

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA
E TECNOLOGIA GOIANO – *CAMPUS* RIO VERDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU*
EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS

HIGROSCOPICIDADE E CRIOPRESERVAÇÃO DE
SEMENTES DE CAJU-DE-ÁRVORE-DO-CERRADO

Autora: Graciene de Souza Santos Caetano
Orientadora: Prof.^a. Dr.^a. Juliana de Fátima Sales

RIO VERDE - GO
maio – 2012

HIGROSCOPICIDADE E CRIOPRESERVAÇÃO DE SEMENTES DE CAJU-DE-ÁRVORE-DO-CERRADO

Autora: Graciene de Souza Santos Caetano
Orientadora: Prof.^a. Dr.^a. Juliana de Fátima Sales

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – *campus* Rio Verde – Área de concentração Ciências Agrárias.

RIO VERDE - GO
maio – 2012

C116h

Caetano, Graciene de Souza Santos.

Higroscopicidade e criopreservação de sementes de caju-de-árvore-do-cerrado / Graciene de Souza Santos Caetano – Rio Verde [GO] : Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, 2012.

50 p. : il.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Juliana de Fátima Sales.

Dissertação (Mestrado) – Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

1. Caju-de-árvore-do-cerrado (*Anacardium Othonianum* Rizz) - sementes 2. Higroscopicidade. 3. Criopreservação. I. Sales, Juliana de Fátima (orientadora). II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias.

CDD 634

Ficha catalográfica elaborada pelo Bibliotecário Alisson de Sousa B. Santos CRB-1/2.266
Biblioteca Professor Jorge Félix de Souza,
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

**HIGROSCOPICIDADE E CRIOPRESERVAÇÃO DE
SEMENTES DE CAJU - DE - ÁRVORE – DO - CERRADO**

Autora: Graciene de Souza Santos Caetano
Orientadora: Dra. Juliana de Fátima Sales

TITULAÇÃO: Mestre em Ciências Agrárias – Área de concentração
Ciências Agrárias – Ciências Agrárias

APROVADA em 31 de maio de 2012.

Prof^ª. Dra. Carla Gomes Machado
Avaliadora externa
UFG/Jataí

Dra. Juliana Rodrigues Donadon
Avaliadora interna
IF Goiano/RV(Bolsista CAPES/PNPD)

Prof^ª. Dra. Juliana de Fátima Sales
Presidente da banca
IFGoiano/RV

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida, sabedoria e por ter dado a natureza com tantas possibilidades de pesquisa.

Aos meus pais, pela vida, educação, amor, carinho e incentivo.

Aos meus irmãos, pelo carinho.

Ao meu esposo Reinaldo, pelo amor, pela compreensão, e companheirismo .

À Giordana, razão do meu viver, por ter compreendido minha ausência tantas vezes.

À Iroene, Dona Paula, Abigail, Luzia, Itaci, Bethania, Beatriz, Edilene, pela acolhida.

À Professora Dra. Juliana de Fátima Sales pela orientação, compreensão, paciência e ajuda, sempre que necessário e principalmente por ter acreditado no meu potencial.

Ao Professor Dr. Osvaldo Resende, pela coorientação, pelo auxílio, durante todas as etapas deste trabalho.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – *Campus* Rio Verde e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, pela oportunidade desta realização.

Aos professores do Instituto: Fabiano Guimarães, Davi Vieira, Márcio Peixoto, Lucilene Tavares e Adriano Perin, pelo incentivo desde o meu ingresso no programa.

A todos os docentes do PPGCA, que contribuíram para meu aprendizado.

Aos alunos do Laboratório de Sementes, pela amizade e pelo auxílio.

À amiga e companheira Adriene Branquinho, pelo incentivo e ajuda na execução dos experimentos. Meu reconhecimento e admiração. Obrigada Adriene!

Às Mestres e amigas Lílian e Kelly, pelo auxílio na execução dos experimentos.

Ao Aurélio Rúbio Neto, pelo auxílio nas análises estatísticas.

A todos os colegas da Pós-Graduação.

À Dr.^a. Susy Áurea e Joyce, pela compreensão e oportunidade dessa conquista.

À sociedade brasileira, responsável pela existência e manutenção dos Institutos Federais de Educação.

A todos os autores, citados nas referências bibliográficas, pelos trabalhos pioneiros que possibilitaram o desenvolvimento desta dissertação.

À CAPES, pelo auxílio financeiro.

A todos, que contribuíram para a realização desse trabalho.

Àqueles, que involuntariamente, omiti.

Muito obrigada!

BIOGRAFIA DA AUTORA

GRACIENE DE SOUZA SANTOS CAETANO, filha de Agenor Moreira dos Santos e Maria de Souza Santos, nasceu em Correntina, Estado da Bahia, em 09 de julho de 1978.

Graduou-se em Licenciatura em Biologia pela Universidade de Rio Verde - FESURV- em agosto de 2006.

Em março de 2010, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias pelo Instituto Federal Goiano *Campus* Rio Verde, em nível de Mestrado, submetendo-se à defesa da dissertação, requisito indispensável para a obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias, em maio de 2012.

ÍNDICE

	Página
ÍNDICE DE TABELAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES.....	ix
RESUMO.....	xi
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUÇÃO.....	1
1.1O Bioma Cerrado.....	1
1.2A fruticultura.....	1
1.3Caju-de-árvore-do cerrado.....	2
1.4Armazenamento de Sementes.....	4
1.5Higroscopicidade.....	6
1.6Criopreservação de Sementes.....	8
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	12
OBJETIVOS GERAIS.....	19
CAPÍTULO 1. Higroscopicidade de sementes de caju-de-árvore-do-cerrado (<i>Anacardium othonianum</i> Rizz.).....	20
Resumo.....	20

Abstract.....	20
Introdução.....	21
Material e métodos.....	23
Resultados e discussão.....	26
Conclusão.....	30
Referências.....	30
CAPÍTULO 2. Criopreservação de sementes de caju-de-árvore-do-cerrado	
(<i>Anacardium othonianum</i> Rizz.).....	34
Resumo.....	34
Abstract.....	34
Introdução.....	35
Material e métodos.....	37
Resultados e discussão.....	39
Conclusões.....	46
Referências.....	47
CONCLUSÃO GERAL.....	50

ÍNDICE DE TABELAS

	Página
CAPÍTULO 1	
Tabela 1. Atividades de água (decimal) estabelecidas no interior dos dessecadores para a determinação do equilíbrio higroscópico de sementes de caju-de-árvore-do-cerrado (Rio Verde, GO, 2012).....	24
Tabela 2. Modelos matemáticos utilizados para predizer a higroscopicidade de sementes de caju-de-árvore-do-cerrado (Rio Verde, GO, 2012).....	24
Tabela 3. Valores médios do teor de água de equilíbrio (% b.s.) de sementes de caju-de-árvore-do-cerrado, obtidos por dessorção, em função da temperatura (°C) e da atividade de água (decimal, $\pm 0,03$) (Rio Verde, GO, 2012).....	26
Tabela 4. Coeficientes dos modelos ajustados aos teores de água de equilíbrio higroscópico para as sementes de caju-de-árvore-do-cerrado, com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2), erros médios relativos (P), erros médios estimados (SE), Qui - quadrado (χ^2) (Rio Verde, GO, 2012).....	27

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
CAPÍTULO 1	
Figura 1. Valores experimentais de teor de água de equilíbrio higroscópico e isotermas de dessorção estimadas pelo modelo de Chung-Pfost para as sementes de caju-de-árvore-do-cerrado, em diferentes condições de temperatura e atividades de água (Rio Verde, GO, 2012).....	29
CAPÍTULO 2	
Figura 1. Porcentagem de germinação das sementes de caju-de-árvore-do-cerrado armazenadas em nitrogênio líquido por 2, 4 e 6 meses, submetidas ao descongelamento rápido e lento.....	39
Figura 2. Porcentagem de plântulas normais das sementes de caju-de-árvore-do-cerrado armazenadas por 2, 4 e 6 meses e submetidas ao descongelamento rápido e lento.....	42
Figura 3. Índice de velocidade de germinação das sementes de caju-de-árvore-do-cerrado armazenadas por 2, 4 e 6 meses em nitrogênio líquido e submetidas ao descongelamento rápido e lento.....	44

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACIONES E UNIDADES

a_w	Atividade de água	%b.s.
a	Coeficiente dos modelos	
b	Coeficiente dos modelos	
b.s.	Base seca	
b.u.	Base úmida	
c	Coeficiente dos modelos	
CaCl ₂	Cloreto de cálcio	
Ca(NO ₃) ₂	Nitrato de cálcio	
cm	Centímetro	
DMSO	Dimetilsulfóxido	
g	Gramas	
GLR	Graus de liberdade do modelo	
	(observações menos o número de parâmetros do modelo)	
IVG	Índice de Velocidade de Germinação	
KBr	Brometo de potássio	
LEA	Late Embryogenesis Abundant	
LiCl	Cloreto de lítio	
n	Coeficiente dos modelos	
N	Número de observações experimentais	
NaCl	Cloreto de sódio	
P	Erro médio relativo	%
R ²	Coeficiente de determinação	%
SE	Erro médio estimado	
T	Temperatura de secagem	°C
Y	Valor de RU calculado experimentalmente	

\hat{Y}	Valor de RX estimado pelo modelo	
X^2	<i>Qui-quadrado</i>	
X^*	Teor de água do produto	b.s.
X^*_e	Teor de água de equilíbrio do produto	b.s.
%	Porcentagem	
°C	Grau célsius	

RESUMO

CAETANO, Graciene de Souza Santos, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano- *campus* Rio Verde, maio de 2012. **Higroscopicidade e criopreservação de sementes de caju-de-árvore-do-cerrado.** Orientadora: Dr.^a Juliana de Fátima Sales.

