

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO - CAMPUS RIO VERDE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS -  
AGRONOMIA

ANÁLISE DE IMAGENS DE RAIOS X EM SEMENTES DE  
ESPÉCIES FRUTÍFERAS NATIVAS DO CERRADO: *Eugenia*  
*dysenterica* DC., *Anacardium othonianum* Rizz. e *Buchenavia*  
*tomentosa* Eichler.

Autora: Lílian Abadia da Silva  
Orientadora: Profa. Dra. Juliana de Fátima Sales  
Coorientadores: Prof. Dr. Osvaldo Resende  
Prof. Dr. Paulo Sérgio Pereira

RIO VERDE - GO  
Novembro – 2016

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO - CAMPUS RIO VERDE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS -  
AGRONOMIA

ANÁLISE DE IMAGENS DE RAIOS X EM SEMENTES DE  
ESPÉCIES FRUTÍFERAS NATIVAS DO CERRADO: *Eugenia  
dysenterica* DC., *Anacardium othonianum* Rizz. e *Buchenavia  
tomentosa* Eichler.

Autora: Lílian Abadia da Silva  
Orientadora: Profa. Dra. Juliana de Fátima Sales  
Coorientadores: Prof. Dr. Osvaldo Resende  
Prof. Dr. Paulo Sérgio Pereira

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Câmpus Rio Verde – como parte das exigências para obtenção do título de DOUTORA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS - AGRONOMIA, Área de concentração Ciências Agrárias.

RIO VERDE - GO  
Novembro - 2016

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação na (CIP)

S581a Silva, Lílian Abadia da.

Análise de imagens de raios x em sementes de espécies frutíferas nativas do cerrado: *Eugenia dysenterica* DC., *Anacardium othonianum* Rizz. e *Buchenavia tomentosa* Eichler. / Lílian Abadia da Silva - 2016. xxi, 115 f.: il., figs, tabs.

Orientadora: Profa. Dra. Juliana de Fátima Sales. Coorientadores: Prof. Dr. Osvaldo Resende ; Prof. Dr. Paulo Sérgio Pereira.

Tese (doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde, 2016.

Inclui lista de figuras, tabelas e símbolos, siglas, abreviações e unidades.

1. Sementes - Morfologia interna. 2. Sementes - Qualidade física. 3. Sementes - Qualidade fisiológica. 4. Cagaita (*Eugenia dysenterica*). 4. Aquênios de caju-de-árvore-do-cerrado (*Anacardium othonianum* Rizz.). 5. Pirênios de boca-boá (*Buchenavia tomentosa* Eichler.).

CDU: 631.53.027.34(251.3)

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO - CAMPUS RIO VERDE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS -  
AGRONOMIA

ANÁLISE DE IMAGENS DE RAIOS X EM SEMENTES DE  
ESPÉCIES FRUTÍFERAS NATIVAS DO CERRADO: *Eugenia  
dysenterica* DC., *Anacardium othonianum* Rizz. e *Buchenavia  
tomentosa* Eichler.

Autora: Lílian Abadia da Silva  
Orientadora: Profa. Dra. Juliana de Fátima Sales  
Coorientadores: Prof. Dr. Osvaldo Resende  
Prof. Dr. Paulo Sérgio Pereira

TITULAÇÃO \_\_\_\_\_, APROVADA em \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2016.

Profa. Dra. Heloísa Oliveira dos Santos  
Universidade Federal de Lavras - UFLA

Profa. Dra. Kelly Juliane Telles Nascimento  
Pós Doutoranda, IFGoiano - Campus Rio Verde

Prof. Dr Aurélio Rubio Neto  
IFGoiano – Polo de Inovação

Prof. Dr. Jacson Zuchi  
IFGoiano - Polo de Inovação

Profa. Dra. Juliana de Fátima Sales  
IFGoiano - Campus Rio Verde  
(Orientadora)

RIO VERDE - GO  
Novembro - 2016

## *Dedico*

*Ao meu pai,  
Eurípedes Caetano da Silva (in memoriam),  
Pai, tua coragem e força pra lutar pela vida me inspiraram muito.  
Tú és parte ainda do que me faz forte e FELIZ!  
TE AMO cada dia mais!*

## *Ofereço*

*À minha mãe,  
Dilair de Fátima Oliveira da Silva,  
Por todo AMOR, apoio e dedicação.  
Amo muito a Senhora!*

*Ao meu noivo,  
Marcos Douglas do Carmo Mariano,  
Pelo companheiro maravilhoso que é, por ser meu  
braço forte e por tornar meus dias mais felizes.  
Amo você!*

*À minha avó,  
Maria de Jesus Bernadelli de Oliveira,  
Por todo carinho e por suas orações.  
Amo a senhora, vizinha!*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida, por sempre guiar meus passos e me tornar firme na caminhada. Obrigada, Senhor, por tua graça em minha vida. “Tu és a FORÇA, eu bem sei!”

Aos meus amados pais, Eurípedes Caetano da Silva (*in memoriam*) e Dilair de Fátima Oliveira da Silva, por todo amor, pelo apoio e incentivo. Obrigada por todas as renúncias feitas em prol desta conquista. Muitas vezes, mesmo sem compreender meus motivos, abriram mão dos seus próprios sonhos em função dos meus e sempre foram a rocha firme que me sustentou. Sou e serei eternamente grata a vocês!

Ao meu noivo, Marcos Douglas do Carmo Mariano, por todo amor, apoio e companheirismo que tem demonstrado. Por acreditar em meus ideais e sonhar comigo mais este sonho. Por me ajudar em todas as fases deste trabalho, desde a coleta das sementes, despolpa dos frutos, montagem e avaliação dos experimentos e até mesmo na redação dos artigos. Você foi o Melhor IC que eu poderia ter. Sua ajuda foi muito importante! Obrigada por tudo!

Em especial, à mais que orientadora, amiga, Profa. Dra. Juliana de Fátima Sales, que esteve sempre próxima, orientando e apoiando em todas as fases deste trabalho. Além do exemplo de profissionalismo, aprendi com você muitas lições que levarei para a vida toda. Hoje posso compreender o que você costumava me dizer

“Calma, vai dar tudo certo! As coisas sempre terminam bem, ...” Obrigada, por me conduzir a mais esta conquista!

À Glicélia Pereira Silva, amiga que, desde o Mestrado, tem contribuído muito, compartilhando conhecimentos, experiências, acertos, erros, incertezas, dificuldades e vitórias. Obrigada por sua amizade e pela ajuda indispensável em todas as atividades desenvolvidas no LabSem. Você se tornou uma amiga-irmã!

Aos irmãos Vieira, em especial a dona Juviana, Tio João do Carmo, Tio Domingos e Tia Mara, por me acolherem tão bem nessa família e pela permissão da coleta dos frutos na Fazenda Poções. O apoio e a ajuda de vocês foram fundamentais!

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Câmpus Rio Verde, e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - Agronomia, pela infraestrutura disponibilizada.

A toda a equipe do Laboratório de Sementes do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Campus Rio Verde, em especial, as alunas de Iniciação Científica Juliana Montazolla e Gabrielle Vitorino.

Ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, pela valiosa contribuição em minha formação acadêmica e profissional.

À equipe do Laboratório de Análise de Sementes da Universidade Federal de Lavras (UFLA), em especial à Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Heloisa Oliveira dos Santos, pela grandiosa colaboração durante as análises de raios X.

À banca de avaliação da defesa de tese: Profa. Dra. Juliana de Fátima Sales (Orientadora e Presidente da banca examinadora – IFGoiano, Câmpus Rio Verde); Profa. Dra. Heloisa Oliveira dos Santos (Membro externo - UFLA); Prof. Dr Aurélio Rubio Neto (IFGoiano, Polo de Inovação); Prof. Dr Jacson Zuchi (IFGoiano, Polo de

Inovação); e Profª. Dra. Kelly Juliane Telles Nascimento (Pós-doutoranda IFGoiano, Campus Rio Verde).

À Capes (Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pela concessão da bolsa de estudos.

A todas as pessoas e instituições que, direta ou indiretamente, também me auxiliaram, apoiaram e contribuíram para a realização deste trabalho.

***Muito obrigada!***



*“Caríssimos, quem entre vós é sábio e inteligente? Que ele mostre, por seu reto modo de proceder, a sua prática em sábia mansidão [...] Por outra parte, a sabedoria que vem do alto é, antes de tudo, pura, depois pacífica, modesta, conciliadora, cheia de misericórdia e de bons frutos, sem parcialidade e sem fingimento. **O fruto da Justiça é semeado na paz, para aqueles que promovem a paz**”.*

**Tiago 3, 13-18**

## BIOGRAFIA DO AUTOR

LÍLIAN ABADIA DA SILVA, filha de Eurípedes Caetano da Silva (*in memoriam*) e Dilair de Fátima Oliveira da Silva, nasceu em Iporá, Goiás, no dia 27 de abril de 1990.

No ano de 2006, concluiu o nível médio pela rede estadual de ensino, no Colégio Estadual “Getúlio Vargas”, em Jaupaci, Goiás.

Em 2007, ingressou no curso de Licenciatura em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual de Goiás (UEG), Unidade Universitária de Iporá. Em agosto de 2009, ainda no terceiro ano do curso de graduação, ingressou na rede Estadual de ensino como professora, com contrato temporário, atuando no ensino fundamental e médio do Colégio Estadual “Getúlio Vargas”, em Jaupaci, Goiás, onde lecionou até o ano de 2010, ano em que concluiu o curso de graduação.

Em agosto de 2011, iniciou o mestrado pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Câmpus Rio Verde, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, fazendo a pesquisa para a Dissertação na área de sementes. Concluiu o mestrado acadêmico em 25 de abril de 2013, com a defesa da dissertação intitulada “Alterações fisiológicas e bioquímicas em sementes de cafeeiro-do-cerrado (*Rhamnidium elaeocarpum* Reissek) e curriola (*Pouteria ramiflora* Mart. Radlk) submetidas à secagem e aspectos morfológicos da semente e do desenvolvimento pós-seminal”.

Atuou como professora, em caráter temporário, no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Campus Iporá, de 2013 a 2014, lecionando Biologia para os Cursos Técnico em Informática e em Agropecuária Integrado ao Ensino Médio, Estatística Básica, no curso de agronegócios, e Silvicultura para o técnico em agropecuária concomitantemente.

Em agosto de 2013, ingressou no curso de doutorado em Ciências Agrárias-Agronomia pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Campus Rio Verde, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, encerrando esta etapa profissional com a presente tese.

## ÍNDICE

	Página
ÍNDICE DE TABELAS .....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xii
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES .....	xvii
RESUMO GERAL.....	xviii
GENERAL ABSTRACT .....	xx
<b>1. INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>4</b>
2.1 Domínio fitogeográfico do Cerrado .....	4
2.2 Espécies Frutíferas do Cerrado.....	6
2.3 A Cagaiteira ( <i>Eugenia dysenterica</i> DC.) .....	8
2.4 Caju-de-árvore-do-Cerrado ( <i>Anacardium othonianum</i> Rizz.) .....	13
2.5 Boca-boia ( <i>Buchenavia tomentosa</i> Eichler) .....	16
2.6 Sementes de Espécies Florestais Nativas .....	19
2.7 Análise de Sementes de Espécies Florestais Nativas .....	20
2.8 Análise de Sementes pelo Teste de Raios X .....	21
Referências .....	25
<b>3. OBJETIVO GERAL.....</b>	<b>35</b>
<b>4. CAPÍTULO I. Desempenho fisiológico e análise de imagens de raios X em sementes de cagaita (<i>Eugenia dysenterica</i> DC. - Myrtaceae) submetidas à secagem</b>	<b>36</b>
Resumo .....	36
Abstract .....	37
4.1 Introdução .....	37
4.2 Material e métodos .....	39

4.3 Resultados e discussão .....	44
4.4 Conclusões.....	56
4.5 Referências .....	57
<b>5. CAPÍTULO II. Análise de imagem de raios X em aquênios de <i>Anacardium othonianum</i> Rizz. (Anacardiaceae) submetidos à secagem .....</b>	<b>61</b>
Resumo .....	61
Abstract .....	62
5.1 Introdução .....	62
5.2 Material e métodos .....	65
5.3 Resultados e discussão .....	69
5.4 Conclusões.....	80
5.5 Agradecimentos .....	80
5.6 Referências .....	80
<b>6. CAPÍTULO III. Tratamentos pré-germinativos e análise de imagens em pirênios de <i>Buchenavia tomentosa</i> Eichler. (Combretaceae) em diferentes estádios de maturação .....</b>	<b>84</b>
Resumo .....	84
Abstract .....	85
6.1 Introdução .....	86
6.2 Material e métodos .....	88
6.3 Resultados e discussão .....	93
6.4 Conclusões.....	109
6.5 Agradecimentos .....	110
6.6 Referências .....	110
<b>7. CONCLUSÃO GERAL.....</b>	<b>114</b>

## ÍNDICE DE TABELAS

	Página
<b>CAPÍTULO II.</b> Análise de imagem de raios X em aquênios de <i>Anacardium othonianum</i> (Anacardiaceae) submetidos à secagem.....	60
<b>Tabela 1.</b> Valores de quadrados médios e significâncias para a porcentagem de aquênios de <i>A. othonianum</i> Rizz. com diferentes teores de água em cada classe do teste de raios X, considerando os fatores teores e classes, bem como suas interações. ....	74
<b>Tabela 2.</b> Classificação dos aquênios de <i>A. othonianum</i> com diferentes teores de água por meio da análise de imagens de raios X. ....	74
<b>CAPÍTULO III.</b> Tratamentos pré-germinativos e análise de imagens em pirênios de <i>Buchenavia tomentosa</i> . (Combretaceae) em diferentes estádios de maturação.....	83
<b>Tabela 1.</b> Descrição dos tratamentos pré-germinativos empregados para a superação da dormência em pirênios de <i>B. tomentosa</i> .....	89
<b>Tabela 2.</b> Comparação das médias para comprimento (CP), largura (LG), espessura (ES), massa fresca de 100 pirênios (MF100) e teor de água (TA % b.u.) de pirênios de <i>B. tomentosa</i> em diferentes estádios de maturação.....	102
<b>Tabela 3.</b> Porcentagem de pirênios (P%), porcentagem de plântulas normais (PN%), porcentagem de plântulas anormais (PA%) e porcentagem de pirênios mortos ou não germinados (PM%) de <i>B. tomentosa</i> coletados em diferentes estádios de maturação e classificados por meio da análise de imagens de raios X.. ....	104
<b>Tabela 4.</b> Porcentagem de emergência (E%), índice de velocidade de emergência (IVE), comprimento da parte aérea (CPA), comprimento de raiz (CR), diâmetro à altura do colo (DAC) e número de folhas de plântulas de <i>B. tomentosa</i> , em função do estágio de maturação dos frutos. ....	109

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	4
<b>Figura 1.</b> Árvore de cagaiteira ( <i>Eugenia dysenterica</i> ) (A); Detalhe de ramos de cagaiteira com frutos verdes e maduros (B); Detalhes do fruto com semente em seu interior; (C) sementes despolpadas (D).....	9
<b>Figura 2..</b> Árvore de <i>Anacardium othonianum</i> no período de frutificação em área de ocorrência natural na Fazenda Poções, Diorama, Goiás (A); Detalhe de ramos com frutos maduros (B); variação de coloração do pseudofruto (C); Plântulas emergindo em casa de vegetação no Laboratório de Sementes do IFGoiano, Câmpus Rio Verde, Goiás (D)..	13
<b>Figura 3.</b> Árvore de <i>Buchenavia tomentosa</i> no período de frutificação em área de ocorrência natural na Fazenda Poções, Diorama, Goiás (A); Detalhe de ramos com frutos maduros (B); Fruto maduro (C); Detalhes dos pirênios após a despolpa dos frutos (D); Plântulas emergindo em casa de vegetação no Laboratório de Sementes do IFGoiano, Câmpus Rio Verde, Goiás (E)..	17
<b>CAPÍTULO I.</b> Desempenho fisiológico e análise de imagens de raios X de sementes de cagaita ( <i>Eugenia dysenterica</i> - Myrtaceae) submetidas à secagem .....	36
<b>Figura 1.</b> Curva de embebição de sementes de <i>E. dysenterica</i> .....	45
<b>Figura 2:</b> Germinação (%) em sementes de <i>E. dysenterica</i> durante a embebição.* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F ( $p < 0,05$ ). Barra: Erro padrão da média. ....	45
<b>Figura 3.</b> Teor de água de sementes de cagaita ( <i>Eugenia dysenterica</i> ) submetidas a diferentes períodos de secagem.* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F ( $p < 0,05$ ). Barra: Erro padrão da média. ....	46

<b>Figura 4.</b> Condutividade elétrica de sementes de cagaita ( <i>Eugenia dysenterica</i> ) submetidas a diferentes períodos de secagem.*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F ( $p < 0,05$ ). Barra: Erro padrão da média.....	47
<b>Figura 5.</b> Taxa respiratória de sementes de <i>E. dysenterica</i> submetidas a dois tipos de secagem por diferentes períodos.*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F ( $p < 0,05$ ). Barra: Erro padrão da média..	48
<b>Figura 6.</b> Porcentagem de emergência de plântulas de <i>E. dysenterica</i> oriundas de sementes submetidas a diferentes períodos de secagem.*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F ( $p < 0,05$ ). Barra: Erro padrão da média.....	49
<b>Figura 7.</b> Índice de velocidade de emergência (IVE) de plântulas de <i>E. dysenterica</i> oriundas de sementes submetidas a diferentes períodos de secagem.*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F ( $p < 0,05$ ). Barra: Erro padrão da média... ..	50
<b>Figura 8.</b> Comprimento de plântulas de <i>E. dysenterica</i> oriundas de sementes submetidas a diferentes períodos de secagem.*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F ( $p < 0,05$ ). Barra: Erro padrão da média.....	51
<b>Figura 9.</b> Porcentagem de área livre no interior das sementes de <i>E. dysenterica</i> submetidas à secagem.*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F ( $p < 0,05$ )... ..	52
<b>Figura 10.</b> Imagens de raios X ilustrativa de sementes de <i>E. dysenterica</i> com diferentes teores de água. Setas: Área de espaço livre (tegumento/endosperma)....	53
<b>Figura 11.</b> Danos mecânicos no endosperma da semente de <i>E. dysenterica</i> submetida à secagem até o teor de água de 23% (b.u.)....	54
<b>Figura 12.</b> Porcentagem de emergência de plântulas de <i>E. dysenterica</i> oriundas de sementes submetidas à secagem.*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F ( $p < 0,05$ ).....	55
<b>Figura 13.</b> Correlação entre a área de espaço livre e a porcentagem de emergência de plântulas de <i>E. dysenterica</i> oriundas de sementes submetidas à secagem. ( $r = -0,8797$ ).....	56
<b>CAPÍTULO II.</b> Análise de imagem de raios X em aquênios de <i>Anacardium othonianum</i> (Anacardiaceae) submetidos à secagem.....	60
<b>Figura 1.</b> Aquênios de <i>A. othonianum</i> classificados como Cheio (A), Mal formados (B - C) e Vazios (D) através da análise das imagens de raios X. ....	68
<b>Figura 2.</b> Porcentagem de germinação de aquênios de <i>A. othonianum</i> com diferentes teores de água.*Significativo a 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ). Barra: Erro padrão da média. ....	69



<b>Figura 3.</b> Índice de velocidade de germinação (IVG) de aquênios de <i>A. othonianum</i> com diferentes teores de água.*Significativo a 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ). Barra: Erro padrão da média. ....	70
<b>Figura 4.</b> Condutividade elétrica da água de embebição de aquênios de <i>A. othonianum</i> com diferentes teores de água.*Significativo a 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ). Barra: Erro padrão da média.. ....	71
<b>Figura 5.</b> Porcentagem de emergência de plântulas oriundas de aquênios de <i>A. othonianum</i> com diferentes teores de água.*Significativo a 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ). Barra: Erro padrão da média.. ....	72
<b>Figura 6.</b> Índice de velocidade de emergência (IVE) de plântulas oriundas de aquênios de <i>A. othonianum</i> com diferentes teores de água.*Significativo a 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ). Barra: Erro padrão da média.. ....	72
<b>Figura 7.</b> Imagem de raios X de aquênio de <i>A. othonianum</i> com destaque para o eixo embrionário (EE), pericarpo (PE) e para os cotilédones (CT).. ....	73
<b>Figura 8.</b> Porcentagem de plântulas normais (PN%) oriundas de aquênios de <i>A. othonianum</i> , com diferentes teores de água (% b.u.) e classificados por meio da análise das imagens de raios X.....	75
<b>Figura 9.</b> Porcentagem de plântulas anormais (PA%) oriundas de aquênios de <i>A. othonianum</i> , com diferentes teores de água (% b.u.) e classificados por meio da análise das imagens de raios X.....	76
<b>Figura 10.</b> Aquênio de <i>A. othonianum</i> Rizz classificado por meio da análise de imagens como cheio e sem nenhum dano interno (A) e a respectiva plântula normal ao final do teste de emergência (B). Barra: 2 cm.....	77
<b>Figura 11.</b> Imagem de raios X de aquênios de <i>A. othonianum</i> com má-formação (A e C) e as respectivas plântulas anormais ao final do teste de emergência (B e D). Em A aquênios com 4% (b.u.) e em C aquênios com 12% (b.u.). Barra: 1 cm....	78
<b>Figura 12.</b> Imagem de raios X de aquênio de <i>A. othonianum</i> na categoria vazio (A) e a respectiva imagem do aquênio morto ao final do teste de emergência (B). Barra: 1 cm....	79
<b>CAPÍTULO III.</b> Tratamentos pré-germinativos e análise de imagens em pirênios de <i>Buchenavia tomentosa</i> Eichler. (Combretaceae) em diferentes estádios de maturação .	83
<b>Figura 1.</b> Fruto de <i>B.tomentosa</i> (A) Detalhe do fruto com epicarpo visualmente de coloração amarela; (B) Detalhes do mesocarpo carnoso e do endocarpo lenhoso do fruto; (C) Detalhes da semente envolta pelo endocarpo lenhoso. Barra: 1 cm. ....	88

**Figura 2.** Estádios de maturação de frutos de *B. tomentosa* classificados segundo a coloração visual do epicarpo, em estágio 1 - cor do epicarpo do fruto totalmente esverdeada (A), estágio 2 - cor do epicarpo verde/amarelo (B) e estágio 3 - cor do epicarpo totalmente amarelo (C), correspondendo respectivamente à 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> colheita. 91

**Figura 3.** Porcentagem de emergência de plântulas de *B. tomentosa* após imposição de diferentes tratamentos pré-germinativos. Médias seguidas de mesma letra, não diferem entre si, pelo teste de Scott–Knott, a 5% de probabilidade. CV: 22,38 (%). Barra: Erro padrão da média. .... 94

**Figura 4.** Índice de velocidade de emergência de plântulas oriundas de pirênios de *B. tomentosa* submetidos a diferentes tratamentos pré-germinativos. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Scott–Knott, a 5% de probabilidade. CV: 34,88 (%). Barra: Erro padrão da média. .... 94

**Figura 5.** Tempo médio de emergência de plântulas oriundas de pirênios de *B. tomentosa* submetidos a diferentes tratamentos pré-germinativos. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Scott–Knott, a 5% de probabilidade. CV: 10,96 (%). Barra: Erro padrão da média. .... 95

**Figura 6.** Diâmetro na altura do colo de plântulas oriundas de pirênios de *B. tomentosa* submetidos a diferentes tratamentos pré-germinativos. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Scott–Knott, a 5% de probabilidade. CV: (11,05 %). Barra: Erro padrão da média. .... 97

**Figura 7.** Número de folhas por plântulas oriundas de pirênios de *B. tomentosa* submetidos a diferentes tratamentos pré-germinativos. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Scott–Knott, a 5% de probabilidade. CV: 16,13. Barra: Erro padrão da média. .... 98

**Figura 8.** Comprimento da parte aérea de plântulas oriundas de pirênios de *B. tomentosa* submetidos a diferentes tratamentos pré-germinativos. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Scott–Knott, a 5% de probabilidade. CV: 17,93. Barra: Erro padrão da média ..... 98

**Figura 9.** Dados médios do comprimento de raiz das plântulas oriundas de pirênios de *B. tomentosa* submetidos a diferentes tratamentos pré-germinativos. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Scott–Knott, a 5% de probabilidade. CV: 17,23. Barra: Erro padrão da média ..... 99

**Figura 10.** Massa seca da parte aérea de plântulas oriundas de pirênios de *B. tomentosa* submetidos a diferentes tratamentos pré-germinativos. Médias seguidas de mesma letra

- não diferem entre si, pelo teste de Scott–Knott, a 5% de probabilidade. CV: 25,43. Barra: Erro padrão da média. .... 100
- Figura 11.** Massa seca da parte aérea de plântulas oriundas de pirênios de *B. tomentosa* submetidos a diferentes tratamentos pré-germinativos. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Scott–Knott, a 5% de probabilidade. CV: 25,43. Barra: Erro padrão da média. .... 100
- Figura 12.** Imagem de raios X de pirênio de *B. tomentosa*, com destaque para a região do eixo embrionário (EE), endocarpo lenhoso, rígido e espesso (EN) e cotilédones (CT).. .... 103
- Figura 13.** Pirênios de *B. tomentosa* classificados como Cheios (totalmente formados) (A), Mal formados ou com danos por inseto (B e C) e Vazios (D) através da análise das imagens de raios X. Setas: locais de danos. .... 103
- Figura 14.** Imagem de raios X de pirênio de *B. tomentosa* cheio e sem nenhum dano interno (A) e a respectiva plântula normal ao final do teste de emergência (B). Barra: 1 cm. .... 105
- Figura 15.** Imagem de raios X de pirênio de *B. tomentosa* com dano por inseto na região dos cotilédones (A) e a respectiva plântula anormal (B). Em C pirênio com má-formação e a respectiva plântula anormal ao final do teste de emergência (D). Em A e B pirênios verde/amarelos e em C e D pirênios amarelos. Barra: 1 cm. .... 106
- Figura 16.** Imagem de raios X de pirênio de *B. tomentosa* vazio (A) e a respectiva imagem do pirênio morto ao final do teste de emergência (B). .... 106
- Figura 17.** Imagem de raios X de pirênios de *Buchenavia tomentosa* verdes (A1-A2); verde/amarelos (B1-B3) e amarelos (C1-C2) com danos por insetos. Seta: Larva de inseto no interior do pirênio. .... 107

## LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

ISTA.....	<i>International Seed Testing Association</i>
AOSA.....	Associação de Analistas Oficiais de Sementes
B.O.D.....	Câmara de germinação (Demanda bioquímica de oxigênio)
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....	Peróxido de Hidrogênio
HCl.....	Ácido Clorídrico
Kv.....	Quilovoltagem (tensão do aparelho de raios X)
IVE.....	Índice de Velocidade de Emergência
IVG.....	Índice de Velocidade de Germinação
KOH.....	Hidróxido de Potássio
<i>EX SITU</i> .....	conservação fora do lugar de origem
<i>IN SITU</i> .....	conservação no local de origem
TME.....	Tempo médio de emergência
DC.....	Diâmetro na altura do colo
NF.....	Número de folhas
CPA.....	Comprimento da parte área
CR.....	Comprimento da raiz
MSPA.....	Massa seca da parte aérea
MSR.....	Massa seca da raiz
CV.....	Coefficiente de Variação (%)

## RESUMO GERAL

SILVA, LÍLIAN ABADIA DA. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Câmpus Rio Verde - GO, Novembro de 2016. **Análise de imagens de raios X em sementes de espécies frutíferas nativas do Cerrado: *Eugenia dysenterica* DC., *Anacardium othonianum* Rizz. e *Buchenavia tomentosa* Eichler.** Orientadora: Profa. Dra. Juliana de Fátima Sales. Coorientadores: Prof. Dr. Osvaldo Resende, Prof. Dr. Paulo Sérgio Pereira.

Objetivou-se, com este trabalho, investigar a eficiência da técnica de análise de imagens de raios X na avaliação da morfologia interna e da qualidade física e fisiológica de sementes de cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.), aquênios de caju-de-árvore-do-cerrado (*Anacardium othonianum* Rizz.) e pirênios de boca-boá (*Buchenavia tomentosa* Eichler.). Para isso, foram realizados ensaios isolados com cada uma das espécies de estudo. Para as sementes de cagaita (*E. Dysenterica* DC.), foram realizados três ensaios. No ensaio 1, determinou-se a curva de embebição e de germinação das sementes. No ensaio 2, as sementes foram submetidas à secagem em estufa e em sílica gel e avaliadas quanto ao vigor e desempenho fisiológico. No ensaio 3 as sementes foram submetidas à secagem e avaliadas por meio da análise de imagens de raios X. Para o caju-de-árvore-do-cerrado (*A. othonianum* Rizz.), os aquênios foram coletados com 12% (b.u.), submetidos à secagem em sílica gel até a obtenção dos teores de água de 10, 8, 6, 4% (b.u.) e avaliados quanto ao vigor. Para a obtenção das imagens de raios X, os aquênios, com diferentes teores de água, foram expostos à radiação em aparelho de raios X digital "Faxitron HP", MX-20, à intensidade de 18 kV por 11 segundos, e

posteriormente submetidos ao teste de emergência. Para a boca-boia (*B. tomentosa* Eichler.), foram realizados dois ensaios. No ensaio 1, os pirênios foram submetidos a tratamentos físicos, térmicos e químicos para a superação da dormência e avaliados pelo teste de emergência. No ensaio 2, os pirênios foram coletados em três estádio de maturação (verde, verde/amarelo e amarelo) e submetidos ao teste de raios X para a avaliação da morfologia interna e ao teste de emergência para avaliação do vigor e da viabilidade. Na curva de embebição das sementes de cagaita (*E. dysenterica* DC.), houve rápido ganho de massa nas primeiras 60 horas de embebição, com protrusão radicular chegando a 94,4% após 192 horas. Foi observado padrão trifásico de absorção de água durante a embebição. As sementes de cagaita são sensíveis à secagem por períodos superiores a 24 horas, reafirmando sua característica recalcitrante. Com base na análise de imagens de raios X, obtidas pelo teste de Raios X, foi possível estabelecer relação direta entre o aumento da área de espaço livre no interior da semente e a diminuição da emergência das plântulas. Neste sentido, o processo de secagem alterou a morfologia interna das sementes e tais alterações influenciaram diretamente o desenvolvimento das plântulas. Já para aquênios de caju-de-árvore-do-cerrado (*A. othonianum* Rizz.), a secagem até o teor de água de 4% (b.u.) não comprometeu a integridade física e a qualidade fisiológica dos aquênios. O teste de raios X foi eficiente na avaliação da morfologia interna e na identificação de danos internos na estrutura dos aquênios. Além disso, aquênios cheios apresentam maior potencial de germinação e vigor. Para os pirênios de boca-boia (*B. tomentosa* Eichler.), a escarificação mecânica com lixa d'água nº 60, no lado oposto ao eixo embrionário, acelerou e uniformizou a emergência das plântulas, sendo este método indicado como tratamento pré-germinativo para a superação da dormência nesta espécie. Quanto aos estádios de maturação, pirênios obtidos de frutos verde/amarelos expressaram os melhores resultados nos testes de vigor. O teste de raios X foi eficiente na avaliação da morfologia interna e na detecção da qualidade dos pirênios. Neste sentido, o emprego da análise de imagens de raios X pode contribuir de forma eficaz para a obtenção de lotes mais vigorosos, destinados ao armazenamento ou à produção de mudas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Testes de Qualidade de sementes, Morfologia interna, Dormência, Embebição.

## GENERAL ABSTRACT

SILVA, LÍLIAN ABADIA DA. Federal Institute of Education, Science and Technology of Goiás, Rio Verde Campus – Goiás State (GO), Brazil. November 2016. **X-ray image analysis in seeds of native fruit species of Brazilian Cerrado (Savannah): *Eugenia dysenterica* DC., *Anacardium othonianum* Rizz. and *Buchenavia tomentosa* Eichler.** Advisor: Prof. Dr. Sales, Juliana de Fátima. Co-advisors: Prof. Dr. Resende, Osvaldo; Prof. Dr. Pereira, Paulo Sérgio.

This paper aimed to investigate the technical efficiency of X-ray image analysis in evaluation of internal morphology and physical and physiological quality of cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.) seeds, achenes of caju-de-árvore-do-cerrado (*Anacardium othonianum* Rizz.), and pyrenes of boca-boá (*Buchenavia tomentosa* Eichler). To this purpose, assays were performed with each one of the isolated species to be studied. For seed cagaita (*E. dysenterica* DC.), three trials were carried out: (a) in trial 1, soaking and germination curve were determined; (b) in trial 2, the seeds were submitted to drying in oven and in silica gel, then, evaluated for vigor and physiological performance; (c) in trial 3, the seeds were submitted to drying and evaluated by X-ray images analysis. Achenes the caju-de-árvore-do-cerrado (*A. othonianum* Rizz.) were collected with 12% (w.b.), subjected to drying in silica gel to obtain the water content of 10, 8, 6, 4 % (w.b.) and evaluated for vigor. To obtain X-ray images, the achenes with different water contents were exposed to radiation in digital X-ray apparatus, HP Faxitron MX-20, to the 18-kV intensity for 11 seconds, and subsequently subjected to the emergence test. Two trials were made for boca-boá (*B. tomentosa* Eichler): (a) in trial 1, pyrenes were subjected to physical, thermal, and chemical treatments to overcome dormancy, and evaluated by emergency test; and (b) in trial 2, the pyrenes were collected in three maturity stages (green, green/yellow, and yellow) and subjected to X-ray test, for evaluation of internal morphology, and also they were subjected to emergency test, for evaluation of vigor and viability. In soaking curve of cagaita (*E.*

*dysenterica* DC.) seeds, there was a rapid weight gain during the first 60 hours of soaking, and radicle protrusion reached 94.4% after 192 hours. Three-phase standard of water absorption was observed during hydration. The cagaita seeds are sensitive to drying for periods longer than 24 hours, reasserting its recalcitrant feature. On the basis of the X-ray image analysis obtained by X-ray test, it was possible to establish a direct relationship between the increase in free space area inside the seed and decreased seedling emergence. In this regard, the drying process changed the seed internal morphology, and such changes directly affected the seedling development. For achenes of caju-de-árvore-do-cerrado (*A. othonianum* Rizz.), drying to up the 4% water content (w.b.) did not compromise the achenes physical and physiological quality. The X-ray test was efficient in evaluating the internal morphology and identification of internal damage in achenes structure. In addition, full achenes show higher germination and vigor potential. For pyrenes of boca-boá (*B. tomentosa* Eichler), mechanical scarification with sandpaper No. 60 in the opposite face of the embryonic axis accelerated and standardized seedling emergence; this method is indicated as pre-germination treatment for overcome dormancy in this species. As for the maturation stages, pyrenes obtained from green/yellow fruits showed the best results in vigor tests. The X-ray test was effective in the evaluation of the internal morphology and in detecting the pyrenes quality. In this sense, the use of X-ray image analysis can contribute effectively to the achievement of more vigorous lots, intended for seedlings storage or production.

**KEYWORDS:** Seed quality tests. Internal morphology. Dormancy. Soaking.



## 1. INTRODUÇÃO GERAL

No domínio fitogeográfico do Cerrado, são encontradas inúmeras espécies com elevado potencial econômico e ecológico, além da importância social, muitas vezes complementando a dieta e servindo como fonte de medicamentos, fibras, madeira para construções e energia para os habitantes locais. Entre as espécies deste domínio, destacam-se as frutíferas que, além da importância econômica e social, são fonte de alimento para a fauna regional.

Diante da importância de tais espécies, faz-se necessário o investimento em estratégias de conservação. No entanto, o sucesso na conservação, de forma *ex situ*, das espécies florestais nativas depende do conhecimento prévio acerca das respostas das sementes às condições de armazenamento e das técnicas corretas para a produção de mudas. Neste sentido, as limitações em razão do pouco conhecimento referente às características morfológicas e fisiológicas das sementes de tais espécies são um entrave para o processo de conservação. Dessa forma, há necessidade de aprimorar as técnicas de avaliação da qualidade de sementes das espécies florestais nativas para que o processo de armazenamento e propagação seja realizado com sucesso.

Os testes empregados na avaliação da qualidade de sementes, como o teste de germinação, geralmente superestimam o potencial fisiológico dos lotes de sementes, por serem conduzidos em condições ótimas. Além disso, tais testes esbarram na dificuldade de padronização de temperatura e tempo de avaliação, que variam de acordo com as características de cada espécie, e ainda na demora para a obtenção dos resultados.

Desta forma, é recorrente a necessidade do desenvolvimento de testes para a avaliação da qualidade e do vigor das sementes florestais nativas. Entre as técnicas de análise da qualidade de sementes, a análise de imagens obtidas pelo teste de raios X é uma das técnicas que têm se destacado.

O teste de raios X auxilia nos estudos morfológicos e fisiológicos das sementes de várias espécies. É um método rápido e de precisão que possibilita examinar, com detalhes, a morfologia interna das sementes. Por ser um método não destrutivo, as sementes em análise podem ser submetidas a testes fisiológicos e, assim, estabelecer relações entre anormalidades e danos internos e os prejuízos causados à qualidade das sementes.

No teste de raios X, as sementes são expostas a um feixe de radiação de baixa intensidade, que não causa danos a suas estruturas e permite a visualização das partes internas, bem como a identificação de danos ou anormalidades nas sementes. A absorção da radiação pelos tecidos das sementes depende da espessura, da densidade e da composição desses tecidos, além do comprimento de onda da radiação e do tempo de exposição. Desta forma, são obtidas imagens com sombras claras e escuras. As áreas mais escuras da radiografia correspondem àquelas partes em que os raios X penetram mais facilmente, enquanto áreas mais claras representam partes mais densas da semente.

Escassos são os trabalhos científicos envolvendo teste de raios X como técnica para o estudo de alterações morfológicas em sementes nativas do Cerrado. Pesquisas com análise de imagens podem auxiliar na compreensão da perda da viabilidade de sementes durante a secagem e o armazenamento e auxiliar na investigação da qualidade de lotes de sementes. As espécies florestais são caracterizadas pela grande ocorrência de predação, sementes vazias e má formação do embrião, entre outros. Dessa forma, o teste de raios X é recomendado pela ISTA (1999) como uma técnica promissora no controle de qualidade de sementes de espécies arbóreas.

A técnica de análise de imagens provenientes de testes de raios X vem sendo empregada com sucesso na orientação de trabalhos de melhoramento genético, possibilitando a detecção de anormalidades em embriões e a determinação do seu estágio de desenvolvimento. Além disso, esta técnica permite a identificação de sementes com anormalidades ou má formação e seu descarte, melhorando a qualidade dos lotes. Do mesmo modo, o teste de raios X é eficiente também na avaliação de danos causados por infestação de insetos, mostrando que a presença de larvas e os danos causados por elas afetam a germinação e o desenvolvimento das plântulas.

Tanto para a preservação quanto para a utilização racional da maioria das espécies, a produção, o beneficiamento e a manutenção de sementes com elevado potencial fisiológico assumem papel fundamental. Diante dos poucos estudos

relacionados à conservação do potencial fisiológico das sementes de espécies nativas do Cerrado, a utilização da análise de imagens poderá contribuir para a melhor compreensão do comportamento dessas sementes durante os processos de secagem e armazenamento.

Assim, este trabalho visa a verificar a eficiência da análise de imagens de raios X para a avaliação da qualidade física e fisiológica de sementes de três espécies frutíferas nativas do Cerrado: *Eugenia dysenterica* DC., *Anacardium othonianum* Rizz. e *Buchenavia tomentosa* Eichler.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Domínio fitogeográfico do Cerrado

O domínio fitogeográfico do Cerrado localiza-se principalmente no Planalto Central do Brasil, ocorrendo nos estados de Goiás, Tocantins e no Distrito Federal, abrangendo parte dos estados da Bahia, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Piauí, Rondônia e São Paulo e áreas disjuntas ao norte dos estados do Amapá, Amazonas, Pará, e ao sul, em pequenas “ilhas” no Paraná (AB'SÁBER, 2003; RIBEIRO e WALTER, 1998).

Sua área original chegava a ocupar originalmente pouco mais de dois milhões de km<sup>2</sup>, aproximadamente 23,92% do território nacional, sendo o segundo maior domínio do país. O clima dessa região é estacional, em que um período chuvoso, que dura de outubro a março, é seguido por um período seco, de abril a setembro. A precipitação média anual é de 1.500 mm e as temperaturas são geralmente amenas ao longo do ano, entre 22°C e 27°C, em média (KLINK; MACHADO, 2005).

O Cerrado não é um bioma único, mas um complexo de biomas, com grande variação fisionômica, indo do campo limpo (bioma dos campos tropicais), passando pelas fisionomias intermediárias (bioma das savanas) e chegando ao cerradão (bioma das florestas estacionais) (BATALHA, 2011; COUTINHO, 2006). A distribuição e a manutenção das diferentes fitofisionomias do Cerrado estão relacionadas com fatores edáficos e topográficos, além da ocorrência de fogo e perturbações antrópicas (EITEN, 1972). É classificado dentro dos padrões de vegetação mundiais como savana e destaca-se por sua grande biodiversidade, contribuindo com cerca de 5% da diversidade da fauna e flora mundiais e com aproximadamente 1/3 da biota brasileira, sendo considerado um dos ‘*hotspots*’ para a conservação da biodiversidade mundial e a mais diversificada savana do mundo (MYERS et al., 2000; RATTER e DARGIE, 1992). Presta serviços ambientais essenciais na regulação do ciclo hidrológico, abrigando as

cabeceiras das principais bacias hidrográficas do Brasil (Araguaia, Tocantins, Xingu, Tapajós, Paraguai e São Francisco). Este domínio tem a mais rica flora entre as savanas do mundo, com alto nível de endemismo (BRASIL, 2009; MITTERMEIER et al., 2005).

