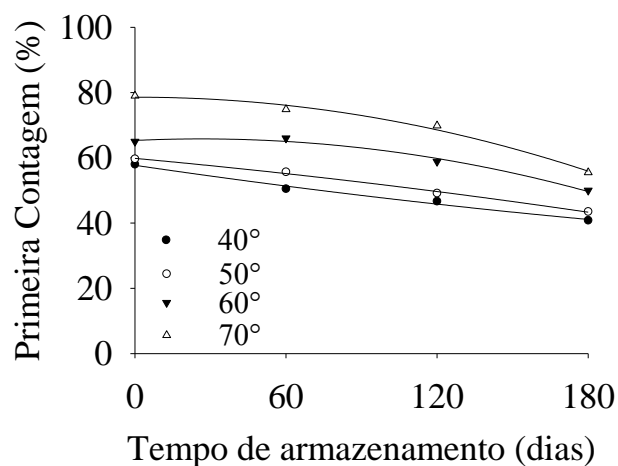


FIGURA 14. Primeira contagem de plântulas provenientes do teste de germinação de sementes de crotalária não escarificadas em função da temperatura de secagem e do tempo de armazenamento (dias).

A temperatura de 70° C proporcionou até os 120 dias de armazenamento as maiores porcentagens de plântulas normais, já aos 180 dias esta porcentagem se iguala à encontrada na avaliação da temperatura de 60°C. Aos 180 dias de armazenamento, a temperatura de 50°C apresentou uma elevação na porcentagem de plântulas normais obtidas do teste de germinação das sementes de crotalária, enquanto para todas as outras temperaturas houve a redução (Figura 15).

As sementes de crotalária apresentam dormência física, pois a dureza de seu tegumento não permite a entrada de água nas sementes e conseqüentemente não há a ativação do metabolismo da semente para que ocorra a germinação (SILVA et al., 2016). Possivelmente as elevadas porcentagens de plântulas normais nas temperaturas de secagem mais altas são resultado de danos causados ao tegumento das sementes durante a secagem. Portanto as sementes secas com as menores temperaturas de secagem mantiveram a integridade do tegumento, e, portanto, não foram capazes de superar a dormência.

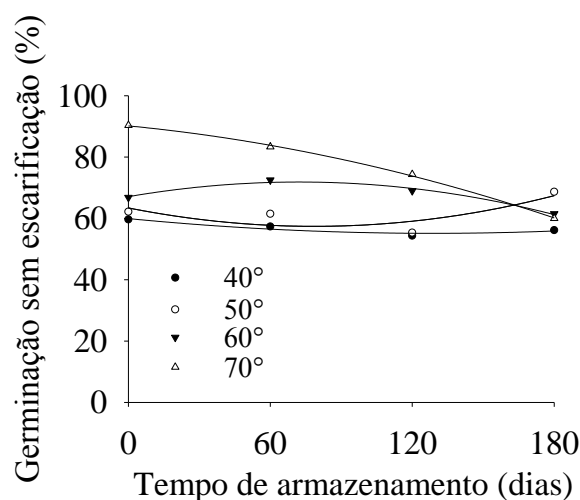


FIGURA 15. Plântulas normais (%) obtidos do teste de germinação de sementes de crotalária não escarificadas em função da temperatura de secagem e do tempo de armazenamento.

No caso das sementes de crotalária, que conhecidamente apresentam dormência física a partida da maturidade fisiológica em parte das sementes, com as baixas temperaturas de secagem não houve rompimento do tegumento, e conseqüentemente, para a germinação sem escarificação as menores médias são encontradas nas mais baixas temperaturas de secagem.

Na figura 16, são encontradas as porcentagens das sementes que se mantiveram intactas durante o período do teste de germinação, ou seja, sem nenhum sinal de embebição ou apodrecimento em que estas poderiam ser contabilizadas como sementes mortas. Os resultados são contrários ao teste de germinação, ou seja, quanto menor as temperaturas de secagem empregadas nas sementes de crotalária, maiores são as porcentagens de sementes duras encontradas no teste de germinação. A temperatura de 40°C apresenta as maiores porcentagens de sementes duras, não apenas no tempo zero de armazenamento, mas ao longo de todo o armazenamento.

Resultados semelhantes foram encontrados por Rajendraprasad et al., (2017), que também trabalhando com sementes de crotalária, encontrou maiores porcentagens de germinação das sementes quando estas foram embebidas em água a temperatura de 70°C por oito horas. O resultado encontrado sugere então, que a elevação da temperatura da massa de sementes, tanto com embebição em elevadas temperaturas como encontrado por Rajendraprasad et al., (2017), ou através do ar de secagem como encontrado no presente



trabalho sugerem que a dormência é imposta pelo tegumento da semente, sendo basicamente uma dormência de teor físico e não fisiológico. Esse mecanismo de dormência foi relatado em várias outras espécies da família *Fabaceae* (TRAVLOS et al., 2007, AZAZI et al., 2013).

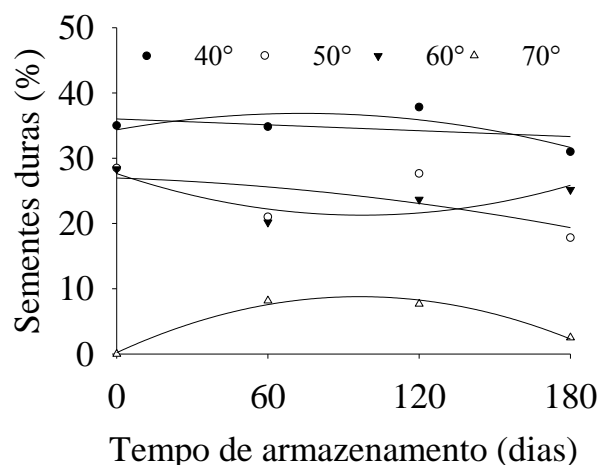


FIGURA 16. Porcentagem de sementes duras (%) provenientes do teste de germinação de sementes de crotalária em função da temperatura de secagem e do tempo de armazenamento (dias).

Algumas espécies com dormência tegumentar apresentam aumento da porcentagem de germinação adquirida com o tempo de armazenamento, devido principalmente às variações de temperatura e umidade que ocorrem no ambiente de armazenamento e influenciam a semente (CARVALHO et al., 2018), que por ser higroscópica pode absorver ou perder água para o meio e então fissuras são formadas e então há possibilidade de embebição e conseqüentemente germinação das sementes (Bewley et al., 2013).

Na Figura 17, são apresentados os valores médios da porcentagem de plântulas normais obtidas no teste de germinação de sementes de crotalária, submetidas a diferentes temperaturas de secagem e ao armazenamento e de acordo com os dados apresentados a escarificação das sementes remanescentes do teste de germinação padrão, proporcionaram a formação de plântulas normais no teste final do teste de germinação. Observa-se que após a escarificação das sementes de crotalária que se apresentavam duras no teste de germinação, a germinação das sementes ocorreu normalmente, formando plântulas normais. A escarificação das sementes de crotalária remove algumas camadas da cutícula das sementes melhorando assim a permeabilidade do tegumento das sementes à gases essenciais e a água (CANDIDO e OLIVEIRA, 2018). A dormência física causada

pela resistência do tegumento das sementes é um recurso ecológico fundamental para muitas espécies, pois as sementes sendo resistentes no solo por um longo período de tempo, germinarão nas épocas com melhores condições ambientais (CARVALHO et al., 2018).