O caju-de-árvore-do-cerrado (*Anacardium othonianum* Rizz.) possui porte arbóreo, tem potencial alimentício e medicinal. Sua exploração é extrativista e as plantações comerciais são praticamente inexistentes. O armazenamento de sementes é uma preocupação crescente nos programas de melhoramento genético de plantas e tem grande importância na preservação do material genético. As condições de umidade relativa e de temperatura durante o armazenamento, em que as sementes alcançarão o equilíbrio higroscópico específico, determinarão a manutenção de sua qualidade fisiológica por maior ou menor tempo. O objetivo deste trabalho foi estudar o equilíbrio higroscópico e determinar as isotermas de dessecção de sementes de caju-de-árvore-do-cerrado para diversas condições de temperatura e atividades de água, bem como avaliar a possibilidade de criopreservação por diferentes tempos de armazenamento, verificando também o método mais adequado para o descongelamento das sementes. O teor de água de equilíbrio das sementes foi determinado pelo método estático-gravimétrico para temperaturas de 25, 30, 35 e 40°C e atividades de água para cada temperatura entre 0,12 a 0,89 (decimal). O teor de água de equilíbrio decresce com o aumento da temperatura para uma dada atividade de água à semelhança dos produtos higroscópicos. Aos dados experimentais foram ajustados diversos modelos matemáticos. O modelo de Chung-Pfost é o que descreve melhor a higroscopicidade das

sementes de caju-de-árvore-do-cerrado. Foi avaliado também o efeito do armazenamento das sementes de caju-de-árvore-do-cerrado (*Anacardium othonianum* Rizz.) em nitrogênio líquido por 2, 4 e 6 meses a (-196°C) submetidas ao descongelamento rápido (banho maria a 37°C durante dez minutos) e descongelamento lento (temperatura ambiente a 26°C± 2°C por um período de 2 horas). Sementes de caju com 7% de umidade sem criopreservação foram utilizadas como testemunhas. Antes e após o armazenamento das sementes, foram realizadas as avaliações de porcentagem de germinação, índice de velocidade de germinação (IVG), porcentagem de plântulas normais. As sementes de caju-de-árvore-do-cerrado após a criopreservação por 6 meses, mantiveram elevadas taxas de germinação, acima de 75%. O descongelamento lento proporcionou maiores porcentagens de germinação e velocidade de germinação das sementes.

Palavras-chave: Isotermas de dessorção; Armazenamento; *Anacardium othonianum* Rizz.

ABSTRACT

CAETANO, Graciene de Souza Santos, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano- *campus* Rio Verde, maio de 2012. **Hygroscopicity and cryopreservation savannah cashew-tree seeds.** Adviser: Dr.^a. Juliana de Fátima Sales.

The savannah cashew-tree (*Anacardium othonianum* Rizz.) is arboreal and has medicinal and food potential. Its exploration is extractive and commercial plantations are practically inexistent. The seed storage has great concern in breeding programs for plants and is important in the preservation of genetic material. The conditions of humidity and temperature during storage, where the seeds reach the specific hygroscopic equilibrium, require the maintenance of physiological quality for more or less time. The aim of this study was to evaluate and determine the equilibrium moisture sorption isotherms of seeds from savannah cashew-tree at various conditions of temperature and water activities, as well as evaluating the possibility of their cryopreservation in different storage times, and to verify the most appropriate method for thawing the seeds. The equilibrium water content of the seeds was determined by gravimetric-static method at temperatures of 25, 30, 35 and 40 °C and water activity for each temperature range from 0.12 to 0.89 (decimal). The equilibrium water content decreases with increasing temperature for a given water activity like the hygroscopic products. Experimental data were fitted to various mathematical models. The Chung-Pfost model is what the best describes the hygroscopicity of the seeds from savannah cashew-tree. It was also evaluated the effect of seed storage of savannah cashew-tree (*Anacardium othonianum* Rizz) in nitrogen liquid for 2, 4 and 6 months (196°C). The seeds were slowly thawed at room temperature (26°C±2°C) for a period of 2 hour period or fast thawing in a water bath at 37°C for 10 minutes cashew seeds with 7%

moisture without cryopreservation were used as control. Before and after seed storage, evaluations were made of germination percentage, speed germination index (GSI), percentage of normal seedlings. The seeds from savannah cashew-tree after cryopreservation for 6 months, had high germination rates above 75%. The slow thawing yielded higher percentages of germination and germination index of seeds.

Keywords: Desorption isotherms; Stored; *Anacardium othonianum* Rizz.

INTRODUÇÃO GERAL

1.1 O bioma cerrado

O cerrado brasileiro possui localização geográfica privilegiada, predominantemente no Planalto Central (Meira Neto & Saporetti Junior 2002), abrange vários estados e o Distrito Federal, e tem aproximadamente dois milhões de km², formado por grande biodiversidade de fauna e flora (Avidos & Ferreira 2003).

A vegetação do cerrado é a mais ameaçada no país por causa dos avanços da fronteira agrícola (Junqueira et al. 2007). O ritmo acelerado da ação antrópica nas últimas décadas tem ocasionado a perda do material vegetal nativo e praticamente desconhecido cientificamente (Vieira & Martins 2000).

São inúmeras as espécies da flora que merecem atenção especial, como plantas medicinais e frutíferas que geralmente são utilizadas pela população como fonte de alimento, no tratamento de muitas doenças infecciosas como malária, infecções bacterianas e fúngicas (Alves et al. 2000).

1.2 A fruticultura

A fruticultura se destaca como uma das atividades que apresenta maior retorno econômico e social (Alves 2002). Nos últimos anos, órgãos de pesquisa, ensino, proteção ambiental e extensão rural têm estudado e divulgado o potencial de utilização das espécies do cerrado, além de investir na conscientização dos agricultores quanto à importância de preservá-las e utilizá-las de forma racional e sustentável. Há um mercado crescente para os frutos nativos, porém pouco explorado.

Todo o aproveitamento desses frutos é feito de forma extrativista. Várias espécies nativas estão sendo estudadas atualmente, e a maioria delas se encontra em estado silvestre. É muito importante a domesticação destas fruteiras para cultivo em pomares comerciais, evitando seu desaparecimento do meio natural (Ribeiro & Rodrigues 2006).

O Brasil é considerado o terceiro produtor mundial de frutas, sendo que o caju (*Anacardium occidentale* L.) está entre as principais fruteiras cultivadas (Alves 2002, Melo 2002). Diferenciando dos demais países produtores pelo aproveitamento industrial do pseudofruto (pedúnculo carnosos), cujo potencial econômico é grande, em razão de inúmeras possibilidades de utilização (suco, polpa, aguardente, rapadura, doces) (Barros 2002). Sua utilização principal é para a produção de castanha, considerada o fruto verdadeiro, que é comercializado no mercado internacional de nozes comestíveis (Barros 2002).

O cerrado apresenta mais de 50 espécies de diferentes famílias que produzem frutos comestíveis, consumidos pelas populações locais e pela fauna silvestre, ou processadas na forma de sucos, licores, sorvetes, geleias e doces (Silva et al. 2008).

Os frutos são comercializados em grande parte nas feiras livres e mercados públicos da região de ocorrência das espécies (Gusmão et al. 2006). A maioria apresenta elevados teores de açúcares, proteínas, vitaminas e sais minerais, além de sabor característico inigualável (Silva et al. 2008). Cem gramas de sementes de baru (*Dipteryx alata* Vog.), por exemplo, fornecem 617 calorias e 26% de proteína. Em 100 gramas de polpa de pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.), contêm 20 mil miligramas de vitamina A. Em 100 gramas de polpa de Buriti (*Mauritia flexuosa* L.) contêm 158 miligramas de cálcio (Silva 2001) e em 100 gramas de castanha de caju-de-árvore-do-cerrado (*Anacardium othonianum* Rizz.) contêm 15 miligramas de cálcio, 0,65 miligramas de zinco e 0,26 miligramas de ferro (Silva et al. 2008).

Apesar do grande potencial econômico das plantas do cerrado, dados sobre o cultivo e produção destas espécies, frutíferas e medicinais nativas ainda são escassos, entre elas destacando o caju-de-árvore-do-cerrado.