Estima-se que o Cerrado Brasileiro contribua com 10.000 espécies de plantas, das 60.000 fanerógamas distribuídas pelo país, sendo encontradas inúmeras espécies medicinais e frutíferas de importância extrativista para as populações tradicionais (GUSMÃO et al., 2006). Além disso, muitas espécies são conhecidas como fonte de compostos de interesse biotecnológico, com aplicações medicinais e na indústria de alimentos (CARAMORI, 2004).

A flora do Cerrado é bastante diversificada, distinguindo-se vários tipos fisionômicos: as formações de cerrado (com árvores baixas com ramificações irregulares, troncos retorcidos, com casca grossa, distribuídas sobre um estrato herbáceo e subarbustivo); cerradão (com árvores maiores, pouco retorcidas e boa cobertura vegetal, dando um aspecto de mata); campo sujo (vegetação essencialmente herbácea e arbustiva); campo limpo (vegetação herbácea com raros arbustos e ausência de árvores); veredas (buritis e árvores distribuídas em campo limpo, em locais de solos úmidos); e mata de galeria (vegetação densa, com árvores grandes, distribuídas ao longo dos vales, rios e outros tipos de cursos d'água) (RIBEIRO et al., 1983; SILVA et al., 1992).

É recorrente a urgência em proteger a rica biodiversidade do Cerrado. No entanto, durante os últimos 35 anos, com o advento da agricultura moderna no Cerrado para a produção de soja, milho e arroz e a expansão das áreas de pastagens plantadas para a criação de bovinos, estima-se que cerca de 54,9% dos seus dois milhões de km<sup>2</sup> tenham sido destruídos (KLINK; MACHADO, 2005; RATTER et al., 2006). Devido a esse grande avanço do agronegócio no ecossistema Cerrado, esse domínio tem sofrido com os impactos ambientais, e diversas espécies endêmicas do Cerrado estão em risco de extinção (CAMILO, 2012).

Apenas 20% da cobertura original do Cerrado em todo o país permanece intacta e somente 2,2% deste domínio está inserido em áreas protegidas (MACHADO et al., 2004). A área total para conservação é de cerca de 33.000 km<sup>2</sup>, claramente insuficiente quando comparada com os principais usos da terra no Cerrado (KLINK; MACHADO, 2005).

Um estudo realizado por Rocha et al. (2012) avaliou os padrões do desmatamento no cerrado entre 2002 e 2009, constatando que 70% dos alertas de

desmatamento se concentraram em apenas 100 municípios e que há duas grandes frentes de expansão agropecuária; uma no Oeste do estado da Bahia até o Sul do estado do Maranhão e outra no Sudeste do estado de Mato Grosso até o leste do estado de Mato Grosso do Sul. Tal expansão ocorre, principalmente, em áreas de vegetação densa e relevo plano, propícias ao avanço da agricultura mecanizada e, com menor intensidade, da pecuária extensiva.

As maiores taxas de desmatamentos chegaram a uma média anual de 1,5%, o que representaria uma perda anual de aproximadamente três milhões de hectares. Considerando uma estimativa otimista de existência de 34% do Cerrado e assumindo que as unidades de conservação e terras indígenas atualmente existentes serão mantidas no futuro, estima-se que o Cerrado deverá desaparecer no ano de 2030, caso o atual modelo de desenvolvimento seja mantido (MACHADO et al., 2004). A criação de parques e reservas continua a ser a mais importante política pública conservacionista para o Cerrado (GANEM et al., 2013).

Levantamento feito por Bridgewater et al. (2004) mostrou que um conjunto de cerca de 121 espécies lenhosas do Cerrado ocorre amplamente em todo o domínio, porém a maioria das outras espécies tem distribuições mais restritas. Neste sentido, para conservar toda a diversidade de plantas presente no Cerrado, áreas de conservação devem ser estabelecidos em todo o domínio, e um enfoque regional (na escala da província florística) é um importante conceito no sentido de garantir que a biodiversidade seja devidamente protegida.

## **2.2. Espécies Frutíferas do Cerrado**

No Cerrado existem mais de 10 mil espécies vegetais identificadas. Cerca de 4.400 dessas espécies são endêmicas, ou seja, só existem nesta região. Muitas delas servem como base para a alimentação humana, sendo consumidas *in natura* ou processadas na forma de sucos, sorvetes, picolés, doces, geléias e licores. Entre estas espécies, destacam-se o araticum (*Annona crassiflora* Mart.), baru (*Dipteryx alata* Vog.), buriti (*Mauritia flexuosa* L.), cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.), caju-arbóreo-do-cerrado (*Anacardium othonianum* Rizz.), gabioba (*Camponesia cambessedeano*), ingá (*Inga* spp), jatobá (*Hymenaea courbaril* L. var. *stilbocarpa*), jenipapo (*Genipa americana* L.), pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.), mama-cadela (*Brosimum gaudichaudii* Tréc.), araçá (*Psidium araca* Raddi), mangaba (*Hancornia speciosa*

Gomes.), murici (*Byrsonima crassifolia*) e uma infinidade de plantas usadas ancestralmente pelas populações do Cerrado (ISPN, 2016).

As frutas nativas do Cerrado têm se destacado em potencial econômico e despertado o interesse de diversos segmentos da sociedade, entre os quais, podem-se citar agricultores, indústrias, donas de casa, comerciantes, instituições de pesquisa e assistência técnica, cooperativas, universidades, além de órgãos de saúde e alimentação. Com potencial para o aproveitamento variado, os frutos apresentam valor comercial significativo (AGOSTINI-COSTA et al., 2010).

A utilização de frutos do Cerrado brasileiro e a investigação sobre o seu potencial nutricional são importantes para o desenvolvimento socioeconômico e para a preservação sustentável do ambiente (SOUZA e SILVA, 2015). Diversos frutos do Cerrado com potencial econômico são consumidos *in natura* ou processados pela população local (SILVA et al., 2008). Com sabores acentuados e elevados teores de fibras, vitaminas, sais minerais e antioxidantes, essas fruteiras representam um mercado emergente e potencial a ser explorado principalmente pelos pequenos agricultores inseridos em programas de agricultura familiar e agroecologia (VIEIRA et al., 2006).

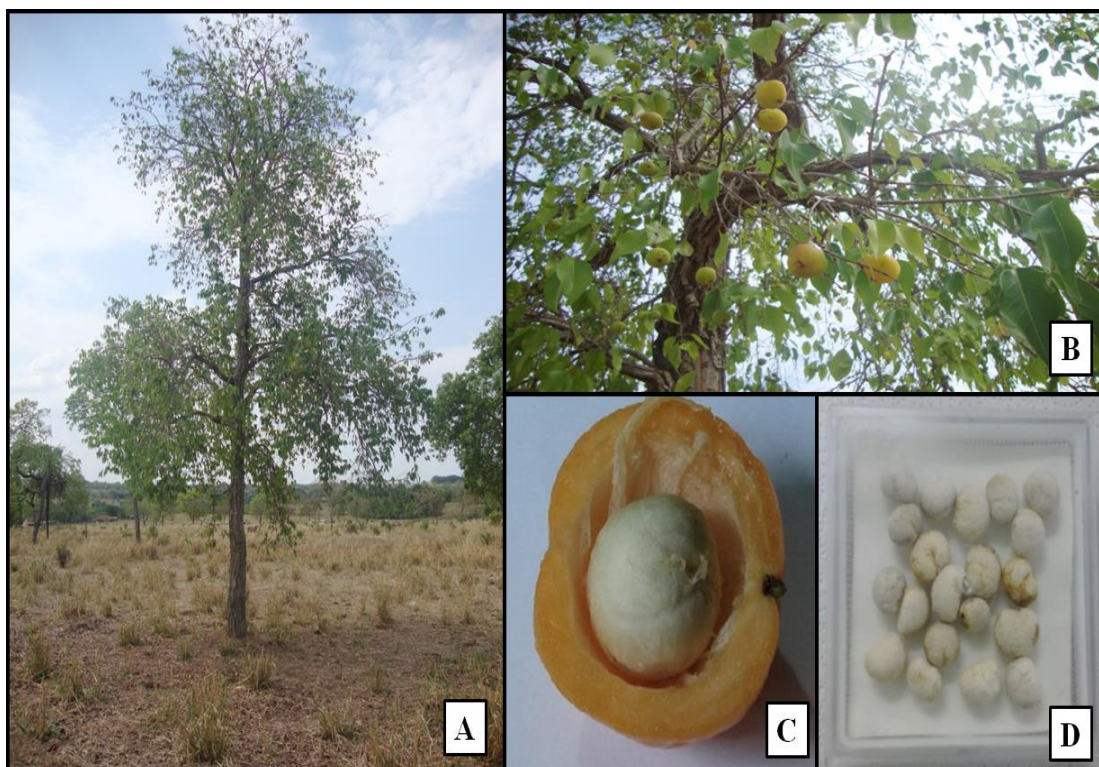
O potencial de utilização das espécies vegetais do Cerrado é enorme, principalmente no que se refere às fruteiras nativas. Elas vêm sendo utilizadas há anos, por terem valor nutritivo na alimentação, propriedades medicinais e potencial de utilização madeireira e ornamental. No entanto, a maioria das espécies tem sido aproveitada de maneira extrativista, com a coleta indiscriminada dos frutos, procedimentos de coleta inadequados e sem controle da quantidade, o que pode afetar diretamente a produtividade e a diversidade natural da população regional presente, além de prejudicar a relação destas árvores com a fauna e outras formas de vida com as quais elas interagem diretamente. Além disso, pouco tem sido investido no cultivo comercial dessas espécies, o que poderia evitar seu desaparecimento no meio natural (CARRAZA e D'ÁVILA, 2010; RIBEIRO e RODRIGUES, 2006).

### 2.3. A Cagaiteira (*Eugenia dysenterica* DC.)

A cagaiteira (*Eugenia dysenterica* DC.) ou cagaiteira é uma espécie pertencente à família Myrtaceae, subfamília *Eugenioideae*, tribo *Eugeniinae*. O nome da família vem do termo grego *myrtos* que quer dizer perfume. A família é representada no Cerrado por 14 gêneros, com 221 espécies, sendo considerada uma das 10 famílias mais representativas desse domínio, contribuindo com cerca de 51% da sua riqueza florística. Dentro do gênero *Eugenia*, podem-se encontrar cerca de 50 espécies, que apresentam hábitos que variam desde ervas até árvores, ocupando praticamente todas os tipos fitofisionômicos do Cerrado (CHAVES e TELLES, 2010; FERREIRA, 1972; MENDONÇA *et al.*, 1998).

A cagaiteira é uma árvore de altura mediana, variando de 4 a 10m de altura e 40 cm de diâmetro de tronco, com ramos tortuosos, casca suberosa e fendada, com uma camada de 1 a 2 cm de cortiça de cor escura, folhas novas membranáceas e folhas adultas coriáceas decíduas durante o florescimento (Figura 1 - A). A florada da cagaiteira é uma das mais bonitas do Cerrado, sendo reconhecida pelos nativos como “noiva do Cerrado”. Suas flores vistosas formam panículas fasciculadas, brancas e hermafroditas, com até 2 cm de diâmetro, com quatro pétalas, cálice de quatro lacínios ovados e ciliados. Seus frutos são bagas globosas, suculentas, de cor amarelo clara, podendo chegar a até 4 cm de diâmetro, de sabor agradável a levemente ácido (Figura 1 – B e C). Os frutos têm de uma a cinco sementes de cor creme, sendo elipsoides e achatados (Figura 1 – D). (RIZZINI, 1971; SILVA JÚNIOR, 2012; SILVA, 2012).





**Figura 1.** Árvore de cagaiteira (*Eugenia dysenterica*) (A); Detalhe de ramos de cagaiteira com frutos verdes e maduros (B); Detalhes do fruto com semente em seu interior (C); sementes despulpadas (D). Montes Claros de Goiás (GO), 2014. (Fonte: a autora).

Esta espécie é encontrada nos Estados de São Paulo, Minas Gerais, Bahia, Tocantins, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Pará, Maranhão, Piauí e Goiás, além do Distrito Federal, e ocorre preferencialmente em formações de cerrado e cerrado *stricto sensu*, com solo profundo e bem drenado (BRITO *et al.*, 2003; SILVA JÚNIOR, 2012).

As fenofases de mudança foliar, senescência e emissão de folhas novas ocorrem nos meses de agosto e setembro, no final da estação seca (SOUZA *et al.*, 2008). O ponto máximo de troca de folhas é simultâneo à emissão de botões florais. Suas flores são hermafroditas e autocompatíveis, apresentando uma sincronia no florescimento, em um padrão de floração denominado “*Big Bang*”, com as flores se abrindo pela manhã e se mantendo abertas por um dia (PROENÇA e GIBBS, 1994). A maior frequência da floração da cagaiteira ocorre nos meses de agosto a setembro (HERINGER e FERREIRA, 1976) com a planta totalmente desprovida de folhas, dando um efeito altamente ornamental à planta. A espécie produz nova folhagem, floresce e frutifica no espaço de um mês, em agosto/setembro, no máximo no começo de outubro (CAMILO *et al.*, 2013). Apresenta autofecundação e fecundação cruzada, e a polinização é feita por abelhas e mamangavas (incluindo *Bombus* spp.) (FARIAS NETO *et al.*, 1991).

A frutificação ocorre a partir do quarto ou quinto ano de idade, com tempo média variando de 4 a 6 semanas entre o início da formação dos frutos e a maturação. A maturação dos frutos é relativamente rápida, ocorrendo durante os meses de setembro-outubro e coincidindo com o início do período chuvoso. Os frutos crescem rapidamente em atmosfera ainda seca e caem maduros no fim de setembro e início de outubro. Esse fenômeno, provavelmente, pode estar relacionado à estratégia de estabelecimento da espécie, cujas sementes têm viabilidade curta em condições naturais, menor que 50 dias. Portanto, sua dispersão logo no início do período chuvoso parece ser imprescindível para que, após sua germinação, haja um período favorável de estabelecimento e de crescimento para que a plântula possa sobreviver no período seco subsequente (FARIAS NETO, et al., 1991; SANO et al., 1995; SOUZA et al., 2008; VIEIRA et al., 2006).

As sementes de *E. dysenterica* DC. são elípticas, variando de globosa a meio-globosa. A germinação é criptocotiledonar e as plântulas são hipógeas com raízes axiais longas e finas. A temperatura ótima para a germinação das sementes varia entre 24 e 30°C. As sementes são dispersas com teor de água elevado, variando de 47 a 53% (b.u.), e perdem completamente a viabilidade quando o teor de água é reduzido a valores abaixo de 18-22%. Além disso, a porcentagem de germinação diminui linearmente em resposta à redução do teor de água das sementes. Sementes armazenadas em ambiente com umidade relativa de 45% por um período de 175 dias mantiveram mais de 50% de viabilidade (ANDRADE et al., 2003). De acordo com Silva (2015), as sementes de *E. dysenterica* não suportam mais de 144 horas de secagem em estufa a 40°C, e sementes de com teor de água próximo a 35%, armazenadas em câmara fria e seca, preservam a viabilidade por até 120 dias.

A cagaiteira apresenta germinação satisfatória, porém com crescimento posterior lento e desuniforme, constituindo um problema para a propagação sexuada de plantas desta espécie (SOUZA et al., 2002). Quanto à propagação, Nietsche et al. (2004) obtiveram 90% de emergência de plântulas de cagaita, independentemente do tamanho da semente, e os substratos à base de areia e argila resultaram nos melhores resultados para altura e número de folhas. Segundo Souza et al. (2007), a composição solo + terriço de mata + vermiculita mostrou ser um substrato adequado para o crescimento das plantas de cagaita, tendo esta espécie apresentado boa resposta à adição de adubo químico.

A conservação *ex situ* da espécie é ainda incipiente. Pelo fato de a semente não tolerar armazenamento por longos períodos (FARIAS NETO *et al.*, 1991), a opção atual seria a manutenção *in vivo*.

A importância principal do aproveitamento da cagaiteira se dá pelo potencial alimentício de seus frutos. A cagaita é um fruto suculento, sendo considerado uma boa fonte de vitamina C (18–72mg/100g), vitamina B2 (0,4mg/100g), cálcio (172,8mg/100g), magnésio (62,9 mg/100g) e ferro (3,9 mg/100g). Além disso, a cagaiteira é uma planta ornamental e melífera e se presta à extração de cortiça, podendo ser sua casca utilizada em curtumes. Suas folhas têm propriedades antidiarreicas, existindo relatos do seu uso para o tratamento da diabete e icterícia, seus frutos têm qualidades laxativas (HERINGER e FERREIRA, 1976).

O óleo essencial das folhas, rico em sesquiterpenos, como o beta-cariofileno e o alfa-humuleno, e em monoterpenos, como o limoneno e o alfatujeno, apresenta atividade antifúngica (COSTA *et al.*, 2000).

Pesquisa desenvolvida por Couto et al. (2009) fez a caracterização físico-química das folhas de *E. dysenterica*, tendo observado quantidade apreciável de compostos fenólicos, flavonoides e taninos, além da presença de saponinas e terpenos, sugerindo um importante potencial fitoterapêutico desta espécie. Além disso, o extrato das folhas de *E. dysenterica* também pode ser utilizado para inibir a tirosinase, a enzima-chave na produção de melanina, bem como pode ser usado para o tratamento de distúrbios dermatológicos associados com hiperpigmentação de melanina (SOUZA et al., 2012).

O óleo da polpa da cagaita apresenta, aproximadamente, 28% de ácidos graxos saturados, principalmente ácido palmítico (24%); 50% de ácidos graxos monoinsaturados, principalmente ácido oleico (36%); e 22% de poli-insaturados, principalmente ácido linolênico (12%), que é um ácido graxo essencial, isto é, não é sintetizado pelo organismo e precisa ser ingerido. O teor de sólidos solúveis totais ou Brix (8,2%) e acidez titulável (0,7%) conferem à cagaita boas qualidades gustativas (ALMEIDA, 1998; BRITO *et al.*, 2003).

O fruto de *E. dysenterica* tem teores de vitaminas do complexo B, tais como as vitaminas B1 e B2, equivalentes ou superiores aos encontrados em frutas como o abacate, a banana e a goiaba, tradicionalmente consideradas boas fontes destas vitaminas (AGOSTINI-COSTA et al., 2010). Recentemente, Morais Cardoso et al. (2011) investigaram as características físicas e a composição química de frutos de

cagaita e confirmaram que a polpa da cagaita é rica em vitamina C ( $34,11 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ ) e folatos ( $25,74 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ ). O consumo de cagaita (100 g) é suficiente para fornecer as necessidades diárias de vitamina C (em média, 71,0%), vitamina A (em média de 7,5%) e folatos (em média de 7,9%).

Estudo desenvolvido por Naves et al. (2016) investigou a possibilidade de alguns frutos do cerrado serem fonte de substâncias antioxidantes, tendo a cagaita sido confirmada como fonte de derivados de quercetina.

Lima et al. (2010) avaliaram o extrato da polpa de frutos de cagaita e identificaram o princípio ativo envolvido na atividade laxativa apresentada pelos frutos desta espécie. O peptídeo isolado da polpa de *E. dysenterica* foi capaz de aumentar a motilidade intestinal de ratos em cerca de 20,8%, sendo provavelmente responsável pela atividade laxativa dos frutos. Além disso, os autores salientam que, num futuro próximo, estas proteínas sintetizadas nos frutos de cagaita poderão ser utilizadas no desenvolvimento de novos produtos farmacêuticos com propriedades laxativas, para serem utilizados na prisão de ventre crônica e no tratamento da síndrome do intestino irritável.

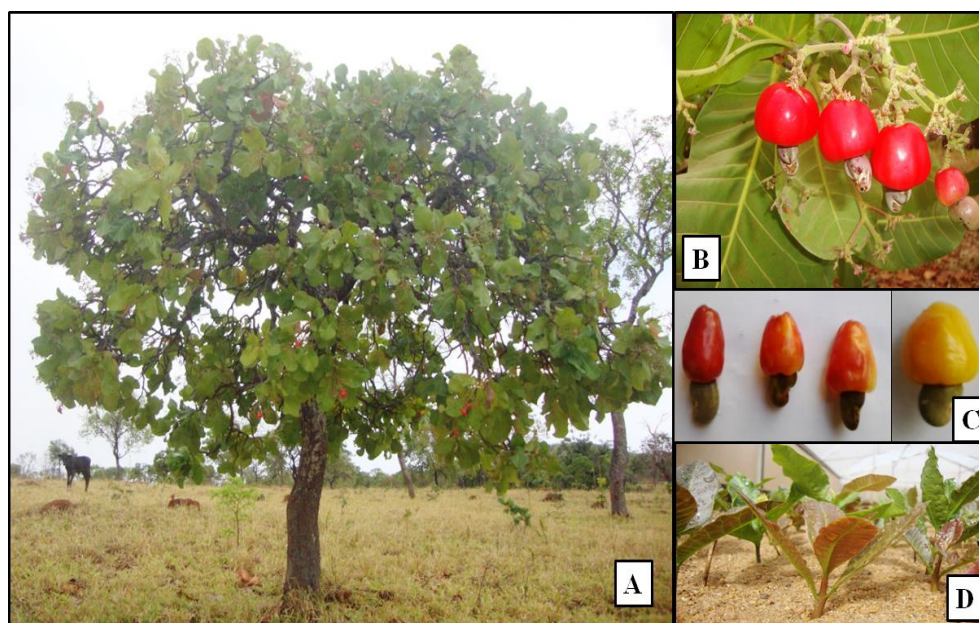
Apesar de sua importância medicinal incontestável, o principal uso comercial de *E. dysenterica* se dá pelos seus subprodutos, como sorvetes, doces, licores e geleias, sendo seus frutos encontrados principalmente em feiras livres. No entanto, devido à alta perecibilidade dos frutos de cagaita, a comercialização é bastante prejudicada. Os frutos podem ser consumidos *in natura*, porém com certa cautela em relação à quantidade ingerida devido ao seu efeito laxativo, sugerido pelos nomes popular e científico. Além do efeito laxativo, existem relatos de que a cagaita, quando ingerida em excesso, produza leve embriaguez, principalmente quando os frutos são aquecidos ou entram em processo de fermentação, originando vinagre e álcool (AVIDOS e FERREIRA, 2000).

A cagaiteira certamente é uma das espécies que têm sofrido acentuada erosão genética, uma vez que seu ambiente de ocorrência é, em geral, propício para a agricultura mecanizada (VIEIRA et al., 2006).

#### 2.4. Caju-de-árvore-do-Cerrado (*Anacardium othonianum* Rizz.)

O *Anacardium othonianum* Rizz. é conhecido popularmente como caju-de-árvore-do-cerrado, cajuzinho e cajuí. Esta espécie se distingue das demais espécies de cajueiro da região Central do Brasil pelo porte arbóreo, sendo o principal cajueiro de importância econômica para esta região. Seu nome é uma homenagem ao Dr. Othon Xavier de Brito Machado, primeiro botânico a descrever um cajueiro arbóreo do cerrado (AGOSTINI-COSTA et al. 2010; RIZZINI, 1971).

É uma espécie de altura variando entre 0,90 m e 7,60 m e tronco com 20 cm a 40 cm de diâmetro. No Cerrado goiano, foi observada presença de plantas adultas com altura média de 2,75 m (Figura 2 –A) (NAVES, 1999). As flores dos cajueiros são hermafroditas e unissexuais: as masculinas aparecem no início da floração e as hermafroditas, no fim. O fruto verdadeiro é um aquênio, cujo pedúnculo se desenvolve em pseudofruto, que tem forma variada e cor indo de amarela a vermelha, com 3 a 4 cm de comprimento, suculento e ácido. A combinação do fruto (aquênio com amêndoa em seu interior) e do pseudofruto constitui o “duplo fruto” característico do gênero (Figura 2 – B e C) (RIZZINI, 1971).



**Figura 2.** Árvore de *Anacardium othonianum* no período de frutificação em área de ocorrência natural na Fazenda Poções, Diorama, Goiás (A); Detalhe de ramos com frutos maduros (B); variação de coloração do pseudofruto (C); Plântulas emergindo em casa de vegetação no Laboratório de Sementes do IFGoiano, Câmpus Rio Verde, Goiás (D). (Fonte: a autora).

A floração ocorre na estação seca, entre junho e outubro, com pico em agosto. As flores são polinizadas por abelhas e vespas (MENDONÇA et al., 1998). Os fatores climáticos influenciam na frutificação e na floração. Ocorre uma correlação positiva entre a frutificação e a temperatura máxima e floração e insolação e negativa para a floração e a temperatura mínima, precipitação e umidade relativa do ar. A temperatura máxima influencia o número de frutos. A baixa precipitação pluviométrica no estágio de florescimento compromete a frutificação. É uma espécie bastante produtiva, e a frutificação ocorre entre os meses de agosto a outubro, com maior intensidade no mês de setembro. Os frutos, entre 200 e 600 por planta, pesam entre 5 e 10 g e são colhidos entre agosto e outubro, a partir do segundo ou terceiro ano de idade (BORGES, 2012).

É uma espécie com distribuição restrita, típica dos Cerrados do Planalto Central do Brasil, dispersa pelo Distrito Federal e Goiás, com maior presença no cerrado e menor no cerradão, ocorrendo principalmente em Neossolos litólicos, e ou em solos com concreções ou cascalho. Os cajueiros apresentam maior densidade com o aumento da acidez do solo, e plantas mais desenvolvidas (maior área basal) com a diminuição da saturação em alumínio (NAVES, 1999).

Suas sementes germinam com facilidade e sua taxa germinativa pode chegar a 78% das sementes germinadas, em média, com duração de 28 dias desde a semeadura até a germinação (BORGES, 2012). Em estudo feito por Naves et al. (1992), a germinação teve início aos 14 dias após a semeadura (DAS), estendendo-se até os 35 DAS. Já para Souza et al. (2010), a germinação iniciou-se no 12º dia após a semeadura.

Quanto ao armazenamento dos aquênios, um estudo feito por Lima et al. (2012) avaliou a qualidade fisiológica de aquênios de caju-de-árvore-do-cerrado armazenados com diferentes teores de água, tendo concluído que aquênios com 29,5% (b.u.) de teor de água não apresentaram viabilidade, independentemente do período de armazenamento. Por outro lado, com a redução do teor de água para 20,0 e 16,8%, a viabilidade foi mantida quando armazenados por até 12 meses.

O potencial do caju-de-árvore-do-Cerrado destaca-se entre as demais espécies típicas do Cerrado. Segundo consenso entre especialistas presentes no Seminário Plantas do Futuro, realizado em Brasília em 2005, as espécies nativas de *Anacardium* na região Centro-Oeste apresentam elevada densidade no ambiente de ocorrência e potencial para consórcio com pastagens. São de fácil propagação e estabelecimento pós-plantio, assim como têm precocidade de produção. A espécie é regionalmente

importante, tendo propriedades medicinais e aceitação generalizada como um produto alimentar. Tem aproveitamento alimentar na forma de polpa *in natura* ou em forma de suco, licor e doces. A castanha também constitui uma fonte alternativa de alimento e pode ser consumida quando tostada (VIEIRA et al., 2006), além de ser rica em proteínas, lipídeos, fibras, ferro e zinco (OLIVEIRA SOUSA et al., 2011).

As folhas, frutos e raízes das plantas desta espécie são utilizados na forma de chá ou de garrafadas na medicina popular e vários estudos têm investigado seu potencial terapêutico. Os pseudofrutos apresentam elevados teores de umidade (superiores a 80 %) e baixos teores de proteínas, lipídeos, cinzas e carboidratos totais, além de serem ricos em vitamina C. Os teores de compostos fenólicos observados nos pseudofrutos foram superiores aos de frutas como cajá, abacaxi e tamarindo. Estes compostos apresentaram atividade antioxidante relevante pelo método DPPH, e o consumo do pseudofruto pode ser recomendado como fonte complementar de antioxidantes dietéticos (ALVES et al., 2013). Além disso, Fonseca et al. (2014) caracterizaram a formulação de iogurte adicionado com polpa de *A. othonianum* Rizz e concluíram que há potencial tecnológico na produção de iogurtes com adição de polpa em proporção de 5% ao volume total de iogurte produzido.

Derivados de miricetina foram encontrados por Naves et al. (2016) em frutos de *A. othonianum* Rizz. (12,0 mg.kg<sup>-1</sup>). Além disso, peonidina 3-glicosídeo foi a principal antocianina encontrada. Estas frutas nativas brasileiras podem ser consideradas importantes fontes de antioxidantes naturais e alternativas potenciais de compostos bioativos para a ciência alimentar e nutricional.

Um estudo feito por Curado et al. (2016) investigou a atividade antifúngica do extrato etanólico das folhas de *Anacardium othonianum*, mostrando uma concentração inibidora mínima de 78,12 e 312,50 pg / mL para *C. albicans* e *T. rubrum*, respectivamente, não sendo observada qualquer citotoxicidade. A fração etanólica foi purificada, levando ao isolamento dos seguintes compostos: amentoflavona, ácido gálico e ácido protocatecuico, responsáveis pela atividade antifúngica do extrato.

A preferência desta espécie por ambientes concrecionários, muitas vezes associados aos solos com maiores declividades, faz com que tenha elevado potencial para exploração, preservação e manejo de grandes áreas do Cerrado. Maior atenção à coleta e conservação das populações de *Anacardium* da região centro-oeste deve ser dada, em função de sua exploração extrativista para consumo local, ou como fonte de

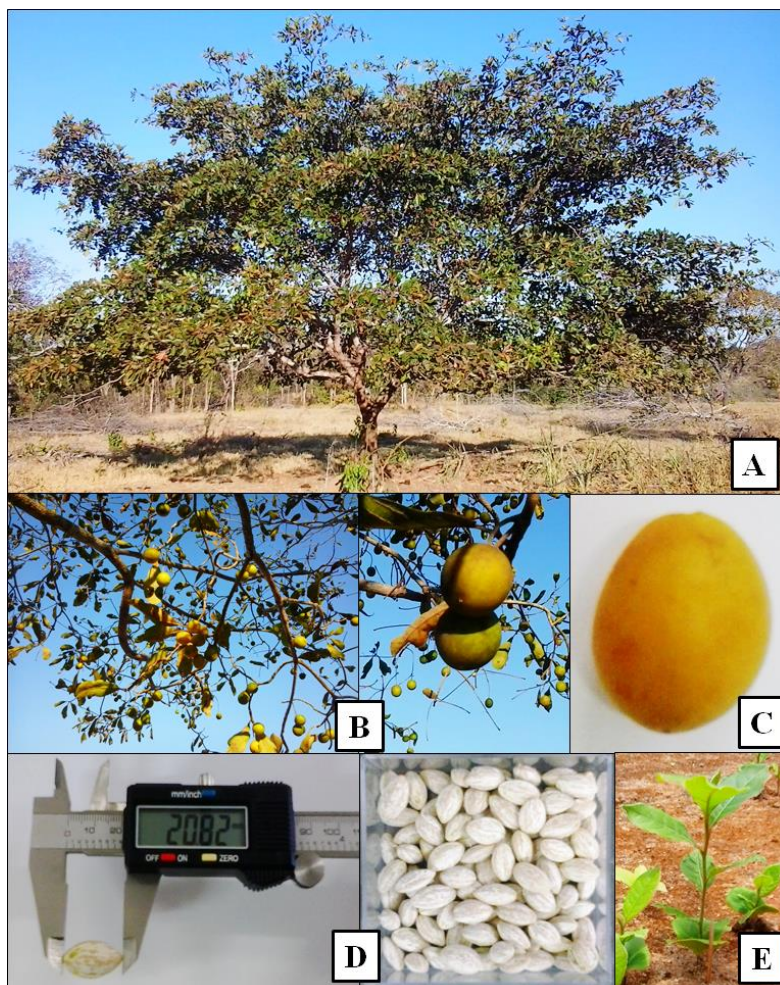
genes para o melhoramento genético do cajueiro cultivado e pela grande heterozigose, pelo fato de a espécie ser alógoma (AGOSTINI-COSTA et al., 2010).

### **2.5. Boca-boa (*Buchenavia tomentosa* Eichler)**

A *Buchenavia tomentosa* Eichler, conhecida popularmente como boca-boa, mirindiba-boca-boa, mirindibona-do-cerrado, mirindiba, merindiba, pau-de-pilão, tarumã-do-cerrado, taninbuca, tarumarana, tarumã e pebanheira, é uma espécie pertencente à família Combretaceae, nativa dos cerradões e de mata semidecíduas, também encontrada em florestas neotropicais, florestas atlânticas, caatinga e no Cerrado. Pode ser encontrada nos Estados do Tocantins, Goiás, Bahia, Minas Gerais, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul (MARQUETE e VALENTE, 2005).

Espécie arbórea, com altura entre 5 e 26 m, copa ampla, densa, diâmetro do tronco entre 30 a 50 cm, Figura 3 –A, com sapopemas e ramos superiores acinzentados. Inflorescências em espigas axilares aglomeradas no ápice dos ramos. Seu fruto é uma drupa elíptica ou globosa com polpa carnosa e adocicada quando madura, contendo uma única semente (Figura 3 – B e C). A floração acontece de agosto a fevereiro e a frutificação ocorre de dezembro a agosto (FARIAS et al., 2015; MENDONÇA *et al.*, 2008). Essa espécie ocorre preferencialmente no Cerrado, nas fitofisionomias do cerradão, mata latifoliada semidecídua (LORENZI, 2002; POTT e POTT, 1994).





**Figura 3.** Árvore de *Buchenavia tomentosa* no período de frutificação em área de ocorrência natural na Fazenda Poções, Diorama, Goiás (A); Detalhe de ramos com frutos maduros (B); Fruto maduro (C); Detalhes dos pirênios após a despolpa dos frutos (D); Plântulas emergindo em casa de vegetação no Laboratório de Sementes do IFGoiano, Câmpus Rio Verde, Goiás (E). (Fonte: a autora).

Em um estudo feito por Azevedo (2008), o teor de água inicial das sementes de *B. tomentosa* foi de 6,02% (b.u.), enquadrando-se na faixa de teor de água esperado para promover alta capacidade germinativa. Além disso, as sementes, Figura 3 – D, não sofrem influência da luz sob a germinação, sendo classificadas como fotoblásticas neutras. Nas condições de laboratório, os substratos papel-filtro e rolo de papel foram os melhores para a germinação das sementes e a temperatura constante de 25 °C favoreceu os melhores valores para porcentagem de germinação.

Apresenta grande potencial apícola, sendo recomendada para restauração florestal em áreas degradadas, pela grande procura dos seus frutos pela fauna regional. Os frutos desta planta são utilizados na alimentação humana e na medicina popular. Além disso, os compostos ácido gálico, corilagina e ácido elágico presentes no extrato

das folhas de *B. tomentosa* Eichler mostraram promissora atividade inibitória sobre *Candida glabrata* (TEODORO et al., 2015).

Suas folhas são utilizadas para preparo de chá e sua casca é popularmente utilizada no tratamento de tosse, como anti-hiperlipidêmicas e anorexígenas (SILVA et al., 2010). No entanto, o uso medicinal de plantas desse gênero ainda não está completamente estabelecido. Beutler et al. (1992) verificaram que alguns alcaloides flavonoides isolados das folhas de *Buchenavia capitata* apresentaram moderada atividade anti-HIV, entretanto, também apresentaram alta citotoxicidade. As plantas do gênero *Buchenavia* contêm flavonoides alcaloides em seus frutos, folhas e sementes, tais como buchenavianine e capitavine, que podem apresentar toxicidade quando ingeridos por animais.

A avaliação dos extratos bruto, acetático e butanólico de *B. tomentosa* revelaram presença de saponinas e taninos. No ensaio de citotoxicidade aguda frente à *Artemia salina*, os índices de mortalidade dos náuplios foi maior para o extrato aquoso em comparação aos demais. Tal citotoxicidade reforça a necessidade do isolamento dos compostos identificados para melhor elucidação dos possíveis mecanismos associados aos surtos de intoxicação e abortamento em bovinos (ANDRADE e SOUZA, 2012). As saponinas podem apresentar efeitos deletérios sobre a reprodução de ruminantes, uma vez que sua estrutura química, por se assemelhar a hormônios, pode influenciar na sua atividade e nas suas concentrações (WINA et al., 2005). A presença dessa substância poderia estar relacionada à ocorrência de abortos em ruminantes (COSTA et al., 2011).

Estudo feito por Nunes et al. (2010) indicou que a ingestão por ratas Wistar, durante a gestação, de uma dieta acrescida com 10% de *B. tomentosa* causa toxicidade nas mães e nos filhos do sexo masculino. Tal toxicidade é possivelmente induzida por flavonoides de ação hormonal. Estes dados podem ser importantes para avaliar a segurança de *B. tomentosa* durante a gravidez, uma vez que este fruto é atualmente empregado na alimentação de comunidades tradicionais brasileiras.

Em um trabalho desenvolvido por Batista (2011), os extratos dos frutos de *B. tomentosa* foram avaliados quanto à atividade antibacteriana, antifúngica e anti-radicalar (exercida por compostos antioxidantes). O extrato etanólico dos frutos apresentou atividade antibacteriana contra cepas de *Staphylococcus aureus* e *Pseudomonas aeruginosa*, antifúngica contra cepas de *Candida parapsilosis* e atividade antioxidante exercida pelos compostos galato de etila, galato metila e buchenaviana, relatado pela primeira vez na literatura. Além disso, foi identificada

presença de vários compostos com atividade antibacteriana e antioxidante, destacando entre eles a corigalina, um composto com inúmeras propriedades farmacológicas, o que valoriza a importância da espécie em questão.

## **2.6. Sementes de Espécies Florestais Nativas**

A exploração comercial e a incorporação de espécies nativas do Cerrado em programas de recuperação de áreas degradadas dependem de um sistema eficiente de produção de mudas, cujo sucesso sofre influência direta da qualidade das sementes empregadas nestes programas. Em função da rica diversidade da flora do Cerrado e da insuficiência de informações sobre a fisiologia das sementes de grande parte das espécies, ações de pesquisa e desenvolvimento devem ser incentivadas na área, de modo a direcionar estratégias adequadas para a conservação de muitas espécies de interesse social, econômico e ecológico (COSTA, 2009).

A produção de sementes de espécies florestais ganhou grande importância para a formação de mudas a serem utilizadas em programa de reposição florestal, reflorestamento, recuperação de áreas degradadas, arborização urbana e preservação das espécies florestais nativas em extinção, entre outras atividades, que necessitam deste insumo (VIEIRA et al., 2001).

Em comparação com as espécies cultivadas, há reduzido número de trabalhos de pesquisa com sementes de espécies florestais nativas. As instituições de pesquisa, universidades e fundações têm incrementado de forma significativa os estudos com esse germoplasma. A potencialidade de uso varia desde aspectos ambientais, como reflorestamento e recomposição de áreas degradadas, até aspectos econômicos, como obtenção de mel, frutos, pólen, madeira, carvão, biomassa, uso medicinal e industrial, sequestro de carbono, entre outros (GONZÁLES e TORRES, 2003; SARMENTO e VILLELA, 2010).

Devido à falta de informações científicas das espécies nativas, surge a necessidade de novas estratégias envolvendo estudos com as espécies florestais, que, por ora, estão com sua paisagem original fragmentada pelas atividades agroindustriais, pecuárias e pela ocupação urbana, restringindo os elementos naturais. A maioria das espécies agro-silvícolas tradicionais dispõe de estudos sobre germinação, o que não ocorre com essências florestais nativas dos cerrados (DE MELO et al., 1979).

## 2.7. Análise de sementes de espécies florestais nativas

A tecnologia empregada para análise de sementes tem o objetivo de criar ou adaptar métodos tecnológicos adequados para determinada espécie, obtendo ao final um padrão de qualidade de semente. Já na década de 80, pesquisas desenvolvidas por Bianchetti (1981) ressaltavam a importância e a necessidade de incrementar os trabalhos de pesquisa com sementes de essências florestais nativas, de modo a determinar os métodos adequados de avaliação do estágio de maturação e colheita dos frutos, beneficiamento, secagem, armazenamento e análise de sementes.

A principal finalidade da análise de sementes é determinar a qualidade de um lote e seu consequente valor para a semeadura e o armazenamento. Em um momento de profundas mudanças nas leis ambientais e de valorização das práticas conservacionistas, a demanda por sementes e mudas florestais nativas é crescente, real e confere a esse segmento um importante status no mercado sementeiro brasileiro. No entanto, para que este mercado possa se estabelecer, faz-se necessário o desenvolvimento de pesquisas que visem à padronização de técnicas de análise de sementes (WIELEWICKI et al., 2006).