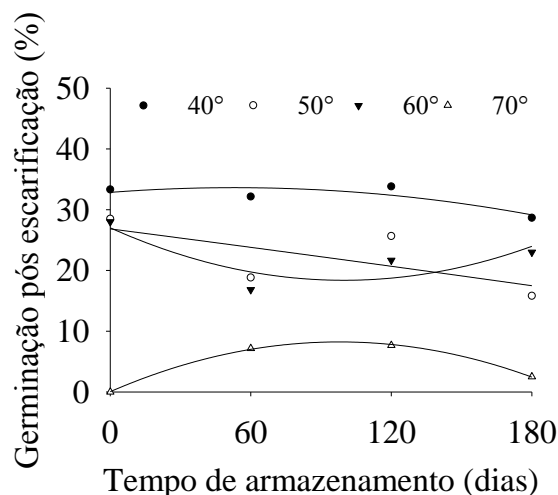


FIGURA 17. Porcentagem de plântulas normais (%) provenientes do teste de germinação de sementes de crotalária escarificadas em função da temperatura de secagem e do tempo de armazenamento (dias).

Henrique e Figueiredo (2018) analisando a ecologia reprodutiva da *Crotalaria* em área de cultivo ecológico observaram que as sementes apresentam dormência tegumentar logo após a maturidade fisiológica e que com o passar dos dias após a maturidade fisiológica, quando as sementes são predadas por insetos ou até mesmo pássaros, há então um aumento significativo na porcentagem de germinação das sementes, ou seja a predação, causa o rompimento do tegumento das sementes. Esses resultados indicam que é necessário um desgaste do tegumento para permitir a entrada de água. No presente estudo a entrada de água foi possibilitada pelo rompimento do tegumento proporcionado pela elevada temperatura do ar de secagem.

Rajenprasad et al., (2017) também observaram através do teste de tetrazólio realizado nas sementes que se apresentavam duras após o período do teste de germinação, que as sementes embora permaneceram duras, estas eram viáveis. A mesma observação pode ser realizada no presente trabalho, pois quando comparadas as Figuras 16 e 17, percebe-se que aproximadamente 100% das sementes que se apresentavam duras no final do teste de germinação, após a escarificação, formaram plântulas normais.

A Figura 18, apresenta as porcentagens de plântulas anormais (a) encontradas no teste de germinação, assim como a porcentagem de sementes mortas (b). De maneira

geral observar-se que tanto a porcentagem de plântulas normais, quanto a porcentagem de sementes mortas aumentou com o tempo de armazenamento das sementes. Sarath et al., (2016) trabalhando com sementes de amendoim submetidas a diferentes temperaturas de secagem, também encontraram ao final do período de armazenamento maiores porcentagens de plântulas anormais quanto de sementes mortas.

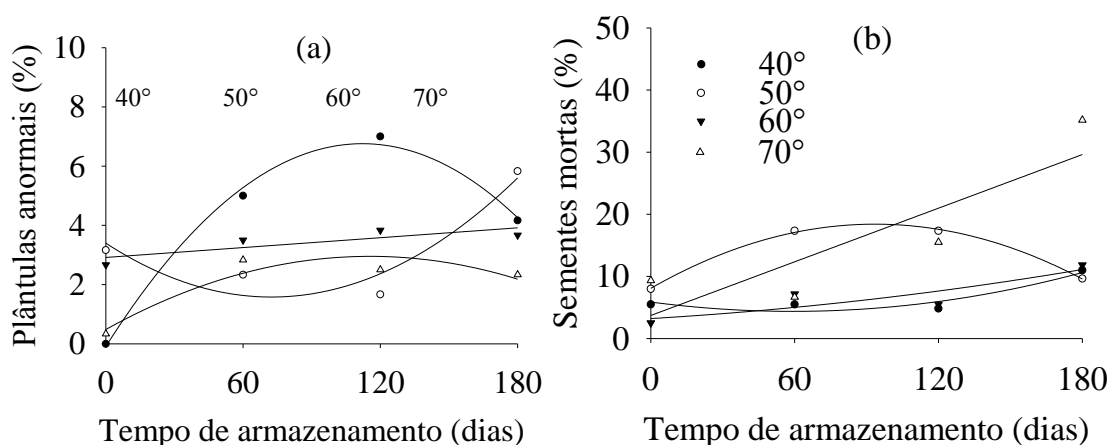


FIGURA 18. Porcentagem de plântulas anormais (a) e sementes mortas (b) provenientes do teste de germinação de sementes de crotalária com sementes escarificadas e não escarificadas em função da temperatura de secagem e do tempo de armazenamento (dias).

Apesar da temperatura de 70°C se manter com elevadas porcentagens de germinação durante do armazenamento, sendo sua redução mais drástica ocorrida aos 180 dias de armazenamento, a temperatura de 70°C também apresentou as maiores porcentagens de sementes mortas, ou seja, pode-se inferir que a rápida remoção de água causada com a elevada temperatura de secagem afetou a qualidade fisiológica das sementes, sendo esta perceptível ao longo do armazenamento (HARTMAN FILHO et al, 2016).

No Quadro 8, são apresentadas as equações de regressão ajustadas aos dados observados da primeira contagem, germinação sem escarificação, sementes duras, germinação pós escarificação, plântulas anormais e sementes mortas provenientes do teste de germinação, assim como o coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

QUADRO 8. Equações de regressão ajustadas aos valores da primeira contagem (%), germinação sem escarificação(%), sementes duras (%), germinação pós escarificação (%), plântulas anormais (%) e sementes mortas (%) obtidas no teste de germinação de sementes de crotalária em função de diferentes temperaturas de secagem e do tempo de armazenamento

Temperatura °C	Equação	R <sup>2</sup>	F	Pvalor
<i>Primeira contagem</i>				
40	$y = 57,71167 - 0,1131TA + 0,0001TA^2$	99,48	47,8910	0,0101
50	$y = 59,8333 - 0,0708TA + 0,0001TA^2$	99,82	136,750	0,0060
60	$y = 65,3250 + 0,0360TA - 0,0007TA^2$	99,35	37,9270	0,0114
70	$y = 78,5750 + 0,0012TA - 0,0007TA^2$	99,42	43,0246	0,0107
<i>Germinação sem escarificação</i>				
40	$y = 59,9417 - 0,0746TA + 0,0003TA^2$	94,81	4,4472	0,0317
50	$y = 63,4167 - 0,1528TA + 0,0010TA^2$	80,59	0,9262	0,0592
60	$y = 67,0917 + 0,1321TA - 0,0009TA^2$	98,95	6,8579	0,0144
70	$y = 90,1667 - 0,0750TA - 0,0005TA^2$	99,95	462,10	0,0032
<i>Sementes duras</i>				
40	$y = 34,3500 + 0,06830TA + 0,0005TA^2$	80,13	0,8971	0,0050
50	Sem ajuste			
60	$y = 27,6500 + 0,1308TA + 0,0007TA^2$	85,40	1,34	0,0052
70	$y = 0,2000 + 0,1783TA + 0,0009TA^2$	99,16	29,3090	0,0129
<i>Germinação pós escarificação</i>				
40	$y = 32,8500 + 0,0294TA - 0,0003TA^2$	84,44	1,2420	0,0053
50	Sem ajuste			
60	$Y = 27,0250 - 0,1732TA - 0,0009TA^2$	83,63	1,1632	0,0054
70	$y = 0,0500 + 0,01675TA - 0,0009TA^2$	99,64	412,27	0,0034
<i>Plântulas anormais</i>				
40	$y = -0,0917 + 0,1221TA - 0,0005TA^2$	99,68	76,9174	0,0080
50	Sem ajuste			
60	$y = 65,3250 + 0,0360TA - 0,0007TA^2$	99,35	37,9270	0,0011
70	$y = 78,5750 + 0,0012TA - 0,0007TA^2$	99,42	43,0246	0,0010
<i>Sementes mortas</i>				
40	$y = 5,8750 + 0,0507TA - 0,0004TA^2$	94,17	3,9185	0,0033
50	$y = 8,0833 + 0,0507TA - 0,0004TA$	99,91	264,60	0,0043
60	$y = 3,2167 + 0,0231TA - 0,0001TA$	88,03	1,7215	0,0047
70	$y = 3,7167 + 0,1439TA$	86,56	5,9763	0,0013

### 5.3. Testes de vigor

#### 5.3.1. Condutividade elétrica

No presente estudo o teste de condutividade elétrica confirmou o efeito da temperatura no rompimento do tegumento das sementes de crotalária, e não

necessariamente, indicou o estado das membranas das sementes, portanto, os valores de condutividade elétrica foram menores para as sementes de crotalária, de maneira geral, secas nas menores temperaturas do ar de secagem (Figura 19). Esse resultado certamente ocorreu em virtude de que a elevação da temperatura do ar de secagem promoveu a ruptura do tegumento das sementes facilitando a lixiviação de componentes celulares durante a fase de embebição. Nas sementes de crotalária avaliadas no presente trabalho, é possível afirmar também que o aumento da condutividade elétrica encontrada nas temperaturas mais elevadas está relacionado à ausência de sementes duras nas temperaturas mais elevadas de secagem 70°C, que por apresentarem o tegumento permeável possibilitaram a lixiviação de componentes celulares durante a realização do teste.