1.3 Caju-de-árvore-do-cerrado (*Anacardium othonianum* Rizz.)

A família Anacardiaceae compreende cerca de 60 a 74 gêneros e 400 a 600 espécies de árvores e arbustos (Agostini-Costa et al. 2006). Das 21 espécies descritas

pela taxonomia tipológica no gênero *Anacardium*, 18 são encontradas no Brasil (Paiva et al. 2003). O principal centro de diversidade do gênero *Anacardium* é a região Amazônica, com um centro secundário de diversidade nos cerrados, especificamente no Planalto Central (Paiva et al. 2003).

O *Anacardium othonianum* Rizz., nativo do cerrado brasileiro, destaca entre essas espécies pela importância econômica para a região (Cavalcanti Junior & Chaves 2001, Silva et al. 2001). Apresenta vários nomes populares como caju-de-árvore-do-cerrado, cajuzinho e cajuí (Agostini-Costa et al. 2006). A espécie possui comportamento ortodoxo quanto ao armazenamento das sementes (Lima et al. 2012).

Possui porte arbóreo que pode medir entre 3 a 4 metros de altura, por 3 a 4 metros de diâmetro de copa, e tronco de 20 a 40 centímetros de diâmetro (Naves 1999). As folhas e cascas do cajueiro possuem esteroides, flavonoides, fenóis, taninos, gomas, resinas, material corante, saponinas (Fujita 2008). O caju-de-árvore-do cerrado floresce e frutifica entre junho e outubro; são produzidos entre 200 e 600 frutos por planta, cujo peso varia entre 5 e 10 gramas e são colhidos entre setembro e outubro a partir do segundo ou terceiro ano. As flores são polinizadas por abelhas e vespas (Mendonça et al. 1998). A espécie tolera bem os períodos de secas e os solos pobres (pH 4,5-6,5), característicos do cerrado.

Assim, como ocorre no caju (*Anacardium occidentale* L.), no *Anacardium othonianum* Rizz. também existe uma enorme variação na forma do pseudofruto e do fruto, no sabor e no rendimento (Silva et al. 2001, Paiva et al. 2003).

O fruto do cajueiro é uma drupa reniforme (castanha), rica em proteína, calorias, carboidratos, fósforo e ferro, contém aproximadamente 46,5% de lipídeos (Gallina et al. 1993), é consumida principalmente quando torrada (Silva et al. 2001). O pseudofruto, a parte carnosa do caju é de coloração amarelada e avermelhada (Brandão et al. 1992), rico em vitamina C, fibras e compostos fenólicos (Agostini-Costa et al. 2005). Apresenta de 2 a 4 cm de comprimento por 2 a 3 cm de diâmetro e peso entre 5 a 12 g, e o aproveitamento alimentar é na forma de polpa, suco, licor e doces.

Resultados de trabalhos desenvolvidos pela Embrapa e por outras instituições de pesquisa relatam que além do potencial vitamínico presente no pseudofruto, os compostos fenólicos conferem potencial antioxidante à polpa do fruto. Esta propriedade biológica está associada à prevenção de doenças crônico-degenerativas, como problemas cardiovasculares, câncer e diabetes (Agostini-Costa et al. 2005).

A exploração dos frutos de caju-de-árvore-do-cerrado é feita via extrativismo, sendo poucas as informações sobre sua biologia e manejo indispensáveis para o uso e produção sustentável dessa fruteira. Existem os riscos associados ao extrativismo de produtos naturais, quando a oferta do produto é inferior a demanda do mercado, além do aspecto negativo da sazonalidade da produção dos frutos. Para assegurar maior quantidade e qualidade na produção de frutos, uma alternativa viável é implantação de cultivo dessa espécie. O uso sustentável pode contribuir na conservação da biodiversidade do bioma cerrado, podendo ser valorizado como produto que contribui para a conservação da natureza (Sano et al. 2004).

O caju-de-árvore-do-cerrado é bastante produtivo e a propagação é predominantemente por meio de sementes (Barros 1995, Cavalcanti Junior & Chaves 2001, Silva et al. 2001). O uso de espécies nativas em programas de reflorestamento requer a produção contínua de um grande número de mudas que no presente momento não são disponíveis. Em condições naturais ou de viveiros, a germinação desta espécie é irregular e lenta e suas sementes perdem rapidamente o poder germinativo (Barros 1995, Cavalcanti Junior & Chaves 2001, Silva et al. 2001).

1.4 Armazenamento de Sementes

A exploração comercial e a incorporação de espécies nativas em programas de recuperação de áreas degradadas dependem de um sistema eficiente de produção de mudas, cujo sucesso é influenciado diretamente pela qualidade da semente (Costa 2009).

Para muitas espécies nativas, a produção de sementes é irregular, podendo ser escassa em determinados anos e abundante em outros (Carneiro & Aguiar 1993). Desse modo, o armazenamento de sementes é uma forma de regular sua disponibilidade para fins de reflorestamento e plantios comerciais, além de preservar a maneira mais simples, viável e econômica de preservar a variabilidade genética vegetal (Van Slageren 2003). Entretanto, para a maioria das espécies nativas, o conhecimento das condições ideais para manutenção da qualidade das sementes ao longo do armazenamento é limitado ou inexistente, em virtude da grande diversidade de espécies da flora brasileira (Carvalho et al. 2006).

Considerando o armazenamento de sementes, há espécies que podem ser desidratadas e posteriormente armazenadas a baixas temperaturas (Medeiros & Cavallari 1992). Roberts (1973), definiu o termo ortodoxo para sementes capazes de manter sua viabilidade após serem desidratadas e expostas a baixas temperaturas e recalcitrantes para aquelas que não suportam a desidratação e exposição a baixas temperaturas. O baixo teor de umidade em semente ortodoxa é uma das características que lhes confere grande viabilidade (Fowler 2000). Esse mecanismo pelo qual as sementes toleram à secagem e ao congelamento, acontece por vários fatores fisiológicos, sendo que um deles é a ação das proteínas LEA e oligossacarídeos (sacarose, estaquiase) considerados substâncias protetoras.

A deterioração de sementes é um processo degenerativo e contínuo. As condições ambientais e de manejo, podem influenciar na redução da qualidade fisiológica das sementes e intensificação do fenômeno da deterioração (Marcos Filho 2005). Segundo Gómez-Campo (2002), é possível conservar sementes durante longos períodos de tempo através da dessecação e manutenção em baixa temperatura.

Como a deterioração de sementes é um processo degenerativo, diversas técnicas são com frequência, estudadas em busca de melhores condições de armazenamento, sendo que a principal técnica de conservação de sementes durante o armazenamento é, ainda, a redução do seu metabolismo, seja através da remoção da água ou da diminuição da temperatura do ambiente de armazenamento (Kohama et al. 2006).

O conhecimento da tolerância à perda de umidade pelas sementes é informação essencial no estabelecimento de métodos para conservação e armazenamento (Andrade et al. 2005). De acordo com Carvalho & Nakagawa (2000), vários autores atribuem à umidade relativa influência direta na respiração das sementes, sendo esse o fator mais importante que influencia na manutenção da qualidade fisiológica durante o armazenamento. Dessa forma, para várias espécies, a conservação ocorre com níveis baixos de umidade. Entretanto, existem espécies cuja viabilidade e vigor são perdidos com a desidratação, interferindo sobremaneira no armazenamento em condições secas.

A redução do teor de água imediatamente após a colheita também é um aspecto importante quando as sementes apresentam teor de água inadequado ao armazenamento. De maneira geral a secagem pode ampliar a longevidade das sementes, reduzindo as reações metabólicas e dificultando a ação de microrganismos e insetos prejudiciais à sua conservação (Carvalho & Nakagawa 2000, Villela & Peres 2004).

O armazenamento é a técnica mais segura e eficiente para manutenção da qualidade tecnológica e fisiológica dos produtos vegetais. Seu princípio se baseia na manipulação dos fatores intrínsecos e/ou extrínsecos. Dentre eles, destaca-se a composição química, qualidade fisiológica inicial (viabilidade e vigor), teor de água das sementes, embalagem de acondicionamento, temperatura e umidade relativa do ar do ambiente de armazenamento e período de armazenamento desejado (Wetzel et al. 2003).

Visto que são poucos os estudos com espécies do cerrado, torna-se necessário o conhecimento da germinação e de técnicas que viabilizem a conservação das sementes, pois estas perdem seu poder germinativo quando armazenadas por um período maior de tempo. No entanto, nem sempre é possível realizar o plantio das sementes logo após a colheita, tornando necessário armazená-las para uso posterior. Além do mais, estas espécies podem ser usadas para subsidiar programas de reintrodução de mudas e conservação das frutíferas do cerrado em áreas de reflorestamento e pesquisas.

1.5 Higroscopicidade

Durante o armazenamento das sementes, acontecem mudanças físicas, químicas e microbiológicas, que podem ocasionar em perdas na qualidade. Para a correta realização das operações de secagem e de armazenagem, torna-se necessário o conhecimento das relações existentes entre a temperatura e a umidade relativa do ar e o teor de água desejável para a boa conservação do produto.