A condução de testes de germinação e de vigor de um grande número de espécies agrícolas cultivadas está prescrita nas Regras para Análise de Sementes (RAS) (BRASIL, 2009). Porém, para as espécies florestais, em especial as nativas, há uma carência de padrões definidos de testes de viabilidade e vigor. Ao analisar a trajetória do setor de sementes florestais, é notória a relação do fortalecimento dos estudos sobre espécies nativas e o crescente cunho ambiental da Legislação Florestal brasileira. Apesar de incentivado pela Legislação, o mercado de sementes nativas é muito informal e poucas são as espécies com testes laboratoriais protocolados nas Regras para Análise de Sementes (RIBEIRO-OLIVEIRA e RANAL, 2014).

As sementes de espécies nativas são caracterizadas pelo alto índice de variação morfológica e fisiológica, inter e até mesmo intraespecífica, fato que dificulta a adoção de técnicas adequadas de análise, podendo causar insegurança quanto à confiabilidade dos resultados obtidos (OLIVEIRA FORTES et al., 2008). Desta forma, há grande preocupação dos pesquisadores e técnicos em análise de sementes de espécies florestais em realizar estudos que forneçam informações sobre sua qualidade. A falta de padrões estabelecidos para análise de sementes florestais impede que seus resultados sejam utilizados para a fiscalização do comércio, a normatização da produção bem como

para seu beneficiamento, armazenamento e distribuição (GONÇALVES et al., 2009; MARTINS et al., 2009; OLIVEIRA BRÜNING et al., 2011).

A análise de sementes é considerada uma atividade dinâmica constantemente evoluída, caracterizada pelas melhorias contínuas do desenvolvimento de processos e padronização. Para Guedes et al. (2011), a padronização desses métodos deve ser constantemente reavaliada mediante aplicação de testes de referência, de testes alternativos e da determinação de novas metodologias.

Um dos requisitos básicos para a identificação de problemas, associados ao potencial fisiológico de sementes, é a avaliação da sua morfologia interna. Neste sentido, para espécies ainda pouco exploradas pela pesquisa, como as florestais nativas, a caracterização da morfologia interna das sementes, com a identificação das partes que as compõem, é fundamental para a elucidação de dúvidas sobre a anormalidade de plântulas ou a presença de sementes não germinadas no teste de germinação. Nos últimos anos, os estudos dirigidos para a avaliação da morfologia interna de sementes têm sido apoiados em técnicas de análise de imagens. Entre os métodos utilizados para esta finalidade, destaca-se o teste de raios X, que propicia rápida e eficiente avaliação das partes constituintes da semente da maioria das espécies (GOMES JUNIOR, 2010).

## **2.8. Análise de Sementes pelo Teste de Raios X**

Os raios X são ondas eletromagnéticas que se propagam na velocidade da luz, mas com comprimento de ondas variável. Raios X de alta energia (ondas curtas) são mais apropriados para objetos grandes e/ou densos, já os raios X de baixa energia (ondas longas) são apropriados para objetos pequenos como as sementes (BRASIL, 2009).

O pioneirismo da utilização da análise de raios X para a avaliação da morfologia interna de sementes é atribuído a Simak e Gustafsson (1953), com a identificação de anormalidades no embrião de sementes de *Pinus sylvestris* L.

O teste de raios X é indicado desde os anos 80 pela *International Seed Testing Association* (ISTA), para detecção de sementes cheias, vazias, danificadas mecanicamente ou infestadas por insetos. Além disso, a Associação de Analistas Oficiais de Sementes (AOSA) publicou um manual sobre o uso da técnica de raios X para a avaliação das sementes de diferentes espécies. Atualmente, este teste é indicado

nas Regras para análises de Sementes (RAS) nacionais como uma técnica promissora no controle de qualidade de sementes, permitindo determinar a proporção de sementes cheias, vazias, danificadas por insetos e danificadas mecanicamente, pelas características morfológicas evidenciadas nas imagens de raios X (BRASIL, 2009).

O método consiste em expor as sementes a uma fonte de baixa energia de raios X e a um filme fotossensível. Ao atravessarem as sementes e atingirem o filme, os raios permitem a formação de uma imagem latente, caracterizada por diferentes graus de sombras e luz. O princípio da técnica é definido pela absorção de raios X em diferentes quantidades pelos tecidos das sementes, em função de sua estrutura, composição e densidade, além do tempo de exposição à radiação (ISTA, 2004).

Quando os raios X passam através de uma semente, a radiação é absorvida em vários graus, dependendo da espessura, da densidade, da composição da semente e do comprimento de onda da radiação, criando assim uma imagem permanente em filme radiográfico. Após o processamento do filme, uma imagem de sombras claras e escuras é formada, criando uma imagem permanente no filme radiográfico. As áreas mais escuras da radiografia correspondem àquelas partes em que os raios X penetram mais facilmente, enquanto as áreas mais claras representam partes mais densas da semente. Embora os raios X sejam potencialmente nocivos à semente, a baixa dose absorvida durante o teste não causa mutações genéticas e não afeta seu poder germinativo e apresenta vantagem por ser um teste não destrutivo, rápido e de simples execução (BINO et al., 1993; SIMAK, 1991; CRAVIOTTO et al., 2004).

Como a viabilidade das sementes submetidas ao comprimento de onda dos raios X não é comprometida por baixas doses de radiação utilizadas, vários pesquisadores têm procurado relacionar a morfologia interna das sementes com a germinação ou com a morfologia das plântulas. O desenvolvimento da técnica de raios X em sementes também tem permitido a previsão de plântulas anormais pela análise de imagens de embriões imaturos ou com alterações morfológicas (COPELAND e MCDONALD, 1985; MONDO e CICERO, 2005).

No Brasil, a referida técnica teve grande impulso a partir dos anos 90, com a publicação de trabalhos desenvolvidos por Cicero et al. (1998), com o objetivo de avaliar danos mecânicos em sementes de milho. Do ano de 1998 em diante, surgiram muitas contribuições científicas envolvendo a utilização de raios X na avaliação da qualidade de sementes de diversas espécies. A maioria dos trabalhos foi conduzida no Laboratório de Análise de Imagens do Departamento de Produção Vegetal da Escola

Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, e no Setor de Sementes do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras (CICERO, 2010).

O teste de raios X propicia rápida e eficiente avaliação das partes constituintes da semente da maioria das espécies. O estudo da morfologia interna de sementes por meio da análise de raios X tem gerado informações, principalmente para as espécies florestais, com a eliminação de sementes vazias e mal formadas, principalmente com o objetivo de aprimorar a qualidade dos lotes de sementes no que diz respeito a seus atributos físico e fisiológico (GOMES JUNIOR, 2010).

A possibilidade de utilização da técnica de análise de imagens para avaliar a qualidade de sementes é promissora, sendo um método precioso, em que a semente pode ser examinada individualmente em imagens ampliadas, capazes de indicar, com detalhes, a área danificada, sua localização e a extensão dos danos (FORTI et al., 2008).

Segundo Machado e Cícero (2003), a aplicação da técnica de raios X é bastante promissora em análise de sementes florestais, principalmente para aquelas espécies de grande relevância econômica e ecológica, cujos meios de propagação inviabilizam a execução de outros métodos para a avaliação da qualidade de sementes.

A análise de sementes por meio do teste de raios X vem sendo amplamente utilizada em vários segmentos da área de tecnologia de sementes, permitindo relacionar a morfologia interna das sementes com a germinação ou morfologia das plântulas de diversas espécies florestais nativas.

Neste contexto, Machado e Cícero (2003) observaram a eficiência dos raios X na detecção de anormalidades em sementes de aroeira-branca (*Lithraea molleoides* Vell. Engl.), o que permitiu melhorar a qualidade do lote pelo descarte das sementes mal formadas.

Do mesmo modo, o teste de raios X possibilitou a avaliação de danos causados por infestação de insetos em sementes de pitanga-do-mato (*Eugenia pleurantha*), mostrando que a presença de larvas e os danos causada por elas afetam a germinação, reduzindo a qualidade do lote de sementes (MASETTO et al., 2007), tendo sido eficiente na avaliação das estruturas internas de sementes de embaúba (*Cecropia pachystachya* Trec.) (CICERO et al., 2008).

A análise das imagens de raios X permitiu também visualizar os processos de má formação dos embriões de acordo com as classes de massas das sementes e a identificação de danos internos nas sementes de ipê-de-jardim (*Tecoma stans* L. Juss. ex

Kunth.), mostrando que a germinação é maior nas classes em que se verificam embriões mais desenvolvidos ou com pequenos danos, detectados pelas imagens de raios X (SOCOLOWSKI e CICERO, 2008).

O teste de raios X também foi eficiente na avaliação da qualidade de sementes de pimenta-de-macaco (*Xylopia aromatica* Lam. Mart.), permitindo a identificação e a eliminação de sementes mal formadas ou com danos por ataque de insetos, formando lotes de sementes com alto potencial fisiológico (SOCOLOWSKI et al., 2011). A análise de imagens de raios X também foi eficiente na avaliação da morfologia interna e do potencial fisiológico de sementes de ipê-roxo (*Tabebuia heptaphylla*) (AMARAL et al., 2011) e em sementes de palmeira jerivá (*Syagrus romanzoffiana* Cham. Glassman) (STURIAO et al., 2012), permitindo a eliminação de sementes mal formadas e infestadas por insetos. Além disso, este teste também foi eficaz na mensuração das áreas internas livres em sementes de goiabeira-serrana (*Acca sellowiana*) (SILVA et al., 2013), bem como na visualização da morfologia interna de sementes de moringa (*Moringa oleifera* Lam.) (VASCONCELOS, 2013) e capitão do mato (*Terminalia argentea*) (GOMES et al., 2014).

Em trabalho feito por Arruda et al. (2016), a análise de imagens de raios X possibilitou a identificação de danos mecânicos, danos por percevejos e tecidos deteriorados em sementes de *Crotalaria juncea*, concluindo que tais danos causam efeitos negativos à germinação.

Além de todas as possibilidades supracitadas, para a maioria das espécies, o teste de raios X também permite a avaliação do tamanho do embrião, definido por seu grau de desenvolvimento, e do espaço livre ou vazio na cavidade interna da semente. A existência de espaços vazios no interior das sementes é percebida como manchas escuras no seu interior, formadas pela diferença de resistência para bloquear a passagem dos raios X. Na literatura, estes espaços vazios têm sido avaliados com o auxílio de *softwares* que permitem dimensionar e quantificar o tamanho do embrião e seu grau de desenvolvimento. Entre estes *softwares*, destacam-se o Tomato Analyzer e Image Pro Plus<sup>®</sup> (MARCOS FILHO et al., 2010; GAGLIARDI e MARCOS FILHO, 2011).

No caso das variações no grau de desenvolvimento do embrião identificadas por meio de radiografias, uma preocupação atual da pesquisa é a automatização desta determinação no sentido de estabelecer maior precisão, eliminando interpretações subjetivas. Neste sentido, a utilização da análise automatizada de imagens de raios X,



por meio de *softwares*, representa uma alternativa promissora rumo à padronização das avaliações com a separação das sementes em diferentes categorias quanto ao grau de desenvolvimento embrionário, possibilitando estabelecer relações com seu potencial de desempenho (GOMES JUNIOR, 2010).

A utilização de raios X em Tecnologia de Sementes no Brasil ainda está restrita a trabalhos de pesquisa, que têm mostrado seu grande potencial para avaliar a qualidade de sementes. Neste sentido, é necessário implementar a introdução do teste de raios X em laboratórios de rotina, envolvidos em programas de controle de qualidade de sementes (CICERO, 2010). A continuidade da pesquisa certamente permitirá o desenvolvimento de procedimentos confiáveis para outras espécies, culminando na ampliação do conhecimento nas áreas de fisiologia e de avaliação do potencial fisiológico de sementes (NUNES et al., 2015).

## REFERÊNCIAS

AB'SÁBER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. Ateliê Editorial, 2003. 159p.

AGOSTINI-COSTA, T. S.; FARIA, J. P.; NAVES, R. V.; VIEIRA, R. F. Cajus do Cerrado. In: VIEIRA, R. F.; COSTA, T. da S. A.; SILVA, D. B.; SANO, S. M.; FERREIRA, F. R. (Eds.). **Frutas nativas da região Centro-Oeste**. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2010, p. 143-162.

ALMEIDA, S. P. Frutas nativas do Cerrado: caracterização físico-química e fonte potencial de nutrientes. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina: Embrapa-CPAC, p. 247-285. 1998.

ALVES, M. S. O.; ALVES, A. M.; NAVES, M. M. V. Compostos bioativos e atividade antioxidante de pseudofrutos de caju arbóreo do Cerrado. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 72, n. 4, p. 327-331, 2013.

AMARAL, J. B.; MARTINS, L.; FORTI, V. A.; CICERO, S. M.; MARCOS FILHO, J. Teste de raios x para avaliação do potencial fisiológico de sementes de ipê-roxo. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, n. 4, p. 601-607, 2011.

ANDRADE, A. C. S.; CUNHA, R.; SOUZA, A. F.; REIS, R. B.; ALMEIDA, K. J. Physiological and morphological aspects of seed viability of a neotropical savannah tree, *Eugenia dysenterica* DC. **Seed Science and Technology**, v. 31, n. 1, p. 125-137, 2003.

ANDRADE, M. S.; SOUZA, D. P. M. Estudo fitoquímico dos frutos da mirindiba (*Buchenavia tomentosa* Eichler). **8º Seminário de Iniciação Científica da UFT**, 2012.

ARRUDA, N.; CICERO, S. M.; GOMES-JUNIOR, F. G. Radiographic analysis to assess the seed structure of *Crotalaria juncea* L. **Journal of Seed Science**, v. 38, n. 2, p. 161-168, 2016.

AVIDOS, M. F. D.; FERREIRA, L. T. Frutos do Cerrado: Preservação gera muitos frutos. **Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**, Brasília, v. 1, n. 15, p. 36-41, 2000.

AZEVEDO, M. I. R.. **Estrutura e restauração de Cerradão em Palmas-TO e germinação de sementes de *Buchenavia tomentosa* Eichler, *Hymenaea stigonocarpa* Mart. ex Hayne, *Guazuma ulmifolia* Lam. e *Enterolobium gummiferum* (Mart.)**. Tese de Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, 2008.

BATALHA, M. A. O cerrado não é um bioma. **Biota Neotropica**, v. 11, n. 1, p. 21-24, 2011.

BATISTA, A. L. **Avaliação da atividade antimicrobiana e antiradicalar dos extratos e substâncias dos frutos de *Buchenavia tomentosa*–Eichler (Combretaceae) e *Ouratea spectabilis* Aubl.(Ochnaceae)**. Tese de Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Saúde e Desenvolvimento na Região Centro-Oeste – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2011.

BEUTLER, J. A.; CARDELLINA, I. I. J. H.; MCMAHON, J. B.; BOYD, M. R.; CRAGG, G. M. Anti-HIV and Cytotoxic Alkaloids from *Buchenavia capitata*. **Journal of Natural Product**, v. 55, n. 2, p. 207-213, 1992.

BIANCHETTI, A. Tecnologia de sementes de essências florestais. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 3, n. 3, p. 27-46, 1981

BINO, R. J.; AARTSE, J. W.; VAN DER BURG, W. J. Nondestructive X-ray analysis of *Arabidopsis* embryo mutants. **Seed Science Research**, v.3, n.3, p.167-170, 1993.

BORGES, R. T. **Caracterização do ambiente de ocorrência natural, fruto e pseudofruto de caju arbóreo do cerrado (*Anacardium othonianum*), fenologia e implantação de coleção na EA/UFG**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 151 f. 2012.

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

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Florestas do Brasil em resumo**. Serviço Florestal Brasileiro. Brasília, 2009. 124 p.

BRASIL. Secretaria de Biodiversidade e Florestas. **Mapas de cobertura vegetal dos biomas brasileiros**. Disponível em [http: <www.mma.gov.br>](http://www.mma.gov.br). Acesso em: 15 out. 2006.

BRIDGEWATER, S.; RATTER, J. A.; RIBEIRO, J. F. Biogeographic patterns,  $\beta$ -diversity and dominance in the cerrado biome of Brazil. **Biodiversity & Conservation**, v. 13, n. 12, p. 2295-2317, 2004.

BRITO, M. A.; PEREIRA, E. B.; PEREIRA, A. V.; RIBEIRO, J. F. **Cagaita, Biologia e manejo**. Planaltina: EMBRAPA-CERRADOS, 2003. 80 p.

CAMILO, Y. M. V. **Seleção de plantas e caracterização de frutos de cagaiteiras (*Eugenia dysenterica* DC.)**. 2012. 96 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Produção vegetal) - Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2012.

CAMILO, Y. M. V.; SOUZA, E. R. B.; VERA, R.; NAVES, R. V. Fenologia, produção e precocidade de plantas de *Eugenia dysenterica* visando melhoramento genético. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 36, n. 2, p. 192-198, abr. 2013.

CARRAZA, L. R.; D'ÁVILA, J. C. C. **Manual tecnológico de aproveitamento integral do fruto do pequi**. Brasília: Instituto Sociedade, População e Natureza (ISPN). Brasil, 2010. 48 p.

CARVALHO, M. L. M.; OLIVEIRA, L. M. Raios X na avaliação da qualidade de sementes. **Informativo Abrates**, Brasília, DF, v. 16, n. 1, 2,3, 2006.

CHAVES, L. J.; TELLES, M. P. C. CAGAITA. *In*: VIEIRA, Roberto Fontes et al. **Frutas nativas da região Centro-Oeste do Brasil**. Embrapa Informação Tecnológica: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2010.

CICERO, S. M. Aplicação de imagens de raios X no controle de qualidade de sementes. **Informativo ABRATES**, v. 20, p. 48, 2010.

CICERO, S. M.; VAN DER HEIJDEN, G. W. A. M.; VAN DER BURG, W. J.; BINO, R. J. Evaluation of mechanical damage in seeds of maize (*Zea mays* L.) by X-ray and digital imaging. **Seed Science and Technology**, v. 26, n. 3, p. 603-612, 1998.

CICERO, S.; PUPIM, T.; NOVEMBRE, A. D. L.; CARVALHO, M. D. Adequação do teste de raios X para avaliação da qualidade de sementes de embaúba (*Cecropia pachystachya* Trec.). **Revista Brasileira de Sementes**, v. 30, n. 2, p. 28-32, 2008.

COPELAND, L. O.; MCDONALD, M. B. **Principles of seed science and technology**. 2.ed. New York: Macmillan, 1985. 321p.

COSTA, C. J. Armazenamento e conservação de sementes de espécies do Cerrado. **Embrapa Cerrados. Documentos**, 2009.

COSTA, T. R.; FERNANDES, O. F.; SANTOS, S. C.; OLIVEIRA, C. M.; LIÃO, L. M.; FERRI, P. H.; MARIA DO ROSÁRIO, R. S. Antifungal activity of volatile constituents of *Eugenia dysenterica* leaf oil. **Journal of ethnopharmacology**, v. 72, n. 1, p. 111-117, 2000.

COUTINHO, L. M. O conceito de bioma. **Acta Botanica Brasilica**, v. 20, n. 1, p. 1-11, 2006.

COUTO, R. O. D.; VALGAS, A. B.; BARA, M. T. F.; PAULA, J. R. D. Caracterização físico-química do pó das folhas de *Eugenia dysenterica* DC. (Myrtaceae). **Revista Brasileira de Farmácia**, v. 6, n. 3, p. 59-69, 2009.

CRAVIOTTO, R. M.; ARANGO, M. R.; SALINAS, A. R.; GIBBONS, R.; BERGMANN, R.; MONTERO, M. S. A device for automated digital x-ray imaging for seed analysis. **Seed Science and Technology**, v. 32, n. 3, p. 867-871, 2004.

CURADO, F. A. M. L. I. M. J.; GAZOLLA, A. P.; PEDROSO, R. C. N.; PIMENTA, L. I. P.; OLIVEIRA, P. F.; TAVARES, D. C.; PAULETTI, P. I. M. Antifungal and cytotoxicity activities of *Anacardium othonianum* extract. **Journal of Medicinal Plants Research**, v. 10, n. 29, p. 450-456, 2016.

DE MELO, J. T.; RIBEIRO, J. F.; LIMA, V. L. G. F. Germinação de sementes de algumas espécies arbóreas nativas do Cerrado. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 1, n. 2, p. 8-12, 1979.

EITEN, G. Vegetação do Cerrado. In: PINTO, M. N. (Org.). **Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas**. Brasília: Universidade de Brasília, 1994, p. 17-75.

FARIAS NETO, A. L.; FONSECA, C. E. L.; GOMIDE, C. C. C.; SILVA, J. A. Armazenamento de sementes de cagaita (*Eugenia dysenterica* DC). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 13, n. 2, p. 55-62, 1991.

FARIAS, J., SANCHEZ, M., ABREU, M. F., PEDRONI, F. Seed dispersal and predation of *Buchenavia tomentosa* Eichler (Combretaceae) in a Cerrado sensu stricto, midwest Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 75, n. 4, p. 88-96, 2015.

FERREIRA, M. B. Frutos comestíveis nativos do Distrito Federal: gabiobas, pitangas e araçás. **Cerrado**, Brasília, DF, v. 5, p. 11-15, 1972.

FONSECA, C. M.; BOARI, C. A.; DOMINGUES, P. H. F.; MEIRA, D. P.; FERNANDES, L. S. F.; DUMONT, M. A. Iogurte produzido com cajuí (*Anacardium othonianum* Rizz.). **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 4, p. 1829-1836, 2014.

FORTI, V. A.; CICERO, S. M.; PINTO, T. L. F. Análise de imagens na avaliação de danos mecânicos e causados por percevejo em sementes de feijão. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 30, n. 1, p. 121-130, 2008.

GAGLIARDI, B.; MARCOS FILHO, J. Relationship between germination and beel pepper seed structure assessed by the X-ray test. **Scientia Agricola**, v. 68, n. 4, p. 411-416, 2011.

GANEM, R. S.; DRUMMOND, J. A.; FRANCO, J. L. A. Conservation policies and control of habitat fragmentation in the Brazilian Cerrado biome. **Ambiente & Sociedade**, v. 16, n. 3, p. 99-118, 2013.

GOMES JUNIOR, F. G. Aplicação da análise de imagens para avaliação da morfologia interna de sementes. **Informativo Abrates**, v. 20, n. 3, p. 33-51, 2010.

GOMES, K. B. P.; MARTINS, R. D. C. C.; MARTINS, I. S.; GOMES JUNIOR, F. G. Avaliação da morfologia interna de sementes de *Terminalia argentea* (Combretaceae) pelo teste de raios X. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 4, p. 752-759, 2014.

GONÇALVES, E. P.; PAULA, R. C.; DEMATTÊ, M. E. S. P.; SILVA, M. A. D. Potencial fisiológico de sementes de mutambo (*Guazuma ulmifolia* Lam.) em diferentes procedências. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 2, p. 218-222, 2009.

GONZÁLES, S.; TORRES, R. A. A. Coleta de sementes e produção de mudas. In: SALOMÃO, A.N., et al. **Germinação de sementes e produção de mudas de plantas do Cerrado**. Brasília: Rede de Sementes do Cerrado, 2003. p.11-22.

GUEDES, R. S.; ALVES, E. U.; GONÇALVES, E. P.; FRANÇA, P. R. C.; MOURA, M. F.; SANTOS, S. S. Germination of *Dalbergia nigra* (Vell.) Fr. All. seeds. **Acta Scientiarum: Biological Sciences**, v. 33, n. 4, p. 445, 2011.

HERINGER, E. P.; FERREIRA, M. B. Informações preliminares acerca da floração precoce de vinte espécies arbóreas do cerrado do Planalto Central. In: **CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA**, 25., 1974, Mossoró, RN. Anais... Recife: Sociedade Botânica do Brasil, 1976. p. 213-224.

INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION (ISTA). International rules for testing seed. **Seed Science and Technology**, v. 13, n. 2, p. 300-520, 1995.

ISPN. **Instituto Sociedade, População e Natureza**. Flora do Cerrado. 2016.

ISTA. **Rules for seed testing**. Zurich: International Seed Testing Association, 2004. 174p.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. A conservação do Cerrado brasileiro. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 147-155, 2005.

LIMA, R. E.; NETO, A. R.; SILVA, F. G.; SALES, J. F.; SANTANA, J. G.; CORREIA, R. M. Effect of water contents and storage on caju-de-árvore-do-cerrado seed germination. **Global Science And Technology**, v. 5, n. 1, 2012.

LIMA, T. B.; SILVA, O. N.; OLIVEIRA, J. T. A.; VASCONCELOS, I. M.; SCALABRIN, F. B.; ROCHA, T. L.; GROSSI-DE-SÁA, M. F.; SILVA, L. P.; GUADAGNIN, R. V.; QUIRINO, B. F.; CASTRO, C. F. S.; LEONARDECZ, E.; FRANCO, O. L. Identification of *E. dysenterica* laxative peptide: A novel strategy in the treatment of chronic constipation and irritable bowel syndrome. **Peptides**, v. 31, n. 8, p. 1426-1433, 2010.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 2ª. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2002. vol. 2. 368 p.

MACHADO, C. F.; CICERO, S. M. "Aroeira-branca" [*Lithraea molleoides* (Vell.) Engl. - Anacardiaceae] seed quality evaluation by the X-ray test. **Scientia Agricola**, v. 60, n. 2, p. 393-397, 2003.

MACHADO, R. B. M. B.; RAMOS NETO, P. G. P.; PEREIRA, E. F.; CALDAS, D. A.; GONÇALVES, N. S.; SANTOS, K.; TABOR, E. M. **Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro**. Relatório técnico não publicado. Conservação Internacional, Brasília, DF. 2004.

MARCOS FILHO, J.; GOMES JUNIOR, F. G.; BENNETT, M. A.; WELLS, A. A.; STIEVE, S. Using Tomato Analyzer software to determine embryo size in X-rayed seeds. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, n. 2, p. 146-153, 2010.

MARTINS, L.; LAGO, A. A.; SALES, W. R. M. Conservação de sementes de ipê-amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Standl.) em função do teor de água das sementes e da temperatura do armazenamento. **Revista Brasileira de Sementes**, v.31, n.2, p.86-95, 2009

MARQUETE, N. F. S.; VALENTE, M. C. Flora da Reserva Ducke, Amazonas, Brasil, Combretaceae. **Rodriguésia**, v. 56, n. 86, p. 131-140, 2005.

MASETTO, T. E.; DAVIDE A. C.; SILVA E. A. A. D.; FARIA J. M. R. Avaliação da qualidade de sementes de *Eugenia pleurantha* (Myrtaceae) pelo teste de raios X. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 29, n. 3, p. 170-174, 2007.

MENDONÇA, R. C., FELFILI, J., WALTER, B., SILVA-JU, N. I. O. R., & AV, F. Flora vascular do Bioma Cerrado: checklist com 12.356 espécies. **Cerrado: ecologia e flora**, p. 423-1279. 2008

MENDONÇA, R. C.; FELFILI, J. M.; WALTER, B. M. T.; SILVA JUNIOR, M. C.; REZENDE, A. V.; FILGUEIRAS, T. S.; NOGUEIRA, P. E. Flora vascular do cerrado. *In*: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. de (Ed.). **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1998. p. 289-556.

MITTERMEIER, R. A.; ROBLES, P.; HOFFMANN, M.; PILGRIM, J.; BROOKS, T.; MITTERMEIER, C. G.; LAMOREUX, J.; FONSECA, G. B. Hotspots revisited: earth's biologically richest and most endangered ecoregions. *In*: **Conservation International**, 2005, Mexico City.

MONDO, V. H. V.; CICERO, S. M. Análise de imagens na avaliação da qualidade de sementes de milho localizadas em diferentes posições na espiga. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 27, n. 1, p. 9-18, 2005.

MORAIS CARDOSO, L.; MARTINO, H. S. D.; MOREIRA, A. V. B.; RIBEIRO, S. M. R.; PINHEIRO-SANTANA, H. M. Cagaíta (*Eugenia dysenterica* DC.) of the Cerrado of Minas Gerais, Brazil: Physical and chemical characterization, carotenoids and vitamins. **Food Research International**, v. 44, n. 7, p. 2151-2154, 2011.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; DA FONSECA, G. A.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853-858, 2000.

NAVES, M. M. V.; ALVES, A. M.; DIAS, T.; HASSIMOTTO, N. M. A. Ascorbic Acid Content, Phenolic Compounds and Antioxidant Capacity of Brazilian Savannah Native Fruits. **The FASEB Journal**, v. 30, n. 1 Supplement, p. 1176.5-1176.5, 2016.

NAVES, R. V. **Espécies frutíferas nativas dos Cerrados de Goiás: caracterização e influências do clima e dos solos**. 1999, 206 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 1999.

NAVES, R. V.; SOUZA, E. R. B.; ROCHA, M. R.; BORGE, J. D.; CARNEIRO, I. F.; FILHO, D. T. Avaliação da emergência de plântulas de espécies frutíferas nativas do Cerrado goiano. **Anais Escola de Agronomia e Veterinária**. p. 133-141, 1992.

NIETSCH, S.; GONÇALVES, V. D.; PEREIRA, M. C. T.; SANTOS, F. A.; ABREU, S. D.; MOTA, W. F. D. Tamanho da semente e substratos na germinação e crescimento inicial de mudas de cagaiteira. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 28, n. 6, p. 1321-1325, 2004.

NUNES, H. M. M.; PAIVA, J. A. D.; RAMOS, A. T.; MAIORKA, P. C.; MARUO, V. M. Effects of *Buchenavia tomentosa* consumption on female rats and their offspring. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 32, n. 4, p. 423-429, 2010.

NUNES, R. T. C.; SOUZA, U. O.; MORAIS, O. M.; MOREIRA, C. S. Análise de imagens na avaliação da qualidade fisiológica de sementes. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 9, n. 5, p. 84-90, 2015.

OLIVEIRA BRÜNING, F.; LÚCIO, A. D. C.; MUNIZ, M. F. B. Padrões para germinação, pureza, umidade e peso de mil sementes em análises de sementes de espécies florestais nativas do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 2, p. 193-202, 2011.

OLIVEIRA FORTES, F.; LÚCIO, A. D. C.; LOPES, S. J.; CARPES, R. H.; SILVEIRA, B. D. Agrupamento em amostras de sementes de espécies florestais nativas do Estado do Rio Grande do Sul – Brasil. **Ciência Rural**, v. 38, n. 6, p. 1615-1623, 2008.

OLIVEIRA SOUSA, A. G.; FERNANDES, D. C.; ALVES, A. M.; DE FREITAS, J. B.; NAVES, M. M. V. Nutritional quality and protein value of exotic almonds and nut from the Brazilian Savanna compared to peanut. **Food Research International**, v. 44, n. 7, p. 2319-2325, 2011.

POTT, A.; POTT, V. J. **Plantas do Pantanal**. Corumbá: Empresa agropecuária, Centro de Pesquisa Agropecuária do Pantanal. EMBRAPA. 1994. 320 p.

PROENÇA, C. E. B.; GIBBS, P. E. Reproductive biology of eight sympatric Myrtaceae from Central Brazil. **New Phytologist**, v. 126, n. 2, p. 343-354, 1994.

RATTER, J. A.; BRIDGEWATER, S.; RIBEIRO, J. F. Biodiversity patterns of the woody vegetation of the Brazilian Cerrados. **Systematics Association**, v. 69, p. 31, 2006.

RATTER, J. A.; DARGIE, T. C. D. An analysis of the floristic composition of 26 Cerrado areas in Brazil. **Edinburgh Journal of Botany**, v. 49, n. 02, p. 235-250, 1992.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: S.M. SANO & S.P. ALMEIDA (eds.). **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina, Embrapa-CPAC., 1998.

RIBEIRO, J. F.; MACEDO, J.; SANO, S. M.; SILVA, J. A. **Os principais tipos fisionômicos da região dos Cerrados**. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1983. 28 p.

- RIBEIRO-OLIVEIRA, J. P.; RANAL, M. A. Sementes florestais brasileiras: início precário, presente inebriante e o futuro, promissor? **Ciência Florestal**, v. 24, n. 3, p. 771-784, 2014.
- RIBEIRO, R. A.; RODRIGUES. Genética da conservação em espécies vegetais do cerrado. **Revista de Ciências Médicas e Biológicas**, v. 5, n. 3, 2006.
- RIZZINI, C. T. A flora do cerrado: Análise florística das savanas centrais. *In*: Ferri, M.G. (Co-ord.) - **III Simpósio sobre o Cerrado**. São Paulo, Universidade de São Paulo - Edgaard Blücher, p. 107-153. 1971.
- ROCHA, G. F., FERREIRA, L. G., FERREIRA, N. C., FERREIRA, M. E. Detecção de desmatamentos no bioma Cerrado entre 2002 e 2009: Padrões, tendências e impactos. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 63, p. 341–349, 2012.
- SANO, S. M.; FONSECA, C. D.; RIBEIRO, J. F.; OGA, F. M.; LUIZ, A. J. B. Folhagem, floração, frutificação e crescimento inicial da cagaiteira em Planaltina, DF. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 30, n. 1, 1995.
- SARMENTO, M. B.; VILLELA, F. A. Sementes de espécies florestais nativas do Sul do Brasil. **Informativo Abrates**, v. 20, n. 1-2, p. 39-44, 2010.
- SILVA JÚNIOR, M. C. **100 Árvores do Cerrado sentido restrito**. Brasília: Rede de Sementes do Cerrado, 2012. 304 p.
- SILVA, E. C. C. **Secagem e armazenamento de sementes de *Eugenia dysenterica* DC**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de São João del-Rei. Mestrado em Ciências Agrárias. 56 f, 2015.
- SILVA, J. A.; SILVA, D. B.; JUNQUEIRA, N. T. V.; ANDRADE, L. R. M. de. **Coleta de sementes, produção de mudas e plantio de espécies frutíferas nativas dos cerrados: informações exploratórias**. Planaltina: EMBRAPA/CPAC, 1992. 23 p. (Documentos, 44).
- SILVA, M. A. B.; MELO, L. V. L.; RIBEIRO, R. V.; SOUZA, J. P. M.; LIMA, J. C. S.; MARTINS, D. T. O.; SILVA, R. M. Levantamento etnobotânico de plantas utilizadas como anti-hiperlipidêmicas e anorexígenas pela população de Nova Xavantina-MT, Brasil. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 20, n. 4, p. 549-562, 2010.
- SILVA, S. **Frutas, cores e sabores do Brasil**. São Paulo: Editora Europa, 2012. 144 p.
- SILVA, V. N.; SARMENTO, M. B.; SILVEIRA, A. C.; SILVA, C. S.; CICERO, S. M. Avaliação da morfologia interna de sementes de *Acca sellowiana* O. Berg por meio de análise de imagens. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, n. 4, p. 1158-1169, 2013.
- SIMAK, M. Testing of forest tree and shrub seeds by X-radiography. *In*: Tree and shrub seed handbook. Chapter 14. **International Seed Testing Association**. (ISTA) Zurich, Switzerland. 1991.
- SIMAK, M.; GUSTAFSSON, A. X-ray photography and sensitivity in forest tree species. **Hereditas**, v.39, p.458-468, 1953.



SOCOLOWSKI, F.; CICERO, S. M. Caracterização morfológica de embriões por imagens de raios x e relação com a massa e a qualidade fisiológica de sementes de *Tecoma stans* L. Juss. ex Kunth (Bignoniaceae). **Revista Brasileira de Sementes**, v. 30, n. 2, 2008.

SOCOLOWSKI, F.; CICERO, S. M.; VIEIRA, D. C. M. Seed weight of *Xylopia aromatica* (Annonaceae): quality evaluation from X-ray and seedling emergence. **Scientia Agricola**, v. 68, n. 6, p. 643-646, 2011.

SOUZA, E. R. B. ; NAVES, R. V.; BORGES, J. D.; VERA, R.; FERNANDES, E. P.; SILVA, L. B.; TRINDADE, M. D. G. Cagaiteira (*Eugenia dysenterica* DC.) phenology in Goiás State. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, n. 4, p. 1009-1014, 2008.

SOUZA, E. R. B.; CARNEIRO, I. F.; NAVES, R. V.; BORGES, J. D.; LEANDRO, W. M.; CHAVES, L. J. Emergência e crescimento de cagaíta (*Eugenia dysenterica* DC.) em função do tipo e do volume de substratos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 31, n. 2, p. 89-95, 2007.

SOUZA, E. R. B.; NAVES, R. V.; CARNEIRO, I. F.; LEANDRO, W. M.; BORGES, J. D. Crescimento e sobrevivência de mudas de cagaiteira (*Eugenia dysenterica* DC.) nas condições do cerrado. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 24, n. 2, p. 491-495, 2002.

SOUZA, P. L. C.; SILVA, M. R. Quality of granola prepared with dried caju-do-cerrado (*Anacardium othonianum* Rizz) and baru almonds (*Dipteryx alata* Vog). **Journal of food science and technology**, v. 52, n. 3, p. 1712-1717, 2015.

SOUZA, P. M.; ELIAS, S. T.; SIMEONI, L. A.; PAULA, J. E.; GOMES, S. M.; GUERRA, E. N. S.; FONSECA, Y. M.; SILVA, E. C.; SILVEIRA, D.; MAGALHÃES, P. O. Plants from Brazilian Cerrado with Potent Tyrosinase Inhibitory Activity. **Plos One**, v. 7, n. 11, 2012.

STURIÃO, W. P.; LANDGRAF, P. R. C.; ROSA, T. P. Avaliação da qualidade de sementes de palmeira jerivá pelo teste de Raios X. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 1, p. 213-218, 2012.

TEODORO, G. R.; BRIGHENTI, F. L.; DELBEM, A. C. B.; DELBEM, Á. C. B.; KHOURI, S.; GONTIJO, A. V. L.; KOGA-ITO, C. Y. Antifungal activity of extracts and isolated compounds from *Buchenavia tomentosa* on *Candida albicans* and non-*albicans*. **Future microbiology**, v. 10, n. 6, p. 917-927, 2015.

VASCONCELOS, M. C. **Moringa oleifera Lam.: aspectos morfométricos, fisiológicos e cultivo em gradiente de espaçamento**. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Universidade Federal de Sergipe, 2013.

VIEIRA, A. H. V.; MARTINS, E. P.; PEQUENO, P. L. D. L.; LOCATELLI, M.; SOUZA, M. D. **Técnicas de produção de sementes florestais**. Embrapa CPAF Rondônia, 2001.

VIEIRA, R. F.; COSTA, T. S. A.; SILVA, D. B.; FERREIRA, F. R.; SANO, S. M. **Frutas nativas da região Centro-Oeste**. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2006. 320 p.

WIELEWICKI, A. P.; LEONHARDT, C.; SCHLINDWEIN, G.; MEDEIROS, A. C. D. S. Proposta de padrões de germinação e teor de água para sementes de algumas espécies florestais presentes na região sul do Brasil. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 28, n. 3, p.191-197, 2006.

WINA, E.; MUETZEL, S.; BECKER, K. The impact of saponins or saponins containing plant materials on ruminant productions: A review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, p. 8093-8105, 2005.

### 3. OBJETIVO GERAL

Objetivou-se, com este trabalho, investigar a eficiência da técnica de análise de imagens de raios X na avaliação da morfologia interna e da qualidade física e fisiológica de sementes de cagaita (*Eugenia Dysenterica* DC.), aquênios de caju-de-árvore-do-cerrado (*Anacardium othonianum* Rizz.) e pirênios de boca-boá (*Buchenavia tomentosa* Eichler.).

## 4. CAPÍTULO I

### **Desempenho fisiológico e análise de imagens de raios X em sementes de cagaita (*Eugenia dysenterica* DC. - Myrtaceae) submetidas à secagem**

Physiological performance and vigor in cagaita seeds (*Eugenia dysenterica* DC.) subjected to drying

(Artigo de Qualificação aceito para publicação na revista Semina: Ciências Agrárias)

**Resumo:** Objetivou-se, com este trabalho, determinar a curva de embebição e avaliar os efeitos da redução do teor de água no vigor de sementes de cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.). Foram conduzidos três ensaios: No ensaio 1, determinou-se a curva de embebição e germinação das sementes. No ensaio 2, as sementes foram submetidas à secagem em estufa e em sílica gel por até 72 horas e avaliadas quanto ao vigor e desempenho fisiológico. No ensaio 3, as sementes foram submetidas à secagem até determinados teores de água e avaliadas por meio da análise de imagens de raios X. Houve um rápido ganho de massa nas primeiras 60 horas de embebição, com protrusão radicular chegando a 94,4% após 192 horas. Foi observado padrão trifásico de absorção de água durante a embebição. As sementes de cagaita foram sensíveis à secagem, reafirmando sua característica recalcitrante. Com base na análise de imagens de raios X, obtidas pelo teste de Raios X, foi possível estabelecer relação direta entre o aumento da área de espaço livre no interior da semente e a redução da emergência de plântulas. O processo de secagem alterou a morfologia interna das sementes e tais alterações influenciaram diretamente o desenvolvimento das plântulas.

**Palavras-chave:** Frutífera nativa. Myrtaceae. Embebição. Recalcitrante. Teste de raios X.

**Physiological performance and X-ray image analysis in cagaita (*Eugenia dysenterica* DC - Myrtaceae) seeds submitted to drying**

(Qualification Article accepted for publication in Semina magazine: Agrarian Sciences)

**Abstract:** This study aimed to investigate the soaking curve, as well as to evaluate the effects of water content reduction on vigor of cagaita seeds (*Eugenia dysenterica* DC.). Three trials were carried out: (a) in trial 1, the seed soaking and germination curve was determined; (b) in trial 2, seeds were subjected to oven drying in silica gel up to 72 hours, and were evaluated for vigor and physiological performance; and (c) in trial 3, seeds were dried up to certain water contents and evaluated by X-ray imaging analysis. There was fast mass gain in the first 60 soaking hours and root protrusion reached 94.4% after 192 soaking hours. It was observed the phase pattern of water absorption during soaking. Cagaita seeds did not tolerate drying, fact that confirmed the recalcitrant behavior of these species seeds. Analysis of images obtained by X-ray test allowed establishing a direct relation between the increased free space area inside the seed and the seedling emergence decrease. The drying process changed the seed internal morphology, and such changes directly affected seedlings development.