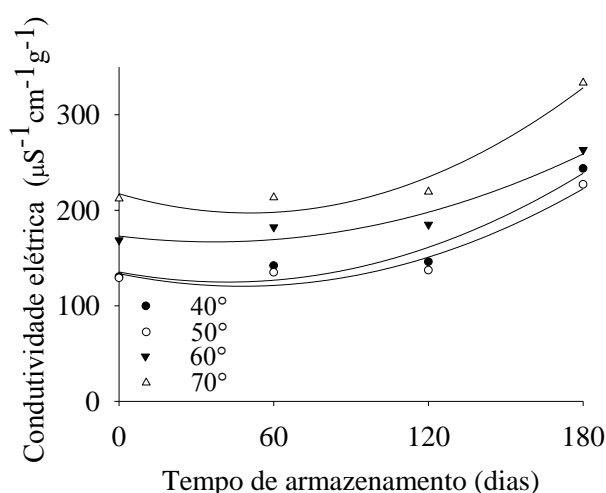


FIGURA 19. Condutividade elétrica ( $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ ) de sementes de crotalária em função da temperatura de secagem e do tempo de armazenamento

Oliveira et al. (2016), avaliando a qualidade fisiológica de sementes de milho submetidas a diferentes temperaturas no processo de secagem, observaram o aumento da condutividade elétrica em função do aumento da temperatura empregada, cujos efeitos foram mais acentuados nas temperaturas mais altas. Deste modo, os autores concluíram que a danificação das membranas das sementes de milho está diretamente relacionada a temperatura do ar de secagem. Por outro lado, para as sementes de *crotalaria spectabilis*, as temperaturas mais elevadas proporcionaram a superação da barreira física imposta pelo tegumento e conseqüentemente a entrada de água.

Ullmann et al. (2018), observaram que sementes de sorgo sacarino armazenadas após secagem a altas temperaturas, apresentaram valores de condutividade

elétrica maiores quando comparadas a secagem mais amenas, evidenciando assim uma maior danificação as sementes devido as elevadas temperaturas do ar de secagem. Os autores ainda sugerem que o processo natural de deterioração, que ocorre nas sementes ao longo do tempo de armazenamento, ocasiona maior desorganização das membranas celulares, com isso há um aumento da lixiviação de eletrólitos, gerando redução da qualidade.

QUADRO 9. Equações de regressão ajustadas aos valores da condutividade elétrica de sementes de crotalária em função de diferentes temperaturas de secagem e do tempo de armazenamento

Temperatura °C	Equação	R <sup>2</sup>	F	Pvalor
40	$y = 133,7287 - 0,5560x + 0,0058x^2$	81,10	7,4376	0,0025
50	$y = 135,4421 - 0,5026x + 0,0060x^2$	81,45	7,5859	0,0024
60	$y = 173,0477 - 0,3313x + 0,0045x^2$	79,61	6,8579	0,0026
70	$y = 217,3434 - 0,07948x + 0,0078x^2$	84,81	9,3749	0,0022

### 5. 3. 2. Envelhecimento acelerado

As sementes de crotalária apresentaram elevação do teor de água após o período de envelhecimento acelerado (Quadro 10), quando comparados com os teores de água iniciais das sementes (Quadro 1), entretanto, a variação no teor de água entre os lotes de sementes foi inferior a três pontos percentuais conforme recomendado por Marcos Filho (1999).

QUADRO 10. Valores médios do teor de água (% b.u.) das sementes de crotalária, submetidas a 72 horas de envelhecimento acelerado a 42 °C, em função da temperatura do ar de secagem e do tempo de armazenamento.

Tempo de armazenamento (dias)	Temperatura do ar de secagem (°C)			
	40	50	60	70
0	22,7	21,9	20,3	20,6
60	21,2	22,0	21,9	20,1
120	21,0	22,7	21,0	20,5
180	21,0	22,9	21,3	20,6

Segundo Marcos Filho (2015), para a consistência dos resultados do teste de envelhecimento acelerado, é necessário que o teor de água entre os lotes de sementes avaliados não apresente variação superior a 2,0 pontos percentuais antes e após o período de envelhecimento para que haja uniformidade do teste. Tendo em vista que em sementes mais úmidas ocorre variação acentuada na velocidade de umedecimento durante o

envelhecimento, e assim, diferenças na intensidade de deterioração. Neste sentido, pode-se afirmar que o teor de água das sementes de crotalária não influenciaram a uniformidade do teste de envelhecimento acelerado.

O vigor das sementes de crotalária obtidos no teste de envelhecimento acelerado (Figura 20), expresso em porcentagem de plântulas normais, foi reduzido pela temperatura do ar de secagem, sendo tal efeito pronunciado ao longo do período de armazenamento.

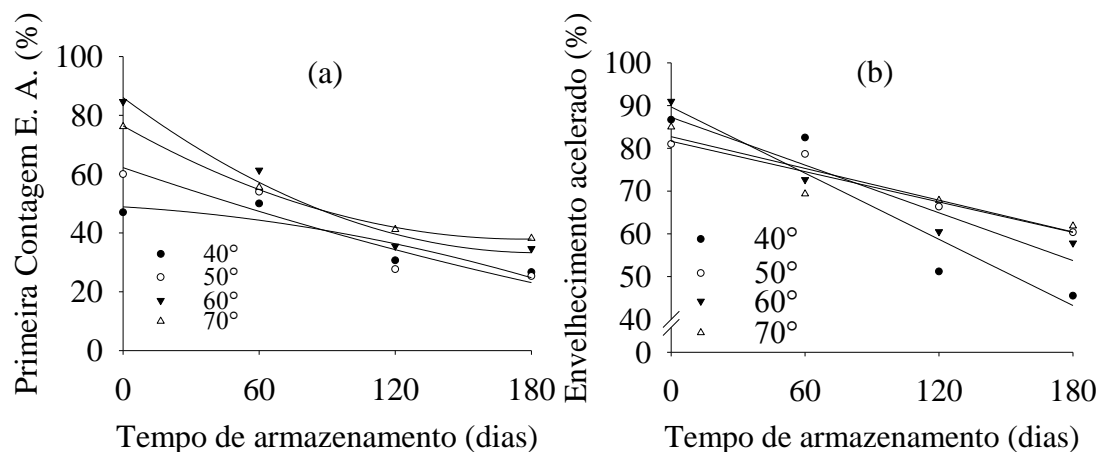


FIGURA 20. Primeira contagem (a) e contagem final (b) do teste de envelhecimento acelerado (%) de sementes de crotalária em função da temperatura de secagem e do tempo de armazenamento (dias)

As temperaturas de 60°C e 70°C, respectivamente, apresentaram maiores porcentagens de plântulas normais no tempo zero do armazenamento, para a primeira contagem do teste de envelhecimento acelerado, esse resultado é consequência da quebra da dormência nas sementes, ocasionada pelas maiores temperaturas de secagem utilizadas. As temperaturas de 50°C e 40°C não promoveram a superação da dormência das sementes de crotalária, por isso para essas temperaturas a primeira contagem apresenta baixas porcentagens de plântulas normais.