Como todo material higroscópico, as sementes de caju-de-árvore-do-cerrado tem a propriedade de realizar trocas de água sob a forma de vapor com o ambiente que as envolve, convergindo, constantemente para uma relação de equilíbrio entre seu teor de água e as condições do ambiente de armazenamento. O equilíbrio higroscópico é atingido quando a pressão parcial de vapor de água no produto, iguala-se com a pressão parcial de vapor de água do ar que o envolve a uma mesma temperatura (Araújo et al. 2005).

A disponibilidade de água em materiais biológicos, tais como grãos e frutos, é indicada pela atividade de água (A_w) ou pelo teor de água de equilíbrio com a temperatura e umidade relativa do ar ambiente. A atividade de água e a umidade relativa, quando atingido o equilíbrio dinâmico, são numericamente iguais (Brooker et al. 1992).

A relação entre o teor de água de um determinado produto e a umidade relativa de equilíbrio para uma temperatura específica pode ser expressa por meio de equações matemáticas, cujas representações gráficas são denominadas isotermas ou curvas de equilíbrio higroscópico (Corrêa et al. 2005). Numerosos são os modelos capazes de prever uma isoterma (Resende et al. 2006). A utilização de equações matemáticas para estimar o teor de água de equilíbrio higroscópico apresenta a vantagem de predição de valores de atividade de água do produto, em condições ambientais de difícil determinação experimental.

Os modelos matemáticos diferem na sua base teórica ou empírica e na quantidade de parâmetros envolvidos (Mulet et al. 2002). Os principais critérios utilizados para selecioná-los são o grau de ajuste aos dados experimentais e a simplicidade do modelo (Furmaniak et al. 2007).

Para Hall (1980), as curvas de equilíbrio higroscópico são importantes para definir os limites de desidratação do produto, estimar as mudanças do teor de água sob determinada condição de temperatura e umidade relativa do ambiente e para definir os teores de água adequados ao início de atividade de microrganismos que podem provocar a deterioração do produto.

As curvas de equilíbrio higroscópico podem ser obtidas experimentalmente por meio dos métodos dinâmico e estático. No método dinâmico, a semente é submetida a fluxos de ar sob condições controladas e fixas de temperatura e umidade relativa até que seja atingido o equilíbrio. No método estático, o equilíbrio higroscópico entre o produto e o ar ambiente sob condições controladas, é atingido sem movimentação do ar (Wang & Brennan 1991, Jayas & Mazza 1993, Chen 2000).

A composição química do produto influencia diretamente no processo de sorção de água. Segundo Brooker et al. (1992), produtos com elevado teor de óleo adsorvem menor quantidade de água do ambiente que aqueles com alto teor de amido. Além disso, a cultivar, o grau de maturidade e as condições físicas e sanitárias, bem como a maneira pela qual o equilíbrio foi obtido (adsorção ou dessorção), também são determinantes para o estabelecimento do teor de água de equilíbrio de produtos higroscópicos (Chen 2000, Fan et al. 2000).

1.6 Criopreservação de Sementes

O armazenamento em baixas temperaturas, incluindo a criopreservação em nitrogênio líquido, tem se revelado um método eficiente e prático para a manutenção da qualidade fisiológica de sementes e material vegetal armazenado. A criopreservação é definida por Medeiros & Cavallari (1992) e Coelho (2006), como sendo a preservação de materiais biológicos a temperaturas entre -160 e -196°C, em nitrogênio líquido, em que todos os processos metabólicos são essencialmente paralisados e mantidos em estado latente, proporcionando a preservação dos materiais por tempo indeterminado.

Outros autores acrescentam que a criopreservação é um método potencialmente estudado para reduzir a taxa de deterioração aumentando assim o tempo de armazenamento das sementes, assegurando a preservação das fontes genéticas da planta, além de reduzir os custos e a perda da viabilidade (Stanwood & Bass 1981, Stanwood 1985).

É importante ressaltar que a criopreservação não deve ser considerada como um método que irá substituir os métodos tradicionais de conservação *ex situ*, entretanto, é uma alternativa a mais para incrementar as formas de conservação de germoplasma já existentes (Carvalho 2006). A escolha por determinado método de conservação irá depender do período de conservação desejável, das espécies a serem conservadas, da parte da planta a ser preservada e dos recursos financeiros disponíveis (Carvalho 2006). Podem ser criopreservados ápices e gemas, embriões somáticos e zigóticos, células em suspensão, eixos embrionários e até protoplastos, ou seja, células desprovidas da parede celular. As sementes são mais adequadas para fins de conservação de uma espécie por serem sistemas mais organizados (Towill 2002).

Na última década, o avanço significativo nas pesquisas utilizando as técnicas de criopreservação de sementes, resultou em protocolos de conservação para cerca de 100 espécies. A maioria envolveu sementes de espécies de clima temperado e frio e pouco foi realizado com as espécies de clima tropical e subtropical (Wetzel et al. 2003).

Essa técnica é eficiente e prática para a conservação de recursos fitogenéticos durante vários anos, especialmente em se tratando de espécies que apresentam sementes recalcitrantes ou intermediárias (Santos 2000), germoplasmas raros ou mesmo espécies ameaçadas de extinção (Gonzaga et al. 2003). Segundo Henshaw et al. (1980) embora seja possível crioarmazenar várias partes da planta, os sistemas organizados, como sementes e embriões, são os mais adequados para a conservação de recursos genéticos.

Inúmeros trabalhos têm sido realizados com o intuito de verificar a tolerância do material a criopreservação. Isso porque, os únicos estados físicos existentes em temperaturas abaixo de -130°C é o cristalino e o vítreo. No estado cristalino, são formados cristais de gelo que podem danificar a membrana celular. Portanto, para que a criopreservação seja bem-sucedida, é necessário que o material seja desidratado para a obtenção do estado vítreo, em que a água se encontra em altíssima viscosidade, com as propriedades mecânicas de um sólido (Santos 2001). Em geral, sistemas biológicos tolerantes a dessecação têm a habilidade de formar o estado vítreo.

A vitrificação é o processo através do qual a água sofre uma transição da fase líquida para o estado sólido amorfo e meta-estável (Fahy et al. 1984; Franks 1982, Santos 2001). Nesse processo não envolve mudanças químicas, mas apenas mudanças físicas na viscosidade do líquido. No entanto, não há formação de uma estrutura cristalina que possa danificar a estrutura celular durante a exposição em temperaturas sub-zero (Duarte 2009).

A formação do estado vítreo tem muitos efeitos benéficos para a célula desidratada como: limitação da perda de água, limitação da cristalização de sais e proteínas no citoplasma, proteção contra mudanças no pH à medida que a água é removida, e prevenção de colapso celular durante extensiva perda de água (Koster 1991).

A vitrificação do citoplasma pode ser obtida experimentalmente por meio da desidratação dos tecidos para um teor de umidade em que não exista água livre para a cristalização antes de armazenar em nitrogênio líquido. Desse modo, a solução celular se torna muito concentrada e pode passar pela transição de vitrificação quando uma velocidade de congelamento apropriada é utilizada, e a formação de gelo durante a exposição a -196°C é evitada (Santos 2001).

De acordo com Vieira (2000), a desidratação pode ser obtida pela evaporação da água ou por tratamento com uma solução altamente concentrada de crioprotetores químicos (solução de vitrificação) como o dimetilsulfóxido (DMSO), metanol, glicerol, etileno glicol, propileno glicol, dentre outros.

Mais recentemente, têm sido utilizados açúcares como a sacarose, trealose e glucose, como substâncias crioprotetoras porque eles não apresentam toxicidade às células vegetais mesmo quando se acumulam em grande quantidade no citoplasma. Em comparação com os crioprotetores tradicionais, esses açúcares mostram alta eficiência na estabilização das membranas celulares durante o congelamento. De modo

semelhante, grande quantidade de açúcares como sacarose, trealose e oligossacarídeos (rafinose e estaquiase) acumulam em estruturas que são tolerantes a intensa desidratação (Santos 2001).

Os materiais vegetais normalmente utilizados (calos, embriões zigóticos e somáticos, gemas apicais e laterais, sementes) apresentam altos teores de água em suas células, necessitando que sejam removidos antes da imersão no nitrogênio líquido. A desidratação não é um processo simples, porque a água exerce funções biológicas fundamentais nas células (Carvalho 2006).

Vários autores descrevem que o percentual de teor de água das sementes é o fator mais crítico (Coelho & Cavalcanti Mata 2005). Este teor de água deve ser baixo o suficiente para evitar a formação de cristais de gelo, mas não tão baixo que cause injúria por desidratação excessiva (Santos 2001), como o rompimento das membranas, concentração de solutos no citoplasma a níveis tóxicos e desnaturação de ácidos nucleicos e membranas. Os teores muito altos provocam morte instantânea da semente durante o processo de congelamento e/ou descongelamento (Carvalho 2006).

De acordo com Carvalho (2006), sementes ortodoxas podem ter seu teor de água reduzido e serem colocadas diretamente em nitrogênio líquido. Stanwood (1980) e Kermodé & Finch-Savage (2002), definem que o teor de umidade das sementes após a secagem e para serem submetidas à criopreservação devem estar abaixo de 10%, sendo mais viável entre 4 e 7%.