**Keywords:** Native fruit. Myrtaceae. Soaking. Recalcitrant. X-ray test.

#### **4.1 Introdução**

O Brasil tem grande parte de seu território recoberto por diferentes espécies medicinais e frutíferas, distribuídas em vários ecossistemas. Estima-se que o domínio fitogeográfico do Cerrado contribua com 10.000 espécies de plantas, das 60.000 fanerógamas distribuídas pelo país, caracterizando a mais rica flora entre as savanas do mundo (GUSMÃO et al., 2006). Além disso, o cerrado é considerado um dos 'hotspots' para a conservação da biodiversidade mundial, com várias espécies conhecidas como fonte de compostos de interesse biotecnológico, com aplicações medicinais e na indústria de alimentos (CARAMORI et al., 2004; KLINK; MACHADO, 2005).

Embora exista a necessidade de conservação *ex situ* das espécies florestais nativas, pouco se conhece sobre as características morfológicas e fisiológicas das sementes destas espécies, dificultando a adoção de práticas corretas no processo de

conservação. Neste sentido, há necessidade de aprimorar as técnicas referentes à avaliação da qualidade de sementes das espécies florestais nativas (MASETTO et al., 2007).

Entre as espécies frutíferas nativas do Cerrado, destaca-se a cagaiteira (*Eugenia dysenterica* DC.), que pertence à família Myrtaceae. Espécie arbórea, que pode atingir até 10 metros de altura, com ramos tortuosos e casca grossa fissurada, frutos bacáceos de coloração amarelada quando maduros e formato globoso. Cada fruto tem de uma a três sementes, que correspondem, em média, a 15% da massa do fruto. A cagaita é considerada espécie de interesse econômico, e seus frutos são consumidos *in natura* ou processados na forma de sucos, doces, geleias e sorvetes. Os frutos da cagaita têm características físicas e químicas com potencial para industrialização pela elevada acidez, baixo valor energético e baixos teores de lipídeos e carboidratos, o que faz de sua exploração uma atividade econômica bastante promissora. A espécie também se destaca pelas suas propriedades medicinais, sendo as folhas e cascas utilizadas como antidiarreico, para diabetes e icterícia. Além disso, a espécie também é indicada como planta melífera, ornamental e para uso no reflorestamento de áreas degradadas (CAMILO et al., 2014; BRASIL, 2008; SILVA et al., 2001; VIEIRA et al., 2010).

As espécies do gênero *Eugenia* têm sementes classificadas como intolerantes à dessecação, e sua conservação é feita com alto teor de água, o que impede o armazenamento a longo prazo (OLIVEIRA et al., 2011). Em contraste com sementes ortodoxas, que adquirem tolerância à dessecação durante a maturação, as sementes recalcitrantes são incapazes de sobreviver à secagem e praticamente não perdem água durante a maturação, passando diretamente do metabolismo de desenvolvimento para a germinação (BARTELS, 2005; DELAHAIE et al., 2013; RADWAN et al., 2014).

Espécies que têm sementes recalcitrantes são comuns em florestas tropicais, assim, têm melhores condições para a germinação e estabelecimento das plântulas, em virtude das ótimas condições de temperatura e precipitação (PAMMENTER; BERJAK, 2000). A perda de viabilidade durante a secagem das sementes de várias espécies sensíveis à dessecação é acompanhada pelo aumento da peroxidação de lipídios e pelo acúmulo de radicais livres, além da desestabilização ou perda da integridade macromolecular (AMARA et al., 2012; BOUDET et al., 2006; DELAHAIE et al., 2013; NAMBARA et al., 2010; OLIVER, 2011). Vários mecanismos que permitem a tolerância à dessecação são inexistentes em sementes recalcitrantes (BERJAK; PAMMENTER, 2013).

Durante o processo de secagem, podem ocorrer alterações morfológicas na semente que influenciam sua qualidade e viabilidade. A área embrionária é uma das variações morfológicas possivelmente associadas ao desempenho das sementes, que consiste na relação entre o grau de desenvolvimento do embrião e o espaço disponível na cavidade interna da semente. Essa característica tem sido avaliada com recursos da análise de imagens por meio do teste de raios X (MARCOS FILHO et al., 2010; MACHADO; CICERO, 2003).

As espécies florestais são caracterizadas pela grande ocorrência de predação, sementes vazias e má formação do embrião, entre outros problemas. Neste sentido, o teste de raios X é uma ferramenta útil para avaliar a qualidade física de sementes e vem sendo empregado em programas de controle de qualidade, podendo também auxiliar nos estudos morfológicos e fisiológicos de várias espécies (MASETTO et al., 2007). É um método de precisão que possibilita examinar, com detalhe, a morfologia interna das sementes (BINO et al., 1993). Além disso, a análise das sementes pela técnica de raios X permite a seleção de sementes sem danos para formação de lotes de melhor qualidade, contribuindo para sua conservação em bancos de germoplasma (CARVALHO et al., 2009).

Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho investigar as relações entre a velocidade de embebição das sementes e a germinação, bem como avaliar os efeitos da redução do teor de água no vigor de sementes de (*Eugenia dysenterica* DC) pelo teste de raios X.

## 4.2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido no Laboratório de Sementes do Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde (GO), e no Laboratório de Análise de Sementes do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras (Lavras – MG). Os frutos maduros, com coloração do epicarpo completamente amarelada, foram coletados na Fazenda Gameleira (16° 06' 20'' S – 51° 17' 11'' W, altitude de 592 m), no município de Montes Claros de Goiás, Goiás, Brasil. A coleta foi feita em oito árvores matrizes próximas entre si.

Para a despolpa e obtenção das sementes, os frutos foram macerados manualmente sobre peneiras e lavados em água corrente até a eliminação dos resíduos de polpa. Após a despolpa, as sementes foram beneficiadas, sendo retiradas as danificadas e infestadas por insetos. As sementes intactas foram desinfestadas

superficialmente em solução comercial de hipoclorito de sódio (2,5% de cloro ativo) a 5% durante três minutos, lavadas novamente em água destilada e dispostas em bandejas cobertas com papel toalha, à temperatura ambiente, para a retirada do excesso de água superficial.

O teor de água inicial das sementes foi determinado pelo método da estufa a 105°C por 24 horas (BRASIL, 2009), adaptado, com quatro subamostras de 10 sementes, sendo o resultado expresso em porcentagem de base úmida (% b.u.).

O estudo foi desenvolvido em três ensaios:

### **Ensaio 1. Curva de embebição e germinação de sementes de *E. dysenterica* DC.**

Este ensaio foi feito com o objetivo de investigar a relação entre a velocidade de embebição das sementes e a germinação. Para a curva de embebição, foram utilizadas quatro repetições de 25 sementes, com teor de água de colheita de 48,0% (b.u.). A massa inicial das amostras foi obtida em balança com resolução de 0,001 g. Em seguida, as sementes foram dispostas em folhas de papel do tipo “germitest”, umedecidas com água destilada em quantidade equivalente a 2,5 vezes a massa do substrato seco (BRASIL, 2009) adaptado, e os rolos contendo as sementes foram mantidos em germinador regulado à temperatura de 30±2 ° C. As avaliações referentes à massa das sementes, de cada repetição, foram feitas a cada três horas nas primeiras 24 horas e a cada 12 horas até 192 horas de embebição. A cada tempo de embebição, as sementes eram retiradas do substrato, com o auxílio de uma pinça, levadas à balança para avaliação da massa e novamente dispostas no substrato, conforme descrito anteriormente. O ganho de massa (GM) das sementes foi calculado de acordo com a seguinte fórmula:

$$GM = \frac{Mf - Mi}{Mi} \times 100$$

Em que  $M_f$ , Massa final, ganho de massa a cada período de embebição,; e  $M_i$  : Massa inicial das sementes antes da embebição.

A cada tempo de embebição, foi avaliada a porcentagem de sementes germinadas para estabelecer a relação entre o tempo necessário para a protrusão radicular das sementes, considerando germinadas as sementes com raiz primária de tamanho igual ou superior a 0,5 cm.



## **Ensaio 2. Efeitos da secagem sobre o vigor das sementes e o crescimento inicial de plântulas de *E. dysenterica* DC.**

Após a determinação do teor de água inicial, foi retirada uma amostra de sementes para as avaliações do tempo zero de secagem (tratamento controle, com teor de água inicial). Retirada a amostra inicial, as sementes foram submetidas a dois tipos de secagem: **Secagem em sílica gel**, em que as sementes permaneceram em contato direto com uma camada uniforme de sílica gel, disposta em bandejas plásticas hermeticamente fechadas, em temperatura de  $25 \pm 3$  °C, com substituição da sílica gel assim que 2 cm da camada superficial perdia sua coloração azul intensa; **Secagem em estufa com circulação e renovação de ar**, regulada a temperatura de  $35 \pm 2$  °C, sendo as sementes acondicionadas em embalagens de papel do tipo kraft e submetidas à secagem. Para os dois métodos de secagem, as sementes foram avaliadas por 12, 24, 48, e 72 horas. A cada período de secagem, amostras de sementes foram retiradas para avaliação por meio dos seguintes parâmetros: teor de água das sementes, condutividade elétrica, taxa respiratória, emergência de plântulas, índice de velocidade de emergência de plântulas, comprimento de plântulas, número de folhas e massa de matéria seca da parte aérea e das raízes das plântulas.

**Teor de água:** após cada período de secagem, o teor de água das sementes foi determinado pelo método da estufa a  $105 \pm 3$  °C por 24 horas (BRASIL, 2009), adaptado, com quatro subamostras de 10 sementes, para cada período de secagem, e o resultado expresso em porcentagem de base úmida (% b.u.).

**Teste de condutividade elétrica:** O teste de condutividade elétrica foi feito com quatro subamostras de 15 sementes de cada tratamento. Em balança eletrônica digital, com precisão de duas casas decimais, foi obtida a massa das sementes. Na sequência, elas foram acondicionadas em copos plásticos contendo 75 mL de água deionizada e levadas para B.O.D regulada à temperatura de 25 °C. Após 24 horas de embebição, a condutividade elétrica foi determinada com auxílio de um condutivímetro digital Tecnal, modelo TEC-4MP, e os resultados expressos em  $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ , de acordo com o método descrito por Vieira (1994).

**Taxa respiratória:** A taxa respiratória foi determinada pelo método da titulação, segundo metodologia descrita por Crispim et al. (1994). Foram empregadas quatro subamostras de 15 sementes, as quais foram pesadas previamente para a obtenção da massa seca. O teste foi instalado em caixas do tipo gerbox com tela em aço inox. No

fundo de cada gerbox, foram adicionados 40 mL de solução de KOH 0,1 N e sobre a tela foram depositadas duas folhas de papel mata borrão umedecido 2,5 vezes em relação à sua massa seca. Sobre essas duas folhas, as sementes foram distribuídas de maneira a formar uma camada uniforme. Para cada amostra, foi constituída uma testemunha, denominada prova em branco, preparada com solução de KOH 0,1 N, porém sem as sementes. Após 24 horas à temperatura constante de 30 °C, foram retirados 25 mL da solução de KOH 0,1 N de cada repetição e da prova em branco, em que foram adicionadas três gotas de fenolftaleína para a titulação com HCl 0,1 N. No ponto de viragem, foi registrado o volume de HCl gasto para neutralizar a solução de KOH em cada uma das amostras testadas. O cálculo final da taxa respiratória foi feito pela seguinte equação:

$$TR = \frac{(B - L) \times C}{MS}$$

Em que TR é a taxa respiratória; B é a leitura da prova em branco; L é a leitura da titulação utilizando HCl; C é a constante denominada fator de correção com valor de 3,52; e MS é a massa seca das sementes submetidas às avaliações. Os resultados foram expressos em mg de CO<sub>2</sub> por grama de semente seca.

**Teste de emergência de plântulas:** O teste de emergência foi conduzido em casa de vegetação com temperatura média de 28,9±4 °C e umidade relativa de 66±4,5% durante o período de avaliações. Foram utilizadas quatro repetições de 25 sementes, e a semeadura foi feita em areia a 3 cm de profundidade. O substrato foi irrigado, por aspersão, durante 30 minutos, três vezes ao dia. Foram feitas contagens diárias, computando-se a emergência das plântulas acima de 1,5 cm, a fim de se determinar o **índice de velocidade de emergência de plântulas (IVE)**, de acordo com Maguire (1962). A porcentagem de emergência correspondeu ao percentual de plântulas normais (com todas as estruturas essenciais formadas e sem nenhum dano) 45 dias após a semeadura. O **comprimento das plântulas** foi mensurado, considerando as plântulas normais do teste de emergência, com régua graduada em milímetros, tendo os resultados sido expressos em cm/plântula. Para a determinação da **massa de matéria seca da parte aérea e das raízes**, 10 plântulas normais de cada repetição foram separadas aleatoriamente em parte aérea e raiz, acondicionadas em embalagens de papel e submetidas à secagem em estufa com circulação de ar à temperatura de 65 °C por 72

horas. Após a secagem, a massa das amostras foi obtida em balança eletrônica com precisão de 0,01 g, e os resultados expressos em gramas/plântulas.

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial 2x5, sendo dois tipos de secagem (em sílica e em estufa) em cinco tempos (0, 12, 24, 48, e 72 horas), empregando quatro repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância, a 5% de significância, e de regressão polinomial com o auxílio do programa computacional Sisvar (Sistema de Análise de Variâncias) para Windows (FERREIRA, 2000). As regressões polinomiais foram ajustadas utilizando o software Sigma Plot® 10.0.

### **Ensaio 3. Análise de imagens de raios X em sementes de *E. dysenterica* DC. submetidas à secagem**

Após a determinação do teor de água inicial (47,8% b.u.), parte das sementes foi submetida à secagem em sílica gel, conforme determinado no ensaio 2, até a obtenção dos teores de água de 37, 28 e 23% (b.u.). Após a secagem, as sementes com diferentes teores de água foram submetidas às seguintes avaliações:

**Teste de raios X:** O teste de raios X foi feito no Laboratório de Análise de Sementes da Universidade Federal de Lavras (Lavras, MG). Quatro repetições de 20 sementes, de cada tratamento, foram dispostas em placas de acrílico transparente sobre fita adesiva de dupla face, numeradas para que pudessem ser identificadas nas avaliações posteriores, e submetidas à radiação em equipamento de raios X “Faxitron HP”, modelo MX20, na intensidade de 30 Kv por 45 segundos. Após a exposição à radiação, as imagens digitais foram analisadas para a avaliação da morfologia interna das sementes, de modo a investigar os efeitos da secagem. Na avaliação da morfologia interna, a área de espaço livre no interior das sementes foi calculada empregando o Software Tomato Analyzer® 3.0, conforme determinado por Marcos Filho et al. (2010). Este software delimita a área ocupada pelo embrião de cada semente e expressa o percentual de área livre. Os resultados foram expressos em porcentagem de espaço livre por semente. Além disso, foram avaliadas sementes com danos mecânicos ou danos por insetos observados nas imagens obtidas.

Para correlacionar os resultados do teste de raios X com a viabilidade e o vigor das sementes, foi feito também o teste de emergência de plântulas. Este teste foi feito com quatro repetições de 25 sementes, de cada tratamento, as quais foram semeadas em

areia a 3 cm de profundidade, irrigadas por asperção três vezes ao dia. Aos 45 dias após a semeadura, a porcentagem de emergência correspondeu à porcentagem de plântulas normais, conforme descrito no ensaio 2.

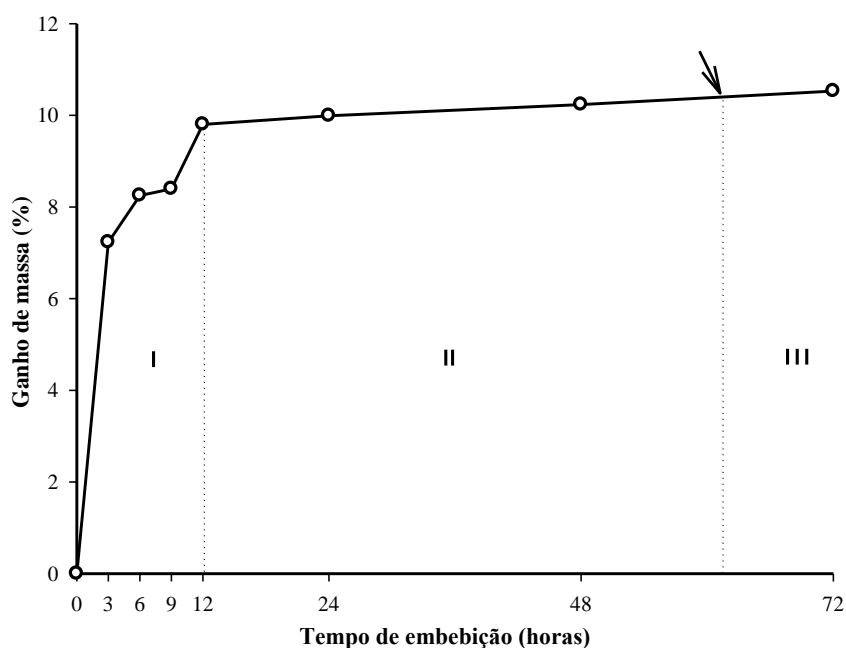
Os dados de área livre e porcentagem de emergência foram submetidos à análise de variância e de regressão polinomial. Foi feito o teste de correlação entre as variáveis, e a significância dos valores de  $r$  foi determinada pelo teste  $t$ , a 5% de significância, com o auxílio do software ASSISTAT.

### **4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **Ensaio 1. Curva de embebição e germinação de sementes de *E. dysenterica* DC.**

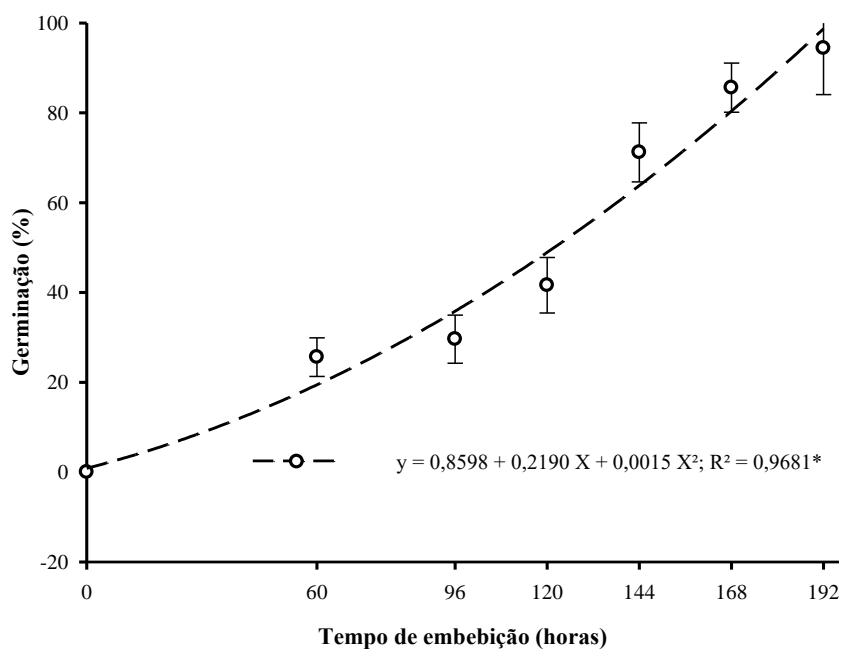
Nas primeiras horas de embebição, houve intumescimento das sementes, com aumento de tamanho e mudança de coloração. Foi possível observar protrusão radicular a partir de 60 horas de embebição.

As sementes de *E. dysenterica* DC foram coletadas com teor de água de 38,36% (b.u.). A curva de embebição das sementes apresentou padrão trifásico, comumente observado durante a embebição das sementes da maioria das espécies (Figura 1). A fase I foi rápida, sendo encerrada com 12 horas de embebição. A fase II (fase lag) se estendeu até 60 horas de embebição, quando foi observada protrusão radicular, caracterizando o início da fase III.



**Figura 1.** Curva de embebição de sementes de *E. dysenterica* DC. (I – Fase 1; II – Fase 2; III – Fase 3).

A porcentagem de germinação aumentou em resposta ao incremento no tempo de embebição, com valor máximo de 90,7% após 192 horas (Figura 2).

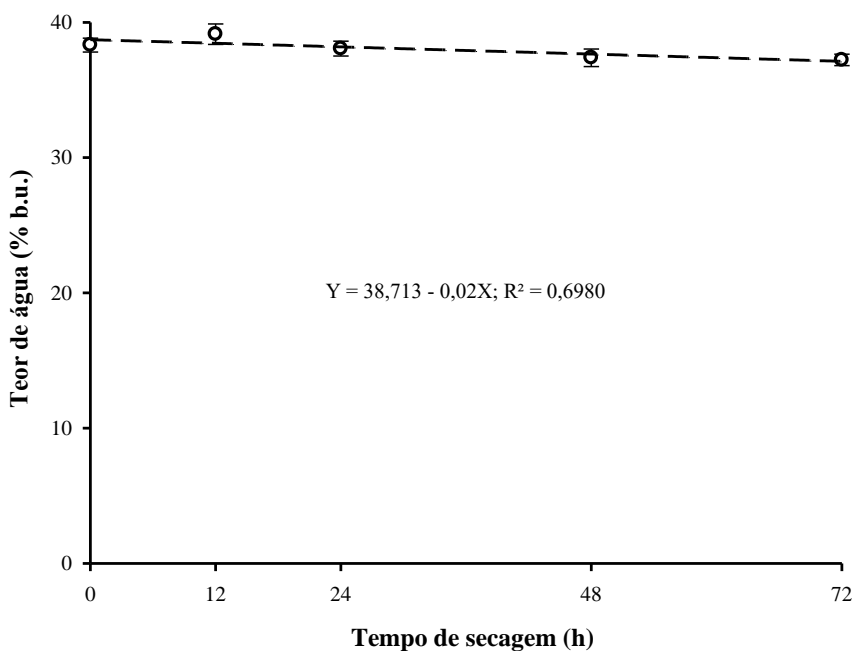


**Figura 2.** Germinação (%) em sementes de *E. dysenterica* DC durante a embebição.\* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F ( $p < 0,05$ ). Barra: Erro padrão da média.

Para sementes de dedaleiro (*Lafoensia pacari* A. St. Hil.), a absorção de água foi progressiva ao longo de cinco horas, resultando em um aumento de 90% do peso das sementes após seis horas de embebição (FERNANDES et al., 2012). Sementes de caatingueira (*Caesalpinia pyramidalis* Tul.) expressaram rápida absorção de água após 48 horas de embebição, e após 54 horas, tiveram 10% de protrusão radicular, aumento de, aproximadamente, 76% da massa inicial (DANTAS et al., 2008a).

## Ensaio 2. Efeitos da secagem sob o vigor das sementes e o crescimento inicial de plântulas de *E. dysenterica* DC.

Para a maioria das variáveis analisadas, não houve interação entre os fatores tempo e tipo de secagem, sendo apresentados os resultados isolados dos fatores significativos. As sementes de *E. dysenterica* DC foram coletadas com teor de água de 38,23% (b.u.), diminuindo linearmente esse valor em resposta ao incremento no tempo de secagem, independentemente do tipo de secagem empregado. No entanto, o processo de perda de água foi lento, mantendo-se com teor de água de 38,05% (b.u.) após 24 horas de secagem, Figura 3, chegando a 37,22% (b.u.) ao final de 72 horas. Houve redução de apenas 0,83% em relação ao teor de água inicial das sementes, independentemente do método de secagem empregado.

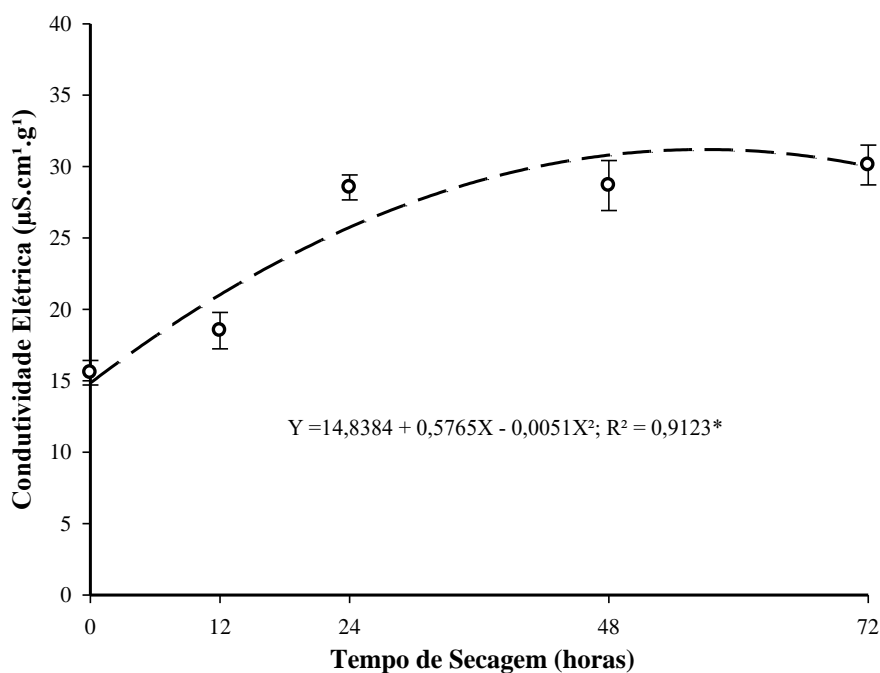


**Figura 3.** Teor de água de sementes de cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.) submetidas a diferentes períodos de secagem. Barra: Erro padrão da média.

Em trabalho feito por Andrade et al. (2003), sementes de *E. dysenterica* DC., coletadas no Parque Nacional de Brasília, apresentaram altos teores de água no momento da colheita, variando entre 47 e 53% (b.u.). A taxa de secagem das sementes a 24 °C e 15% de umidade relativa foi superior à obtida para a secagem em sílica gel a 15 °C, chegando a menos de 20% (b.u.), em 28 dias de secagem. Estes resultados reafirmam que as sementes desta espécie perdem água lentamente durante a secagem, levando até 28 dias para atingir o teor de água de 20% (b.u.).

O mesmo comportamento foi observado para sementes de outras espécies do gênero *Eugenia*, conforme relatado por Justo et al., (2007) para sementes de uvaia (*Eugenia pyriformis* Camb.), em que, nos tratamentos de secagem lenta (16 e 72 horas, a 20 °C e 16 horas, a 35 °C), o conteúdo de água das sementes foi pouco reduzido em relação ao teor inicial, e a maior perda de água foi observada apenas na secagem a 35 °C por 72 horas, em que as sementes atingiram teor de água de 30% (b.u.), com decréscimo de 20% em relação ao teor inicial (50% b.u.).

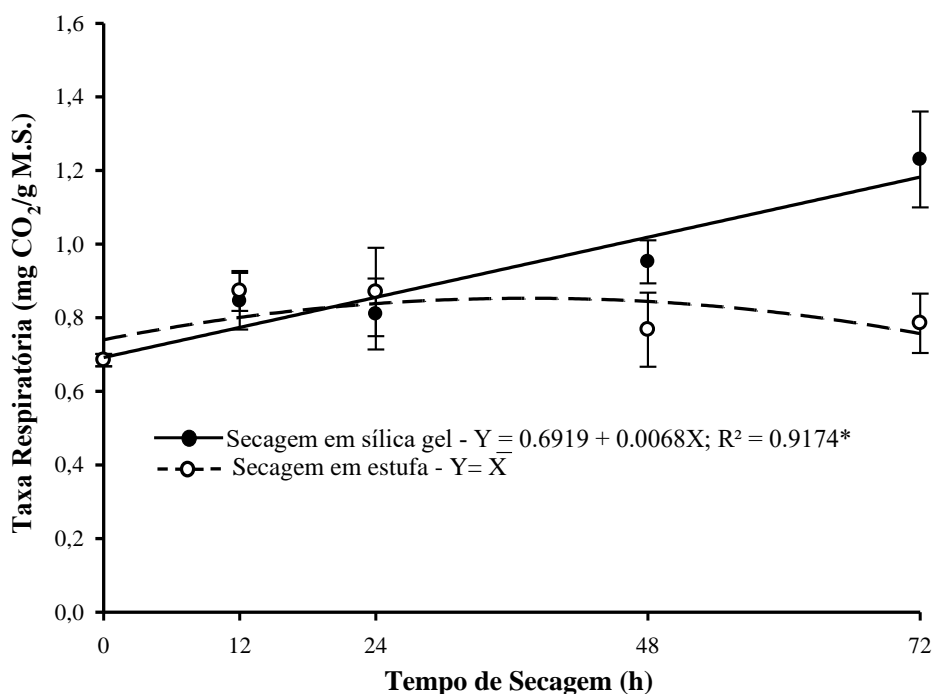
A liberação de exsudados obtida pelo teste de condutividade elétrica não foi influenciada pelo tipo de secagem. No entanto, houve aumento nos valores da condutividade elétrica, da água de embebição, em resposta ao incremento no tempo de secagem (Figura 4).



**Figura 4.** Condutividade elétrica de sementes de cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.) submetidas a diferentes períodos de secagem. \*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F ( $p < 0,05$ ). Barra: Erro padrão da média.

Após 57 horas de secagem, a taxa de liberação de exsudados chegou ao valor máximo de  $30,13 \mu\text{S.cm. g}^{-1}$ , ocorrendo redução com o avanço do período de secagem. Deste modo, a redução do teor de água influenciou negativamente o vigor das sementes de cagaita, independentemente do tipo de secagem empregada, o que pode ser verificado pelo aumento na quantidade de lixiviados liberados pelas sementes. Este resultado é indicativo da ocorrência de danos nas membranas das células durante o processo de secagem, permitindo a liberação de íons da solução celular para a solução de embebição. A desestruturação do sistema de membranas resulta na perda de sua semipermeabilidade e acarreta lixiviação de componentes essenciais do metabolismo, marcando o início do processo de deterioração em sementes (GOLOVINA et al., 2010; SANTOS et al., 2005).

Houve interação entre tipo e tempo de secagem apenas para a variável taxa respiratória. Para a secagem em sílica gel, foi observado aumento linear da taxa respiratória durante a secagem, chegando ao valor máximo de  $1,23 \text{ mg de CO}_2.\text{g}^{-1}$  de semente após 72 horas, com um incremento de  $0,0068$  na taxa respiratória em resposta ao aumento do período de secagem (Figura 5).

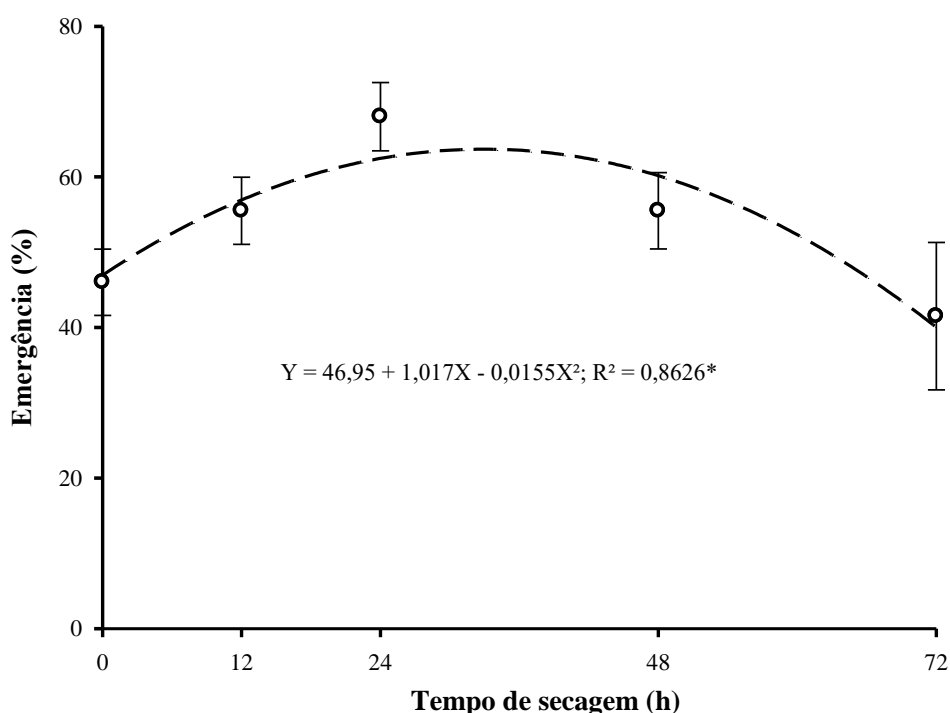


**Figura 5.** Taxa respiratória de sementes de *E. dysenterica* DC. submetidas a dois tipos de secagem por diferentes períodos.\*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F ( $p < 0,05$ ). Barra: Erro padrão da média.



A secagem em sílica gel influenciou positivamente a taxa respiratória das sementes no início do processo de embebição. Neste sentido, Delgado e Barbedo (2007) afirmam que a secagem das sementes em estufa, apesar de acelerar a velocidade de secagem, pode resultar em alterações nas sementes, principalmente enzimáticas, que acarretam prejuízos e aceleram o processo deteriorativo.

O método de secagem empregado não influenciou a porcentagem de emergência de plântulas, não havendo interação entre os fatores avaliados. Foi observado comportamento quadrático, com aumento nos primeiros períodos de secagem, chegando ao valor máximo após 33 horas, ocorrendo decréscimo com o avanço do período de secagem. Neste sentido, a redução do teor de água influenciou negativamente o desempenho fisiológico das sementes desta espécie, o que confirma seu comportamento recalcitrante (Figura 6).



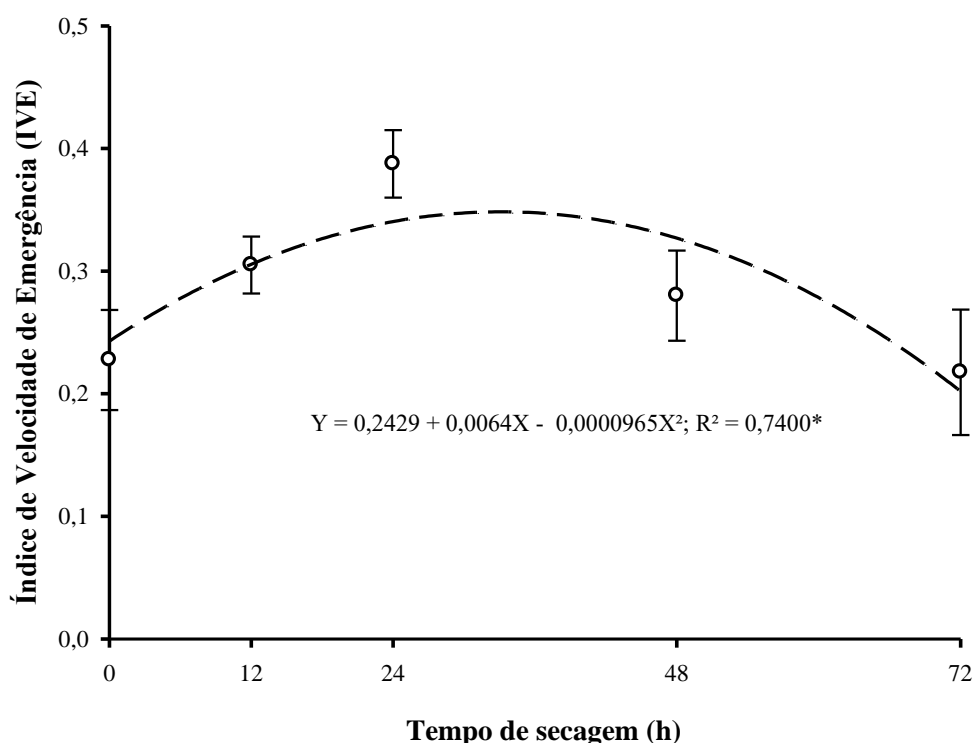
**Figura 6.** Porcentagem de emergência de plântulas de *E. dysenterica* DC. oriundas de sementes submetidas a diferentes períodos de secagem. \*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F ( $p < 0,05$ ). Barra: Erro padrão da média.

Resultado semelhante foi observado por Andrade et al. (2003), em que as sementes de *E. dysenterica* DC. apresentaram porcentagem de germinação de 50% quando tiveram o teor de água reduzido para valores entre 36 e 38% (b.u.). Os mesmos autores salientam que as sementes desta espécie perdem completamente a viabilidade

quando o conteúdo de água é reduzido para valores inferiores a 18 e 22% (teor de água letal), sendo classificadas como sensíveis à dessecação. Além disso, sementes de pitanga (*Eugenia uniflora* L.) submetidas à secagem em estufa à temperatura de 37 °C também perderam a viabilidade nas primeiras 14 horas de secagem e, após 72 horas, formaram apenas 20% de plântulas normais (COMIN et al., 2014).

Ao avaliar a tolerância à dessecação de sementes de seis espécies frutíferas nativas de *Eugenia*, Delgado e Barbedo (2007) mostraram que a secagem das sementes prejudicou a formação de plântulas normais, independentemente do método de secagem utilizado, e que o nível de água letal está situado entre 15 e 20% para estas espécies.

O índice de velocidade de emergência também não foi influenciado pelo tipo de secagem. O valor máximo foi de 0,349 após 33 horas de secagem, ocorrendo decréscimo em resposta ao incremento no tempo, mostrando o efeito negativo da secagem no desempenho das sementes (Figura 7).

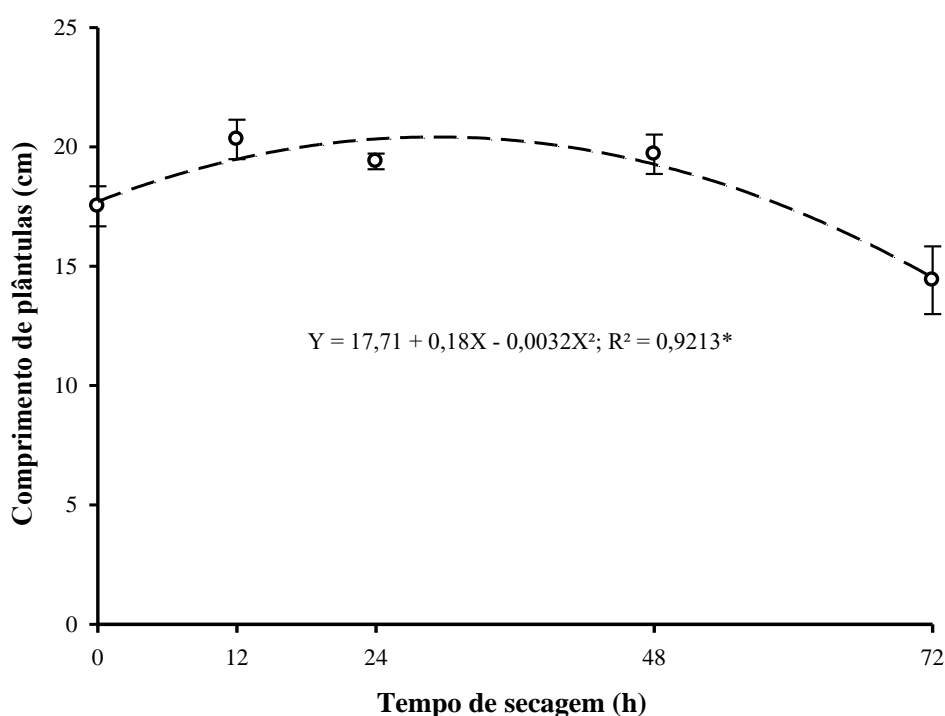


**Figura 7.** Índice de velocidade de emergência (IVE) de plântulas de *E. dysenterica* DC. oriundas de sementes submetidas a diferentes períodos de secagem. \* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F ( $p < 0,05$ ). Barra: Erro padrão da média.

Resultado semelhante foi obtido para sementes de mangabeira (*Hancornia speciosa* Gomes), que tiveram valores máximos para o índice de velocidade de

emergência após 21 horas de secagem, decrescendo acentuadamente após este período, chegando a valores nulos após 144 horas (SANTOS et al., 2010). A secagem das sementes de uvaia (*Eugenia pyriformis* Camb.) a 35°C por 72 horas, até o teor de água de 30%, reduziu significativamente a velocidade de germinação das sementes (JUSTO et al., 2007).

Não houve interação entre os fatores para o comprimento das plântulas, e com aumento nesse parâmetro até as primeiras 29 horas de secagem, chegando ao valor máximo de 20,52 cm, ocorreu decréscimo com o avanço do processo de secagem (Figura 8). O teor de água das sementes submetidas à secagem por até 29 horas se manteve praticamente inalterado em relação ao teor inicial e se acredita que, por este motivo, a viabilidade e o vigor das sementes durante este período de secagem não foram afetados.