Na contagem final do teste de envelhecimento acelerado foi possível observar que a temperatura de 60°C apresentou as maiores médias de plântulas normais, evidenciando ser o lote com maior vigor. Embora a temperatura de 70°C proporcione a superação da dormência das sementes de crotalária, com relação ao vigor as sementes da temperatura de 60°C se mostraram superiores. Já as sementes provenientes das temperaturas de 40°C e 50°C apresentaram menores porcentagens de plântulas normais ao final do teste de envelhecimento acelerado. A taxa e a intensidade de captação de água

pelas sementes podem influenciar os resultados dos testes de envelhecimento acelerado (MARCOS FILHO, 2015).

Durante o envelhecimento artificial das sementes, a taxa de deterioração das sementes é aumentada com o aumento da temperatura e umidade relativa, o que leva a danos nas membranas, proteínas e ácidos nucleicos (FUJIKURA & KARSSSEN, 1995) e, portanto, efeitos deletérios na germinação, particularmente para lotes de sementes com baixo vigor (SILVA et al., 2016).

QUADRO 11. Equações de regressão ajustadas aos valores da primeira contagem e contagem final obtidas no teste de envelhecimento acelerado de sementes de crotalária em função de diferentes temperaturas de secagem e do tempo de armazenamento

Temperatura °C	Equação	R <sup>2</sup>	F	Pvalor
<i>Primeira contagem envelhecimento acelerado</i>				
40	$y = 48,8833 - 0,0464x + 0,0005x^2$	90,84	2,3606	0,0041
50	$y = 62,2167 - 0,2631x + 0,0003x^2$	94,69	4,3385	0,0032
60	$y = 86,0417 - 0,5743x + 0,0016x^2$	98,89	22,114	0,0014
70	$y = 76,4167 - 0,4347x + 0,0012x^2$	99,93	360,60	0,0003
<i>Envelhecimento Acelerado</i>				
40	$y = 89,6833 - 0,2581x$	94,62	17,1079	0,0538
50	$y = 82,7333 - 0,1239x$	97,11	33,0865	0,0289
60	$y = 87,2500 - 0,1861x$	95,38	20,1391	0,0462
70	$y = 81,6500 - 0,1183x$	92,78	12,3604	0,0072

### 5. 3. 3. Frio modificado

A primeira contagem do teste de frio modificado apresentou para a primeira contagem médias muito próximas e baixas para todas as temperaturas de secagem. O mesmo comportamento foi mantido durante o armazenamento das sementes, apenas as sementes provenientes da temperatura de 70°C apresentaram maiores porcentagens de plântulas normais na primeira contagem do teste de frio modificado (Figura 21).

Na contagem final do teste de frio modificado pode se observar que as porcentagens obtidas das temperaturas de 50°C e 60°C apresentam valores muito próximos tanto no tempo zero quanto ao longo do armazenamento. Assim como observado no teste de envelhecimento acelerado as maiores porcentagens de plântulas normais obtidas no teste de frio modificado, são referentes à temperatura de 60°C.



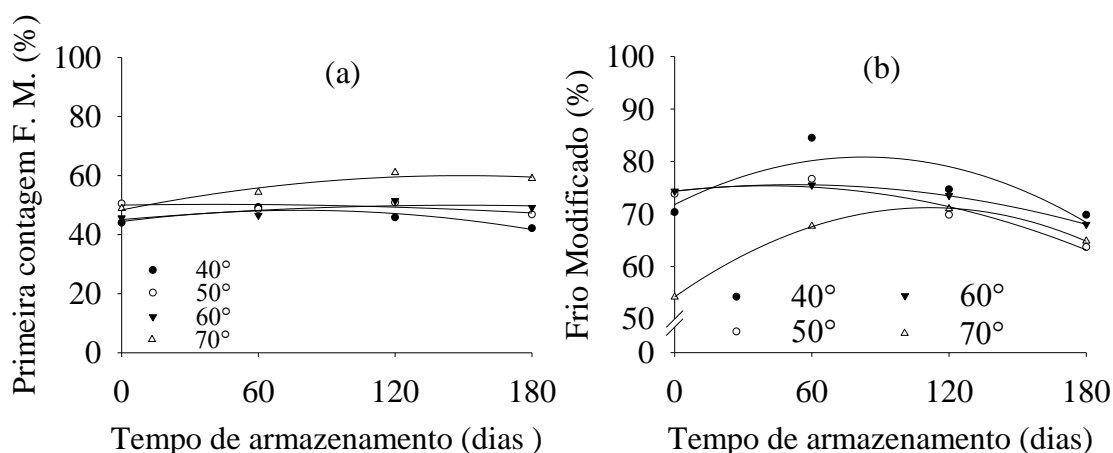


FIGURA 21. Primeira contagem teste de frio modificado (%) (a) e contagem final (b) (%) de sementes de crotalária em função da temperatura de secagem e do tempo de armazenamento (dias)

Sarath et al. (2016), observaram que a porcentagem de plântulas normais pelo teste de frio modificado foi reduzida com tempo de armazenamento das sementes de amendoim. A suscetibilidade das sementes as condições ambientais adversas, como altas temperaturas, umidade relativa e frio, é maior em sementes submetidas a temperaturas mais altas de secagem, devido ao aumento no número de fissuras encontradas em sementes secas a altas temperaturas (MENEZES et al., 2012).

QUADRO 12. Equações de regressão ajustadas aos valores da primeira contagem e contagem final obtidas no teste de frio modificado de sementes de crotalária em função de diferentes temperaturas de secagem e do tempo de armazenamento

Temperatura °C	Equação	R <sup>2</sup>	F	Pvalor
<i>Primeira contagem frio modificado</i>				
40	$y = 44,4333 + 0,0975x - 0,0006x^2$	93,07	3,2352	0,0365
50	$y = 49,9917 + 0,0124x - 0,0002x^2$	70,39	0,4910	0,0071
60	$y = 45,0917 + 0,0654x - 0,0002x^2$	82,89	1,0979	0,0055
70	$y = 48,3417 + 0,4347x - 0,0012x^2$	97,21	8,5972	0,0023
<i>Frio modificado</i>				
40	$y = 71,7833 + 0,2186x - 0,0013x^2$	83,48	1,1495	0,0550
50	$y = 74,3500 + 0,0503x - 0,0006x^2$	97,16	8,4230	0,0023
60	$y = 74,3767 + 0,04883x - 0,0005x^2$	99,99	2984,5	0,0129
70	$y = 54,2000 + 0,304x - 0,0014x^2$	99,99	3580,1	0,0118

### 5. 3. 4. Emergência em campo e índice de velocidade de emergência (IVE)

Inicialmente, no tempo zero, a temperatura de 70°C apresentou as maiores médias obtidas no índice de velocidade de emergência, e aos 120 dias essa mesma temperatura apresentou uma redução com relação ao IVE, sendo superada pela temperatura de 60 °C (Figura 22), resultado semelhante foi encontrado para a emergência em campo.

Neste teste, o vigor do lote de sementes é determinado avaliando a velocidade de emergência de plântulas em condições de campo, e/ou casa de vegetação, e tanto mais vigoroso será um lote de sementes quanto mais rápida for a sua emergência das plântulas no campo (OLIVEIRA et al., 2009). Desta forma, assim como observados nos demais testes realizados, as sementes secas nas temperaturas de 60°C e 70°C se mostraram mais vigorosas, uma vez que apresentaram as maiores médias para este índice após o período de armazenamento. Segundo Costa et al. (2018), a secagem quando realizada em altas temperaturas, bem como as barreiras físicas e as condições climáticas podem minimizar o índice de velocidade de emergência, para as sementes de crotalária, a secagem com a temperatura de 70°C proporcionou um elevado índice de velocidade de emergência, pois promoveu a superação da dormência física das sementes de crotalária, entretanto, ao longo do armazenamento a redução no IVE e na germinação a campo evidenciam a danificação à qualidade das sementes de crotalária.