A capacidade dos tecidos vegetais sobreviverem a temperaturas sub-zero depende da sua tolerância não apenas a temperatura do Nitrogênio líquido (-196°C), mas também a dessecação. Muitas espécies apresentam limites nessas tolerâncias (Chin et al. 1989), tornando necessário o conhecimento do grau de tolerância à secagem associado com a resposta dos tecidos ao congelamento.

De acordo com Uemura & Steponkus (1994), a membrana plasmática possui um papel primordial durante o congelamento e descongelamento das sementes. Ela se comporta como uma barreira semipermeável permitindo o efluxo/influxo da água durante o processo de congelamento-descongelamento. A membrana celular evita que o gelo extracelular entre no meio intracelular. Dessa forma, a estabilidade da membrana celular é um importante fator para o sucesso da criopreservação.

O principal desafio para os criobiologistas na definição de um protocolo de criopreservação de determinado material de origem biológica tem sido evitar a

formação de cristais de gelo (Carvalho 2006). Esses cristais causam ruptura mecânica, tanto da estrutura citoplasmática quanto da membrana celular, em virtude da expansão da água congelada, resultando na desagregação e morte celular (Salomão 2002, Taiz & Zeiger 2004).

De acordo com Santos (2000), o método de descongelamento à temperatura ambiente se torna questionável, existe a possibilidade do recongelamento durante este período. Molina et al. (2006), recomenda utilizar o descongelamento rápido em banho-maria à temperatura de 37°C a 40°C por 5 minutos. Segundo Santos (2000), métodos mais rápidos de descongelamento evitam a formação dos cristais de gelo no meio intracelular, não há tempo suficiente para que ocorra a fusão de micro-cristais formados no congelamento ou a formação de cristais novos pela liberação de água pela devitrificação. Já Towill (2002), afirma que sementes ortodoxas podem ser descongeladas lentamente à temperatura ambiente sem nenhum efeito prejudicial às mesmas. Geralmente, a viabilidade do material, após a criopreservação, é medida pelo crescimento em meio de cultivo adequado (Efendi 2003).

Buscando avaliar o sucesso da criopreservação, vários pesquisadores tem realizado estudos, a exemplo de Gonzaga et al. (2003) que estudaram as sementes de aroeira (*Astronium urundeuva* Engl.) e Baraúna (*Schinapsis brasiliensis* Engl). Os autores concluíram que a criopreservação foi eficiente.

A criopreservação também foi bem sucedida em sementes de pau-ferro (*Caesalpinia férrea* Mart.) (Lacerda et al. 2002), amarelinho (*Apuléia leiocarpa*) (Salomão et al. 2002), urucum (*Bixa orellana* L.) (Corlett 2004) e pólen de orquídea (*Dendrobium* sena Red e *D. mini* W/RL) (Carvalho 2006). Diversos protocolos de criopreservação já foram desenvolvidos para espécies de plantas de propagação vegetativa, gramíneas, ornamentais, frutíferas tropicais e temperadas, leguminosas e oleaginosas, medicinais e aromáticas (Santos 2000).

Vários são os fatores que influenciam a criopreservação de sementes, dentre eles: a desidratação, o congelamento e descongelamento. Ambos estão relacionados à formação de cristais de gelo no meio intracelular (Santos 2000). O descongelamento pode ser feito de modo lento a temperatura ambiente ou rapidamente utilizando um banho-maria a 37 ou 40°C (Bajaj 1995, Carvalho 2006).

Stanwood & Roos (1979), ao submeter sementes de hortaliças e de flores à imersão em nitrogênio líquido por 7, 30 e 180 dias, verificaram que não ocorreu efeito

prejudicial a germinação e ao vigor das sementes e apontaram o nitrogênio líquido como meio promissor a conservação de sementes a longo prazo.

Salomão (2002) e Wetzel et al. (2003) descreveram o comportamento de sementes de espécies tropicais quanto ao armazenamento em condições criogênicas a -20°C e ao nitrogênio líquido (-196°C), e concluíram que a criopreservação pode ser uma alternativa promissora para a conservação de várias espécies do bioma cerrado. Salomão (2002), ao estudar 66 espécies tropicais verificou que apenas seis apresentaram diminuição significativa no seu poder germinativo após imersão no nitrogênio líquido.

Wetzel et al. (2003), estudando o armazenamento a -20 e a -196°C , de sementes de 13 espécies do cerrado, verificou diminuição significativa no poder germinativo de apenas uma espécie. Os mesmos autores consideram que a criopreservação de sementes pode ser considerada uma maneira de se preservar a biodiversidade dessas espécies no país.

Silva et al (2012), avaliaram sementes de quina (*Strychnos pseudoquina* A. St. Hil.), submetidas à criopreservação por períodos de 2, 4 e 6 meses e obtiveram taxas de germinação acima de 80%, confirmando a viabilidade dessa técnica de armazenamento para espécies nativas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOSTINI-COSTA, T. S.; VIEIRA, R. F.; NAVES, R. V. Caju, identidade tropical que exala saúde. 2005. Disponível em:

<[http:// www.embrapa.br/imprensa/artigos/2005/artigo.2005](http://www.embrapa.br/imprensa/artigos/2005/artigo.2005)> Acesso em: 08 fev. 2012.

AGOSTINI-COSTA, T. da S. et al. Cajus do Cerrado. In: VIEIRA, R. F.; AGOSTINI-COSTA, T. da S.; SILVA, D. B. da; FERREIRA, F. R.; SANO, S. M. (Eds.). *Frutas Nativas da Região Centro-Oeste do Brasil*. Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2006. p. 136-151.

ALVES, T. M. de A. et al. Biological screening of brazilian medicinal plants. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*. Rio de Janeiro, v. 95, n. 3, p. 367-373, 2000.

ALVES, R. E. *Frutas do Brasil: caju, pós-colheita*. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2002. 36 p.

ANDRADE, R. R.; SCHORN, L. A.; NOGUEIRA, A. C. Tolerância à dessecação em sementes de *Archantophoenix alexandrae* Wendl. And Drude (Palmeira real australiana). *Ambiência*, Guarapuava, v. 1, n. 2, p. 279-288, 2005.

ARAÚJO, L. F. et al. Equilíbrio higroscópico da palma forrageira: Relação com a umidade ótima para fermentação sólida. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 9, n. 3, p. 379-384, 2005.

AVIDOS, M. F. D.; FERREIRA, L. T. Frutos dos cerrados: preservação gera muitos frutos. 2003. Disponível em: <<http://www.bioteecnologia.com.br/bio15/frutos.pdf>> Acesso em: 09 out. 2011.

BAJAJ, Y. P. S. Cryopreservation of plant cell, tissue, and organ culture for the conservation of germplasm and biodiversity. In: BAJAJ, Y. P. S. (Ed.) *Biotechnology in Agriculture and Forestry*. Cryopreservation of plant germoplasm I. Berlim, Springer-Verlag, v. 32, 1995, p. 03-18.

BARROS, L. M. Botânica, Origem e Distribuição Geográfica. In: ARAÚJO, J. P. P.; SILVA V. V. *Cajucultura: Modernas Técnicas de Produção*. Fortaleza: EMBRAPA-CNPAT, 1995. p. 53-69.

BARROS, L. M. *Frutas do Brasil: caju, produção*. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2002. 148 p.

BRANDÃO, M.; CARVALHO, P. G. S.; JESUÉ, G. *Guia ilustrado de plantas do cerrado de Minas Gerais*. CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais). Belo Horizonte: Superintendência de Apoio Administrativo – AD, 1992. 78p.

BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. *Drying and storage of grains and oilseeds*. Westport: The AVI Publishing Company, 1992. 450p.

CARNEIRO, J. G. A.; AGUIAR, I. B. Armazenamento de sementes. In: AGUIAR, I. B.; PIÑA-RODRIGUES, F. C. M.; FIGLIOGLIA, M. B. (Eds.) *Sementes florestais tropicais*. Brasília, DF: ABRATES, 1993. p. 333-350.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. *Sementes: ciência, tecnologia e produção*. 4ª ed. Jaboticabal: FUNEP, 2000. 588 p.

CARVALHO, V. S. *Criopreservação de sementes e pólen de orquídeas*. 2006. 82f. Tese (Doutorado em Fitotecnia)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

CARVALHO, L. R.; SILVA, E. A. A.; DAVIDE, A. C. Classificação de sementes florestais quanto ao comportamento no armazenamento. *Revista Brasileira de Sementes*, Londrina, v. 28, n. 2, p. 15-25, 2006.

CAVALCANTI JÚNIOR, A. T.; CHAVES, J. C. M. *Produção de mudas de cajueiro*. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2001. 43p. (Documento, 42).

CHEN, C. Factors which effects equilibrium relative humidity of agricultural products. *Transactions of the ASAE* (American Society of Agricultural Engineers), St. Joseph, v. 43, n. 3, p. 673-683, 2000.