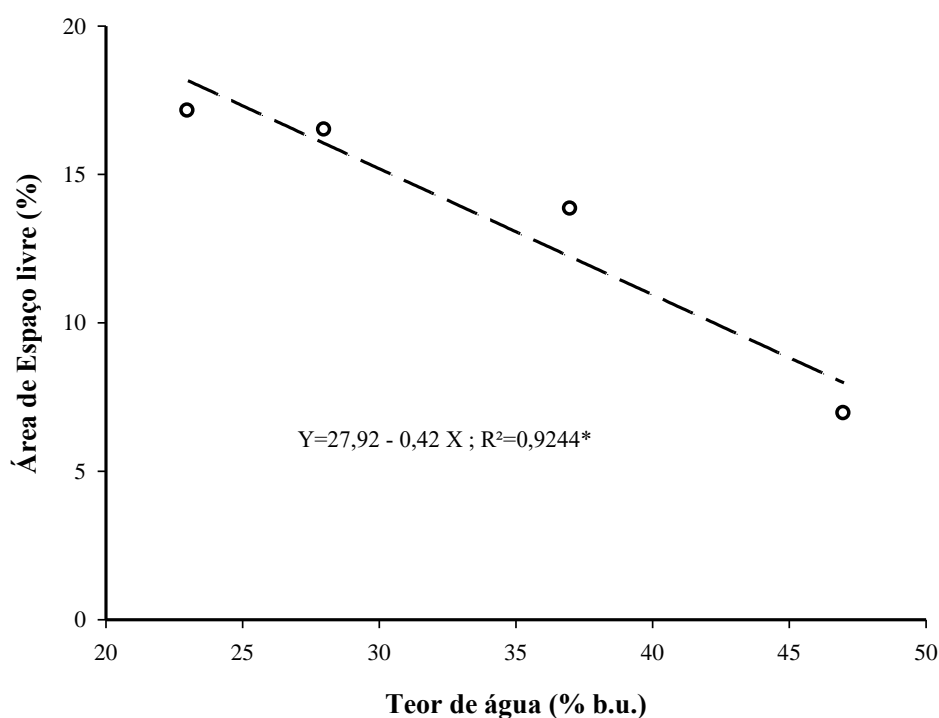
**Figura 8.** Comprimento de plântulas de *E. dysenterica* DC. oriundas de sementes submetidas a diferentes períodos de secagem. \*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F ( $p < 0,05$ ). Barra: Erro padrão da média.

Resultado semelhante foi encontrado para sementes de pitombeira [*Talisia esculenta* (A. ST. Hil) Radlk], em que a secagem por 38 e 40 horas resultou em acréscimo no comprimento de plântulas, quando comparadas a sementes com teor de água inicial, ocorrendo decréscimo com o avanço da secagem (ALVES et al., 2008).

Plântulas de ingazeiro [*Inga ingoides* (Rich.) Willd.] tiveram valores máximos de comprimento da raiz primária quando as sementes, sem polpa, foram submetidas a 15 horas de secagem, ocorrendo decréscimo com o incremento do tempo de secagem (LAIME et al., 2011).

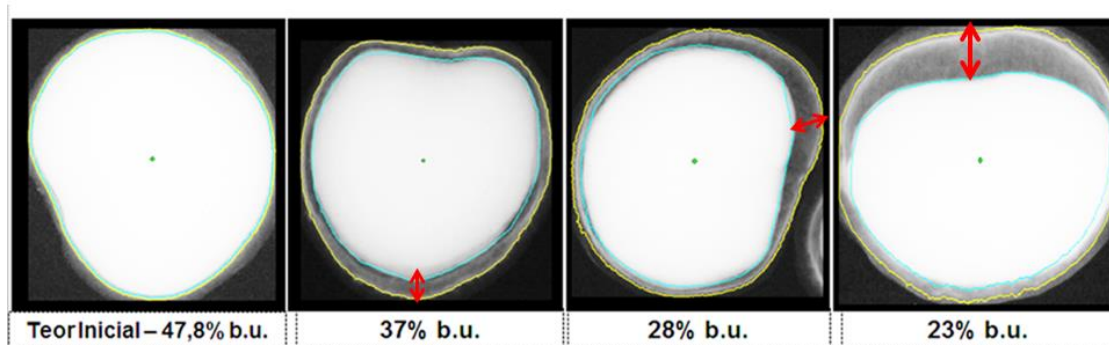
### Ensaio 3. Análise de imagens de raios X em sementes de *E. dysenterica* DC. submetidas à secagem

As imagens de raios X foram analisadas com o *software Tomato analyzer*, tendo sido possível, por meio da análise dos dados obtidos através das imagens de raios X, observar aumento na área de espaço livre, existente entre o embrião e o tegumento (embrião/cavidade embrionária), e redução da área embrionária à medida que o teor de água das sementes foi reduzido de 47,8% para 23% (b.u.) (Figura 9).



**Figura 9.** Porcentagem de área livre no interior das sementes de *E. dysenterica* DC. submetidas à secagem.\*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F ( $p < 0,05$ ).

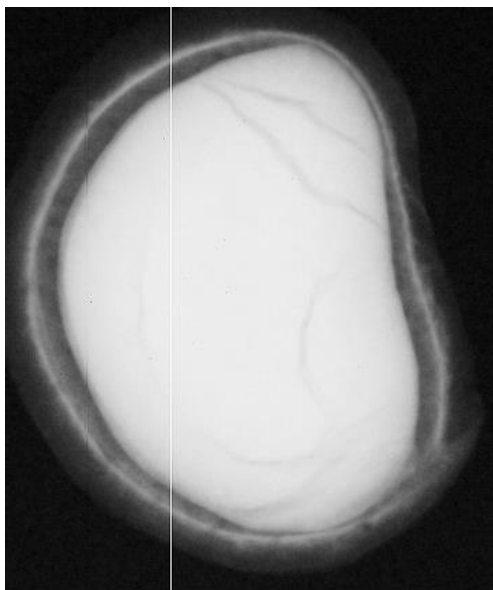
A avaliação da integridade e da morfologia interna das sementes por meio do teste de raios X mostrou alterações morfológicas no endosperma decorrentes do processo de secagem, com redução da área ocupada pelo embrião no interior da semente (Figura 10).



**Figura 10.** Imagens de raios X ilustrativas de sementes de *E. dysenterica* DC. com diferentes teores de água. Setas: Área de espaço livre (tegumento/endosperma).

As sementes intactas com teor de água inicial apresentaram mais de 93% da cavidade interna ocupada pelo embrião e quando foram submetidas à secagem até 23% (b.u.), este valor foi reduzido para 83%. Resultado semelhante foi encontrado por Silva et al. (2014), ao trabalhar com sementes de curriola [*Pouteria ramiflora* (Mart.) Radlk.] em dois estádios de maturação e com diferentes teores de água, em que sementes verdes e submetidas à secagem até 12% (b.u.) tiveram redução da área ocupada pelo embrião e aumento da área de espaço livre no interior das sementes.

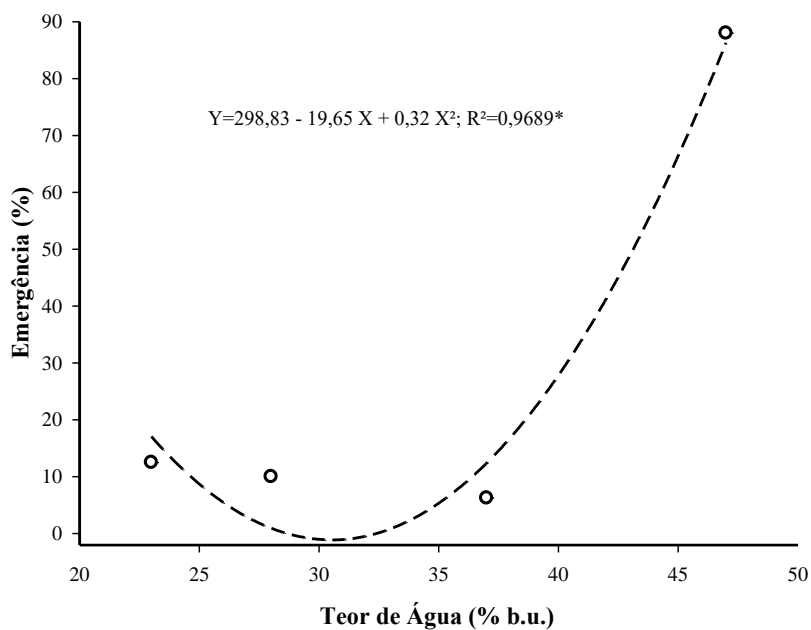
Além da redução da área ocupada pelo embrião, por meio da análise de imagens obtidas no teste de raios X, foi possível identificar também danos mecânicos (trincas) nas sementes submetidas à secagem, Figura 11, o que compromete o vigor das sementes e o desenvolvimento das plântulas. Deste modo, o emprego da análise de imagens se mostrou uma ferramenta útil na identificação de danos no interior das sementes e na determinação dos efeitos da secagem, complementando os resultados obtidos pelas análises fisiológicas.



**Figura 11.** Danos mecânicos no endosperma de semente de *E. dysenterica* DC. submetida à secagem até o teor de água de 23% (b.u.).

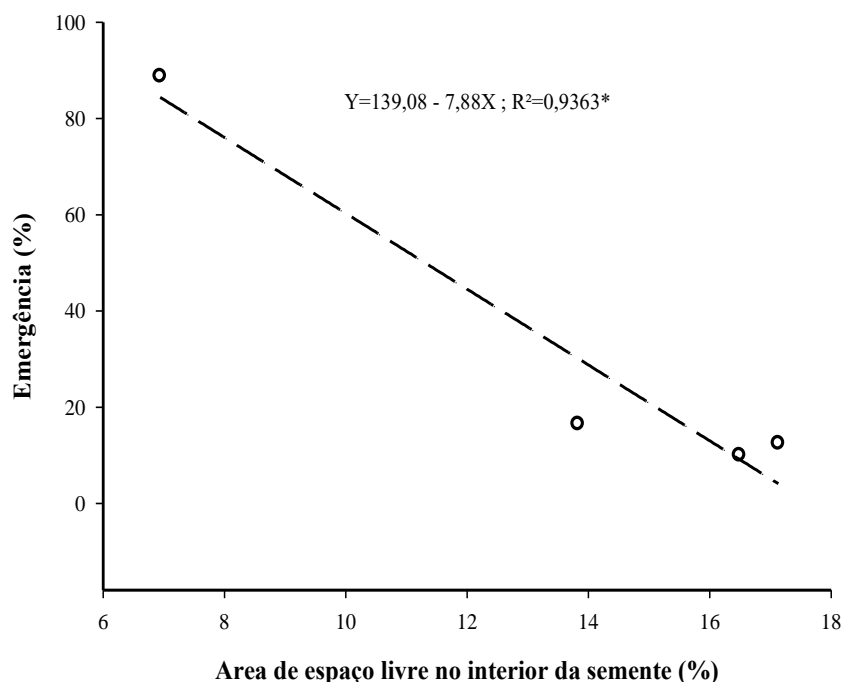
A condição morfológica das sementes, obtida por meio de imagens das estruturas internas, reflete resultado cumulativo de todos os fatores que influenciam a perda de viabilidade e os danos acumulados durante o processo de dessecação, principalmente em sementes recalcitrantes (GOODMAN et al., 2005). Além disso, de acordo com Dell'Aquila (2007), a área de espaço livre pode ser considerada um indicador do potencial de germinação e está bem relacionada também com o aumento de plântulas anormais.

O valor máximo para a porcentagem de emergência, de 88%, foi obtido para as sementes com teor de água inicial, ocorrendo decréscimo neste parâmetro com o avanço do processo de secagem (Figura 12).



**Figura 12.** Porcentagem de emergência de plântulas de *E. dysenterica* DC. oriundas de sementes submetidas à secagem.\*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F ( $p < 0,05$ ).

Foi possível estabelecer relação direta entre o aumento da área livre na cavidade das sementes e a emergência de plântulas, com correlação negativa significativa ( $r = -0,8797$ ) entre a área de espaço livre e a emergência de plântulas. Deste modo, quanto maior a área de espaço livre no interior da semente, menor a porcentagem de emergência de plântulas (Figura 13).



**Figura 13.** Correlação entre a área de espaço livre e a porcentagem de emergência de plântulas de *E. dysenterica* DC. oriundas de sementes submetidas à secagem. ( $r = -0,8797$ ).

Para sementes de girassol armazenadas durante 4 meses, a análise de raios X das sementes permitiu a visualização da estrutura interna e o estudo entre a morfologia e a germinação, mas a maior área ocupada pelo embrião não conferiu maior germinação para as sementes (ROCHA et al., 2014).

A secagem resultou em redução da área embrionária no interior da semente e, conseqüentemente, em redução no vigor e desempenho das plântulas. Assim, a análise de imagens de raios X confirmou o efeito negativo da secagem no desempenho fisiológico das sementes de *E. dysenterica* DC., reafirmando sua recalcitrância. O teste de raios X é uma ferramenta útil para avaliar a qualidade física de sementes florestais, permitindo a identificação de sementes vazias, com danos por infestação de insetos e com alterações físicas, de modo que tais sementes sejam retiradas dos lotes destinados ao armazenamento ou à produção de mudas (MASETTO et al., 2007).

#### 4.4 CONCLUSÕES

Sementes de *E. dysenterica* DC. apresentam o padrão trifásico clássico de absorção de água, com rápido ganho de massa nas primeiras 60 horas de embebição e porcentagem de germinação chegando a 94,4% após 192 horas.



Pela análise de imagens de raios X, obtidas no teste de raios X, é possível estabelecer relação direta entre o aumento da área de espaço livre no interior da semente e a redução da emergência de plântulas.

A secagem por períodos superiores a 24 horas, independentemente do tipo, influencia negativamente o vigor das sementes de *E. dysenterica* DC., reafirmando a característica recalcitrante das sementes desta espécie. O processo de secagem alterou a morfologia interna das sementes e tais alterações influenciaram diretamente seu vigor e desempenho fisiológico.

#### 4.5 REFERÊNCIAS

ALVES, E.U.; SILVA, K.B.; BRUNO, R.L.A.; ALVES, A.U.; CARDOSO, E.A.; GONÇALVES, E.P.; BRAZ, M.S.S. Comportamento fisiológico de sementes de pitombeira [*Talisia esculenta* (A. ST. Hil) Radlk] submetidas à desidratação. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, n. 2, p. 509-516, 2008.

AMARA, I.; ODENA, A.; OLIVEIRA, E.; MORENO, A.; MASMOUDI, K.; PAGÉS, M.; GODAY, A. Insights into maize LEA proteins: from proteomics to functional approaches. **Plant and Cell Physiology**, v. 53, n. 2, p. 312-329, 2012.

ANDRADE, A.C.S.; CUNHA, R.; SOUZA, A.F.; REIS, R.B.; ALMEIDA, K.L. Physiological and morphological aspects of seed viability of a neotropical savannah tree, *Eugenia dysenterica* DC. **Seed Science and Technology**, v.31, n. 1, p.125-137, 2003.

BARTELS, D. Desiccation tolerance studied in the resurrection plant *Craterostigma plantagineum*. **Integrative and Comparative Biology**, v.45, n. 5, p. 696-701. 2005.

BERJAK, P.; PAMMENTER, N.W. Implications of the lack of desiccation tolerance in recalcitrant seeds. **Frontiers in plant science**, v. 4, n. 478, p. 1-9, 2013.

BINO, R.J.; AARTSE, J.W.; BURG, W.J.; Non-destructive X-ray of *Arabidopsis* embryo mutants. **Seed Science Research**, v.3, n.3, p.167-170, 1993.

BOUDET, J.; BUITINK, J.; HOEKSTRA, F.A.; ROGNIAUX, H.; LARRÉ, C.; SATOUR, P.; LEPRINCE, O. Comparative analysis of the heat stable proteome of radicles of *Medicago truncatula* seeds during germination identifies late embryogenesis abundant proteins associated with desiccation tolerance. **Plant physiology**, v. 140, n. 4, p. 1418-1436, 2006.

BRASIL. CAGAITEIRA (*Eugenia dysenterica* DC.). Boletim Técnico - n. 78, p. 1-21 – Lavras, 2008.

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

CAMILO, Y.M.V.; SOUZA, E.R.B.; VERA, R.; NAVES, R.V. Caracterização de frutos e seleção de progênies de cagaiteiras (*Eugenia dysenterica* DC.). **Científica**, v. 42, n. 1, p. 01-10, 2014.

CARAMORI, S.S.; LIMA, S. C.; FERNANDES, K. F. Biochemical characterization of selected plant species from Brazilian Savannas. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 47, n. 2, p. 253–259, 2004.

CARVALHO, L.R.; CARVALHO, M.L.M.; DAVIDE, A.C. Utilização do teste de raios-X na avaliação da qualidade de sementes de espécies florestais de Lauraceae. **Revista Brasileira de Sementes**, v.31, n.4, p.57-66, 2009.

COMIN, A.; PEREIRA, L.; MACIEL, C.G.; CHIES, J.; MUNIZ, M.F.B. Secagem e armazenamento de sementes de *Eugenia uniflora* L. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. Recife, v.9, n.1, p.84-90, 2014.

CRISPIM, J.E.; MARTINS, J.C.; PIRES, J.C.; ROSOLEM, C.A.; CAVARIANI, C. Determinação da taxa de respiração em sementes de soja pelo método da titulação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.29, n.10, p. 1517-1521, 1994.

DANTAS, B.F.; CORREIA, J.S.; MARINHO, L.B.; ARAGÃO, C.A. Alterações bioquímicas durante a embebição de sementes de catingueira (*Caesalpinia pyramidalis* Tul.). **Revista Brasileira de Sementes**, v.30, n.1, p.221-227, 2008a.

DELAHAIE, J.; HUNDERTMARK, M.; BOVE, J.; LEPRINCE, O.; ROGNIAUX, H.; BUITINK, J. LEA polypeptide profiling of recalcitrant and orthodox legume seeds reveals ABI3-regulated LEA protein abundance linked to desiccation tolerance. **Journal of experimental botany**, v. 64, n. 14, p. 4559-4573, 2013.

DELGADO, L.F.; BARBEDO, C.J. Tolerância à dessecação de sementes de espécies de *Eugenia*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.2, p.265-272, 2007.

DELL'AQUILA, A. Pepper seed germination assessed by combined X-radiography and computer-aided imaging analysis. **Biologia Plantarum**, v.51, n.04, p. 777-781, 2007.

FARRANT, J.M., PAMMENTER, N.W., BERJAK, P. Recalcitrance: a current assessment. **Seed Science and Technology**, v. 16, n. 1, p. 155-166, 1988.

FERNANDES, M.R.; BARBOZA, M.P.; SOUZA-LEAL, T.; PEDROSO-DE-MORAES, C. Morfobiometria carpo-seminal e germinação de *Lafoensia pacari* A. St. Hil. (Lythraceae) exposta a diferentes concentrações de GA<sub>3</sub>. **Semina. Ciências Agrárias**, v. 33, p. 2571-2584, 2012.

FERREIRA, D.F. **Sistema de análise estatística - SISVAR**. Lavras: UFLA, 2000.

GOLOVINA, E.A.; VAN, A.S. H.; HOEKSTRA, F.A. Membrane chemical stability and seed longevity. **European Biophysic Journal**, Heidelberg, v. 39, p. 657-668, 2010.

GOODMAN, R.C.; JACOBS, D.F.; KARRFALT, R.P. Evaluating desiccation sensitivity of *Quercus rubra* acorns using X-ray image analysis. **Canadian Journal of Forest Research**, v.35, p. 2823-2831, 2005.

- GUSMÃO, E.; VIEIRA, F.A.; FONSECA, E.M. Biometria de frutos e endocarpos de murici (*Byrsonima verbascifolia* Rich. Ex. A. Juss). **Cerne**, v. 12, n. 1, p. 84-91, 2006.
- JUSTO, C.F.; ALVARENGA, A.A.; ALVES, E.; GUIMARÃES, R.M.; STRASSBURG, R.C. Efeito da secagem, do armazenamento e da germinação sobre a micromorfologia de sementes de *Eugenia pyriformis* Camb. **Acta Botanica Brasilica**, v. 21, n. 3, p.539-551, 2007.
- KLINK, C.A.; MACHADO, R.B.A conservação do Cerrado brasileiro. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 147-155, 2005.
- LAIME, E.M.O.; OLIVEIRA, D.C.S.; ALVES, E.U.; GUEDES, R.S. Emergência e crescimento inicial de plântulas de *Inga ingoides* (RICH.) WILLD. em função da secagem das sementes. **Engenharia Ambiental**, v. 8, p. 237-250, 2011.
- MACHADO, C.F.; CICERO, S.M. “Aroeira-branca” [*Lithraea molleoides* (Vell.) Engl. - Anacardiaceae] seed quality evaluation by the X-ray test. **Scientia Agricola**, v.60, n.2, p.393-397, 2003.
- MAGUIRE, J. D. Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v.2, p.176-177, 1962.
- MARCOS FILHO, J.; GOMES JUNIOR, F.G.; BENNETT, M.A.; WELLS, A.A.; STIEVE,S. Using Tomato Analyzer software to determine embryo size in X-rayed seeds. **Revista Brasileira de Sementes**, v.32, n.2, p.146-153, 2010.
- MASETTO, T.E.; DAVIDE, A.C.; SILVA, E.A.A.; FARIA, J.M.R. Avaliação da qualidade de sementes de *Eugenia pleurantha* (Mytaceae) pelo teste de raios X. **Revista Brasileira de Sementes**, v.29, n.3, p.170-174, 2007.
- NAMBARA, E.; OKAMOTO, M.; TATEMATSU, K.; YANO, R.; SEO, M.; KAMIYA, Y. Abscisic acid and the control of seed dormancy and germination. **Seed Science Research**, v.20, n.2, p. 55–67, 2010.
- OLIVEIRA, C.F.; OLIVEIRA, D.C.; PARISI, J.J.D.; BARBEDO, C.J. Deterioração de sementes de espécies brasileiras de *Eugenia* em função da incidência e do controle de fungos. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, n. 3 p. 520-532, 2011.
- OLIVER, M.J.; GUO, L.; ALEXANDER, D.C.; RYALS, J.A.; WONE, B.W.; CUSHMAN, J. C. A sister group contrast using untargeted global metabolomic analysis delineates the biochemical regulation underlying desiccation tolerance in *Sporobolus stapfianus*. **The Plant Cell Online**, v. 23, n. 4, p. 1231-1248, 2011.
- PAMMENTER, N.W.; BERJAK, P. Aspects of recalcitrant seed physiology. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 12 (edição especial), p. 56-69, 2000.
- RADWAN, A.; HARA, M.; KLEINWÄCHTER, M.; SELMAR, D. Dehydrin expression in seeds and maturation drying: a paradigm change. **Plant Biology**, v. 16, n. 5, p. 853-855, 2014.
- ROCHA, C.R.M.; SILVA, V.N.; CICERO, S.M. Internal morphology and germination of sunflower seeds. **Journal of Seed Science**, v. 36, n. 1, p. 48-53, 2014.

SANTOS, C.R.; MENEZES, N.L.; VILLELA, F.A. Modificações fisiológicas e bioquímicas em sementes de feijão no armazenamento. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 27, n. 1, p.104-114, 2005.

SANTOS, P.C.G.; ALVES, E. U.; GUEDES, R. S.; SILVA, K. B.; CARDOSO, E. A.; LIMA, C. R. Qualidade de sementes de *Hancornia speciosa* Gomes em função do tempo de secagem. **Semina. Ciências Agrárias**, v. 31, n. 2, p. 343-352, 2010.

SILVA, L.A.; SALES, J.F.; OLIVEIRA, J.A.; SANTOS, H.O.; LARA, T.S.; SOARES, M.A. Physiological and biochemical performance of *Pouteria ramiflora* (Mart.) Radlk. seeds harvested at different maturation stages and subjected to drying. **African Journal of Agricultural Research**, v. 9, n. 20, p. 1550-1559, 2014.

SILVA, R.S.M; CHAVEZ, L.J.; NAVES, R.V. Caracterização de frutos e árvores de cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.) no sudeste do estado de Goiás, Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 23, n. 2, p. 330-334, 2001.

VIEIRA, R. F.; AGOSTINI-COSTA, T. D. S.; SILVA, D. B.; SANO, S. M.; FERREIRA, F. R. **Futas nativas da região Centro-Oeste do Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informações Tecnológicas, 2010. 322p.

VIEIRA, R.D. **Teste de condutividade elétrica**. In: VIEIRA, R.D.; CARVALHO, N.M. de. Testes de vigor em sementes. Jaboticabal: FUNEP, 1994. p.103-132.

## 5. CAPÍTULO II

### **Análise de imagem de raios X em aquênios de *Anacardium othonianum* Rizz. (Anacardiaceae) submetidos à secagem**

Radiographic image analysis of *Anacardium othonianum* Rizz (Anacardiaceae) achenes  
subjected to desiccation

(Artigo aceito para publicação na Revista Acta Scientiarum: Agronomy)

**RESUMO:** Objetivou-se com este estudo verificar a eficiência do teste de raios X na avaliação da viabilidade de aquênios de caju-de-árvore-do-cerrado (*Anacardium othonianum* Rizz.) submetidos à secagem. Para tal, os aquênios foram coletados com 12% (b.u.) e submetidos à secagem em sílica gel até a obtenção dos teores de água de 10, 8, 6 e 4% (b.u.), sendo em seguida avaliados quanto à viabilidade e ao vigor pelos testes de germinação, condutividade elétrica e emergência de plântulas e quanto à morfologia interna e qualidade física pelo teste de raios X. Para a obtenção das imagens de raios X, aquênios, com diferentes teores de água, foram expostos à radiação em aparelho de raios X digital “Faxitron HP”, MX-20, à intensidade de 18 kV por 11 segundos, e posteriormente submetidos ao teste de emergência. As imagens de raios X foram analisadas e os aquênios classificados, de acordo com a morfologia interna, em três categorias: cheios, mal formados e vazios, sendo os resultados comparados com os obtidos no teste de emergência. O delineamento estatístico utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial (5 x 3). O teste de raios X foi eficiente na avaliação da morfologia interna e na identificação de danos internos na estrutura dos aquênios. Aquênios cheios apresentam maior potencial de germinação e vigor.

**X-ray image analysis of *Anacardium othonianum* Rizz (Anacardiaceae) achenes subjected to desiccation**

(Article accepted for publication in the Acta Scientiarum: Agronomy journal)

**ABSTRACT:** This paper aimed to verify the efficiency of X-ray test in evaluation of viability of caju-de-árvore-do-cerrado (*Anacardium othonianum* Rizz.) achenes subjected to drying. For this purpose, achenes were collected with 12% water content (w.b.) and subjected to drying in silica gel until reach 10, 8, 6, and 4% (w.b.) water content; subsequently, they were evaluated on the feasibility and vigor by germination, electrical conductivity, and seedlings emergence tests, and also on internal morphology and physical quality by X-ray test. To obtain the X-ray images, the achenes with different water contents were exposed to X-ray digital apparatus, HP Faxitron MX-20, at 18-kV intensity for 11 seconds, and then submitted to the emergency test. The X-ray images were analyzed, and on the basis of internal morphology, achenes were classified as full, malformed, or empty. Results were compared to those of the emergence tests. The statistical design was a completely randomized in 5 x 3 factorial scheme. X-ray test was efficient for internal morphology evaluation and for identification of internal damage in the achenes structure. Full achenes have greater potential of germination and vigor.

**KEYWORDS:** X-Ray. Native fruit tree of cerrado (savannah). Desiccation. Internal morphology.

## **5.1 INTRODUÇÃO**

O *Anacardium othonianum* Rizz, conhecido popularmente como caju-de-árvore-do-cerrado, cajuzinho e cajuí, é uma espécie frutífera nativa do Cerrado brasileiro pertencente à família Anacardiaceae, bastante conhecida e apreciada na região dos Cerrados do Planalto Central do Brasil, habitando o campo sujo e o cerradão (MENDONÇA et al., 1998). É o principal cajueiro de importância econômica para esta região e seu nome é uma homenagem ao Dr. Othon Xavier de Brito Machado, primeiro botânico a descrever um cajueiro arbóreo do Cerrado (RIZZINI, 1969).

Esta espécie difere das demais espécies de caju encontrados no domínio Cerrado pelo elevado porte da planta, podendo atingir de 3 a 6 metros de altura por 3 a 4 metros de diâmetro de copa, com propagação predominantemente via sementes. As flores dos

cajueiros são hermafroditas e unissexuais; as masculinas aparecem no início da floração e as hermafroditas, no fim. O fruto é um aquênio, cujo pedúnculo se desenvolve em pseudofruto que pode apresentar de 2 a 4 cm de comprimento por 2 a 3 cm de diâmetro e peso entre 5 a 12 g, com coloração variando entre amarelada e avermelhada (FERREIRA, 1973; PAULA & HERINGER, 1978). A combinação do fruto (castanha) e do pseudofruto constitui o “duplo fruto” característico do gênero. Os aquênios também variam em tamanho e forma entre os indivíduos de uma mesma população (BESSA, SILVA & MOREIRA, 2013; VIEIRA, COSTA & SILVA, 2006). É uma espécie de importância econômica e social para a população local, sendo o pseudofruto consumido *in natura* ou na forma de suco, licores, sorvetes e doces (AGOSTINI-COSTA, FARIA & NAVA, 2006). Além disso, os aquênios também são utilizados, sendo torrados para extração da castanha que tem alto valor nutricional e energético, é rica em proteínas, lipídeos, cálcio, ferro e zinco, com grande interesse na indústria alimentícia (SOUSA, FERNANDES & ALVES, 2011).

As espécies florestais nativas são caracterizadas pela alta ocorrência de predação, ataque de insetos, frutos vazios e deficiência na formação do embrião, fatores que comprometem o desempenho das sementes e o estabelecimento das plântulas em campo (GOMES, MARTINS & MARTINS, 2014). Estudos relacionados à qualidade das sementes florestais nativas, na atualidade representam apenas 0,1% das espécies encontradas nas Regras para Análise de Sementes (RAS) (BRASIL, 2009), sendo necessário o desenvolvimento de estudos que forneçam informações sobre a qualidade física e fisiológica das sementes destas espécies.

Os programas de recuperação de áreas degradadas têm grande demanda por mudas de espécies nativas, levando à intensificação dos estudos e à necessidade de desenvolvimento de métodos rápidos e eficientes para a avaliação da viabilidade de sementes florestais (MATOS, MARTINS & MARTINS, 2009). Neste sentido, a análise de imagens, principalmente obtidas por meio do teste de raios X, vem sendo empregada com sucesso para elucidar vários aspectos do comportamento e da morfologia das sementes florestais nativas. Esta técnica consiste em radiografar sementes com o objetivo de avaliar a morfologia interna e, assim, estabelecer relações com o desempenho da semente (GOMES JUNIOR et al., 2010; SILVA, FREITAS & CÍCERO, 2014).

O teste de raios X foi desenvolvido por Simak e Gustafsson (1953) como um método para avaliar a qualidade de sementes de algumas coníferas é indicado, desde os

anos 80, pela *International Seed Testing Association* (ISTA), para detecção de sementes cheias, vazias, danificadas mecanicamente ou infestadas por insetos. É um método rápido e não destrutivo que permite a avaliação da morfologia interna e da qualidade física das sementes, com a identificação de danos ou sementes vazias.

Esta técnica vem sendo empregada com sucesso em programas de controle de qualidade, pois permite a seleção de sementes sem danos para a formação de lotes de alta qualidade fisiológica e vigor, favorecendo o sucesso do processo de armazenamento e a conservação das sementes nos bancos de germoplasma. É um método de grande precisão, em que as sementes podem ser examinadas individualmente em imagens ampliadas capazes de indicar, com detalhes, a localização e a extensão das estruturas danificadas ou alteradas. Além disso, por ser um método não destrutivo, as sementes em análise podem ser submetidas a testes fisiológicos (germinação e vigor) e, desta forma, permitir o estabelecimento de relações entre os danos ou alterações observados e os prejuízos causados ao potencial fisiológico das sementes (CARVALHO, CARVALHO & DAVIDE, 2009; CÍCERO, 2010; MASETTO, DAVIDE & SILVA, 2007).

Considerando os interesses econômicos e de conservação das espécies arbóreas do Cerrado, torna-se necessário intensificar as pesquisas referentes à avaliação da qualidade das sementes. Neste sentido, a avaliação da morfologia interna das sementes, por meio do teste de raios X, é uma técnica promissora, permitindo aprimorar a qualidade dos lotes de sementes no que diz respeito aos seus atributos físicos e fisiológicos. A técnica de análise de imagens de raios X tem sido empregada com sucesso para várias espécies florestais nativas, sendo eficiente na avaliação da qualidade de sementes de *Eugenia pleurantha* (MASETTO, DAVIDE & SILVA, 2007), *Cecropia pachystachya* Trec. (PUPIM, NOVEMBRE & CARVALHO, 2008), *Cedrela fissilis* (MASETTO, FARIA & QUEIROZA, 2008), *Tabebuia heptaphylla* (AMARAL, MARTINS & FORTI, 2011), *Xylopia aromatica* (SOCOLOWSKI, CÍCERO & VIEIRA, 2011); *Syagrus romanzoffiana* (Cham) Glassman (STURIÃO, LANDGRAF & ROSA, 2012), na caracterização morfológica de embriões de *Tecoma stans* L. JUSS. ex KUNTH (SOCOLOWSKI & CÍCERO, 2008), na mensuração das áreas internas livres em sementes de *Acca sellowiana* (SILVA, SARMENTO & SILVEIRA, 2013), bem como na visualização da morfologia interna de sementes de *Terminalia argentea* (GOMES et al., 2014).

Diante da escassez de informações referentes à morfologia interna e aos efeitos da dessecação em aquênios de espécies do gênero *Anacardium*, objetivou-se com este



estudo verificar a eficiência do teste de raios X na avaliação da morfologia e da viabilidade de aquênios de caju-de-árvore-do-cerrado (*Anacardium othonianum* Rizz.) submetidos à secagem.

## 5.2 MATERIAL E MÉTODOS

**Coleta e beneficiamento:** O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Sementes do Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde (GO), e no Laboratório de Análise de Sementes do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras - MG.

Os frutos foram coletados na Fazenda Poções, no Município de Diorama, Goiás (16°5'41,06"S, 51°12'58,88"W). A coleta foi feita em área de pastagem, de cinco árvores matrizes. Após a coleta, os aquênios foram separados do pseudofruto com o auxílio de um fio de nylon, imersos em solução de hipoclorito de sódio a 5% (Solução comercial de 2,5% de cloro ativo) durante três minutos, sob agitação, lavados com água destilada e dispostos em bandeja plástica coberta com papel toalha, onde permaneceram até a remoção do excesso de água superficial.

**Secagem e obtenção dos teores de água desejados:** O teor de água inicial dos aquênios foi determinado pelo método da estufa a  $105 \pm 3$  °C por 24 horas (BRASIL, 2009 adaptado), com quatro subamostras de 10 aquênios, sendo o resultado expresso em porcentagem de base úmida (% b.u.). Após a determinação do teor de água inicial, os aquênios foram submetidos à secagem em sílica gel até a obtenção dos teores de água desejados. Em um recipiente plástico, hermeticamente fechado, os aquênios foram colocados em contato direto com uma camada uniforme de sílica gel azul, em temperatura de  $25 \pm 4$ °C. Durante o período de secagem, a massa dos aquênios foi verificada periodicamente em balança de precisão até alcançar massas referentes aos teores de água de 10, 8, 6 e 4 % de base úmida (b.u.). A perda de água dos aquênios foi determinada por meio da seguinte fórmula (SACANDÉ et al., 2004):

$$Pf = Pi \cdot \left( \frac{100 - TAI}{100 - TAF} \right)$$

Em que Pf é a massa final da amostra (g); Pi, a massa inicial da amostra (g); TAI, o teor de água inicial dos aquênios (% b.u.); e TAF, o teor de água desejado (% b.u.).

Após a imposição da secagem e obtenção dos teores de água desejados, o estudo foi dividido em 2 ensaios.

### **Ensaio 1 – Efeitos da secagem sobre a qualidade fisiológica de aquênios de *Anacardium othonianum* Rizz.**

Após a imposição da secagem e a obtenção dos teores de água desejados, os aquênios foram submetidos a avaliações da qualidade fisiológica e do vigor por meio dos seguintes testes:

**Teste de germinação:** Para o teste de germinação, os aquênios foram semeados em folhas de papel para germinação do tipo “germitest” no sistema de rolo, com duas folhas para a base e uma para a cobertura. O substrato foi umedecido com água destilada, em quantidade equivalente a 2,5 vezes o peso seco (BRASIL, 2009). Foram empregadas quatro repetições de 25 aquênios. Os rolos foram mantidos em germinador regulado à temperatura de 30°C durante o período de 30 dias. Avaliações diárias foram feitas até a completa estabilização para o cálculo do **índice de velocidade de germinação (IVG)**, segundo Maguire (1962). Para a porcentagem de germinação, foram consideradas apenas as plântulas normais, ou seja, aquelas que apresentavam todas as estruturas essenciais desenvolvidas, sem nenhum tipo de dano, trinta dias após a semeadura.

**Teste de condutividade elétrica:** Foram utilizadas quatro repetições de 15 aquênios de cada tratamento. A massa dos aquênios foi obtida em balança eletrônica com precisão de duas casas decimais. Em seguida, os aquênios foram acondicionados em copos plásticos contendo 75 mL de água deionizada e permaneceram em embebição por um período de 24 horas, em câmara de germinação do tipo *Biochemical Oxygen Demand* (B.O.D.) regulada à temperatura de 25°C. Decorrido este período, a condutividade elétrica da água de embebição foi determinada com auxílio de um condutivímetro digital de bancada, da marca Technal, modelo TEC-4MP, e os resultados foram expressos em  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ , de acordo com o método descrito por Vieira, Krzyzanowski e França Neto (1999).

**Teste de emergência:** A semeadura foi feita em bandejas plásticas contendo como substrato areia lavada, utilizando quatro repetições de 25 aquênios cada, na profundidade de 3 cm. Foram feitas contagens diárias, computando-se a emergência das plântulas acima de 1,5 cm do substrato, a fim de se determinar o **índice de**

**velocidade de emergência de plântulas (IVE)**, de acordo com Maguire (1962). Decorridos 45 dias após a semeadura, a porcentagem de emergência correspondeu à porcentagem de plantas normais, ou seja, aquelas plantas com todas as estruturas essenciais formadas, sem nenhum dano.

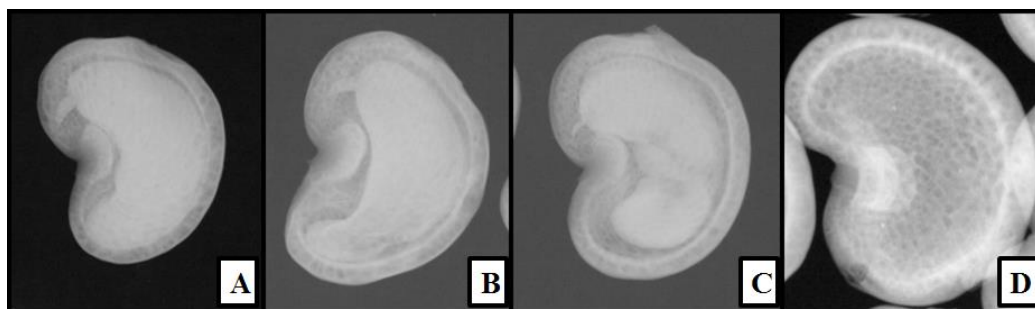
**Delineamento estatístico:** O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e de regressão polinomial. Todas as análises foram feitas com auxílio do software estatístico SISVAR, versão 4.6 (FERREIRA, 2000). As regressões polinomiais foram ajustadas utilizando o software Sigma Plot<sup>®</sup>10.0.

### **Ensaio 2 – Teste de raios X e análise de imagens de raios X dos aquênios de *Anacardium othonianum* Rizz.**

Para o teste de raios X, os aquênios, com diferentes teores de água, foram acondicionadas em embalagens plásticas, hermeticamente fechadas, e encaminhados ao Laboratório de Análises de Sementes (LAS) da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

Foram empregadas 10 repetições de 20 aquênios, de cada tratamento, radiografando ao todo 200 aquênios de cada teor de água. Para a obtenção das imagens de raios X, os aquênios foram devidamente numerados, dispostos em cavidades individualizadas feitas em placas de isopor e submetidos à radiação em equipamento de raios X “Faxitron HP”, modelo MX-20. A intensidade de radiação, ajustada automaticamente pelo equipamento, foi de 18 Kv, e o tempo de exposição dos aquênios aos raios X foi de 11 segundos. As imagens de raios X digitais obtidas foram temporariamente armazenadas no disco rígido de um computador.

Por meio da análise das imagens de raios X, os aquênios foram classificados em três categorias, de acordo com as estruturas internas: **Aquênios cheios**, com toda a cavidade interna preenchida pelos cotilédones e sem nenhum dano; **Aquênios mal formados**, quando apresentavam alguma anormalidade na morfologia dos cotilédones ou do eixo embrionário; e **Aquênios vazios**, quando tinham a cavidade interna totalmente translúcida ou menos que 50% dos tecidos essenciais para a germinação (Figura 1).



**Figura 1.** Aquênios de *A. othonianum* Rizz. classificados como Cheio (A), Mal formados (B e C) e Vazios (D) através da análise das imagens de raios X.