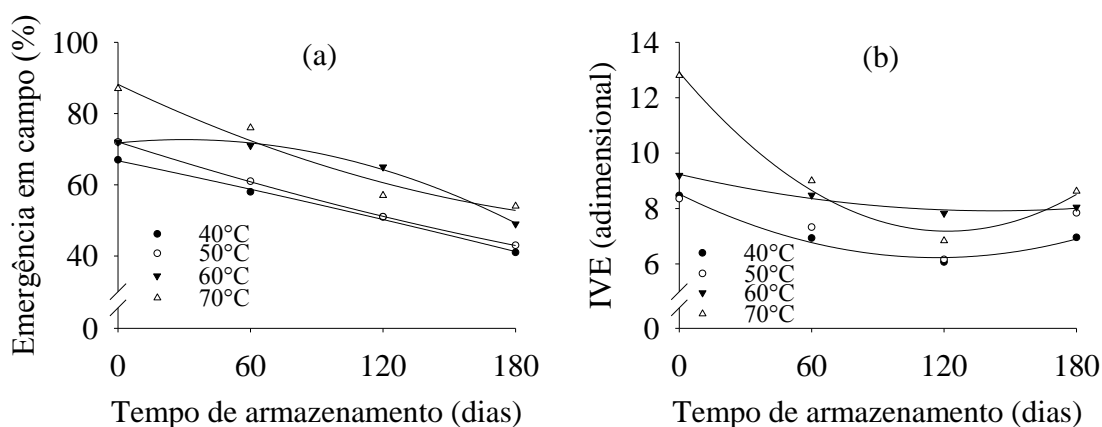


FIGURA 22. Emergência em campo (a) e índice de velocidade de emergência (b) de sementes de crotalária em função da temperatura de secagem e do tempo de armazenamento (dias)

QUADRO 13. Equações de regressão ajustadas aos valores da emergência em campo e do índice de velocidade de emergência (IVE) de sementes de crotalária em função de diferentes temperaturas de secagem e do tempo de armazenamento

Temperatura °C	Equação	R <sup>2</sup>	F	Pvalor
<i>Emergência em campo</i>				
40	$y=33,3371 - 0,0703x$	99,80	499,0842	0,0020
50	$y= 35,7975 - 0,0803x$	99,81	512,0942	0,0019
60	$y= 37,7298 - 0,0621x$	89,59	8,1328	0,0104
70	$y= 42,7768 - 0,0963x$	96,97	31,4775	0,0303
<i>IVE</i>				
40	$y=8,5232 - 0,0393x + 0,0002x^2$	94,07	24,7850	0,0140
50	Sem ajuste			
60	$y=9,2374 - 0,0185x + 0,000006x^2$	90,80	15,7976	0,0175
70	$y=12,9185 - 0,0944x + 0,0004x^2$	98,58	34,7567	0,0119

## 6. CONCLUSÕES

As sementes de crotalária apresentam as três fases de desenvolvimento bem definidas durante a maturação, sendo a capacidade germinativa adquirida apenas na maturidade fisiológica, ou seja, aos 42 dias após a antese.

As diferentes fases de embebição das sementes de crotalária não foram identificadas durante as 24 horas em que as sementes foram expostas ao teste, isto pode ser consequência da dormência física das sementes.

A dormência física foi encontrada, nas sementes de crotalária, a partir da maturidade fisiológica (42 dias após a antese).

A temperatura de 70°C causou a superação da dormência física das sementes de crotalária, apresentando maiores porcentagens de germinação e maior vigor encontrados nos testes realizados no tempo zero de armazenamento, sendo este o efeito imediato da secagem. Entretanto ao longo do armazenamento, as sementes provenientes da temperatura de 70°C apresentaram redução de sua qualidade fisiológica.

A temperatura de 70°C é indicada para a secagem de sementes de *crotalaria spectabilis* as quais serão semeadas imediatamente após a secagem ou permanecerão em ambiente de armazenamento por até 120 dias, após este período ocorre a redução de maneira significativa na qualidade fisiológica das sementes.

A temperatura de 40°C proporcionou, aos 180 dias de armazenamento, uma maior qualidade fisiológica das sementes de crotalária de maneira geral, sendo então a temperatura de secagem indicada para sementes que serão armazenadas até 180 dias.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREANI-JUNIOR, R.; MELLO, W.S.; SANTOS, S.R.G.; KOZUSNY-ANDREANI, D.I. Superação da dormência de sementes de três essências florestais nativas. *Revista da Universidade Vale do Rio Verde*, v.12, n.1, p.470-479, 2014.

ANGELOVICI, R.; GALILI, G.; FERNIE, A.R.; FAIT, A. Seed desiccation: a bridge between maturation and germination. *Trends in Plant Science*, v. 15, n. 4, p. 211-218, 2010.

ARAUJO, J.B.S.; RODRIGUES, M.C.; RODRIGUES, L.B.; SANTOS, R.H.S.; MARTINEZ, H.E.P. Nitrogen fertilization of coffee: organic compost and *Crotalaria juncea* L. *Revista Ceres*, v. 60, n. 6, p. 842-851, 2013.

ARAÚJO, A. V.; ARAÚJO, E. F.; AMARO, H. T. R.; SANTOS, R. H. S. CECON, P. R. Época de colheita e armazenabilidade de sementes de *Crotalaria juncea* L. *Revista Ciência Agronômica*, v. 49, n. 1, p. 103-111, jan-mar, 2018

ARAÚJO, E. F. L.; JÚNIOR, F. G. G.; SILVA, A. R.; PEIXOTO, N.; SOUZA, E. R. B. Evaluation of the Desiccation of *Campomanesia adamantium* Seed Using Radiographic Analysis and the Relation with Physiological Potential. *Agronomy Journal*, v. 111, Issue 2, 2019.

ASSOCIATION OF OFFICIAL SEED ANALYSTS - AOSA. (Ed.). The seed vigor test committee. **Seed vigor testing handbook**. [S.l.], Lincoln, Nebraska: AOSA, 1983. 93p. (The handbook on seed testing, Contribution 32).

ATAÍDE, G. M.; FLORES, A. V.; BORGES, E. E. L. Alterações fisiológicas e bioquímicas em sementes de *Pterogyne nitens tull.* durante o envelhecimento artificial. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 1, p. 71-76, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1983-40632012000100010>

AZEREDO, G.A.; BRUNO, R.L.A.; LOPES, K.P.; SILVA, A.; DINIZ, E.; LIMA, A.A. Conservação de sementes de amendoim (*Arachis hypogaea* L.) em função do beneficiamento, embalagem e ambiente de armazenamento. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 35, n. 1, p. 37-44, 2005.

AZEVEDO, M. R. Q. A.; GOUVEIA, J. P. G. de; TROVÃO, D. M. M.; QUEIROGA, V. P. Influência das embalagens e condições de armazenamento no vigor de sementes de gergelim. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n. 3, p.519-524, 2003. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662003000300019>

BASKIN, C.C.; BASKIN, J.M. *Seeds: ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination*, 2ed. San Diego, CA, USA: **Academic/Elsevier**. 2014. 666p.

BORGES, R.C.F.; COLLAÇO JÚNIOR, J.C.; SCARPARO, B.; NEVES, M.B.; CONEGLIAN, A. Caracterização da curva de embebição de sementes de pinhão manso. **Revista Científica Eletônica de Engenharia Florestal**, v.7, n.13, p.1-8, 2009.

BORGHETTI, F. Dormência embrionária. In: FERREIRA, A.G.; BORGHETTI, F. (Org.). **Germinação: do básico ao aplicado**. Porto Alegre: Artimed, 2004. p.109-123.