CHIN, H. F.; KRISHNAPILLAY, B.; STANWOOD, P. C. Seed moisture: recalcitrant vs. orthodox seeds. In: STANWOOD, P. C.; MCDONALD, M. B. (Eds.) *Seed moisture*. Madison: Crop Science Society of America. 1989, p.15-22.

COELHO, R. R. P.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M. Teor de umidade limite para criopreservação de sementes de algodão colorido. In: Congresso Brasileiro de Algodão, 5, 2005. Salvador: Disponível em:
<http://www.cnpa.embrapa.br/produtos/algodao/publicacoes/trabalhos_cba5/391.pdf>
Acesso em: 09 nov. 2011.

COELHO, R. R. P. 2006. *Protocolo de criopreservação de sementes de algodão (Gossypium hirsutum L. raça latifolium Hutch.) cultivares BRS 200 marrom e BRS verde*. 2006, 89f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2006.

CORLETT, F. M. F. *Qualidade fisiológica de sementes de urucum (Bixa Orellana L.) armazenadas em diferentes ambientes e embalagens*. 2004. 95f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Sementes)- Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2004.

CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; RIBEIRO, D. M. Isotermas de sorção das espigas de milho: obtenção e modelagem. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, Sete Lagoas, v. 4, n. 1, p. 126-134, 2005.

COSTA, C. J. *Armazenamento e conservação de sementes de espécies do cerrado*. Planatina, DF: Embrapa Cerrados, 2009. 30p. (Documentos, 265).

DUARTE, D. M. *Qualidade fisiológica de sementes de sempre-viva syngonanthus spp submetidas à criopreservação*. 2009. 52f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal)-Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2009.

EFENDI, D. *Transformation and Cryopreservation of Embryogenic avocado (Persea Americana Mill.) cultures*. 2003. 160f. Ph.D. Dissertation, University of Florida, Gainesville, 2003.

FAHY, G. M. et al. Vitrification as an approach to cryopreservation. *Cryobiology*, San Diego, v. 21, p. 407-426, 1984.

FAN, J.; SIEBENMORGEN, T. J.; MARKS, B. P. Effects of variety and harvest moisture content on equilibrium moisture contents of rice. *Applied Engineering in Agriculture*, St. Joseph, v. 16, n. 3, p. 245-251, 2000.

FOWLER, J. A. P. Superação de dormência e armazenamento de sementes de espécies florestais. In: GALVÃO, A. P. M., (Ed.). *Reflorestamento de propriedades para fins produtivos e ambientais: um guia para ações municipais e regionais*. Brasília, DF: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000. p. 77-90.

FRANKS, F. The properties of aqueous solutions at subzero temperatures. In: FRANKS, F. *Water: A comprehensive treatise*. New York, Plenum Press, 1982, p. 215-218.

FUJITA, G. T. BDRA-26-Caju, intenso caju. *Revista Terra da Gente*. 2008.

FURMANIAK, S.; TERZYK, A. P.; GAUDEN, P. A. The general mechanism of water sorption on foodstuffs - Importance of the multitemperature fitting of data and the hierarchy of models. *Journal of Food Engineering*, London, v. 82, p. 528-535, 2007.

GALLINA TOSCHI, T. et al. A study on cashew nut oil composition. *JAOCs* (Journal of the American Oil Chemists' Society), Champaign, v. 70, n. 10, p. 1017-1020, 1993.

GÓMEZ-CAMPO, C. *Conservación de semillas a largo plazo: teoría y práctica*. In: XI Reunión Latinoamericana de Fisiología Vegetal /XXIV Reunión Argentina de Fisiología Vegetal / I Congreso Uruguayo de Fisiología Vegetal. República Oriental Del Uruguay. Adicione Del Copista. *Actas...* p. 20. 2002.

GONZAGA, T. W. C. et al. Crioconservação de sementes de aroeira (*Astronium urundeuva* Engl.) e baraúna (*Schinopsis brasiliensis* Engl.). *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, v. 5, n. 2, p. 145-154, 2003.

GUSMÃO, E.; VIEIRA, F. A.; FONSECA, E. M. Biometria de frutos e endocarpos de murici (*Byrsonima verbascifolia* Rich. Ex. A. juss). *Cerne*, Lavras, v. 12, n. 1, p. 84-91, 2006.

HALL, C. W. *Drying and storage of agricultural crops*. Westport: The AVI Publishing Company, 1980. 381p.

HENSHAW, G. .; STAMP, J. .; WESTCOTT, J. J. Tissue cultures and germoplasm storage. In: SALA, F.; PARISI, B.; CELLA, R.; CIFERRI, O. (eds.), *Plant Cell Cultures: results and perspectives*. Amsterdam: Elsevier. 1980. p. 277-282.

JAYAS, D. S.; MAZZA, G. Comparacion of five, three-parameters equations for description of adsorption data of oats. *Transaction of the ASAE* (American Society of Agricultural Engineers), St. Joseph, v. 36, n. 1, p. 119-124, 1993.

JUNQUEIRA, V. M. S. et al. Avaliação antimicrobiana antiulcerogênica da *Eugenia dysenterica*. *Horizonte Científico*, v.1, n. 7, 2007. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/horizontecientifico/article/viewFile/3800/2805>> Acesso em: 10 fev. 2012.

KERMODE, A. R.; FINCH-SAVAGE, B. E. Desiccation sensitivity in orthodox and recalcitrant seeds in relation to development. In: BLACK, M.; PRITCHARD, H.W. (Eds.). *Desiccation and survival in plants: drying without dying*. Wallingford: CABI Publishing, 2002. p. 149-184.

KOHAMA, S. et al. Secagem e armazenamento de sementes de *Eugenia brasiliensis* Lam. (Grumixameira). *Revista Brasileira de Sementes*, Londrina, v. 28, n. 1, p. 72-78, 2006.

KOSTER, K. L. Glass formation and desiccation tolerance in seeds. *Plant Physiology*, Rockville, v. 96, p. 302-304, 1991.

LACERDA, S. N. B. et al. Estudo comparativo da crioconservação de sementes de pau-ferro (*Caesalpinia ferrea* Mart.) com as técnicas convencionais de armazenagem. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 07-14, 2002.

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

MEDEIROS, A. C. S.; CAVALLARI, D. A. N. Conservação de germoplasma de aroeira (*Astronium urundeuva* (Fr. All.) Engl. I.). *Revista Brasileira de Sementes*, Brasília, v. 14, n. 1, p. 713-75, 1992.

MEIRA NETO, J. A. A.; SAPORETTI JÚNIOR, A. W. Parâmetros fitossociológicos de um cerrado no parque nacional da serra do cipó, MG. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 26, n. 5, p. 645-648, 2002.

MELO, Q. M. S. *Caju fitossanidade*. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2002. 56 p.

MENDONÇA, R. C. et al. Flora vascular do cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. (Eds.). *Cerrado: ambiente e flora*. Planaltina, DF: EMBRAPA-CPAC, 1998. p. 289-306.

MOLINA, T. F. et al. Crioconservação em sementes de cebola. *Revista Brasileira de Sementes*, Londrina, v. 28, n. 3, p. 72-81, 2006.

MULET, A. et al. Equilibrium isotherms and isosteric heats of morel (*Morchella esculenta*). *Journal of Food Engineering*, London, v. 53, n. 1, p. 75-81, 2002.

NAVES, R. V. *Espécies frutíferas dos cerrados de Goiás: caracterização e influências do clima e dos solos*. 1999. 202 f. Tese (Doutorado em Agronomia)- Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 1999.

PAIVA, J. R.; CRISOSTOMO, J. R.; BARROS, L. M. *Recursos genéticos do cajueiro: coleta, conservação, caracterização e utilização*. Fortaleza: EMBRAPA-CNPAT, 2003. 43 p. (Documentos, 65).

RESENDE, O. et al. Isotermas e calor isostérico de sorção do feijão. *Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v. 26, n. 3, p. 626-631, 2006.

RIBEIRO, R. A.; RODRIGUES, F. M. Genética da conservação em espécies vegetais do cerrado. *Revista de Ciências Médicas e Biológicas*, Salvador, v. 5, n. 3, p. 253-260, 2006.

ROBERTS, E. H. Predicting the storage life of seeds. *Seed Science and Technology*. Zürich, v. 1, n. 3, p. 499-514, 1973.

SALOMÃO, A. N. Tropical seed species responses to liquid nitrogen exposure. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, Londrina, v. 14, n. 2, p. 133-138, 2002.

SALOMÃO, A. N.; SANTOS, I. R. I.; MUNDIM, R. C. *Estabelecimento de método para congelamento e descongelamento de sementes de Apuleia Leiocarpa (Vog.) Macbr. (Caesalpinaceae)*. Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2002. (Circular Técnica, 19).

SANO, S. M.; RIBEIRO, J. F.; BRITO, M. A. de. *Baru: biologia e uso*. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004. (Documentos, 116).

SANTOS, I. R. I. Criopreservação: potencial e perspectivas para a conservação de germoplasma vegetal. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, Campinas, v. 12, p. 70-84, 2000.