Após a realização da análise das imagens de raios X e classificação dos aquênios, para cada categoria de aquênios obtida pelo teste de raios X foi feito o teste de emergência de plântulas no Laboratório de Sementes do Instituto Federal Goiano - Câmpus Rio Verde-GO. Para tal, os aquênios foram semeados em bandejas plásticas, a 3 cm de profundidade em substrato areia lavada, e a avaliação ocorreu aos 45 dias após a semeadura.

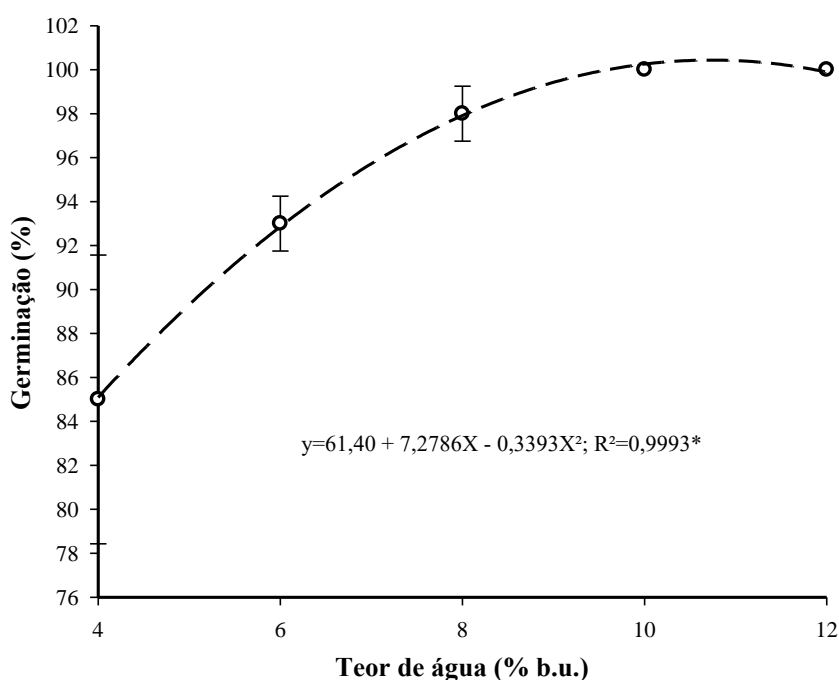
O substrato foi irrigado três vezes ao dia e as bandejas permaneceram em sala de crescimento com temperatura média de  $28,5 \pm 5^\circ\text{C}$  e umidade relativa média de  $68 \pm 8,5\%$  durante o período de avaliações. A interpretação dos resultados do teste de raios X foi feita por comparação da imagem radiográfica com a respectiva imagem da plântula normal, anormal ou semente morta ao final do teste de emergência. Os aquênios de *A. othonianum* Rizz sofrem intensa infestação fúngica durante a germinação, principalmente quando o teste de germinação é feito em substrato do tipo papel “germitest”, o que poderia dificultar a interpretação dos resultados, por este motivo, optou-se por avaliar os aquênios do teste de raios X em substrato areia lavada por meio do teste de emergência.

O experimento foi feito em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial (5x3), sendo cinco teores de água e três categorias estabelecidas conforme a análise radiográfica da morfologia interna dos aquênios, com as unidades experimentais dispostas inteiramente ao acaso. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 5% de probabilidade e análise de regressão polinomial. Todas as análises foram feitas com o auxílio do software estatístico SISVAR, versão 4.6 (FERREIRA, 2000).

### 5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### Ensaio 1 – Efeitos da secagem sobre a qualidade fisiológica de aquênios de caju-de-árvore-do-cerrado

O percentual de germinação foi de 100% para aquênios com teor de água inicial (12% b.u.) e para os aquênios com 10% (b.u.) de teor de água. A partir do teor de água de 8% (b.u.), houve redução da germinação em resposta à perda de água dos aquênios, chegando ao valor de 85% de germinação quando os aquênios estavam com apenas 4% (b.u.) de teor de água (Figura 2).

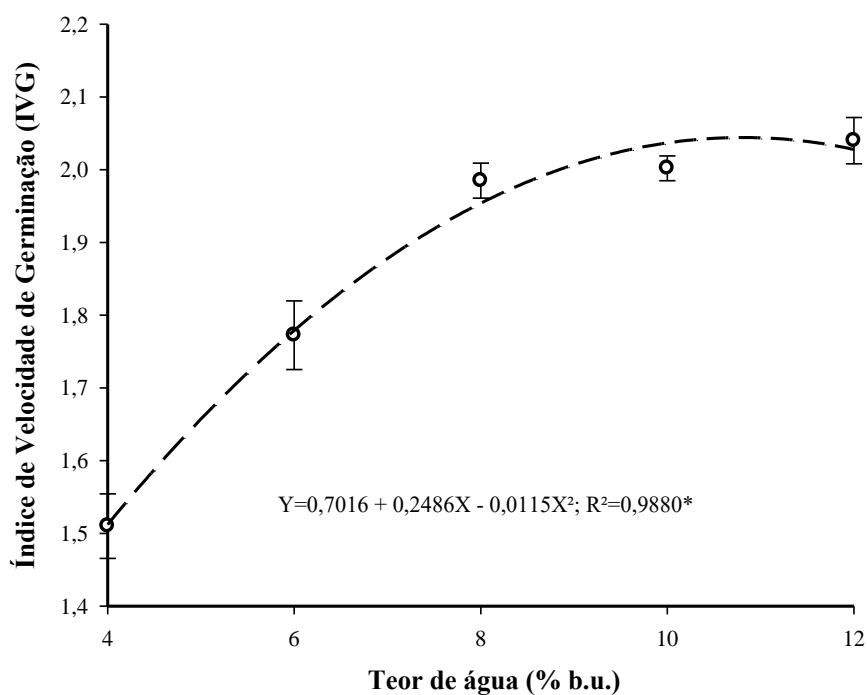


**Figura 2.** Porcentagem de germinação de aquênios de *A. othonianum* Rizz. com diferentes teores de água.\* Significativo a 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ). Barra: Erro padrão da média.

Apesar da redução observada no percentual de germinação, o valor alcançado para aquênios com teor de água ultrabaixo (4% b.u.) foi considerado satisfatório. Este resultado é consistente com o esperado para sementes ortodoxas e ressalta a alta qualidade do lote de aquênios avaliado.

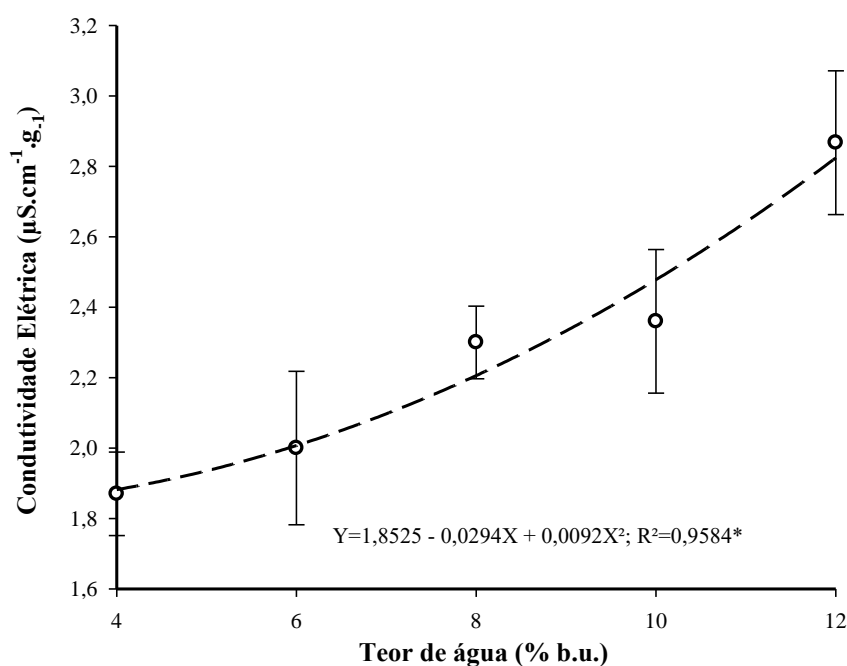
O índice de velocidade de germinação (IVG) seguiu o mesmo padrão observado para a porcentagem de germinação. O maior valor foi observado para aquênios com teor de água 10,8% (b.u.) com 2,04 aquênios germinados por dia de avaliação, ocorrendo

decréscimo neste valor à medida que o teor de água dos aquênios era reduzido até 4% (b.u.) (Figura 3).



**Figura 3.** Índice de velocidade de germinação (IVG) de aquênios de *A. othonianum* Rizz. com diferentes teores de água.\* Significativo a 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ). Barra: Erro padrão da média.

Houve redução da condutividade elétrica da água de embebição em resposta à secagem dos aquênios de *A. othonianum* Rizz. (Figura 4).



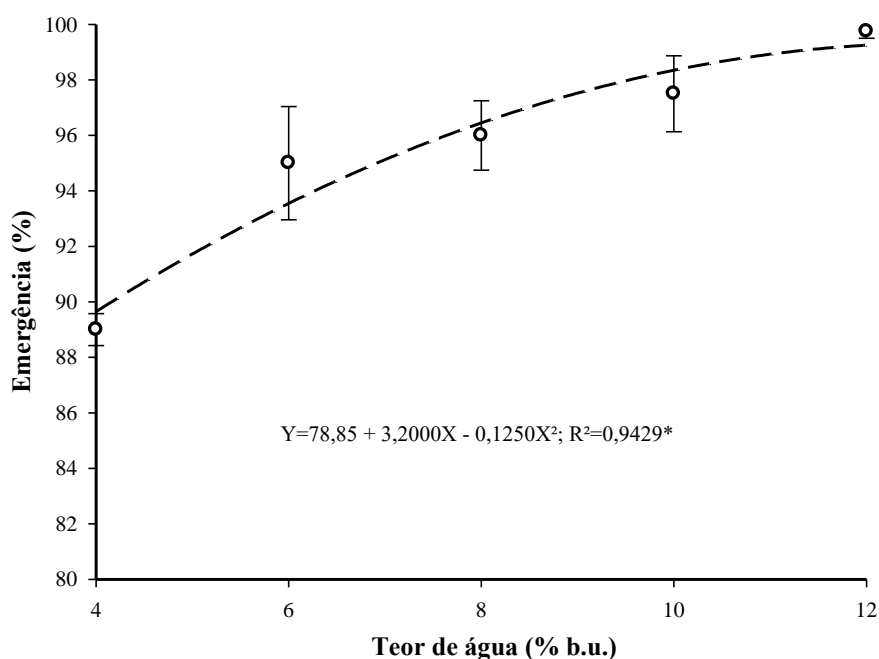
**Figura 4.** Condutividade elétrica da água de embebição de aquênios de *A. othonianum* Rizz. com diferentes teores de água.\* Significativo a 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ). Barra: Erro padrão da média.

Resultado semelhante foi encontrado por Silva, Sales e Silva (2013), que observaram redução da liberação de exsudados para aquênios de *A. othonianum* Rizz submetidos à secagem em sílica gel até 4% (b.u.) de teor de água.

A secagem promoveu a perda de água de constituição dos aquênios e pode ter funcionado como um sinalizador para a expressão de genes de proteção e reparos de danos, permitindo a reestruturação do sistema de membranas das células e impedindo a perda de íons da solução intracelular.

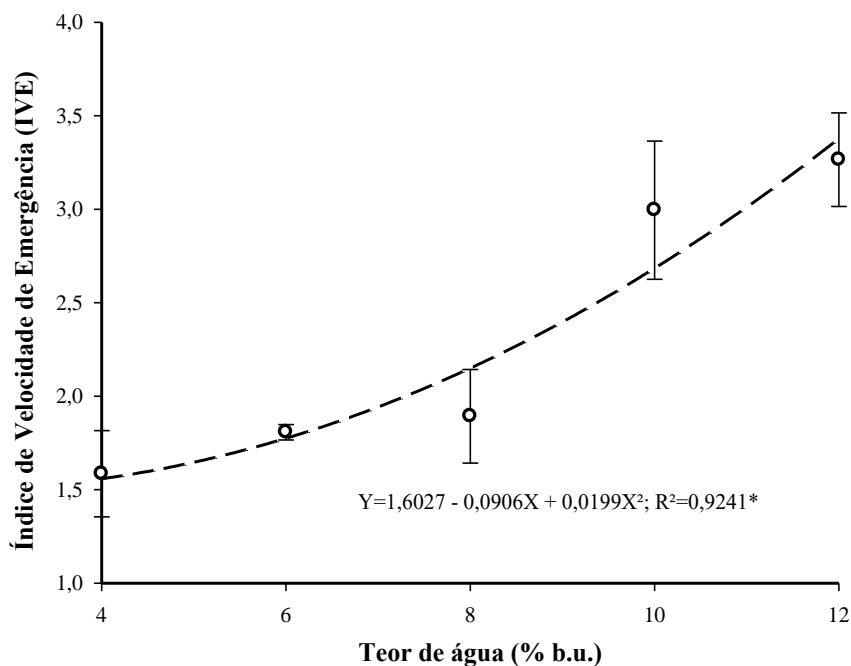
A desestruturação do sistema de membranas resulta na perda de sua semipermeabilidade e acarreta a lixiviação de componentes essenciais do metabolismo, marcando o início do processo de deterioração em sementes (GOLOVINA, VAN & HOEKSTRA, 2010; SANTOS, MENEZES & VILLELA, 2005). No entanto, em sementes ortodoxas, os genes que expressam mecanismos de proteção ou reparo de membrana são ativados em resposta à redução do teor de água, evitando a ocorrência de danos, contribuindo para a aquisição de tolerância à dessecação (GOYAL, WALON & TUNNCLIFE, 2005; ILLING, DENBY & COLLET, 2005).

Aquênios com teor de água inicial de 12% (b.u.) chegaram a 99,75% de emergência, ocorrendo redução neste valor para 89% em resposta à redução do teor de água para 4% (b.u.) (Figura 5).



**Figura 5.** Porcentagem de emergência de plântulas a partir de aquênios de *A. othonianum* Rizz. com diferentes teores de água.\*Significativo a 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ). Barra: Erro padrão da média.

O índice de velocidade de emergência (IVE) também sofreu redução à medida que o teor de água dos aquênios era reduzido (Figura 6).



**Figura 6.** Índice de velocidade de emergência (IVE) de plântulas oriundas de aquênios de *A. othonianum* Rizz. com diferentes teores de água.\*Significativo a 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ). Barra: Erro padrão da média.

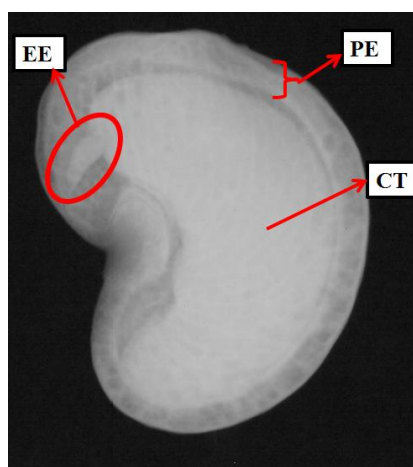


Mesmo quando o teor de água dos aquênios foi reduzido para valores considerados extremamente baixos para a manutenção da viabilidade de sementes, tais como 4% (b.u.), os resultados de vigor e potencial fisiológico foram mantidos dentro de padrões aceitáveis, com percentual de emergência de 89% e índice de velocidade de emergência de 1,51 plântulas emergindo por dia de avaliação, mostrando a capacidade de manutenção da qualidade fisiológica dos aquênios de *A. othonianum* Rizz. durante a dessecação, reafirmando o caráter ortodoxo dos aquênios desta espécie.

### Ensaio 2 – Teste de raios X e análise de imagens de raios X dos aquênios

O teor de água é fator de grande importância na execução do teste de raios X, visto que pode influenciar diretamente a qualidade e a nitidez da imagem radiográfica formada. No entanto, neste trabalho, não houve diferença de nitidez ou qualidade nas imagens dos aquênios com diferentes teores de água avaliados. Este fato pode ser explicado pelo baixo teor de água inicial dos aquênios (12% b.u.), o que favorece a nitidez da imagem formada. Por exemplo, para sementes de pimentão, o mínimo de 12% de teor de água foi indicado para a formação de imagens de raios X com maior nitidez, ao passo que sementes com elevados teores de água formaram imagens desfocadas (GAGLIARDI & MARCOS FILHO, 2011).

A exposição à radiação de 18 Kv durante 11 segundos permitiu a visualização da morfologia interna dos aquênios de *A. othonianum* Rizz., possibilitando a identificação das estruturas internas do aquênio, tais como pericarpo, cotilédones e a região do eixo embrionário (Figura 7).



**Figura 7.** Imagem de aquênio de *A. othonianum* Rizz com destaque para a região do eixo embrionário (EE), pericarpo (PE) e para os cotilédones (CT).

Na análise de variância para a porcentagem de aquênios de *A. othonianum* Rizz. com diferentes teores de água e em cada categoria do teste de raios X, foi observado efeito significativo apenas para as classes do teste de raios X (Tabela 1).

**Tabela 1.** Valores de quadrados médios e significâncias para a porcentagem de aquênios de *A. othonianum* Rizz. com diferentes teores de água em cada classe do teste de raios X, considerando os fatores teores e classes, bem como suas interações.

Fonte de variação	GL	QM	Sig
Teor de água	4	131,20010	0,4097 <sup>ns</sup>
Classes	2	56635,40517	0,000**
Teor X Classes	8	134,17735	0,4223 <sup>ns</sup>
Resíduo	45	129,21709	-

\*\*Significativo ao nível de 1% de probabilidade; <sup>ns</sup>Não significativo ( $p \geq 0,05$ ).

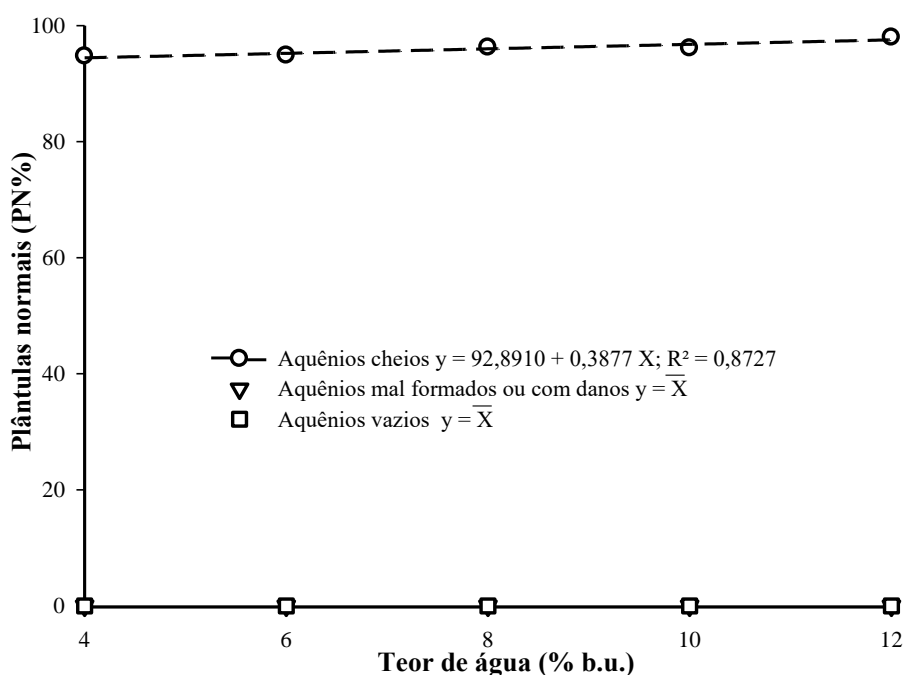
Em relação às classes, independentemente do teor de água dos aquênios, mais de 93% foram classificados como cheios e totalmente formados, mostrando o alto vigor do lote de aquênios avaliado (Tabela 2).

**Tabela 2.** Classificação dos aquênios de *A. othonianum* Rizz. com diferentes teores de água por meio da análise de imagens de raios X.

Classes do teste de raios X	Porcentagem de Aquênios
Cheios	93,30 a
Mal formados	1,11 b
Vazios	1,16 b

\*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de significância de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Para aquênios classificados como cheios, o maior percentual de plântulas normais (97,97%) foi observado no teor de água de 12% (b.u.), ocorrendo decréscimo neste valor em resposta à redução do teor de água (Figura 8).

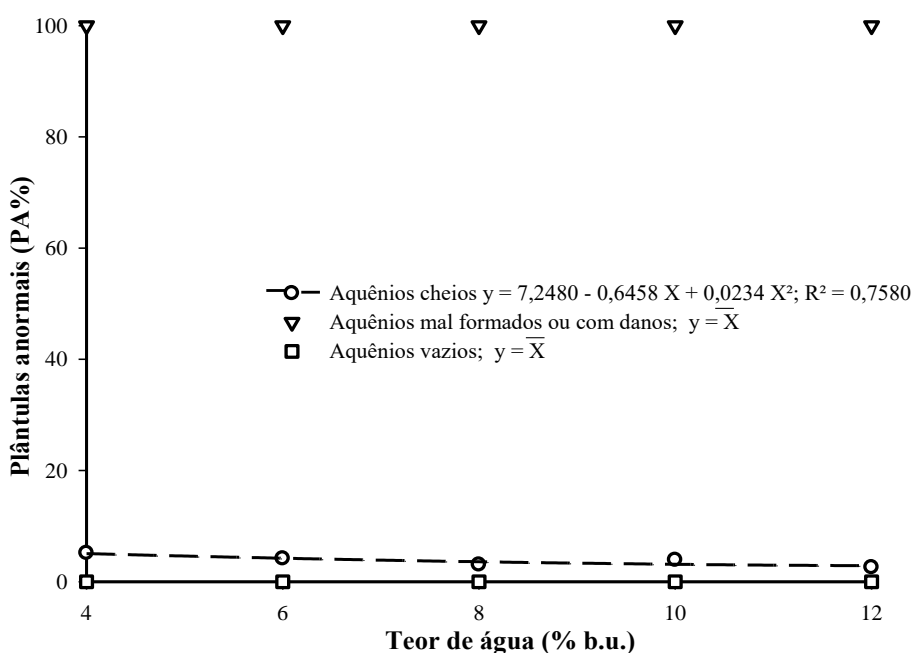


**Figura 8.** Porcentagem de plântulas normais (PN%) oriundas de aquênios de *A. othonianum* Rizz., com diferentes teores de água (% b.u.), classificados por meio da análise das imagens de raios X.

Aquênios mal formados ou com danos e aquênios vazios não formaram plântulas normais. Tal resultado mostra o efeito negativo da presença de aquênios destas classes em um lote de sementes, reduzindo significativamente o vigor e o potencial do lote analisado.

Resultado semelhante foi encontrado para aquênios de arnica (*Lychnophora pinaster*), em que, aquênios da categoria cheios, para ambos os estádios de maturação, apresentaram germinação superior às categorias mal formados e vazios (MELO, OLIVEIRA & CARVALHO, 2009).

Aquênios classificados como mal formados ou com danos originaram 100% de plântulas anormais para todos os teores de água (Figura 9).



**Figura 9.** Porcentagem de plântulas anormais (PA%) oriundas de aquênios de *A. othonianum* Rizz., com diferentes teores de água (% b.u.), classificados por meio da análise das imagens de raios X.

Para aquênios cheios, houve aumento do percentual de plântulas anormais em resposta à redução do teor de água, com maior percentual observado para o teor de água de 4% (b.u.), chegando a 5,16% de plântulas anormais ao final do teste de emergência. Apesar deste fato, a secagem em sílica gel até o teor de água de 4% (b.u.) não promoveu danos nas estruturas internas dos aquênios e não afetou seu desempenho fisiológico.

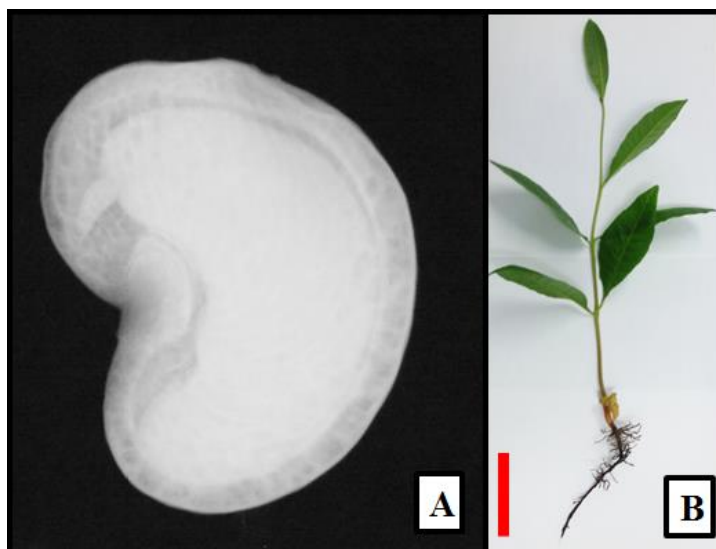
Não foi registrada germinação para aquênios vazios, de modo que 100% dos aquênios vazios originaram sementes mortas ou não germinadas ao final do teste de emergência.

Por meio da análise das imagens de raios X, não foram identificados danos estruturais, mecânicos ou fissuras promovidas pela secagem, mesmo para aquênios com teor de água de 4% (b.u.), mostrando que a secagem dos aquênios em sílica gel não altera sua morfologia interna e não promove redução do volume ocupado pelo embrião.

Diferentemente do presente trabalho, em diásporos de canela-batalha (*Cryptocarya aschersoniana* Mez.), a análise de imagens radiográficas mostrou que ocorre aumento do afastamento entre o endocarpo e a semente, à medida que se reduz o teor de água, chegando a 0,65 mm quando o teor de água é reduzido abaixo de 26%. Além disso, as imagens de raios X possibilitaram observar redução do volume

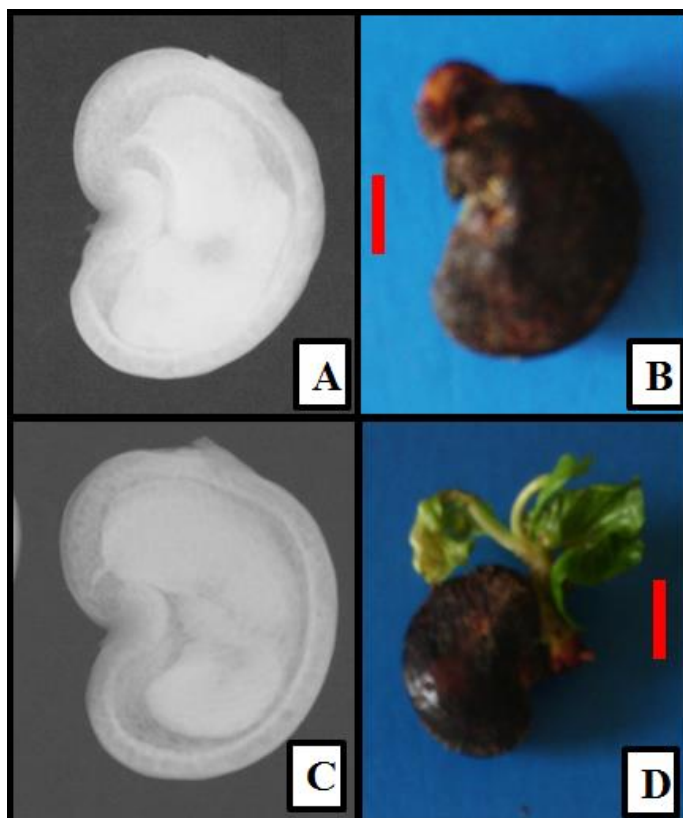
ocupado na cavidade embrionária pelo embrião em resposta à redução do teor de água em sementes de *Euterpe edulis* Martius (CURSI & CÍCERO, 2014). A análise de imagens de raios X também foi eficiente na identificação de fissuras em sementes de arroz, cultivares IRGA 417 e IRGA 420, submetidas à secagem artificial, tendo sido possível correlacioná-las com a presença de plântulas normais e anormais no teste de germinação (MENEZES, CÍCERO & VILLELA, 2012).

De modo geral, independentemente do teor de água analisado, mais de 93% dos aquênios foram classificados como cheios e não apresentaram nenhum dano, resultando em uma média de 96% de plantas normais ao final do teste de emergência (Figura 10).



**Figura 10.** Aquênio de *A. othonianum* Rizz. classificado por meio da análise de imagens de raios X como cheio e sem nenhum dano interno (A) e a respectiva plântula normal ao final do teste de emergência (B). Barra: 2 cm.

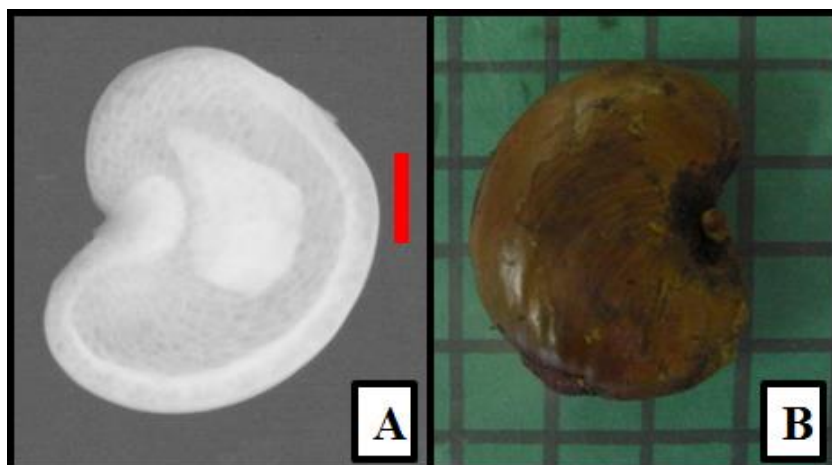
Aquênios classificados como mal formados ou com danos, independentemente do teor de água ou do ponto de dano ou má formação, resultaram em 100% de plântulas anormais ao final do teste de emergência (Figura 11).



**Figura 11.** Imagem radiográfica de aquênios de *A. othonianum* Rizz com má-formação (A e C) e as respectivas plântulas anormais ao final do teste de emergência (B e D). Em A aquênio com 4% (b.u.) e em C aquênio com 12% (b.u.). Barra: 1 cm.

Danos na estrutura dos cotilédones foram mais comuns em relação aos danos ao eixo embrionário. Não foram observados danos por ataque de insetos, bem como larvas não foram encontradas no interior dos aquênios.

Para aquênios classificados como vazios, não houve emergência, resultando em 100% de aquênios mortos ou não germinados ao final do teste de emergência (Figura 12).



**Figura 12.** Imagem radiográfica de aquênio de *A. othonianum* Rizz na categoria vazio (A) e a respectiva imagem do aquênio morto ou não germinado ao final do teste de emergência (B). Barra: 1 cm.

A presença de unidades de dispersão com danos ou vazias compromete a qualidade dos lotes de sementes e afeta negativamente o estabelecimento das plântulas em campo. Neste sentido, a análise de imagens de raios X mostrou-se eficiente na avaliação da morfologia interna e da qualidade de aquênios de *A. othonianum* Rizz., possibilitando a identificação de aquênios com danos nas estruturas internas ou vazios. Além disso, os resultados obtidos mostram que aquênios classificados nessas categorias pelo teste de raios X devem ser retirados dos lotes de sementes destinados ao armazenamento ou para a produção de mudas, visando à obtenção de lotes de sementes com alto vigor.

Tem sido evidenciado que o teste de raios X permite a melhoria da qualidade física e fisiológica de lotes de sementes por meio do descarte de sementes com danos internos, mal formadas ou vazias, como foi observado para sementes de *Cecropia pachystachya* Trec. (PUPIM et al., 2008), espécies arbóreas de Lauraceae (CARVALHO et al., 2009), *Tabebuia heptaphylla* (AMARAL et al., 2011), *Terminalia argentea* (GOMES et al., 2014). O teste de raios X permite também a identificação de embriões com danos ou anormalidades e sua retirada das amostras de trabalho, como observado em sementes de *Lithraea molleoides* (MACHADO e CÍCERO, 2003) e *Malpighia emarginata* D.C. (NASSIF & CÍCERO, 2006), bem como a observação de alterações estruturais durante a dessecação, como foi constatado para sementes de *Quercus rubra* L. (GOODMAN, JACOBS & KARRFALT, 2005). Além disso, por meio da análise de imagens de raios X, é possível a identificação de sementes com danos causados por infestação de insetos, como evidenciado em sementes de *Eugenia*

*pleurantha* (MASETTO et al., 2007) e em diásporos de *Cryptocarya aschersoniana* Mez (MUXFELDT, FARIA & TONETTI, 2012).

Os dados obtidos pelo teste de raios X reafirmam a importância da técnica de análise de imagens de raios X para a obtenção de lotes de sementes mais vigorosas, permitindo a separação de sementes ou unidade de dispersão com danos ou vazias, possibilitando o emprego de sementes de alta qualidade pelos programas de conservação *in situ* ou *ex situ*.

Com base nos resultados obtidos nesta pesquisa, pode-se afirmar que o teste de raios X é uma ferramenta eficiente na avaliação da morfologia interna e da qualidade de aquênios de *A. othonianum* Rizz, podendo ser adotado como método de análise nos programas de conservação desta espécie.

#### **5.4 CONCLUSÕES**

A secagem em sílica gel até o teor de água de 4% (b.u.) promove redução do vigor dos aquênios.

O teste de raios X é eficiente na avaliação da morfologia interna e na detecção da qualidade de aquênios de *A. othonianum* Rizz, possibilitando a separação de aquênios vazios e com anormalidades embrionárias, permitindo a formação de lotes mais vigorosos.

Aquênios cheios apresentam maior potencial de germinação e vigor.

#### **5.5 AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem ao CNPq pelo apoio financeiro recebido pela chamada MCTI/CNPq N° 14/2013 - Faixa A, processo n° 478703/2013-9, e à Capes pela bolsa de estudos do primeiro autor.

#### **5.6 REFERÊNCIAS**

Agostini-Costa, TS, Faria JP, Naves RV, Vieira RF (2006). Cajus do Cerrado. p. 136-151. In Vieira RF, Agostini-Costa TS, Silva DB, Ferreira FR, Sano SM (eds.) *Frutas nativas da Região Centro-Oeste do Brasil*. Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, Brasília, Brasil.

Amaral, J. B., Martins L., Forti V. A., Cícero S. M., Marcos Filho J. (2011). Teste de raios x para avaliação do potencial fisiológico de sementes de ipê-roxo. *Revista brasileira de Sementes*, 33(4), 601-607.



- Bessa, L. A., Silva F. G., Moreira M. A., Teodoro J. P. R., Soares F. A. L. (2013). Growth and nutrient accumulation of *Anacardium othonianum* Rizz. seedlings grown in nutrient solution. *Chilean journal of agricultural research*. 73(3), 301-308.
- Brasil, (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Regras para análise de sementes*. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento) (2009). Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: Mapa/ACS, 395 p.
- Carvalho, L. R. D., Carvalho, M. L. M. D., & Davide, A. C. (2009). The use of the X-ray test to evaluate seed quality of Lauraceae forest species. *Revista Brasileira de Sementes*, 31(4), 57-66.
- Cicero, S. M. (2010). Aplicação de imagens de raios X no controle de qualidade de sementes. *Informativo ABRATES*, 20, 48.
- Cursi, P. R., & Cicero, S. M. (2014). Fruit processing and the physiological quality of *Euterpe edulis* Martius seeds. *Journal of Seed Science*, 36(2), 134-142.
- Ferreira, D. (2003). Programa SISVAR (Sistema de Análise de Variância): versão 4, 6 (Build 6, 0). *Lavras: DEX/UFLA*.
- Ferreira, M. B. (1973). Frutos comestíveis nativos do DF (II): gabirola, araçás, amoreira e cajus. *Cerrado*, 5, 25-28.
- Gagliardi, B; Marcos-Filho J (2011). Relationship between germination and bell pepper seed structure assessed by the X-ray test. *Scientia Agricola* 68: 411-416.
- Golovina, E. A., Van As, H., & Hoekstra, F. A. (2010). Membrane chemical stability and seed longevity. *European Biophysics Journal*, 39(4), 657-668.
- Gomes Junior, F. G. (2010). Aplicação da análise de imagens para avaliação da morfologia interna de sementes. *Informativo Abrates*, 20(3), 33-51.
- Gomes, K. B. P., Martins, R. D. C. C., Martins, I. S., & Junior, F. G. G. (2014). Avaliação da morfologia interna de sementes de *Terminalia argentea* (Combretaceae) pelo teste de raios X. *Revista Ciência Agronômica*, 45(4), 752-759.
- Goodman, R. C., Jacobs, D. F., & Karrfalt, R. P. (2005). Evaluating desiccation sensitivity of *Quercus rubra* acorns using X-ray image analysis. *Canadian journal of forest research*, 35(12), 2823-2831
- Goyal, K., Walton L. J., Tunnacliffe A. (2005). LEA proteins prevent protein aggregation due to water stress. *Biochemical Journal*, 388:151-157.
- Illing, N., Denby J. K., Collett H., Shen A., Farrant J. M. (2005). The Signature of Seeds in Resurrection Plants: A Molecular and Physiological Comparison of Desiccation Tolerance in Seeds and Vegetative Tissues. *Integrative and Comparative Biology*, 45:771-787.
- Machado, C. F., & Cícero, S. M. (2003). 'Aroeira-branca'[*Lithraea molleoides* (Vell.) Engl.-Anacardiaceae] seed quality evaluation by the X-ray test. *Scientia Agricola*, 60(2), 393-397.

- Maguire, J. D. (1962). Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science.*, 2(2), 176-177.
- Masetto, T. E., Davide A. C., Silva E. A. A. D., Faria J. M. R. (2007). Avaliação da qualidade de sementes de *Eugenia pleurantha* (Myrtaceae) pelo teste de raios X. *Revista brasileira de Sementes*, 29(3), 170-174.
- Masetto, T. E., Faria, J. M. R., & Queiroz, S. E. E. (2008). Avaliação da qualidade de sementes de cedro (*Cedrela fissilis*-Meliaceae) pelo teste de raios X. *Ciência e Agrotecnologia*, 32(6), 1708-1712.
- Matos, J. M. M., Martins R. C. C., Martins I. S. (2009). Caracterização do teste de pH de exsudato pelo método individual para avaliação da viabilidade de sementes de *Copaifera langsdorffi* Desf. *Revista Heringeriana*, 3: 81-87.
- Melo, P. R. B. D., Oliveira, J. A., Carvalho, M. L. M. D., Guimarães, R. M., & Carvalho, B. D. O. (2009). Aplicação do teste de raios x no estudo da morfologia interna e da qualidade fisiológica de aquênios de arnica (*Lychnophora pinaster* Mart.). *Revista Brasileira de Sementes*, 31(2), 146-154.
- Mendonça, R. C.; Felfile, J. M.; Walter, B. M. T.; Silva Junior, M. C.; Rezende, A. V.; Filgueiras, T. S.; Nogueira, P. E (1998). Flora vascular do cerrado. In: Sano, S. M.; Almeida, S. P. (Ed.). *Cerrado ambiente e flora*. Planaltina, DF: EMBRAPA-CPAC, p. 289-306.
- Menezes, N. L. D., Cicero, S. M., Villela, F. A., & Bortolotto, R. P. (2012). Using X rays to evaluate fissures in rice seeds dried artificially. *Revista Brasileira de Sementes*, 34(1), 70-77.
- Muxfeldt, R. E., Faria, J. M. R., Tonetti, O. A. O., Silva, A. A. D. (2012). Use of X-ray analysis in studies of the effects of desiccation on diaspores of Canela-Batalha (*Cryptocarya aschersoniana* Mez-Lauraceae). *Cerne*, 18(4), 657-666.
- Nassif, D. S. P., & CÍCERO, S. M. (2006). Avaliação de sementes de acerola por meio de raios-x. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 28(3), 542-545.
- Paula, J. E., & Heringer, E. P. (1978). Estudo anatômico do fruto de *Anacardium curatellifolium* St. Hil. com vistas à sua forma e às bolsas olíferas. *Brasil florestal*.
- Pupim, T. L., Novembre, A. D. L. C, Carvalho, M. L. M. D., Cicero, S. M. (2008). Adequação do teste de raios x para avaliação da qualidade de sementes de embaúba (*Cecropia pachystachya* Trec.). *Revista brasileira de Sementes*, 30(2), 28-32.
- Rizzini, C. T. (1969). Espécies novas de árvores do Planalto Central Brasileiro. *Acad Brasil Cienc An*.
- Sacandé, M., Joker, D., Dulloo, M. E., Thomsen, K. A., Durigan, G., Figliolia, M. B., & Criollo, J. A. (2004). Comparative storage biology of tropical tree seeds (No. 634.9562 C737). IPGRI, Roma (Italia).