BRANDÃO, E. D.; DINIZ NETO, M. A.; ARAÚJO, L. R. de; SILVA, I. F. da; BARBOSA, W. M. C.; MAIOLI, M. G. S. Períodos de secagem na qualidade fisiológica de sementes de *Licania rígida* benth. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 4, p. 1798-1806, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/1980509835339>

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 399 p.

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

BURLE, M.L.; CARVALHO, A.M.; AMABILE, R.F.; PEREIRA, J. Caracterização das espécies de adubo verde. In: CARVALHO, A.M.; AMABILE, R.F. (Ed.). **Cerrado: adubação verde**, Planaltina-DF: Embrapa Cerrados, 2006. p.71-142.

BURRIS, J. S.; PETERSON, J. M.; PERDOMO, A. J.; FENG, D. S. Morphological and physiological changes associated with desiccation in maize embryos. In: ELLIS, R. H.; BLACK, M.; MURDOCH, A. J.; HONG, T. D. (eds) Basic and applied aspects of seed biology. **Current Plant Science and Biotechnology in Agriculture**, v.30, p. 103-111, 1997.

CALEGARI, A.; MONDARDO, A.; BULISANI, E.A.; COSTA, M.B.B.; MIYASAKA, S. & AMADO, T.J.C. Aspectos gerais da adubação verde. In: COSTA, M.B.B.; CALEGARI, A.; MONDARDO, A.; BULISANI, E.A.; WILDNER, L.P.; ALCÂNTARA, P.B.; MIYASAKA, S. & AMADO, T.J.C. Adubação verde no sul do Brasil. 2.ed. Rio de Janeiro, **ASPTA**, 1993. p.56.

CANDIDO, F. D. OLIVEIRA, A. S. Métodos para a superação da dormência em sementes de *Schizolobium parahyba* (Vellozo) S. F.Blake (Fabaceae). **Acta Biológica Catarinense**. Maio-Ago;5(2):98-105, 2018.

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

CARLESSO, V. O.; BERBERT, P. A.; SILVA, R. F.; VIANNA, A. P.; DETMANN, E.; DIONELLO, R. G. Secagem de sementes de maracujá em camada delgada. **Revista Brasileira Fruticultura**, v. 27, n. 3, p. 444-448, 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452005000300025>

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

CARVALHO, R. L. L.; ALVES, N. M. C.; ALVES, C. R.; CASTRO, R. L. O. Controle alternativo de *sitotroga cerealella* em sementes de milho armazenadas. **Biodiversidade**, v.16, n. 1, p. 101-111, 2017.

CHARCHAR, J. M.; VIEIRA, J. V.; OLIVEIRA, V. R.; MOITA, A. W.. Cultivo e Incorporação de Leguminosas, Gramíneas e Outras Plantas no Controle de *Meloidogyne incognita* Raça 1 em Cenoura ‘Nantes’. **Nematologia Brasileira**, v.33, n. 2, p. 139-146, 2009.

CASTRO, R.D.; BRADFORD, K.J.; HILHORST, H.W.M. Desenvolvimento de sementes e conteúdo de água. In: FERREIRA, A.G.; BORGHETTI, F. **Germinação: do básico ao aplicado**. Porto Alegre: ARTMED, 2004. p. 51-67.

CHEN, J.; ZENG, B.; ZHANG, M.; XIE, S.; WANG, G.; HAUCK, A.; LAI, J. Dynamic transcriptome landscape of maize embryo and endosperm development. *Plant Physiology*, v. 166, n. 1, p. 252-264, 2014.

COLL, J. B.; RODRIGO, N. G.; GARCÍA B. S.; TAMÉS, R.S. *Fisiología Vegetal*. Pirámide, Madrid. 2001

COOK, C.G.; WHITE G.A. Crotalaria juncea: a potential multi-purpose fiber crop. In: JANICK, J. (Ed.). **Progress in new crops**. Arlington: ASHS Press, 1996. p. 389-394.

CORADI, P. C.; FERNANDES, C. H. P.; HELMICH, J. C.; GONELI, A. L. D. Effects of drying air temperature and grain initial moisture content on soybean quality (*Glycine max* (L.) merrill). **Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering**, v. 36, n. 5, p. 866-876, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n5p866-876/2016>

COSTA, M. B. B. 1989. Organic fertilization: new synthesis and new change for agriculture, 107. São Paulo: **Ícone** (in Portuguese).

COSTA, L. M.; RESENDE, O.; GONÇALVES, D. N.; SOUSA, K. A. de. Qualidade fisiológica das sementes de crambe submetidas a diferentes condições de secagem. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 60, n. 3, p. 235-240, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/rca.2446>

DAILING, J. W.; DAVIS, A. S.; SCHUTTE, B. J.; ARNOLD, E. Seed survival in soil: interacting effects of predation, dormancy and the soil microbial community. **Journal of Ecology**, 99, 89-95, 2011.

DELOUCHE, J.C. Metodologia de pesquisa em sementes: III. Vigor, envigoramento e desempenho no campo. **Revista Brasileira de Sementes**, 3:57-64, 1981.

DEMINICIS, B.B.; ALMEIDA, J.C.C.; BLUME, M.C.; ARAÚJO, S.A.C.; PÁDUA, F.T.; ZANINE, A.M.; JACCOUD, C.F. Superação da dormência de sementes de oito leguminosas forrageiras tropicais. *Archivos de Zootecnia*, v.55, n.212, p.401-404, 2006. [https://www.researchgate.net/publication/275335900\\_Superacao\\_da\\_dormencia\\_de\\_sementes\\_de\\_oito\\_leguminosas\\_forrageiras\\_tropicais](https://www.researchgate.net/publication/275335900_Superacao_da_dormencia_de_sementes_de_oito_leguminosas_forrageiras_tropicais)

DOURADO, M.C.; SILVA, T.R.B. & BOLONHEZI, A.C. Matéria seca e produção de grãos de *Crotalaria juncea* L. submetida à poda e adubação fosfatada. **Sci. Agríc.**, 58:287-293, 2001.

FERREIRA, F. V. **Qualidade de semente de milho colhida e despalhada com altos teores de umidade**. 2012. 85 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2012.

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

FRANÇA-NETO, J. B.; KRZYZANOWSKI, F. C.; HENNING, A. A.; PÁDUA, G. P.de; LORINI, I.; HENNING, F. A. **Tecnologia da produção de semente de soja de alta qualidade**. Londrina: Embrapa Soja, il. – (Documentos / Embrapa Soja, n.380), 2016. 82 p.

KAPPES, C.; ARF, O. SÁ, M.E.; FERREIRA, J.P.; PORTUGAL, J.R.; ALCALDE, A.M.; VILELA, R.G. Reguladores de crescimento e seus efeitos sobre a qualidade fisiológica de sementes e crescimento de plântulas de crotalária. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 2, p. 180-190, 2012.

GALDINO, A. G.; CAMARA, F. T.; SANTANA, L. D.; PINTO, A. A.; SILVA, J. M. Potencial de emergência das espécies de crotalária juncea e crotalaria ochroleura em função da profundidade de semadura. **Nucleus**,v.16,n.1,abr.2019

GIAROLA, V.; HOU, Q.; BARTELS, D. Angiosperm Plant Desiccation Tolerance: Hints from Transcriptomics and Genome Sequencing. **Trends Plant Science**, v. 22, n. 8, p. 705-717, 2017.

GONZÁLES-MORALES, S. I.; CHÁVEZ-MONTES, R. A.; HAYANO-KANASHIRO, C.; ALEJO-JACUINDE, G.; RICO-CAMBRON, T. Y.; FOLTER, S.; HERRERA-ESTRELLA, L. Regulatory network analysis reveals novel regulators of seed desiccation tolerance in *Arabidopsis thaliana*. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 113, n. 35, p. 232-241, 2016.