SANTOS, I. R. I. Criopreservação de germoplasma vegetal. *Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento*. Brasília, n. 20, p. 60-65, 2001.

SILVA, D. B. da et al. *Frutas do Cerrado*. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2001. 178p.

SILVA, M. R. et al. Caracterização química de frutos nativos do cerrado. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 38, n. 6, p. 1.790-1.793, 2008.

SILVA, V. F. et al. Cryopreservation of quina seeds (*Strychnos pseudoquina* A. St. Hil). *International Research Journal of Biotechnology*, Egypt, v. 3, n. 4, p. 55-60, 2012.

STANWOOD, P. C.; ROOS, E. E. Seed storage of several horticultural species in liquid nitrogen (-196°C). *Horticultural Science*, Alexandria, v. 14, n. 5, p. 628-630, 1979.

STANWOOD, P. C. Tolerance of crop seeds to cooling and storage in Liquid nitrogen (-196°C). *Journal of Seed Technology*, Lincoln, n. 5, p. 26-31, 1980.

STANWOOD, P. C.; BASS, L. N. Seed germoplasm preservation using liquid nitrogen. *Seed Science and Technology*, Zurich, v. 9, p. 23-437, 1981.

STANWOOD, P. C. Cryopreservation of seed germoplasm for genetic conservation. In: KARTHA, K. K. (Ed.). *Cryopreservation of plant cell and organs*. Boca Raton, 1985. p.199-236.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. 3ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2004, 722p.

TOWILL, L. E. Cryopreservation of plant germoplasm. In: TOWILL, L. E., BAJAJ, Y. P. S. (Eds.) *Cryopreservation of plant germplasm II*. Biotechnology in Agriculture and Forestry. Berlin, Springer- Verlag, v. 50, 2002. p. 4-21.

UEMURA, M.; STEPONKUS, P. L. A contrast of the plasma membrane lipid composition of oat and rye leaves in relation to freezing tolerance. *Plant Physiology*. Rockville, v. 104, p. 479-496, 1994.

VAN SLAGEREN, M. W. The millennium seed bank: building partnerships in arid regions for the conservation of wild species. *Journal of Arid Environments*, v. 54, n. 1, p. 195-201, 2003.

VIEIRA, M. L. C. Conservação de germoplasma *in vitro*. *Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento*. Brasília, v. 3, n. 14, p. 18-20, 2000.

VIEIRA, R. F.; MARTINS, M. V. M. Recursos genéticos de plantas medicinais do cerrado: uma compilação de dados. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, Botucatu, v. 3, n. 1, p. 13-36, 2000.

VILLELA, F. A.; PERES, W. B. Coleta, beneficiamento e armazenamento. In: FERREIRA, A. G.; BORGHETTI, F. (Eds.) *Germinação do básico ao aplicado*. Porto Alegre, Artmed, 2004. p. 265-281,

WANG, N.; BRENNAN, J. G. Moisture sorption isotherm characteristics of potato at four temperatures. *Journal of Food Engineering*, London, v. 14, n. 4, p. 69-287, 1991.

WETZEL, M. M. V. S.; REIS, R. B.; RAMOS, K. M. *Metodologia para criopreservação de sementes de espécies florestais nativas*. Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2003, 5p. (Circular Técnica, 26).

OBJETIVOS GERAIS

Este trabalho teve como objetivos:

- Estudar o equilíbrio higroscópico e determinar as isotermas de dessorção de sementes de caju-de-árvore-do-cerrado para diversas condições de temperatura e atividades de água;
- Avaliar a possibilidade de criopreservar sementes de caju-de-árvore-do-cerrado por diferentes tempos de armazenamento, verificando também o método mais adequado para o descongelamento das sementes.

CAPÍTULO 1

HIGROSCOPICIDADE DE SEMENTES DE CAJU-DE-ÁRVORE-DO-CERRADO (*Anacardium othonianum* Rizz.)

RESUMO - Dentre as espécies de caju existentes no Brasil, destaca-se no Estado de Goiás o caju-de-árvore-do-cerrado, onde estudos para melhor conservação e exploração de uma espécie nativa dependem de conhecimentos técnicos a respeito da sua propagação, fundamentais para a definição de tecnologia de exploração racional. Objetivou-se neste trabalho, determinar as isotermas de dessorção de sementes de caju-de-árvore-do-cerrado para diversas condições de temperatura e atividades de água e ajustar diferentes modelos matemáticos aos dados experimentais, selecionando aquele que melhor representa o fenômeno. A higroscopicidade foi determinada pelo método estático-gravimétrico para temperaturas de 25, 30, 35 e 40°C e atividades de água entre 0,12 a 0,89 (decimal). Observou-se que o teor de água de equilíbrio decresce com o aumento da temperatura para uma mesma atividade de água à semelhança dos produtos higroscópicos. O modelo de Chung-Pfost obteve o maior coeficiente de determinação e menores valores do erro médio relativo, erro médio estimado e *Qui*-quadrado, sendo selecionado para predição do equilíbrio higroscópico das sementes de caju-de-árvore-do-cerrado.

PALAVRAS-CHAVE: Isotermas de dessorção; Equilíbrio higroscópico; Frutas nativas do cerrado.

HIGROSCOPICITY OF THE SEEDS FROM SAVANNAH CASHEW-TREE (*Anacardium othonianum*, Rizz.)

ABSTRACT – Among the species of existing cashew fruit in Brazil, stands in Goiás State the savannah cashew-tree, where studies to better conservation and exploration in a native species depending of technical knowledge about its propagation, essential to definition of rational exploration technology. The objective of this work was to determine the desorption isotherms of the seeds from savannah cashew-tree in different conditions of temperature and water activity and adjust different mathematical models to experimental data, by selecting one that best represents the phenomenon. The

higroscopicity was determined by gravity static method at temperatures of 25, 30, 35 and 40°C and water activity between 0.12 to 0.89. It was noted that the equilibrium water content decrease with temperature increase for the same water activity similarly to hygroscopic products. The Chung–Pfoest model has the highest coefficient of determination and the lowest values of relative average error, medium error estimated and chi square test, being selected to prediction of moisture equilibrium content of seeds from savannah cashew-tree.

KEYWORDS: Desorption isotherms; Moisture equilibrium content; Native fruits of savannah.

INTRODUÇÃO

A paisagem do cerrado está sendo modificada de modo acelerado, com o desmatamento de grandes áreas para a produção de monoculturas (Oliveira & Rocha 2008), comprometendo a sustentabilidade do bioma e colocando muitas espécies animais e vegetais em risco de extinção, principalmente as fruteiras nativas (Mendonça et al. 1998).

Os frutos nativos possuem importância econômica e social, muitos são comercializados e consumidos “in natura” ou beneficiados pelas indústrias caseiras (Silva et al. 1994). Por causa das propriedades funcionais, valor nutricional, teores de vitaminas do complexo B, carotenoides (Almeida 1998), aliados ao potencial para agregar valor e conservar a biodiversidade deste bioma, tem aumentado o interesse por esses frutos (Rocha et al. 2011).

A exploração de uma espécie nativa depende de conhecimentos técnicos a respeito da sua propagação, fundamentais para a definição de tecnologia de exploração racional. O cerrado brasileiro possui uma flora muito abundante, com diversas espécies que merecem atenção especial, a exemplo das plantas medicinais e frutíferas (Caramori et al. 2004, Brasil 2002).

Dentre elas, destaca-se no Estado de Goiás, o caju-de-árvore-do-cerrado (*Anacardium othonianum* Rizz.), árvore mediana de 3 a 6 m de altura e tronco de 20 a 40 cm de diâmetro (Naves 1999). O fruto é uma drupa reniforme (castanha) que contém cerca de 46,5% de lipídeos (Gallina et al. 1993), e pode ser consumida quando tostada (Silva et al. 2001). O pseudofruto carnoso, suculento, em forma de pera, de coloração

que varia do amarelo ao vermelho (Brandão et al. 1992), é rico em vitamina C, fibras e compostos fenólicos (Agostini-Costa et al. 2005).

O armazenamento de sementes constitui importante estratégia para a conservação genética “ex situ” de espécies vegetais, atendendo objetivos como a conservação, o melhoramento ou a propagação. As condições de umidade relativa e de temperatura durante o armazenamento, onde as sementes alcançarão o equilíbrio higroscópico específico, determinarão a manutenção de sua qualidade fisiológica por maior ou menor tempo. A umidade relativa e a temperatura são os fatores ambientais que têm sido estudados com maior frequência na conservação de sementes florestais (Borges et al. 2009).

De acordo com Hall (1980), as curvas de equilíbrio higroscópico são importantes para definir limites de desidratação do produto, estimar as mudanças do teor de água sob determinada condição de temperatura e umidade relativa do ambiente e para definir os teores de água adequados ao início de atividade de microrganismos que podem provocar a deterioração do produto.

A relação entre o teor de água de equilíbrio e a umidade relativa de equilíbrio, também designada por atividade da água, constitui fator essencial nos projetos e estudos de sistemas de secagem, manuseio, armazenagem, embalagem e transporte e na modelagem da longevidade das sementes (Araújo et al. 2001).