- Santos, C. M. R., Menezes, N. D., & Villela, F. A. (2005). Modificações fisiológicas e bioquímicas em sementes de feijão no armazenamento. *Revista Brasileira de Sementes*, 27(1), 104-114.
- Silva, L. A., Sales, J. F., Silva, F. G., & Ferreira, P. H. C. M. (2013). Cryopreservation of achenes of caju-de-árvore-do-cerrado (*Anacardium othonianum* Rizz.). *African Journal of Biotechnology*, 12(22), 3537.
- Silva, P. P., Freitas, R. A., Cícero, S. M., Marcos Filho, J., & Nascimento, W. M. (2014). Utilização de análise de imagens no estudo morfológico e fisiológico de sementes de abóbora. *Horticultura Brasileira*, 32(2).
- Silva, V. N., Sarmiento, M. B., Silveira, A. C., Silva, C. S., Cicero, S. M. (2013). Avaliação da morfologia interna de sementes de *Acca sellowiana* O. Berg por meio de análise de imagens. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 35(4), 1158-1169.
- Simak, M., & GUSTAFSSON, A. (1953). X ray photography and sensitivity in forest tree species. *Hereditas*, 39(3-4), 458-468.
- Socolowski, F., Cicero, S. M. (2008). Caracterização morfológica de embriões por imagens de raios X e relação com a massa e a qualidade fisiológica de sementes de *Tecoma stans* L. JUSS ex KUNTH (Bignoniaceae). *Revista Brasileira de Sementes*, 30(2), 200-208.
- Socolowski, F., Cicero, S. M., & Vieira, D. C. M. (2011). Seed weight of *Xylopia aromatica* (Annonaceae): quality evaluation from X-ray and seedling emergence. *Scientia Agricola*, 68(6), 643-646.
- Sousa, A. G. O., Fernandes, D. C., Alves, A. M., Freitas, J. B., Naves, M. M. V. (2011). Nutritional quality and protein value of exotic almonds and nut from the Brazilian Savanna compared to peanut. *Food Research International*, 44(7), 2319-2325.
- Sturião, W. P., Landgraf, P. R. C., Rosa, T. P. (2012). Avaliação da qualidade de sementes de palmeira jerivá pelo teste de Raios X. *Semina*, 33(1), 213-218.
- Vieira, R. D., Krzyzanowski, F. C., FRANÇA NETO, J. D. B. (1999). Teste de condutividade elétrica. Vigor de sementes: conceitos e testes. Londrina: *ABRATES*, 1, 1-26.
- Vieira, R. F., Agostini-Costa, T., Silva, D. B., Ferreira, F. R., & Sano, S. M. (2010). *Frutas nativas da região Centro-Oeste do Brasil*. Embrapa Informação Tecnológica.

## 6. CAPÍTULO III

### **Tratamentos pré-germinativos e análise de imagens de raios X em pirênios de *Buchenavia tomentosa* Eichler. (Combretaceae) em diferentes estádios de maturação**

Treatments pregerminative and radiographic images analysis of pyrenes *Buchenavia tomentosa* Eichler (Combretaceae) in different stages of maturity

**RESUMO:** *Buchenavia tomentosa* Eichler é uma espécie indicada para o reflorestamento de áreas degradadas, com grande importância para a manutenção da fauna do Cerrado. No entanto, estudos referentes à dormência e à morfologia interna dos pirênios desta espécie são inexistentes na literatura. Objetivou-se com este estudo determinar o melhor método para a superação da dormência dos pirênios de *B. tomentosa* Eichler e investigar a eficiência do teste de raios X na avaliação da viabilidade dos pirênios em diferentes estádios de maturação. Para tanto, foram feitos dois ensaios. No ensaio 1, os pirênios foram submetidos a tratamentos físicos, térmicos e químicos para a superação da dormência e avaliados pelo teste de emergência. O delineamento foi inteiramente casualizado com quatro repetições de 25 pirênios. No ensaio 2, os pirênios foram coletados em três estádios de maturação (verde, verde/amarelo e amarelo) e submetidos ao teste de raios X, para a avaliação da morfologia interna, e ao teste de emergência. O delineamento foi inteiramente casualizado em esquema fatorial (3x3), sendo três estádios de maturação dos frutos e três categorias no teste de raios X. A escarificação mecânica com lixa d'água nº 60, no lado oposto ao eixo embrionário, acelera e uniformiza a emergência de plântulas de *B. tomentosa* Eichler, sendo este método indicado como tratamento para superação da dormência da espécie. Pirênios obtidos de frutos verde/amarelos expressaram os melhores resultados nos testes de vigor. O teste de raios X é eficiente na avaliação da morfologia interna e na detecção da qualidade de pirênios de *B. tomentosa* Eichler. O

emprego da análise de imagens de raios X pode contribuir de forma eficaz para a obtenção de lotes mais vigorosos para o armazenamento ou produção de mudas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Espécie arbórea do Cerrado. Dormência. Teste de raios X. Emergência

**Pregerminative treatments and X-ray images analysis of *Buchenavia tomentosa* Eichler (Combretaceae) pyrenes under different maturity stages**

**ABSTRACT:** The *Buchenavia tomentosa* Eichler is a species suitable for reforestation of degraded areas with great importance for fauna maintenance of Brazilian cerrado (savannah). However, studies on dormancy and internal morphology of pyrenes are nonexistent in the literature. This study aimed to evaluate the best method to overcome dormancy of *B. tomentosa* Eichler pyrenes, and investigate the efficiency of X-ray test in evaluating the pyrenes feasibility under different maturation stages. Therefore, two trials were carried out: (a) in trial 1, pyrenes were subjected to physical, thermal, and chemical treatments to overcome dormancy, and evaluated by emergency test; the design was completely randomized with four replicates of 25 pyrenes; (b) in trial 2, the pyrenes were collected in three maturation stages (green, green/yellow, and yellow) and subjected to X-ray test for evaluation of internal morphology and emergency test; the design was completely randomized in 3 x 3 factorial scheme, with three fruit maturation stages and three categories in the X-rays test. The mechanical scarification with sandpaper No. 60 on the opposite side of the embryonic axis accelerates and standardizes the emergence of *B. tomentosa* Eichler seedlings; this method is indicated as treatment to overcome the species dormancy. Pyrenes obtained from green/yellow fruits showed the best results in vigor tests. The X-ray test is efficient in evaluating the internal morphology and in detecting quality of *B. tomentosa* Eichler pyrenes. The use of X-ray image analysis can contribute effectively to the achievement of more vigorous lots for seedlings storage or production.

**KEYWORDS:** Arboreal species of the cerrado (savannah). Dormancy. X-ray test. Emergency.

## 6.1 INTRODUÇÃO

*Buchenavia tomentosa* Eichler, conhecida popularmente como boca-boia, mirindiba-boca-boia, mirindibona-do-cerrado, mirindiba, merindiba, pau-de-pilão, tarumã-do-cerrado, tarumarana e tarumã, é uma espécie predominante no Cerrado, pertencente à família Combretaceae, que ocorre geralmente nas fitofisionomias cerradão, mata semidecídua, campo cerrado, mata ciliar e mata de galeria (RATTER et al., 1988). Está distribuída em todos os Estados da região Centro-Oeste e nos estados de Tocantins, Bahia e Minas Gerais (LORENZI, 2002). É uma espécie arbórea, com altura variando de 5 a 15 metros, com copa ampla, densa e com diâmetro do tronco entre 30 e 50 cm, tronco cilíndrico e ramos superiores acinzentados. O fruto é do tipo drupa elíptica, globosa ou esférica com diâmetro variando de 2 a 5 cm, pericarpo amarelo carnoso com polpa adocicada quando madura e endocarpo lenhoso com uma única semente em seu interior. Sua madeira é empregada na construção civil e como mourões em cercas. É uma espécie indicada para restauração florestal, e seus frutos são apreciados por morcegos e grandes vertebrados, que promovem sua disseminação (LORENZI, 2002; MARQUE e VALENTE, 2007; MENDONÇA et al., 2008; POTT e POTT, 1994).

De acordo com Farias et al. (2015), sementes de *B. tomentosa* Eichler apresentam dormência e não germinam no período de seca antes que ocorram as primeiras chuvas. A incapacidade de uma semente viável germinar, mesmo em condições ambientais favoráveis, é definida como dormência. A dormência é um mecanismo programado geneticamente e sofre influência do ambiente de maturação das sementes, de modo a permitir a rápida adaptação das plantas às mudanças ambientais (BEWLEY, 1997; FERNÁNDEZ-PASCUAL et al., 2013; FINCH-SAVAGE e LEUBNER-METZGER, 2006). Além disso, a dormência é uma característica adaptativa que permite a distribuição da germinação de uma população de sementes ao longo do tempo (BENTSINK e KOORNNEEF, 2008; BEWLEY, 1997).

Vários fatores estão envolvidos na indução e na interrupção da dormência e ainda no estabelecimento do processo de germinação. Entre estes fatores, o ácido abscísico (ABA) é um hormônio vegetal que regula a dormência e a germinação das sementes. Em sementes dormentes, após a embebição, ocorre síntese de novo de ABA, o que aumenta o conteúdo deste fitohormônio, paralisando o processo germinativo e caracterizando o estado de dormência. Uma semente dormente pode atingir

praticamente todos os passos metabólicos necessários para completar a germinação. No entanto, o eixo embrionário não se alonga e não ocorre protrusão radicular ou germinação visível (MATILLA e MATILLA-VAZQUEZ, 2008; NAMBARA et al., 2010).

Uma forma de inibição ou retardo da germinação de sementes de algumas espécies nativas é imposta pelas estruturas circundantes, por exemplo, o tegumento ou o endocarpo, que podem impedir a entrada de água ou as trocas gasosas entre a semente e o ambiente externo, sendo esta forma de inibição classificada como dormência física. Espécies com dormência física, com sementes ou frutos impermeáveis à água, ocorrem em cerca de 15 famílias de plantas (BASKIN, 2003). O desenvolvimento de protocolos de germinação de sementes contribui para o estabelecimento de mudas e o desempenho das plantas no ecossistema natural e agrícola (WEITBRECHT et al., 2011).

A análise de imagens tem papel chave na compreensão da morfologia interna e da biologia das sementes, sendo aplicada em testes de classificação e de qualidade. Entre as técnicas de análise de imagens utilizadas para avaliação da qualidade das sementes, surge como principal ferramenta o teste de Raio X (DELL'AQUILA, 2007; LIMA et al., 2013).

A utilização dos raios X não afeta a germinação da semente e apresenta vantagem por ser um teste não destrutivo, rápido e de simples execução (MENEZES et al., 2005). A pesquisa sobre este tema tem priorizado o desenvolvimento de metodologias para a análise de sementes por meio de radiografias para espécies florestais, principalmente com o objetivo de aprimorar a qualidade dos lotes de sementes no que diz respeito aos seus atributos físicos e fisiológicos (GOMES JUNIOR, 2010).

O teste de raios-X tem permitido relacionar a morfologia interna das sementes com a germinação ou vigor das plântulas de diversas espécies florestais, sendo eficiente na avaliação da qualidade (por meio da morfologia interna) de sementes de *Tabebuia Serratifolia* e *T. Impetiginosa* (OLIVEIRA et al., 2004), *Tecoma stans* L. JUSS. ex KUNTH (SOCOLOWSKI e CICERO, 2008), *Cecropia pachystachya* Trec. (PUPIM et al., 2008), *Cedrela fissilis* (MASSETO et al., 2008), *Tabebuia heptaphylla* (AMARAL et al., 2011), *Xylopia aromatica* (SOCOLOWSKI et al., 2011), *Cryptocarya aschersoniana* Mez (MUXFELDT et al., 2012), *Syagrus romanzoffiana* (STURIÃO et al., 2012), *Acca sellowiana* O. (Berg) Burret (SILVA et al., 2013), *Euterpe edulis*

Martius (CURSI e CICERO, 2014) e *Terminalia argentea* Mart. et Zucc. (GOMES et al., 2014).

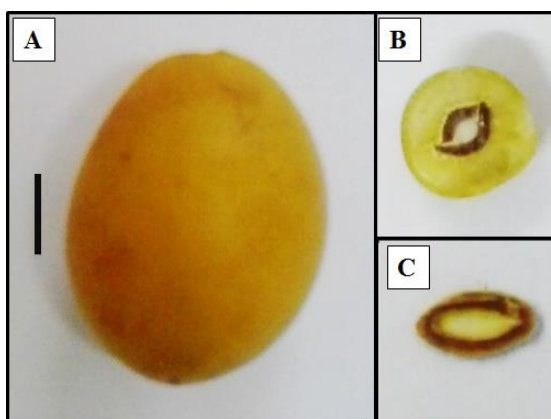
Grande parte das espécies florestais do Cerrado é caracterizada pela alta ocorrência de predação, frutos vazios, deficiência na formação do embrião ou ataque de insetos, fatores que prejudicam a qualidade e o vigor das sementes (GOMES et al., 2014). No entanto, para que as técnicas de conservação *ex situ* ou *in situ* sejam eficazes, é necessário que sejam utilizadas sementes altamente vigorosas. Neste sentido, a avaliação da morfologia interna das sementes, por meio do teste de raios X, é uma técnica promissora que permite a obtenção de lotes altamente vigorosos, com a separação das sementes com danos, má formação ou vazias e a identificação de sementes sem danos e com potencial para germinação.

Diante do exposto, a pesquisa teve como objetivo determinar o melhor método para a superação da dormência dos pirênios de *B. tomentosa* Eichler, além de investigar a eficiência do teste de raios X na avaliação da viabilidade dos pirênios coletados em diferentes estádios de maturação.

## 6.2 MATERIAL E MÉTODOS

**Ensaio 1: Tratamentos pré-germinativos em pirênios de *Buchenavia tomentosa* Eichler.**

**Coleta e beneficiamento:** Os frutos de *B. tomentosa* Eichler, Figura 1, foram coletados na fazenda Poções, no Município de Diorama, Goiás, coordenadas geográficas 16°5'41,06"S, 51°12'58,88"W, em agosto de 2014.



**Figura 1.** Fruto de *B. tomentosa* Eichler (A) Detalhe do fruto com epicarpo visualmente de coloração amarela; (B) Detalhes do mesocarpo carnoso e do endocarpo lenhoso do fruto; (C) Detalhes da semente envolta pelo endocarpo lenhoso. Barra: 1 cm.



Após a coleta, os frutos foram acondicionados em embalagens plásticas de polipropileno e levados ao Laboratório de Sementes do Instituto Federal Goiano (IFGoiano), Câmpus Rio Verde (Goiás), onde foi feita a despólpa (retirada do epicarpo e mesocarpo). Inicialmente, a despólpa foi feita manualmente, com o auxílio de uma faca, e para a retirada do excesso de polpa, foi utilizado um despólpador de frutas e hortaliças elétrico. Posteriormente, os pirênios (semente + endocarpo lenhoso) foram desinfestados em solução de hipoclorito de sódio a 5% (Solução comercial de 2,5% de cloro ativo) durante cinco minutos sob agitação, lavadas com água destilada e dispostas em bandeja plástica coberta com papel toalha, onde permaneceram até a remoção do excesso de água superficial.

**Tratamentos pré-germinativos empregados para a superação da dormência:** Antes da instalação dos testes para a superação da dormência, foi feita a determinação do teor de água dos pirênios, pelo método da estufa a  $105\pm 3^{\circ}\text{C}$ , durante 24 horas, com 4 repetições de 15 pirênios, sendo os resultados expressos em percentagem de base úmida (% b.u.), de acordo com Brasil (2009) adaptado.

Após o beneficiamento, os pirênios foram submetidos aos tratamentos pré-germinativos descritos na Tabela 1.

**Tabela 1.** Descrição dos tratamentos pré-germinativos empregados para a superação da dormência em pirênios de *B. tomentosa*.

Tratamentos	Descrição dos tratamentos pré-germinativos
<b>Controle (C)</b>	Pirênios intactos
<b>Físico (SC)</b>	Escarificação mecânica com lixa d'água nº 60 no lado oposto ao eixo embrionário até o rompimento do endocarpo
<b>Térmico (AQ-5')</b>	Imersão em água à temperatura de $80^{\circ}\text{C}$ por 5 minutos
<b>Térmico (AQ-10')</b>	Imersão em água à temperatura de $80^{\circ}\text{C}$ por 10 minutos
<b>Térmico (AQ-15')</b>	Imersão em água à temperatura de $80^{\circ}\text{C}$ por 15 minutos
<b>Químico (AS-5')</b>	Imersão em ácido sulfúrico (96%) por 5 minutos
<b>Químico (AS-10')</b>	Imersão em ácido sulfúrico (96%) por 10 minutos
<b>Químico (AS-15')</b>	Imersão em ácido sulfúrico (96%) por 15 minutos
<b>Químico (AS-20')</b>	Imersão em ácido sulfúrico (96%) por 20 minutos
<b>Químico (AS-30')</b>	Imersão em ácido sulfúrico (96%) por 30 minutos
<b>Químico (AS-40')</b>	Imersão em ácido sulfúrico (96%) por 40 minutos
<b>Químico (AS-50')</b>	Imersão em ácido sulfúrico (96%) por 50 minutos

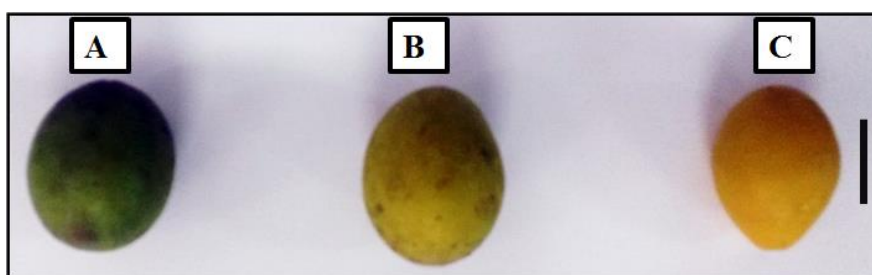
Após a imposição dos tratamentos pré-germinativos, os pirênios foram novamente desinfestados em solução de hipoclorito de sódio a 5% durante cinco minutos, lavados com água destilada e submetidos ao teste de emergência.

O teste de emergência foi feito em bandejas plásticas contendo como substrato areia lavada, na profundidade de 3 cm. As bandejas permaneceram em casa de vegetação com temperatura média de  $26,8 \pm 4$  °C e umidade relativa de  $74 \pm 14,5\%$ , e a avaliação ocorreu aos 63 dias após a semeadura, quando houve a estabilização da emergência de plântulas. As características avaliadas foram: **Porcentagem de emergência de plântulas (%E)**, obtida pela relação entre o número de plântulas normais (com todas as estruturas essenciais perfeitas) e o número de material propagativo, aos 63 dias após a semeadura; **Índice de velocidade de emergência (IVE)**, obtido pela contagem diária, considerando a emergência de plântulas acima de 0,5 cm do substrato e calculado de acordo com Maguire (1962); **Tempo médio de emergência (TME)**, correspondendo ao tempo gasto para a emergência total e avaliado de acordo com Labouriau (1983); **Diâmetro na altura do colo (DC)**, ao final do período de contagens, o diâmetro do colo das plântulas normais foi mensurado com o auxílio de paquímetro, e os resultados, expressos em mm/plântula<sup>-1</sup>; **Número de folhas (NF)**, obtido pela contagem das folhas desenvolvidas e expresso em folhas/plântula<sup>-1</sup>; **Comprimento da parte aérea (CPA) e da raiz (CR)**, as plântulas normais foram separadas em parte aérea e raiz por corte na inserção do colo, obtendo o comprimento com auxílio de régua graduada em milímetros; e **Massa seca da parte aérea (MSPA) e da raiz (MSR)**: as plântulas foram acondicionadas em sacos de papel e submetidas à secagem em estufa de circulação forçada de ar a 65°C até atingirem massa constante e, em seguida, a massa seca foi verificada em balança de precisão de 0,0001g e os resultados expressos em gramas/plântula.

**Delineamento estatístico:** O experimento foi desenvolvido em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições de 25 pirênios para cada tratamento. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F e quando significativas as médias foram comparadas pelo teste de Scott–Knott a 5% de probabilidade. Todas as análises foram feitas com o auxílio do software estatístico SISVAR, versão 5.3 (FERREIRA, 2000). Os gráficos foram ajustados utilizando o software Sigma Plot®10.0

**Ensaio 2: Análise de imagens de raios X em pirênios de *Buchenavia tomentosa* Eichler em diferentes estádios de maturação**

**Coleta dos frutos e obtenção dos pirênios:** A coleta foi feita na Fazenda Poções, em uma área de pastagem com ocorrência natural da espécie, utilizando cinco árvores matrizes. Foram feitas três coletas dos frutos em épocas diferentes. Cada coleta correspondeu a um estágio de maturação, determinado de acordo com a coloração visual do epicarpo dos frutos (Figura 2).



**Figura 2.** Estádios de maturação de frutos de *B. tomentosa* Eichler, classificados segundo a coloração visual do epicarpo. Frutos verdes, com coloração do epicarpo do fruto totalmente esverdeada (A); Frutos verde/amarelos, com coloração do epicarpo verde/amarelo (B); Frutos amarelos, com coloração do epicarpo totalmente amarelo (C).

Após a coleta, os frutos foram transportados para o laboratório para as análises de coloração e depois submetidos à despolpa, conforme determinado no Ensaio 1. Em seguida, os pirênios classificados em diferentes estádios de maturação foram submetidos às seguintes avaliações:

**Biometria dos pirênios:** Em uma amostra de 100 pirênios, de cada estágio de maturação, escolhidos aleatoriamente, foram medidos o comprimento, largura e espessura dos pirênios, com o auxílio de um paquímetro digital de precisão de 0,01 mm, e a massa fresca dos pirênios foi verificada em balança de precisão de 0,0001g. Considerou-se como comprimento a porção compreendida entre a extremidade basal e a apical dos pirênios. A largura e a espessura foram medidas na parte intermediária dos pirênios. A análise estatística desses dados foi feita por meio da análise de variância em delineamento inteiramente casualizado, com 4 repetições de 25 pirênios, e a comparação de médias entre os tratamentos foi feita pelo teste de tukey a 5% de probabilidade.

**Determinação do teor de água:** O teor de água dos pirênios, em cada estágio de maturação, foi determinado pelo método da estufa a  $105 \pm 3^\circ\text{C}$  por 24 horas (BRASIL,

2009, adaptado), com quatro subamostras de 15 pirênios, sendo o resultado expresso em porcentagem de base úmida (% b.u.).

**Análise de imagens de raios X pelo teste de raios X:** O teste de raios X foi feito no Laboratório de Análise de Sementes da Universidade Federal de Lavras (MG). Foram empregadas 15 repetições de 15 pirênios, radiografando um total de 225 pirênios, para cada estágio de maturação. Para a obtenção das imagens de raios X, os pirênios foram dispostos em cavidades individualizadas feitas em placas de isopor e submetidos à radiação em equipamento de raios X digital "Faxitron HP", modelo MX-20, com calibração automática da intensidade de radiação e do tempo de exposição, acoplado a um computador, onde as imagens de raios X digitais foram temporariamente armazenadas.

As imagens de raios X digitais obtidas foram cuidadosamente analisadas e os pirênios, classificados em três categorias de acordo com as estruturas internas observadas: **Pirênios cheios**, com a cavidade interna totalmente preenchida pelos tecidos essenciais para a germinação e sem nenhum dano; **Pirênios mal formados ou com danos**, quando apresentavam alguma anormalidade na morfologia dos cotilédones ou do eixo embrionário, ou outros tipos de danos, como evidências de ataque de insetos ou presença de larvas de insetos, que afetam a capacidade de germinação; e **Pirênios vazios**, quando tinham a cavidade interna totalmente translúcida.

Após a análise das imagens de raios X e classificação dos pirênios, para cada categoria obtida pelo teste de raios X foi feito o teste de emergência de plântulas no Laboratório de Sementes do Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde-GO.

Para o teste de emergência, os pirênios, de cada tratamento, foram escarificados com lixa d'água nº 60 no lado oposto ao eixo embrionário, conforme determinado no ensaio 1, e semeados em bandejas plásticas contendo areia lavada como substrato, a 3 cm de profundidade. As bandejas permaneceram em sala de crescimento com temperatura média de  $28,5 \pm 5^\circ\text{C}$  e umidade relativa de  $68 \pm 8,5\%$ , e a avaliação ocorreu no 63º dia após a semeadura. A interpretação dos resultados do teste de raios X foi feita pelo confronto da imagem radiográfica com a respectiva imagem da plântula normal, anormal ou pirênio morto após o teste de emergência.

**Avaliação do crescimento e desenvolvimento:** Além da avaliação dos pirênios pelo teste de raios X, foi feito, em paralelo, um teste de emergência para avaliar os padrões de crescimento e desenvolvimento das plântulas oriundas dos pirênios em diferentes estágio de maturação. Este teste foi feito nas mesmas condições descritas

anteriormente, empregando quatro repetições de 25 pirênios, escarificados com lixa d'água nº 60 no lado oposto ao eixo embrionário, e a semeadura foi feita a 3 cm de profundidade em substrato areia lavada. As características avaliadas foram: Porcentagem de emergência, Índice de velocidade de emergência, Comprimento da parte aérea, Comprimento da raiz, Diâmetro na altura do colo e Número de folhas, conforme descrito no ensaio 1.

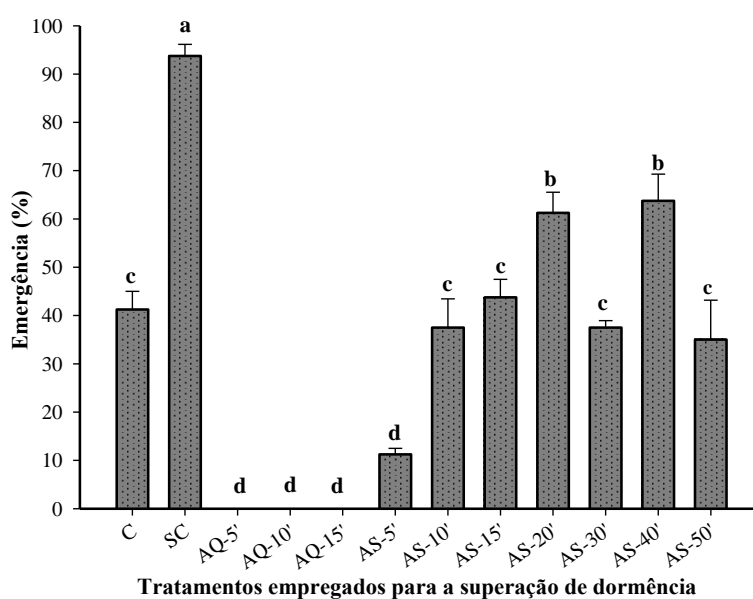
**Delineamento estatístico** O experimento foi feito em delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial (3x3), sendo três estádios de maturação dos frutos e três categorias no teste de raios X, com as unidades experimentais dispostas inteiramente ao acaso. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F, e as médias, comparadas pelo teste de tukey a 5% de probabilidade. Todas as análises foram feitas com o auxílio do software estatístico SISVAR, versão 5.3 (FERREIRA, 2000).

### 6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### **Ensaio 1: Tratamentos pré-germinativos em pirênios de *Buchenavia tomentosa* Eichler.**

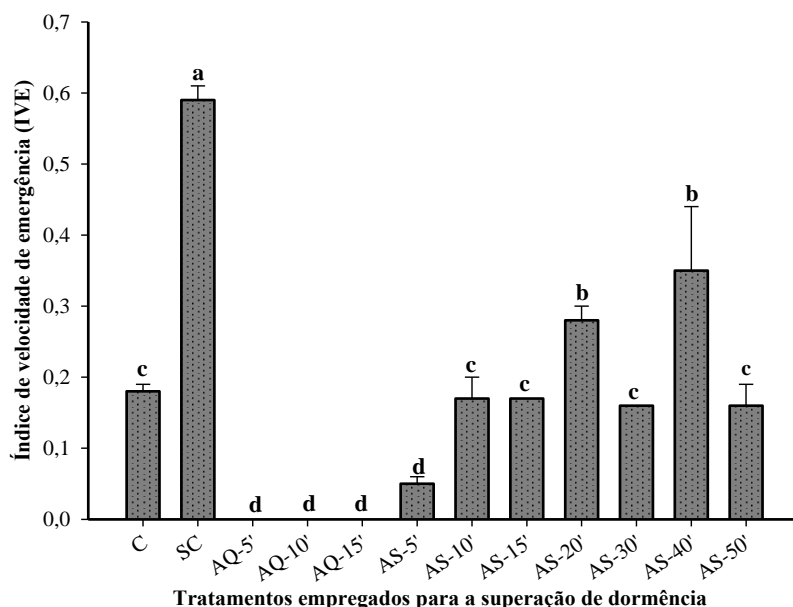
O teor de água nos pirênios de *B. tomentosa* Eichler, depois de colhidos e feita a secagem natural, foi de  $13,6 \pm 0,8\%$  (b.u.).

A maior porcentagem de emergência (93,8%) de plântulas de *B. tomentosa* Eichler foi obtida para pirênios submetidos à escarificação mecânica, Figura 3, com aumento de 52,5% de emergência em relação ao grupo controle (pirênios intactos).



**Figura 3.** Porcentagem de emergência de plântulas de *B. tomentosa* Eichler após imposição de diferentes tratamentos pré-germinativos. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott–Knott a 5% de probabilidade. CV: 22,38 (%). Barra: Erro padrão da média.

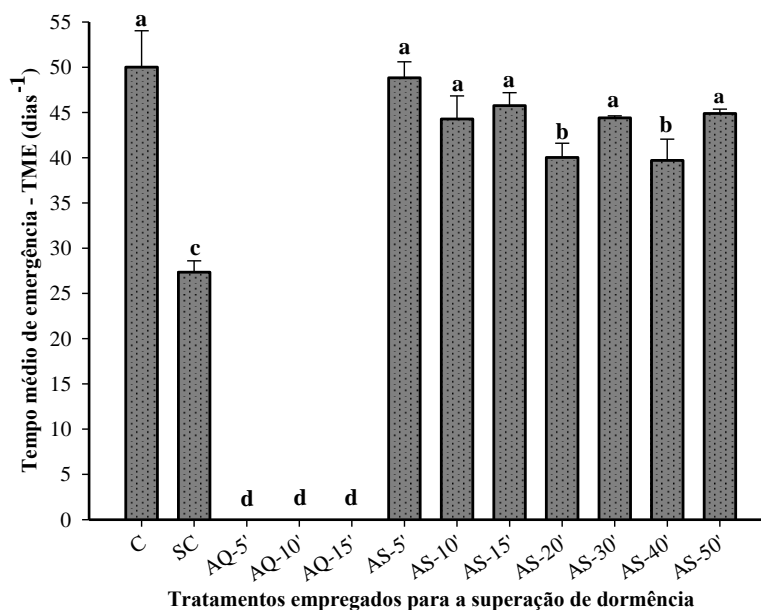
O índice de velocidade de emergência também foi maior para pirênios submetidos à escarificação mecânica (Figura 4).



**Figura 4.** Índice de velocidade de emergência de plântulas de pirênios de *B. tomentosa* Eichler submetidos a diferentes tratamentos pré-germinativos. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott–Knott a 5% de probabilidade. CV: 34,88 (%). Barra: Erro padrão da média.

A escarificação mecânica promoveu incremento no índice de velocidade de emergência de 0,41 (pirênios emergidos ao dia) em comparação ao controle, para o qual foram registrados apenas 0,18 pirênios emergidos por dia de avaliação.

O menor tempo médio de emergência foi obtido em pirênios submetidos à escarificação mecânica (Figura 5).



**Figura 5.** Tempo médio de emergência de plântulas de pirênios de *B. tomentosa* Eichler submetidos a diferentes tratamentos pré-germinativos. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott–Knott a 5% de probabilidade. CV: 10,96 (%). Barra: Erro padrão da média.

Pirênios submetidos à escarificação mecânica levaram em média 27,3 dias para emergir do substrato, com redução de 22,6 dias em relação ao tratamento controle, para o qual foi registrado valor de 50,01 dias. Segundo Farias et al. (2015), sementes de *B. tomentosa* Eichler com polpa levam em média 69 dias para germinar.

A escarificação mecânica dos pirênios com lixa d'água no lado oposto ao embrião influenciou positivamente a germinação e o desenvolvimento inicial de plântulas de *B. tomentosa* Eichler, conforme os dados dos testes fisiológicos anteriormente apresentados.

Os pirênios (diásporos) de *B. tomentosa* Eichler são caracterizados pela presença de endocarpo lenhoso e rígido, o qual pode funcionar como um sistema de controle de entrada de água no interior da semente, ou ainda como resistência mecânica (CARVALHO e NAKAGAWA, 2012), dificultando o desenvolvimento do embrião na

fase de germinação (FIOR et al., 2011). Neste sentido, a escarificação mecânica ajuda a superar a barreira imposta pelo endocarpo, promovendo abertura nos pirênios e a entrada de água nas sementes para a germinação.

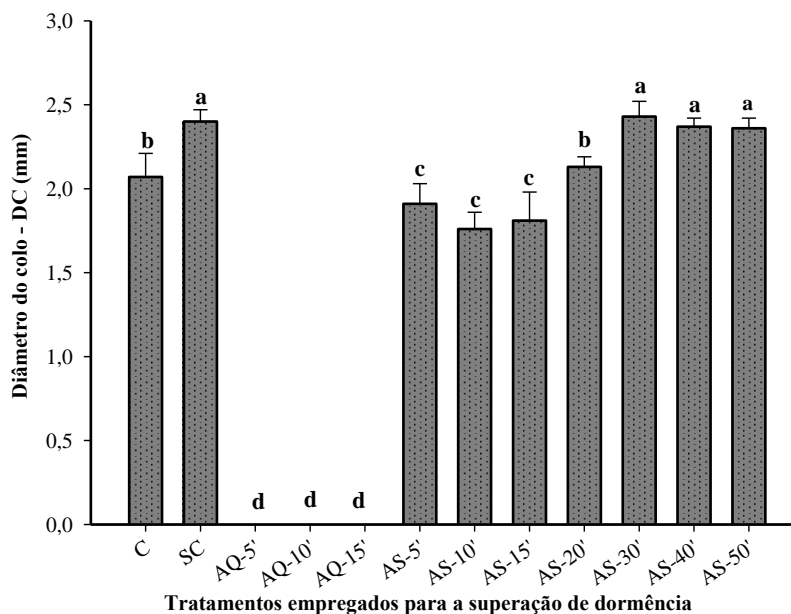
A dormência física é causada por camadas de células em paliçada impermeáveis à água, no revestimento das sementes ou frutos, que controlam o movimento da água. Neste caso, é necessário o enfraquecimento das barreiras, quer por processos enzimáticos gerados pelo eixo do embrião ou processos físicos de quebra, permitindo assim o surgimento da radícula. A escarificação mecânica ou química pode ser utilizada como tratamento para a superação deste tipo de dormência (BASKIN, 2003; NONOGAKI et al., 2010).

O emprego de escarificação mecânica, com material abrasivo, para enfraquecimento ou ruptura do endocarpo de diásporos ou do tegumento de sementes, requer cuidados em sua aplicação para evitar a ocorrência de danos ao embrião. No entanto, é um dos procedimentos mais utilizados em sementes com tegumento impermeável à água, ou em unidades de dispersão que estejam envoltas pelo endocarpo pétreo, caso dos pirênios de *B. tomentosa* Eichl. A ruptura do tegumento por escarificação aumenta a permeabilidade à água e gases, além de promover aumento da sensibilidade à luz e à temperatura, atuando sobre o metabolismo das sementes, sinalizando a superação da dormência e a indução do processo de germinação (VIVIAN et al., 2008). Esse método também foi eficiente na superação da dormência em sementes de *Solanum lycocarpum* St. Hill (GONZAGA et al., 2009), *Caesalpinia pulcherrima* (L.) Sw. (ARAÚJO NETO et al., 2014), *Combretum leprosum* Mart. (PACHECO et al., 2014) e *Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth. (PEREIRA et al., 2015).

Para o tratamento utilizando a escarificação térmica, mesmo no menor tempo de exposição (Imersão em água a temperatura de 80°C durante 5 minutos), não foi observada emergência, indicando que o aquecimento dos pirênios resultou em danos letais ao embrião. Resultado semelhante foi observado para a imersão das sementes de *Combretum leprosum* Mart. em água a 80°C, que provocou a morte de 100% dos embriões (PACHECO et al., 2014). Já para sementes de *Piptadenia moniliformis*, a escarificação térmica com imersão das sementes em água a 80°C por 10 e 30 segundos proporcionou maior percentual de germinação e vigor (FERREIRA et al., 2014). Neste sentido, a eficácia da escarificação térmica para a superação da dormência de sementes varia de acordo com as características do tegumento ou do endocarpo de cada espécie.

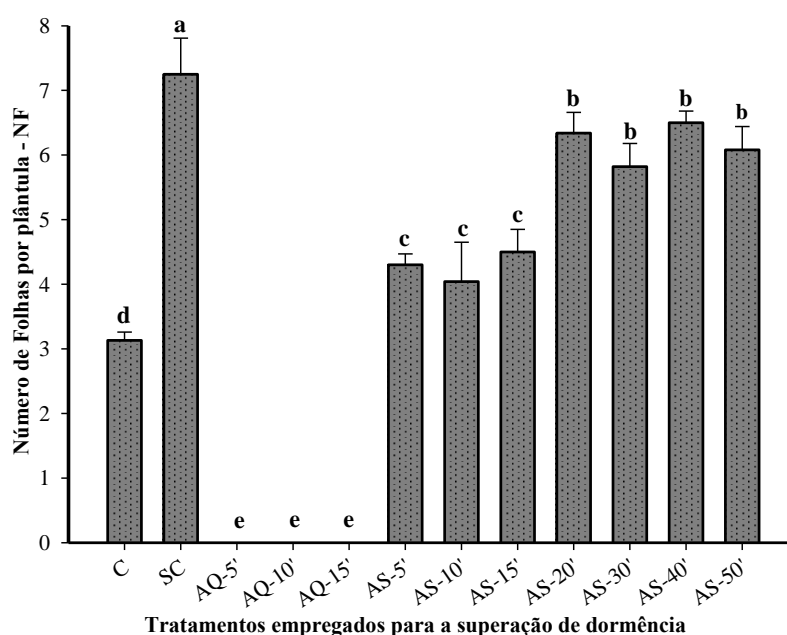


Para o diâmetro na altura do colo, os tratamentos de escarificação mecânica e a imersão em ácido sulfúrico por 30, 40 e 50 minutos proporcionaram os maiores valores, não havendo diferença entre eles (Figura 6).



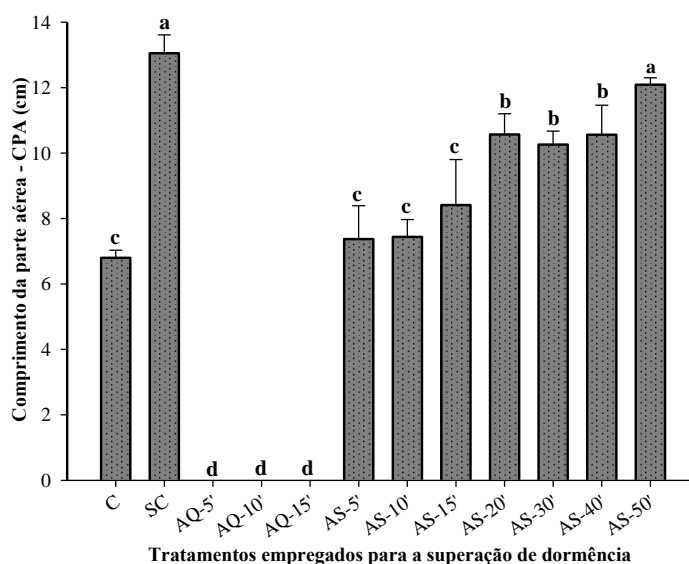
**Figura 6.** Diâmetro na altura do colo de plântulas oriundas de pirênios de *B. tomentosa* Eichler submetidos a diferentes tratamentos pré-germinativos. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade. CV: (11,05 %). Barra: Erro padrão da média.

A escarificação mecânica dos pirênios proporcionou maior número de folhas, em comparação aos demais tratamentos (Figura 7).



**Figura 7.** Número de folhas por plântulas oriundas de pirênios de *B. tomentosa* Eichler submetidos a diferentes tratamentos pré-germinativos. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott–Knott a 5% de probabilidade. CV: 16,13. Barra: Erro padrão da média.

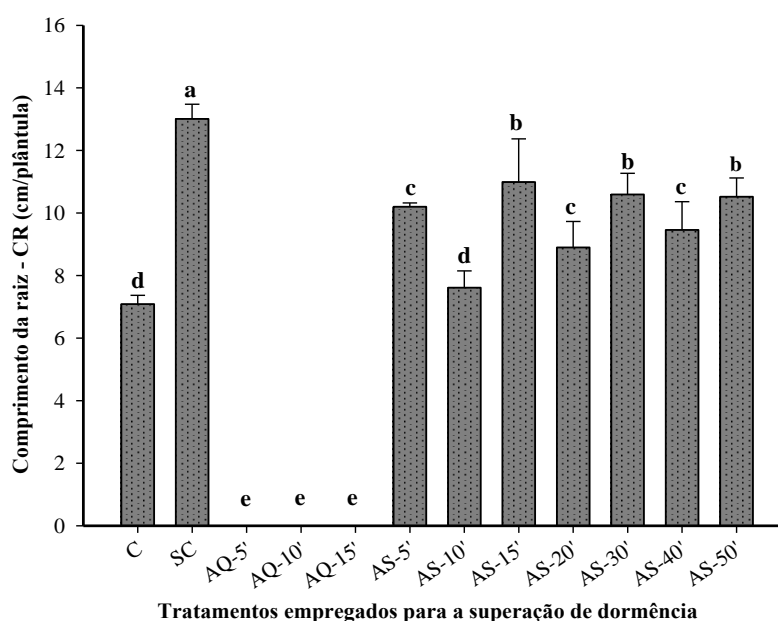
Os maiores valores para o comprimento da parte aérea foram registrados para pirênios submetidos à escarificação mecânica e à imersão em ácido sulfúrico por 50 minutos (Figura 8).