GRUNENVALDT, R. L.; CANTARELLI, E. B.; SALAMONI, A. T. Armazenamento e viabilidade de sementes de *Cabralea canjerana* (Vell.) Mart. **Comunicata Scientiae**, v. 5, n. 1, p. 98-105, 2014.

HANLEY, M.E. & FENNER, M. Pre-germination temperature and the survivorship and onward growth of Mediterranean fire-following plant species. **Acta Oecologica – International Journal of Ecology**, 19, 181-187, 1988.

HARTMANN FILHO, C. P.; GONELI, A. L. D.; MASETTO, T. E.; MARTINS, E. A. S.; OBA, G. C. The effect of drying temperatures and storage of seeds on the growth of soybean seedlings. **Journal of Seed Science**, v. 38, n. 4, p. 287-295, 2016a.

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, 2016b. DOI: <http://dx.doi.org/10.5897/AJAR2016.11385>

HARTMANN FILHO, C. P. **Efeito imediato e latente da temperatura do ar de secagem sobre a qualidade fisiológica e tecnológica de sementes de soja produzidas**



na “safrinha”. 2015. 96p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados.

HEHENBERGER, E. KRADOLFER, D.; KOLHER, C. Endosperm cellularization defines an important developmental transition for embryo development. **Development**, 139 (11): 2031-2039, 2012.

HENRIQUE, M. O.; FIGUEIREDO, R. A. Ecologia reprodutiva de crotalária (*Crotalaria spectabilis* Roth, Fabaceae) em área de cultivo agroecológico. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 13, n.3, p.385-391, jul.-set., 2018.

HONÓRIO JÚNIOR, J. E. R.; SOARES, P. M.; MELO, C. L.; ARRUDA FILHO, A. C. V.; SENA FILHO, J. G.; BARBOSA FILHO, J. M.; SOUSA, F. C. F.; FONTELES, M. M. F.; LEAL, L. K. A.; QUEIROZ, M. G. R.; VASCONCÊLOS, S. M. M.. Atividade farmacológica da monocrotalina isolada de plantas do gênero *Crotalaria*. **Rev. Bras. Farmacogn**, v. 20, n. 3, p. 453-458, Jun./Jul. 2010.

HOVE, C. A. T.; LU, K. J.; WEIJERS, D. Building a plant: cell fate specification in the early *Arabidopsis* embryo. *Development*, v. 142, n. 3, p. 420-430, 2015.

JOSÉ, S. C. B. R.; VON PINHO, E. V. R.; DIAS, M. A. G. S. Açúcares e tolerância à alta temperatura de secagem em sementes de milho. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 28, n. 2, p. 60-68, 2006.

JUNQUEIRA, M. H.; SIQUEIRA, V. C.; SCHOENINGER, V.; HARTMANN FILHO, C. P.; QUEQUETO, W. D.; LEITE, R. A.; MABASSO, G. A.; PEREIRA, C. G. Desempenho de plântulas de sementes de feijão brs estilo submetidas à diferentes temperaturas de secagem. **Global Science and Technology**, v. 11, n. 2, p. 304-314, 2018.

LEPRINCE, O.; BUITINK, J. Desiccation tolerance: From genomics to the field. **Plant Science**, v. 179, n. 6, p. 554-564, 2010.

LEPRINCE, O.; PELIZZARO, A. BERRIRI, S.; BUITINK, J. Late seed maturation: drying without dying. **Journal of Experimental Botany**, Vol. 68, No. 4 pp. 827–841, 2016.

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

MANTOVANI, E. C.; LORINI, I.; SANTOS, J. P. dos; PIMENTEL, M. A. G.; FONSECA, M. J. O. **Cultivo do milho: colheita e pós-colheita**. Embrapa milho e sorgo, Sistemas de produção Embrapa. Sistema de produção 1. 9ª Ed. 2015. Disponível em: <[https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p\\_p\\_id=conteudoportlet\\_WAR\\_sistemasdeproducaolf6\\_1galceportlet&p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_state=normal&p\\_p\\_mode=view&p\\_p\\_col\\_id=column-1&p\\_p\\_col\\_count=1&p\\_r\\_p\\_-76293187\\_sistemaProducaoId=7905&p\\_r\\_p\\_-996514994\\_topicoId=1316](https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducaolf6_1galceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaoId=7905&p_r_p_-996514994_topicoId=1316)>. Acesso em: 17 fev. 2019.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. 2.ed. – Londrina, PR: ABRATES, 2015. 660p.

MARCOS FILHO, J.; CÍCERO, S. M.; SILVA, W. R. **Avaliação da qualidade das sementes**. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz - FEALQ, 1987. 230p.

MAUAD, M.; SANTANA, R. S.; CARLI, T. H.; VITORINO, A. C. T.; MUSSURY, R. M.; RECH, J. Dry matter production and nutrient accumulation in *Crotalaria spectabilis* shoots. **Journal of plant nutrition**, <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1567779>, 2019

MENDES, F. L.; ANTONIO, S. F.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; DIAS, W. P.; RAMOS JUNIOR, E. U.; SILVA, J. F. V.. Manejo cultural do nematoide das lesões radiculares durante a entressafra da soja no Mato Grosso. **VII Jornada Acadêmica da Embrapa Soja**. p.49-55, 2012

MENDONÇA, A. V. R.; FREITAS, T. A. S.; SOUZA; L. S.; FONSECA; M. D. S.; SOUZA, S. S. Morfologia de frutos e sementes e germinação de *Poincianella pyramidalis* (Tul.) L. P. Queiroz, comb. Nov. **Ciênc. Florest.** vol.26 n.2 Santa Maria Apr./June 2016.

MENEZES, N. L. de.; PASQUALLI, L. L.; BARBIERI, A. P. P.; VIDAL, M. D.; CONCEIÇÃO, G. M. Temperaturas de secagem na integridade física, qualidade fisiológica e composição química de sementes de arroz. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 4, p. 430-436, 2012.

NAKAGAWA, J. Teste de vigor baseados no desempenho de plântulas. In: KRZYŻANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Eds.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Associação Brasileira de Tecnologia de Sementes, Comitê de Vigor de Sementes. Londrina, PR: ABRATES, 1999. p.2-8 a 2-21.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados na avaliação das plântulas. In: VIEIRA, R. D.; CARVALHO, N. M. (Ed.) **Testes de vigor em sementes**. Jaboticabal: FUNEP, 1994. p.49-85

NÓBREGA, L.H.P. **Estresse hídrico na germinação de sementes e no crescimento inicial de plantas de diversas cultivares de soja com determinados níveis de vigor**. 1993. 165f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Jaboticabal: FCAV/UNESP, Universidade Estadual de São Paulo, 1993.

OLIVA, A. C. E.; BIAGGIONI, M. A. M., CAVARIANI, C. Efeito imediato do método de secagem na qualidade de sementes de crambe. **Revista Energia na Agricultura**, v. 27, n. 3, p. 16-30, 2012. DOI: <https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2012v27n3p16-30>

PACHECO, J. S, SILVA LOPES, R. E. S. Genus *Crotalaria* L. (Leguminosae). Resumo. *Revista Fitos*, Rio de Janeiro, v.5 n.3, p43-52, 2010.

PARK, K. J. B.; PARK, K. J.; ALONSO, L. F. T.; CORNEJO, F. E. P.; FABBRO, I. M. D. Secagem: fundamentos e equações. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 16, n. 1, p. 93-127, 2014.

PEIXOTO, M. G. L. Germinação e vigor de sementes e desenvolvimento pós seminal de *crotalaria spectabilis* Roth. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Rio Largo, Alagoas, 2007.

PESKE, S. T.; BAUDET, L. M.; VILLELA, F. A. Tecnologia de Pós-Colheita para Sementes. In: SEDIYAMA, T. (Ed.). **Tecnologias de Produção de Sementes de Soja**. Londrina: Mecenas, p. 327-343, 2013.

PESKE, S. T.; VILLELA, F. A.; MENEGHELLO, G. E. **Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos**. Pelotas: Editora Universitária da UFPel, 3ed., 2012. 573p.

PETRY, V. J.; WEBER, P. E. Modelagem matemática dos processos de transferência de calor e massa na secagem intermitente de grãos de soja. **Proceeding Series of the Brazilian Society of Applied and Computational Mathematics**, v. 3, n. 1, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.5540/03.2015.003.01.0351>

PEPLINSKI, A. J.; PAULIS, J. W.; BIETZ, J. A.; PRATT, R. C. Drying of high moisture corn: changes in properties and physical quality. **Cereal Chemistry**, v. 71, n. 2, p. 129-133, 1994.

POPINIGIS, F. **Fisiologia da semente**. Brasília - DF: s/Ed., 2.ed., 1985. 289p.

RAMOS JUNIOR, E. U.; MACHADO, R. A. F.; OLIBONE, D.; CASTOLDI, G.; RAMOS, B. M. Crescimento de plantas de cobertura sob déficit hídrico. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n.1, p. 47-56, 2015.

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. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612012005000013>

RODRIGUES, A.A.D.C.; LAURA, V.A.; CHERMOUTH, K.S.; GADUM, J. Absorção de água por semente de salsa, em duas temperaturas. **Revista Brasileira de Sementes**, v.30, n.1, p.49-54, 2008.

SANO N, RAJJOU L, NORTH HM, DEBEAUJON I, MARION-POLL A, SEO M. Staying alive: molecular aspects of seed longevity. *Plant and Cell Physiology* 57, 660–674, 2016.

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.

SAVAGE, W. F; FOOTITT, S. Seed dormancy cycling and the regulation of dormancy mechanisms to time germination in variable field environments. **Journal of Experimental Botany**, Vol. 68, No. 4 pp. 843–856, 2017

SCHWAN, A. V.. **Antagonismo de espécies de Crotalária ao nematoide de cisto da soja (*Heterodera glycines* Ichinohe)**. 2003. 46 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade federal do Mato Grosso do Sul. 2003.

SHIL, S.; MITRA, J.; PANDEY, S. K. JRJ 610 (Prankur): A new sunnhemp (*Crotalaria juncea* L.) Variety for high yielding and superior quality fibre. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**.

SILVA, H. W. da; VALE, L. S. R.; SILVA, C. F.; SOUZA, R. C.; SOARES, R. S. Drying kinetics and physiological quality of ‘Cabacinha’ pepper seeds during storage. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 4, p. 292-297, 2018.

SILVA, F. F. S.; LOPES, A. P.; ARAÚJO, M. N.; OLIVEIRA, D. A. B.; MATIAS, J. R.; BRUNO, R. L. A.; DANTAS, B. F. Curva de embebição, degradação e mobilização de proteínas de reserva em sementes de *Sideroxylon obtusifolium* (Sapotaceae) de diferentes procedências. In: XXXIII Reunião Nordestina de Botânica, Aracaju – SE, 2010.

SILVA, J. C. P.. **Toxicidade de compostos orgânicos voláteis de *Cymbopogon nardus*, *Piper nigrum*, *Brassica oleracea*, *Helianthus annuus* e *Bertholletia excelsa* a *Meloidogyne incognita***. 2012. 54 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2012.

SILVA, B. M.; SILVA, C. O.; MÔRO, F. V.; VIEIRA, R. D. Seed anatomy and water uptake and their relation to seed dormancy of *Ormosia paraensis* Ducke. **Journal of Seed Science**, v.40, n.3, p.237-245, 2018.

SILVA, H. W. da; OLIVEIRA, J. A.; MONFORT, L. H. F.; SANTOS, J. M. dos; TRANCOSO, A. C. R.; CARVALHO, M. V. de. Physiological maturity and drying speed in the quality of zucchini (*Cucurbita pepo* L.) seeds. **Journal of Seed Science**, v. 39, n. 2, p. 142-149, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/2317-1545v39n2171033>

SILVA V. N.; ZAMBIASI, C. A.; TILLMANN, M. A. A.; MENEZES, N. L.; VILLELA, F. A. Condução do teste de condutividade elétrica utilizando partes de sementes de feijão. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 37, n. 2, p. 206-213, 2014.

SILVA, R. S.; RIBEIRO, L. M.; MERCADANTE-SIMÕES, M. O.; NUNES, Y. R. F.; LOPES, P. S. N. Seed structure and germination in buriti (*Mauritia flexuosa*), the Swamp palm. *Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, v. 209, n. 11, p. 674-685, 2014.

SMIDERLE, O. J.; LIMA, J. M. E.; PAULINO, P. P.S. Curva de absorção de água em sementes de *Jatropha curcas* L. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 7, n. 2, p. 203-208, maio-agosto, 2013.

SOUZA, L. A. *Morfologia e Anatomia Vegetal: Célula, Tecidos, Órgãos e Plântula*. Editora UEPG, Ponta Grossa, 2009.

SREENIVASULU, N.; WOBUS, U. Seed-development programs: a systems biologybased comparison between dicots and monocots. *Annual Review of Plant Biology*, v. 64, p. 189-217, 2013.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. Porto Alegre: **Artmed**, 2017.

TORRES, S. B.; PAIVA, E. P. de; ALMEIDA, J. P.N. de; BENEDITO, C. P; CARVALHO, S. M. C. Teste de condutividade elétrica na avaliação da qualidade

fisiológica de sementes de coentro. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 3, p. 622-629, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.5935/1806-6690.20150046>

ULLMANN, R.; RESENDE, O.; RODRIGUES, G. B.; CHAVES, T. H.; OLIVEIRA, D. E. C. de. Qualidade fisiológica das sementes de sorgo sacarino submetidas à secagem e ao armazenamento. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 26, n. 4, p. 313-321, 2018. DOI: <https://doi.org/10.13083/reveng.v26i4.960>

ULLMANN, R.; RESENDE, O.; CHAVES, T. H.; OLIVEIRA, D. E. C. de, COSTA, L. M. Qualidade fisiológica das sementes de sorgo sacarino submetidas à secagem em diferentes condições de ar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v. 19, n. 1, p. 64-69, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n1p64-69>

ULLMANN, R.; RESENDE, O.; SALES, J. F.; CHAVES, T. H. Qualidade das sementes de pinhão manso submetidas à secagem artificial. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 3, p. 442-447, 2010.

VAN-KLINKEN, R.D.; GOULIER, J.B. Habitat-specific seed dormancy-release mechanisms in four legume species. **Seed Science Research**, v.23, p.181-188, 2013.

VILLELA, F. A. **Efeitos da secagem intermitente sobre a qualidade de sementes de milho**. 1991. 104 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, São Paulo, 1991.

VERGARA, R. O. de; CAPILHEIRA, A. F.; GADOTTI, G. I.; VILLELA, F. A. Intermittence periods in corn seed drying process. **Journal of Seed Science**, v. 40, n. 2, p. 193-198, 2018.

WEBER, H.; SREENIVASULU, N.; WESCHKE, W. Molecular physiology of seed maturation and seed storage protein biosynthesis. In: PUA, E.C.; DAVEY, M.R. (Eds.) **Plant Developmental Biology: Biotechnological Perspectives**. Berlin, Heidelberg: Springer, v. 2, 2010. p. 83-104.

WILLIS, C.G.; BASKIN, C.C.; BASKIN, J.M.; AULD, J.R.; VENABLE, D.L.; CAVENDER-BARES, J.; DONOHUE, K.; CASAS, R.R. The evolution of seed dormancy: environmental cues, evolutionary hubs, and diversification of the seed plants. **New Phytologist**, v. 203, n. 1, p. 300-309, 2014.

YANG, L.; WEN, B. Seed quality. **Encyclopedia of Applied Plant Sciences**, v. 1, p. 553-563, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394807-6.00205-7>