**Figura 8.** Comprimento da parte aérea de plântulas oriundas de pirênios de *B. tomentosa* Eichler submetidos a diferentes tratamentos pré-germinativos. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott–Knott a 5% de probabilidade. CV: 17,93. Barra: Erro padrão da média.

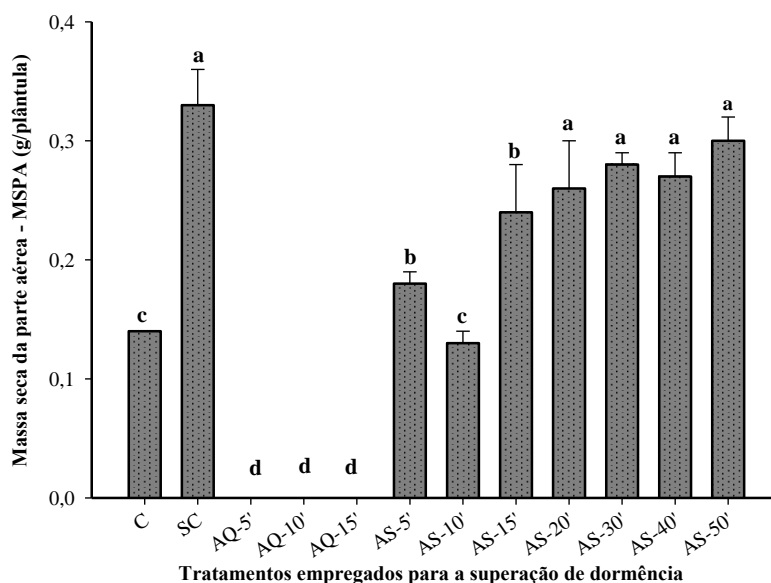
Para comprimento da parte aérea, não houve diferença entre a escarificação mecânica e a escarificação com ácido sulfúrico por 50 minutos, que resultou em incremento de 5,26 cm no comprimento de plântulas, em comparação ao controle. No entanto, devido ao alto risco de letalidade aos tecidos da semente, o tratamento com ácido sulfúrico pode ser particularmente importante em espécies com sementes pequenas, já que, nesse caso, a escarificação mecânica do tegumento não é exequível (BRANCALION et al., 2011).

Para o comprimento das raízes, o melhor resultado também foi observado para pirênios submetidos à escarificação mecânica (Figura 9).



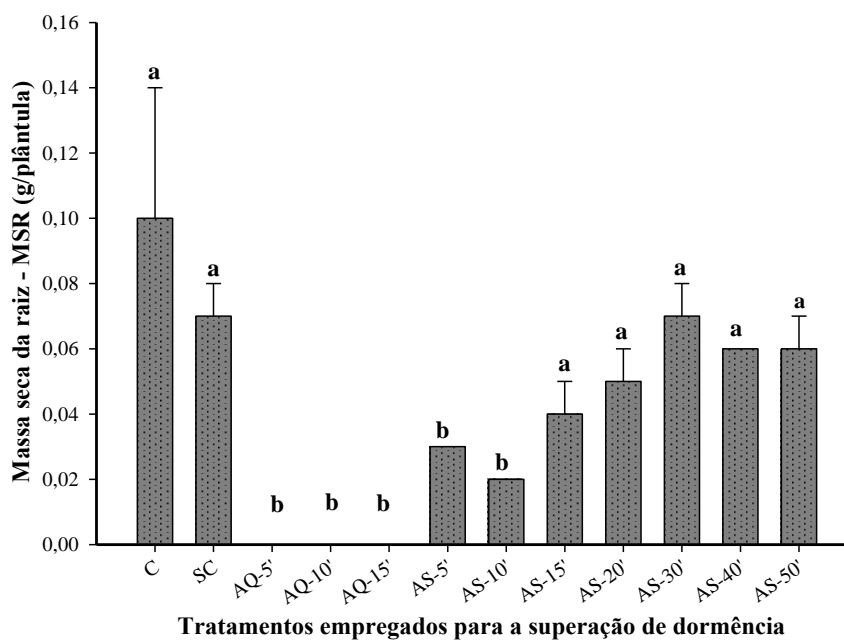
**Figura 9.** Dados médios do comprimento de raiz das plântulas oriundas de pirênios de *B. tomentosa* Eichler submetidos a diferentes tratamentos pré-germinativos. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott–Knott a 5% de probabilidade. CV: 17,23. Barra: Erro padrão da média.

A escarificação mecânica e os tratamentos com ácido sulfúrico, independentemente do tempo de exposição, resultaram nos maiores valores para o comprimento da parte aérea das plântulas (Figura 10).



**Figura 10.** Massa seca da parte aérea de plântulas oriundas de pirênios de *B. tomentosa* Eichler submetidos a diferentes tratamentos pré-germinativos. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott–Knott a 5% de probabilidade. CV: 25,43. Barra: Erro padrão da média.

Por outro lado, para a massa de matéria seca das raízes, não houve diferença entre a escarificação mecânica, os tratamentos com ácido sulfúrico e o grupo controle (Figura 11).



**Figura 11.** Massa seca da raiz de plântulas oriundas de pirênios de *B. tomentosa* Eichler submetidos a diferentes tratamentos pré-germinativos. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott–Knott a 5% de probabilidade. CV: 67,53. Barra: Erro padrão da média.

Para sementes de *Caesalpinia pulcherrima* (L.), o acúmulo de massa seca na parte aérea foi mais sensível na avaliação do vigor quando comparado com as respostas de acúmulo de massa seca na raiz (ARAÚJO NETO et al., 2014), como evidenciado neste trabalho.

Para as variáveis de crescimento das plântulas de *B. tomentosa* Eichler, em função dos tratamentos pré-germinativos, Figuras 6, 7, 8, 9, 10 e 11, os melhores resultados foram obtidos quando os pirênios foram submetidos à escarificação mecânica com lixa nº 60 no lado oposto ao eixo embrionário. Este tratamento promoveu incremento de 6,3 cm e 5,9 cm de comprimento da parte aérea e raiz, respectivamente, em relação ao controle, e resultou em maior número de folhas e no maior acúmulo de massa seca na parte aérea das plântulas.

A escarificação mecânica com lixa d'água nº 60, no lado oposto ao eixo embrionário, foi o tratamento pré-germinativo mais indicado para uniformizar a germinação e promover a superação de dormência em pirênios de *Buchenavia tomentosa* Eichler.

### **Ensaio 2: Análise de imagens de raios X em pirênios de *Buchenavia tomentosa* Eichler em diferentes estádios de maturação**

Observa-se que no estágio de maturação em que os frutos foram colhidos com aspecto visual de coloração do epicarpo amarelo foram expressos os maiores valores para todas as variáveis biométricas e para a massa fresca, mostrando o padrão esperado no aumento de tamanho das sementes ao longo do processo de maturação até atingirem a maturidade fisiológica. Resultado contrário foi observado para o teor de água, em que pirênios verdes apresentaram maiores teores em relação aos pirênios verde/amarelos e amarelos, reafirmando a perda de água das sementes nas etapas finais do processo de maturação (Tabela 2).

**Tabela 2.** Comparação das médias para comprimento (CP), largura (LG), espessura (ES), massa fresca de 100 pirênios (MF100) e teor de água (TA % b.u.) de pirênios de *B. tomentosa* em diferentes estádios de maturação.

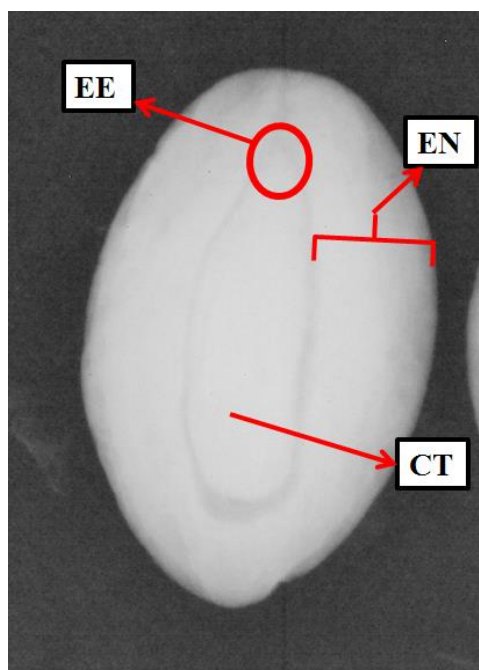
Estádios de maturação	CP (mm)	LG (mm)	ES (mm)	MF100(g)	TA (% b.u.)
Verdes	20,37 c*	12,61 b	9,55 b	1,35 b	19,45 a
Verde/amarelos	21,59 b	12,85 b	10,05 ab	1,42 b	15,88 a
Amarelos	22,60 a	13,44 a	10,30 a	1,70 a	11,21 b
CV (%)	1,52	1,80	2,74	8,26	13,76

\*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de significância de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

A maturação da semente é uma das fases mais importantes do programa de desenvolvimento, durante o qual ocorrem o crescimento do embrião, acúmulo de massa seca, o tegumento protetor se diferencia e a tolerância à dessecação se desenvolve. Este processo envolve uma sequência ordenada de alterações verificadas da fecundação até que se tornem independentes da planta-mãe. A regulação espacial e temporal de todos estes processos exige a ação de várias vias de sinalização que integram informações de programas genéticos e os sinais hormonais e metabólicos (GUTIERREZ et al., 2007). Segundo os padrões clássicos de desenvolvimento, as sementes apresentam valores elevados de teor de água no início da sua formação (próximos a 80-90% de água), declinando progressivamente até a dispersão (CARVALHO e NAKAGAWA, 2012).

O coeficiente de variação experimental foi baixo para todas as variáveis analisadas, mostrando que, mesmo em se tratando de uma espécie nativa e que não passou por nenhum processo de melhoramento genético, existe alta homogeneidade nos lotes de pirênios avaliados.

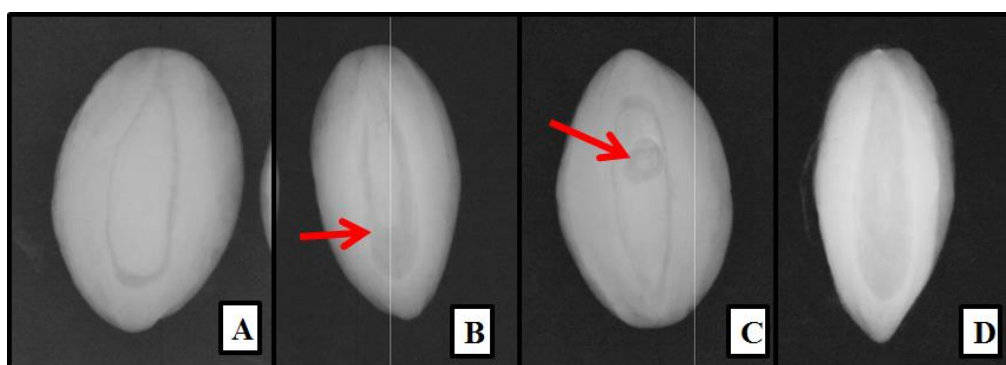
A exposição dos pirênios de *B. tomentosa* Eichler aos raios X, em intensidade de radiação de 30 kV por 40 segundos, foi eficiente para a visualização da morfologia interna dos pirênios, possibilitando identificar a região do eixo embrionário e os cotilédones, além de permitir dimensionar a espessura do endocarpo lenhoso (Figura 12).



**Figura 12:** Imagem radiográfica de pirênio de *B. tomentosa* Eichler com destaque para a região do eixo embrionário (EE), endocarpo lenhoso, rígido e espesso (EN) e cotilédones (CT).

O baixo teor de água obtido para pirênios amarelos (11,2% b.u.), em comparação com os pirênios verdes (19,4% b.u.), favoreceu a formação de imagens de raios X mais nítidas, permitindo visualizar adequadamente as partes internas dos pirênios. De acordo com Souza et al. (2008), quanto menor o teor de água, maior a densidade ótica, o que possibilita melhor visualização da morfologia interna das sementes radiografadas.

Os pirênios foram classificados, de acordo com as imagens radiografadas, em três categorias, conforme a visualização de suas estruturas internas: Cheios (totalmente formados), Figura 13 – A; Mal formados ou com danos por inseto (B e C); e Vazios (D), Figura 13 – D.



**Figura 13:** Pirênios de *B. tomentosa* Eichler classificados como Cheios (totalmente formados) (A), Mal formados ou com danos por inseto (B e C) e Vazios (D) através da análise das imagens radiografadas. Setas: locais de danos.

Para frutos coletados no estágio de maturação verde, foi observado maior número de pirênios classificados como cheios, em comparação aos demais estádios de maturação. Além disso, neste estágio de maturação, não foram observados pirênios vazios e apenas 3,29% mal formados ou com danos. No entanto, pirênios verdes e classificados como cheios pela análise de imagens resultaram em apenas 64,08% de plântulas normais e em 36,67% de pirênios não germinados, indicando que, mesmo na ausência de danos ou má formação, existem fatores limitantes da germinação que podem estar relacionados à imaturidade do embrião neste estágio de maturação dos frutos (Tabela 3).

**Tabela 3.** Porcentagem de pirênios (P%), porcentagem de plântulas normais (PN%), porcentagem de plântulas anormais (PA%) e porcentagem de pirênios mortos ou não germinados (PM%) de *B. tomentosa* Eichler, coletados em diferentes estádios de maturação e classificados por meio da análise de imagens de raios X.

Variáveis	Estádio de maturação dos frutos	Categorias do teste de raios X			CV (%)
		Pirênios Cheios (%)	Pirênios Mal formados/com danos (%)	Pirênios Vazios (%)	
P (%)	Verdes	98,12 aA*	3,29 aB	0,00 bC	3,55
	Verde/amarelos	94,36 bA	4,32 aB	2,67 abB	
	Amarelos	92,61 bA	4,73 aB	1,43 aC	
PN (%)	Verdes	64,08 bA	0,00 aB	0,00 aB	14,37
	Verde/amarelos	87,58 aA	0,00 aB	0,00 aB	
	Amarelos	65,75 bA	0,00 aB	0,00 aB	
PA (%)	Verdes	1,66 cB	76,67 cA	0,00 aB	10,96
	Verde/amarelos	8,73 bB	83,41 bA	0,00 aC	
	Amarelos	31,25 aB	93,67 aA	0,00 aC	
PM (%)	Verdes	36,67 aA	23,33 aB	0,00 bC	16,08
	Verde/amarelos	3,66 bC	19,08 aB	100 aA	
	Amarelos	3,00 bB	6,33 bB	100 aA	

\*Médias seguidas pela mesma letra, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, para cada variável analisada, não diferem entre si ao nível de significância de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

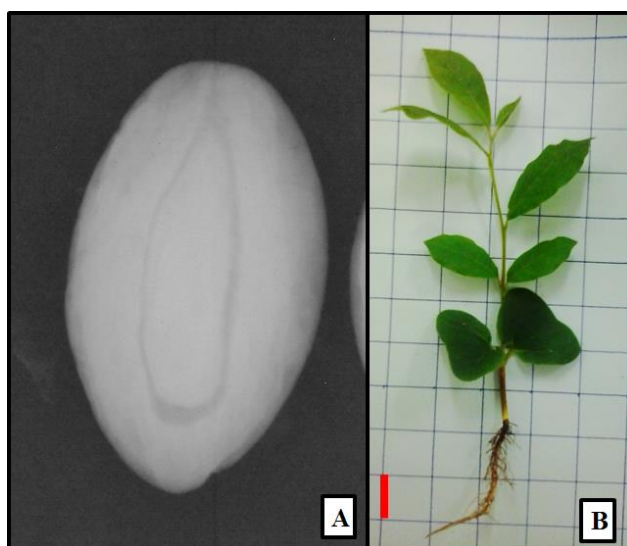
O maior percentual de plântulas normais foi observado para os pirênios do estágio de maturação verde/amarelo, classificados como cheios, com 87,58% de plântulas normais ao final do teste de emergência. Este resultado indica que os frutos



com coloração do epicarpo verde/amarelo são mais vigorosos em relação aos demais estádios de maturação e, por este motivo, sugere-se que a coleta dos frutos seja feita neste estágio de maturação. Resultado semelhante foi encontrado por Schulz et al. (2014) para *Inga laurina* (Sw.) Willd, em que sementes provenientes de frutos de coloração verde-amarela e amarela, caracterizados como de estádios intermediário e maduro, respectivamente, atingiram a maturidade fisiológica e expressaram maior vigor, sendo indicada a coleta dos frutos nestes estádios para a obtenção de sementes capazes de produzir plântulas mais vigorosas.

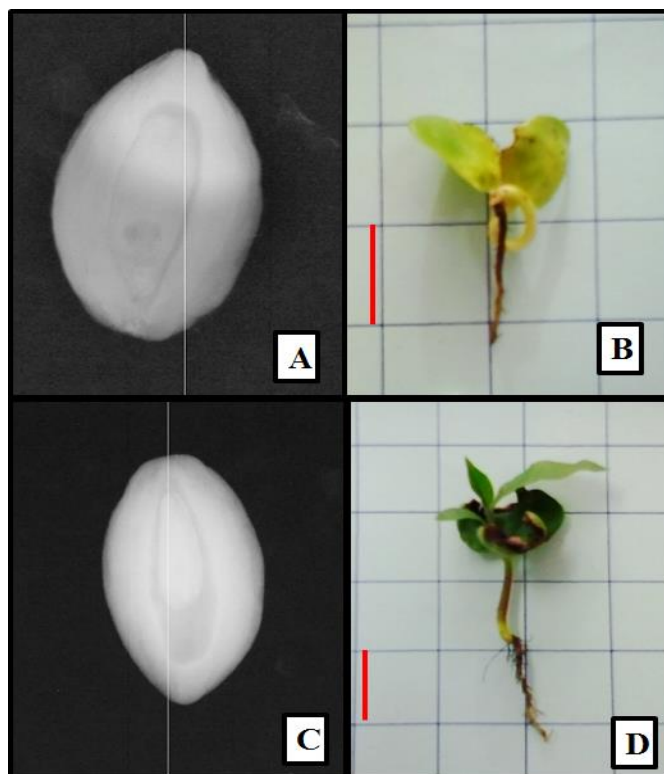
Pirênios do estágio de maturação amarelo e com danos ou má formação expressaram o maior percentual de plântulas anormais, chegando ao valor de 93,67%.

De um modo geral, independentemente do estágio de maturação analisado, mais de 92% dos pirênios foram classificados como cheios, resultando em uma média de 72,47% de plântulas normais ao final do teste de emergência (Figura 14).



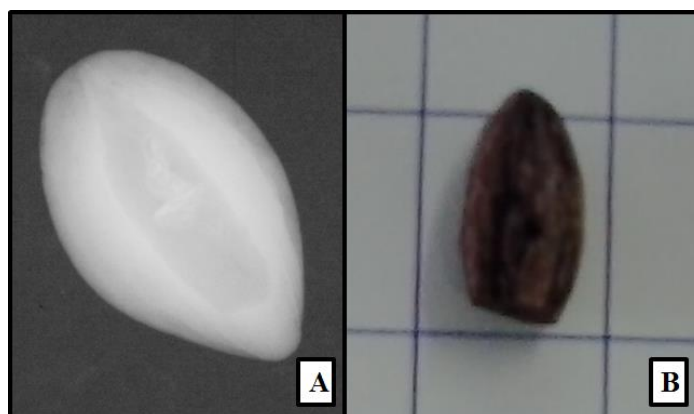
**Figura 14.** Imagem radiográfica de pirênio de *B. tomentosa* Eichler cheio e sem nenhum dano interno (A) e a respectiva plântula normal ao final do teste de emergência (B). Barra: 1 cm.

Para os pirênios de coloração amarela, classificados como mal formados ou com danos, foram registrados os maiores valores para plântulas anormais. Independentemente do estágio de maturação, para a classe de pirênios mal formados ou com danos, não foram observadas plântulas normais (Figura 15).



**Figura 15.** Imagem radiográfica de pirênio de *B. tomentosa* Eichler com dano por inseto na região dos cotilédones (A) e a respectiva plântula anormal (B). Em C, pirênio com má formação e a respectiva plântula anormal ao final do teste de emergência (D). Em A e B, pirênios verde/amarelos e, em C e D, pirênios amarelos. Barra: 1 cm.

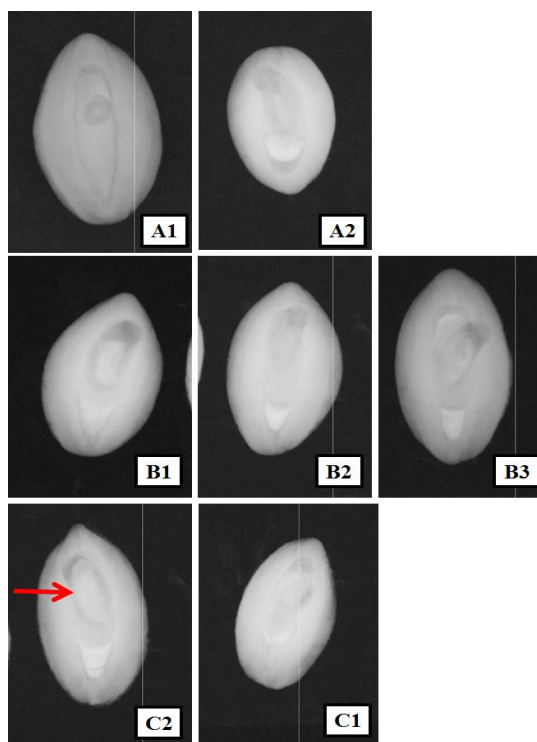
Para todos os estádios de maturação analisados, pirênios vazios resultaram em 100% de sementes mortas ou Imagem radiográfica de pirênio de *B. tomentosa* Eichler com dano por inseto na região dos cotilédones (A) e a respectiva plântula anormal (B). Em C, pirênio com má formação e a respectiva plântula anormal ao final do teste de emergência (D); em A e B, pirênios verde/amarelos; e em C e D, pirênios amarelos. Barra: 1 cm. não germinadas ao final do teste de emergência (Figura 16).



**Figura 16.** Imagem radiográfica de pirênio de *B. tomentosa* Eichler vazio (A) e a respectiva imagem do pirênio morto ao final do teste de emergência (B).

A identificação de pirênios com danos ou vazios e a exclusão destes dos lotes permitem a obtenção de lotes altamente vigorosos, reduzindo custos de armazenamento e de produção de mudas. *B. tomentosa* Eichler é uma espécie arbórea indicada para o reflorestamento de áreas degradadas e, para tal, faz-se necessária a formação de mudas vigorosas e mais resistentes. Neste sentido, pirênios com danos ou vazios devem ser excluídos dos lotes, visando a obter melhor desempenho no processo de formação de mudas (GOMES et al., 2014).

Independentemente do estágio de maturação dos frutos, não foram observadas plântulas normais para pirênios com danos por insetos, resultando em plântulas anormais ou sementes mortas ao final do teste de emergência. Além disso, não foram observados danos por insetos na região do eixo embrionário das sementes, apenas nos cotilédones, indicando que a espécie de artrópode em questão tem preferência pelos tecidos de reserva (Figura 17). Além das classes de danos observadas nas imagens de raios X, foi possível identificar presença de larvas de insetos ainda no interior do pirênio se alimentando e consumindo as reservas da semente (Figura 17 - C2).



**Figura 17.** Imagem radiográfica de pirênios de *B. tomentosa* Eichler nos estádios de maturação verdes (A1-A2); verde/amarelos (B1-B3) e amarelos (C1-C2) com danos por insetos. Seta: Larva de inseto no interior do pirênio.

Maiores índices de danos causados por insetos foram observado em pirênios verde/amarelos, indicando que este seja o ponto de ataque preferencial desta espécie de

artrópode. De acordo com Farias et al. (2015), as larvas do besouro *Amblycerus insuturatus* foram encontradas em frutos de *B. tomentosa* Eichler, coletados diretamente na copa de árvores, indicando predação pré-dispersão. As fases de maior intensidade de proliferação desses insetos foram no início e pico da estação de frutificação. Como o período de frutificação se sobrepõe ao de floração do ano seguinte, a infestação em flores da planta pode ser facilitada. Além disso, em vários frutos coletados, o endosperma e o embrião da semente foram totalmente consumidos pelas larvas dos besouros, o que também foi verificado neste estudo e resultou em pirênios vazios, conforme identificados pela análise de imagens de raios X.

A análise de imagens de raios X obtidas pelo teste de raios X se mostrou uma técnica eficiente na avaliação da morfologia interna e da qualidade de pirênios de *B. tomentosa* Eichler, permitindo a identificação de má formação, danos e até mesmo de pirênios vazios. Além disso, esta técnica auxiliou também na identificação dos danos causados pelas larvas do besouro *A. insuturatus*, que podem ser os principais responsáveis pela ausência de germinação de grande parte dos pirênios desta espécie.

O teste de raio X também foi eficiente na detecção da qualidade dos lotes de sementes de *Terminalia argentea* (Combretaceae), auxiliando na separação de sementes vazias e com anormalidades embrionárias, inviabilizando seu uso de imediato ou para armazenamento (GOMES et al., 2014).

Na Tabela 4 estão apresentados os resultados da análise de variância e comparação das médias para porcentagem de emergência (E%), índice de velocidade de emergência (IVE), comprimento da parte aérea (CPA), comprimento de raiz (CR), diâmetro na altura do colo (DAC) e número de folhas de plântulas de *B. tomentosa* Eichler nos diferentes estádios de maturação.

**Tabela 4.** Porcetagem de emergência (E%), índice de velocidade de emergência (IVE), comprimento da parte aérea (CPA), comprimento de raiz (CR), diâmetro na altura do colo (DAC) e número de folhas de plântulas de *B. tomentosa* Eichler, em função do estágio de maturação dos frutos.

Estádios de maturação	E (%)	IVE	CPA (cm)	CR (cm)	DAC (mm)	NF
Verdes	47,5 c*	0,37 b	15,44 b	7,95 a	2,17 a	5,87 a
Verde/amarelos	90,00 a	0,89 a	17,90 a	8,18 a	2,29 a	6,30 a
Amarelos	65,50 b	0,51 b	17,69 a	7,45 a	2,00 a	6,70 a
CV (%)	12,35	16,38	6,46	12,78	14,12	9,56

\*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de significância de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Pirênios provenientes de frutos verde/amarelos tiveram maiores valores para porcentagem de emergência, índice de velocidade de emergência e comprimento da parte aérea, em comparação aos demais estádios de maturação. Estes resultados indicam que, para a obtenção de pirênios mais vigorosos, os de frutos de *B. tomentosa* Eichler devem ser coletados quando o epicarpo apresentar colorção verde/amarela (estádio intermediário do processo de maturação). Para comprimento de raiz, diâmetro à altura do colo e número de folhas, não houve diferença entre os estádios de maturação.

Os resultados dos testes de vigor reafirmam o padrão obtido por meio do teste de raios X, em que pirênios verde/amarelos e na categoria de pirênios cheios tiveram maior percentual de plântulas normais ao final do teste de emergência. Com base em tais resultados, pode-se afirmar que o teste de raios X é uma ferramenta eficiente na avaliação da morfologia interna, da qualidade e do vigor de pirênios de *B. tomentosa* Eichler. Assim, o emprego do teste de raios X, como método de análise da qualidade de sementes, por ser um teste rápido e não destrutivo, possibilita a obtenção de dados sobre a condição fisiológica e o vigor de lotes de pirênios de *B. tomentosa* Eichler com segurança e menor espaço de tempo de avaliação, agilizando e otimizando o processo de armazenamento e produção de mudas.

#### 6.4 CONCLUSÕES

A escarificação mecânica com lixa d'água, no lado oposto ao eixo embrionário, acelera e uniformiza a emergência de plântulas de *B. tomentosa* Eichler.

Pirênios obtidos de frutos com coloração do epicarpo verde/amarelo são mais vigorosos em relação aos demais estádios de maturação.

A utilização do teste de raios X é eficiente na avaliação da morfologia interna e na detecção da qualidade e do vigor de pirênios de *B. tomentosa* Eichler.

## 6.5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pelo apoio financeiro recebido pela chamada MCTI/CNPq N° 14/2013 - Faixa A, processo nº 478703/2013-9, e à Capes (Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pela concessão da bolsa de estudos de doutorado do primeiro autor.

## 6.6 REFERÊNCIAS

- AMARAL, J. B.; MARTINS, L.; FORTI, V. A.; CICERO, S. M.; MARCOS FILHO, J. Teste de raios x para avaliação do potencial fisiológico de sementes de ipê-roxo. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, n. 4, p. 601-607, 2011.
- ARAÚJO NETO, J. C.; CAMARA, C. A.; FERREIRA, V. M.; TRINDADE LESSA, B. F.; OLIVEIRA, Y. M. Caracterização morfométrica, germinação e conservação de sementes de *Caesalpinia pulcherrima* (L.) SW.(Fabaceae: Caesalpinioidea). **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 4Supl, p. 2287-2300, 2014.
- BASKIN, C. C. Breaking physical dormancy in seeds – focusing on the lens. **New Phytologist**, v. 158, n. 2, p. 227–238, 2003.
- BENTSINK, L.; KOORNNEEF, M. Seed dormancy and germination. **The Arabidopsis Book/American Society of Plant Biologists**, p. e0119, 2008.
- BEWLEY, J. D. Seed Germination and Dormancy. **The Plant Cell**, v. 9, n. 7, p. 1055-1066, 1997.
- BRANCALION, P. H. S.; MONDO, V. H. V.; NOVEMBRE, A. D. D. L. C. Escarificação química para a superação da dormência de sementes de saguaraji-vermelho (*Colubrina glandulosa* Perk.-Rhamnaceae). **Revista Árvore**, v. 35, n. 1, p. 119-124, 2011.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para Análise de Sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009. 395p.
- CARVALHO, N. M. D.; NAKAGAWA, J. **Sementes - ciência, tecnologia e produção**. FUNEP, Jaboticabal. 2012.
- CURSI, P. R.; CICERO, S. M. Fruit processing and the physiological quality of *Euterpe edulis* Martius seeds. **Journal of Seed Science**, v. 36, n. 2, p. 134-142, 2014.
- DELL'AQUILA, A. Towards new computer imaging techniques applied to seed quality testing and sorting. **Seed Science and Technology**, v. 35, n. 3, p. 519-538, 2007.

- FARIAS, J.; SANCHEZ, M.; ABREU, M. F.; PEDRONI, F. Seed dispersal and predation of *Buchenavia tomentosa* Eichler (Combretaceae) in a Cerrado sensu stricto, midwest Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 75, n. 4, p. 88-96, 2015.
- FERNÁNDEZ-PASCUAL, E. JIMÉNEZ-ALFARO, B.; CAUJAPÉ-CASTELLS, J.; JAÉN-MOLINA, R.;DÍAZ, T. E. A local dormancy cline is related to the seed maturation environment, population genetic composition and climate. **Annals of botany**, p. mct154, 2013.
- FERREIRA, D. F. **SISVAR**: Sistema de análise de variância, versão 4.0. Lavras: DEX/UFLA, 2000. (Software estatístico).
- FERREIRA, E. D. S.; MATOS, V. P.; SILVA, R. B.; SANTOS, H. H.; SENA, L. H. Thermal scarification to overcome *Piptadenia moniliformis* seeds dormancy. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 1, p. 79-83, 2014.
- FINCH-SAVAGE, W. E.; LEUBNER-METZGER, G. Seed dormancy and the control of germination. **New Phytologist**, v. 171, n. 3, p. 501-523, 2006.
- FIOR, C. S.; RODRIGUES, L. R.; LEONHARDT, C.; SCHWARZ, S. F. Superação de dormência em sementes de *Butia capitata*. **Ciência Rural**, v. 41, n. 7, p. 1150-1153, 2011.
- GOMES JUNIOR, F. G. Aplicação da análise de imagens para avaliação da morfologia interna de sementes. **Informativo ABRATES**, v. 20, n. 3, p. 33-51, 2010.
- GOMES, K. B. P.; MARTINS, R. D. C. C.; MARTINS, I. S.; GOMES JUNIOR, F. G. Avaliação da morfologia interna de sementes de *Terminalia argentea* (Combretaceae) pelo teste de raios X. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 4, p. 752-759, 2014.
- GONZAGA, A. P. D.; CARVALHO, L. C. D. S. C.; DE SOUZA ALMEIDA, H.; ROCHA, E. A.; BRAGA, R. F.; NUNES, Y. R. F. Germinação de sementes e estabelecimento de plântulas de *Solanum lycocarpum*st. Hill submetidas à escarificação mecânica, química e térmica. **Heringeriana**, v. 3, n. 2, p. 53-66, 2009.
- GUTIERREZ, L.; VAN WUYTSWINKEL, O.; CASTELAIN, M.; BELLINI, C. Combined networks regulating seed maturation. **Trends in plant science**, v. 12, n. 7, p. 294-300, 2007.
- LABOURIAU, L. G. **A germinação das sementes**. Washington: Organização dos Estados Americanos, 1983. 174 p.
- LIMA, L. K. S.; SANTOS, C. C.; DUTRA, A. S.; DE LIMA BARROS, G. Utilização de Técnicas na Avaliação de Sementes por Imagem. **Agropecuária científica no semiárido**, v. 9, n. 3, p. 01-06, 2013.
- LORENZI, H. **Árvores Brasileiras**: Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 2ª. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2002. vol. 2. 368 p.
- MAGUIRE, J. D. Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v.2, p.176-177, 1962.
- MARQUE, W. T; VALENTE, M. C. Flora da Reserva Ducke, Amazonas, Brasil: **Combretaceae Rodriguésia**, v. 56, n. 8, p. 1319-1332, 2007.

- MASSETO, T. E.; FARIA, J. M. R.; QUEIROZ, S. E. E. Avaliação da qualidade de sementes de cedro (*Cedrela fissilis*) pelo teste de raios X. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 6, p. 1708-1712, 2008.
- MATILLA, A. J.; MATILLA-VAZQUEZ, M. A. Involvement of ethylene in seed physiology. **Plant Science**, v. 175, n. 1, p. 87-97, 2008.
- MENDONÇA, R. C.; FELFILI, J.; WALTER, B.; SILVA-JU, N. I. O. R. Flora vascular do Bioma Cerrado: checklist com 12.356 espécies. **Cerrado: ecologia e flora**, 423-1279, 2008.
- MENEZES, N. L.; CÍCERO, S. M.; VILLELA, F. A. Identificação de fissuras em sementes de arroz após a secagem artificial, por meio de raios-X. **Ciência Rural**, v. 35, n. 5, p. 1194-1196, 2005.
- MUXFELDT, R. E.; FARIA, J. M. R.; TONETTI, O. A. O.; SILVA, E. A. A. D. Use of X-ray analysis in studies of the effects of desiccation on diaspores of Canela-Batalha (*Cryptocarya aschersoniana* Mez-Lauraceae). **Cerne**, v. 18, n. 4, p. 657-666, 2012.
- NAMBARA, E.; OKAMOTO, M.; TATEMATSU, K.; SEO, R. M.; KAMIYA Y. Absciscic acid and the control of seed dormancy and germination. **Seed Science Research**, v. 20, n. 2, p. 55-67, 2010.
- NONOGAKI, H.; BASSEL, G. W.; BEWLEY, J. D. Germinação - still a mystery. **Plant Science**, v. 179, n. 6, p. 574-581, 2010.
- OLIVEIRA, L. M.; CARVALHO, M. L. M.; GUIMARÃES, R. M.; MASETTO, T. E. Avaliação da qualidade de sementes de *Tabebuia Serratifolia* Vahl Nich. e *T. Impetiginosa* (Martius Ex A. P. De Candolle) Standley - (BIGNONIACEAE) pelo teste de raios X. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 26, n. 2, p. 138-143, 2004.
- PACHECO, M. V.; SANTOS ARAÚJO, F.; SANTOS FERRARI, C.; BRUNO, R. D. L. A. Germinação de sementes de *Combretum leprosum* MART. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 1, p. 154-162, 2014.
- PEREIRA, F. E. C. B.; GUIMARÃES, I. P.; TORRES, S. B.; BENEDITO, C. P. Superação de dormência em sementes de *Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 1, p. 165-170, 2015.
- POTT, A.; POTT, V. J. **Plantas do Pantanal**. Corumbá: Empresa agropecuária, Centro de Pesquisa Agropecuária do Pantanal. EMBRAPA. 1994. 320 p.
- PUPIM, T. L.; NOVEMBRE, A. D. L. C.; CARVALHO, M. L. M.; CÍCERO, S. M. Adequação do teste de raios X para avaliação da qualidade de sementes de embaúba (*Cecropia pachystachya* Trec.). **Revista Brasileira de Sementes**, v. 30, n. 2, p. 28-32, 2008.
- RATTER, J. A.; POTT, A.; POTT, V. J.; CUNHA, C. D.; HARIDASAN, M. Observations on woody vegetation types in the Pantanal and at Corumbá, Brazil. **Notes RBG Edinb.**, v. 45, 1988.



SCHULZ, D. G.; ORO, P.; VOLKWEIS, C.; MALAVASI, M. D. M.; MALVASI, U. C. Maturidade fisiológica e morfometria de sementes de *Inga laurina* (Sw.) Willd. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 1, p. 45-51, 2014.

SILVA, V. N.; SARMENTO, M. B.; SILVEIRA, A. C.; SILVA, C. S.; CICERO, S. M. Avaliação da morfologia interna de sementes de *Acca sellowiana* O. Berg por meio de análise de imagens. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.35, n.4, p.1158–1169, 2013.

SOCOLOWSKI, F.; CICERO, S. M. Caracterização morfológica de embriões por imagens de raios x e relação com a massa e a qualidade fisiológica de sementes de *Tecoma stans* L. Juss. ex Kunth (Bignoniaceae). **Revista Brasileira de Sementes**, v. 30, n. 2, 2008.

SOCOLOWSKI, F.; CICERO, S. M.; VIEIRA, D.C.M. Seed weight of *Xylopia aromatica* (Annonaceae): quality evaluation from X-ray and seedling emergence. **Scientia Agricola**, v. 68, n. 6, p. 643-646, 2011.

SOUZA, L.; REIS, D. N.; SANTOS, J. P.; DAVIDE, A. C. Uso de raios x na avaliação da qualidade de sementes de *Platypodium elegans* Vog. **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, n. 2, p. 343-347, 2008.

STURIÃO, W. P.; LANDGRAF, P. R. C.; ROSA, T. P. Avaliação da qualidade de sementes de palmeira jerivá pelo teste de Raios X. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 1, p. 213-218, 2012.

VIVIAN, R.; SILVA, A. A.; GIMENES, J.; FAGAN, E. B.; RUIZ, S. T.; LABONIA, V. Dormência em sementes de plantas daninhas como mecanismo de sobrevivência: breve revisão. **Planta Daninha**, v. 26, n. 3, p. 695-706, 2008.

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

## 7. CONCLUSÃO GERAL

A curva de embebição de sementes de *E. dysenterica* DC. apresenta o padrão trifásico clássico de absorção de água, com rápido ganho de massa nas primeiras 60 horas de embebição e germinação de 94,4% após 192 horas.

A secagem, independentemente do método empregado, afeta negativamente a viabilidade de sementes de *E. dysenterica* DC., reafirmando o caráter recalcitrante das sementes desta espécie.

A análise de imagens de raios X é eficiente na avaliação da morfologia interna das sementes de *E. dysenterica* DC. O teste de raios X, aliado à técnica de análise de imagens, permite estabelecer relação direta entre o aumento da área de espaço livre no interior da semente e a diminuição da emergência de plântulas, provocada pela secagem das sementes.

A viabilidade e o vigor de aquênios de *A. othonianum* Rizz. não foram afetados pela secagem em sílica gel até o teor de água de 4% (b.u.).

A análise de imagens de raios X é eficiente na avaliação da morfologia interna dos aquênios de *A. othonianum* Rizz, possibilitando a separação de aquênios vazios e com anormalidades embrionárias e permitindo a formação de lotes mais vigorosos. Além disso, pelo teste de raios X, não foi observada redução do volume ocupado pelo embrião e do desempenho fisiológico dos aquênios submetidos à secagem.

Pirênios de *B. tomentosa* Eichler têm endocarpo lenhoso que atua como barreira à entrada de água e às trocas gasosas na semente. Neste sentido, a escarificação mecânica com lixa d'água nº 60, no lado oposto ao eixo embrionário, acelera e uniformiza a emergência de plântulas de *B. tomentosa* Eichler, sendo este método indicado como tratamento para superação da dormência para esta espécie.

Pirênios de *B. tomentosa* Eichler, obtidos de frutos com coloração do epicarpo verde/amarelo, são mais vigorosos em relação ao demais estádios de maturação.

O teste de raios X é eficiente na avaliação da morfologia interna, bem como na detecção da qualidade e do vigor de pirênios de *B. tomentosa* Eichler, possibilitando a identificação de pirênios vazios, com má formação ou ataque de insetos, permitindo seu descarte dos lotes destinados à produção de mudas ou armazenamento.