O controle do teor de água em algumas etapas, que vão da colheita ao beneficiamento da amêndoa da castanha, é de fundamental importância, principalmente quando a castanha é comercializada como semente ou como matéria-prima para o processamento industrial, servindo inclusive, para avaliar a qualidade físico-química (Cavalcanti Junior & Rossetti 2004).

Segundo Brooker et al. (1992), produtos com elevado teor de óleo adsorvem menor quantidade de água do ambiente que aqueles com alto teor de amido. Além disso, a cultivar, o grau de maturidade e as condições físicas e sanitárias, bem como a maneira pela qual o equilíbrio foi obtido (adsorção ou dessorção), também são determinantes para o estabelecimento do teor de água de equilíbrio de produtos higroscópicos (Chen 2000, Fan et al. 2000).

A relação entre o teor de água de um determinado produto e a umidade relativa de equilíbrio para uma temperatura específica pode ser expressa por meio de equações matemáticas denominadas isotermas ou curvas de equilíbrio higroscópico (Corrêa et al. 2005a).

Diversos autores determinaram as isotermas de sorção para vários produtos vegetais tais como: pedúnculo seco de caju (*Anacardium occidentale* L.), (Alcântara et al. 2009), amido de inhame (*Dioscorea alata* L.) (Oliveira et al. 2009, Nunes et al. 2009) e casca do maracujá (*Passiflora edulis* Sims) (Oliveira et al. 2006).

Diante da importância do conhecimento da higroscopicidade, objetivou-se neste trabalho determinar as isotermas de dessorção de sementes de caju-de-árvore-do-cerrado para diversas condições de temperatura e atividades de água, bem como ajustar diferentes modelos matemáticos aos dados experimentais, selecionando aquele que melhor representa o fenômeno.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho foram utilizadas sementes de caju-de-árvore-do-cerrado colhidas de várias plantas matrizes em setembro de 2010, na Fazenda Gameleira, Município de Montes Claros de Goiás, com coordenadas geográficas latitude (S) – 16° 06' 20''; longitude (W) - 51° 17' 11'.

Após a coleta manual dos frutos, realizou-se a despolpa para obtenção das sementes, quando se verificou que o teor de água destas se situava em 17,54% (b.s.) determinado pelo método gravimétrico em estufa a $105\pm 1^{\circ}\text{C}$, durante 24 horas, em três repetições (Brasil 2009).

O experimento foi desenvolvido no Laboratório de Pós-Colheita de Produtos Vegetais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – IF Goiano - Campus Rio Verde, localizado no município de Rio Verde - GO.

Para obtenção do teor de água de equilíbrio higroscópico de sementes de caju foi utilizado o método estático-gravimétrico. A dessorção do produto em camada delgada foi realizada para diferentes condições controladas de temperatura (25, 30, 35, 40°C) fornecidas por uma câmara tipo BOD, e atividades de água entre 0,12 e 0,89 (decimal), até que o produto atingisse seu teor de água de equilíbrio com a condição do ar especificada.

As amostras, contendo cada uma 10 g de produto, correspondentes a aproximadamente 5 sementes de caju-de-árvore-do-cerrado, foram envolvidas por um tecido permeável (tipo voile) para permitir a troca de vapor de água e foram colocadas no interior de dessecadores contendo soluções salinas saturadas até alcançar o equilíbrio

higroscópico. A temperatura e a umidade relativa do ar foram monitoradas por meio de um psicrômetro instalado no interior dos dessecadores contendo as amostras.

As soluções salinas foram utilizadas para gerar ambientes de diferentes atividades de água (Tabela 1): cloreto de lítio (LiCl), cloreto de cálcio (CaCl₂), nitrato de cálcio (Ca(NO₃)₂), cloreto de sódio (NaCl) e brometo de potássio (KBr). Durante o processo de dessorção as amostras foram pesadas, periodicamente, e o equilíbrio higroscópico foi alcançado quando a variação da sua massa permaneceu, aproximadamente, invariável durante três pesagens consecutivas e após foram determinados os teores de água de equilíbrio das sementes pelo método gravimétrico em estufa a 105±1 °C, durante 24 horas, em três repetições (Brasil 2009).

Tabela 1. Atividades de água (decimal) estabelecidas no interior dos dessecadores para a determinação do equilíbrio higroscópico de sementes de caju-de-árvore-do-cerrado (Rio Verde, GO, 2012).

Sal	Temperatura (°C)			
	25	30	35	40
LiCl	0,120	0,151	0,149	-
CaCl ₂	0,303	0,279	0,217	-
Ca(NO ₃) ₂	-	0,462	0,441	0,450
NaCl	0,740	0,740	-	0,746
KBr	0,814	0,892	-	0,791

Aos dados experimentais do teor de água de equilíbrio foram ajustados os modelos matemáticos apresentados (Tabela 2), tradicionalmente utilizados para prever a higroscopicidade de produtos vegetais.

Tabela 2. Modelos matemáticos utilizados para prever a higroscopicidade de sementes de caju-de-árvore-do-cerrado (Rio Verde, GO, 2012).

Designação do modelo	Modelo	
$X_e = \exp\{a - (b \cdot T) + [c \cdot \exp(a_w)]\}$	Sigma Copace	(1)
$X_e = a \cdot \left(a_w \frac{b}{T^c}\right)$	Sabbah	(2)
$X_e = (a + bT) / [(1 - a_w) / a_w]^{1/c}$	Oswin	(3)

$X_e = [(a \cdot a_w^b) + (c \cdot a_w^d)]$	Peleg	(4)
$X_e = [\exp(a \cdot b \cdot T) / -\ln(a_w)]^{1/c}$	Halsey Modificado	(5)
$X_e = (a \cdot b \cdot c \cdot a_w) / [(1 - c \cdot a_w) \cdot (1 - c \cdot a_w + b \cdot c \cdot a_w)]$	GAB	(6)
$X_e = \exp[a - (b \cdot T) + (c \cdot a_w)]$	Copace	(7)
$X_e = a \cdot b \cdot \ln[-(T + c) \cdot \ln(a_w)]$	Chung Pfof	(8)
$X_e = [(a \cdot b \cdot a_w) / (1 - (c \cdot a_w) \cdot (1 + (b - c) \cdot a_w))]$	BET Modificado	(9)
$X_e = a - (b \cdot T) - c \cdot \ln(1 - a_w)$	Smith	(10)

em que,

X_e : teor de água de equilíbrio, % b.s.;

a_w : atividade de água, decimal;

T : temperatura, °C;

a, b, c, d : coeficientes que dependem do produto.

Para o ajuste dos modelos matemáticos foi realizada a análise de regressão não linear, pelo método Gauss Newton, utilizando um programa estatístico. Para verificar o grau de ajuste de cada modelo foi considerada a significância do coeficiente de regressão pelo teste t , adotando o nível de 5% de significância, a magnitude do coeficiente de determinação (R^2), os valores do erro médio relativo (P), do erro médio estimado (SE), o teste de Qui-quadrado (χ^2) ao intervalo de confiança a 95% ($P < 0,05$). Considerou-se o valor do erro médio relativo inferior a 10% como um dos critérios para a seleção dos modelos, de acordo com Mohapatra & Rao (2005). Os erros médios relativos e estimados, e o teste de Qui-quadrado para cada um dos modelos, foram calculados conforme as seguintes expressões, respectivamente:

$$P = \frac{100}{n} \sum \frac{|Y - \hat{Y}|}{Y} \quad (11)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum (Y - \hat{Y})^2}{GLR}} \quad (12)$$

$$\chi^2 = \sum \frac{(Y - \hat{Y})^2}{GLR} \quad (13)$$

em que,

Y : valor observado experimentalmente;

\hat{Y} : valor calculado pelo modelo;

N : número de observações experimentais;

GLR : graus de liberdade do modelo (número de observações menos o número de parâmetros do modelo).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios do teor de água de equilíbrio higroscópico das sementes de caju-de-árvore-do-cerrado, obtidos por dessorção para as temperaturas de 25, 30, 35 e 40 °C e atividade de água entre 0,12 e 0,89 (decimal), são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Valores médios do teor de água de equilíbrio (% b.s.) de sementes de caju-de-árvore-do-cerrado, obtidos por dessorção, em função da temperatura (°C) e da atividade de água (decimal, $\pm 0,03$) (Rio Verde, GO, 2012).

Temperatura (°C)	Atividade de água (decimal)											
	0,12	0,15	0,22	0,30	0,44	0,45	0,46	0,74	0,75	0,79	0,81	0,89
25	2,35	-	-	3,50	-	-	-	5,80	-	-	6,46	-
30	-	1,76	-	3,33	-	-	3,87	5,75	-	-	-	6,57
35	-	1,73	2,35	-	3,50	-	-	-	-	-	-	-
40	-	-	-	-	-	3,26	-	-	5,62	5,89	-	-

Observa-se que para uma mesma temperatura, com o incremento da atividade de água, tem-se um aumento do teor de água de equilíbrio para as sementes de caju-de-árvore-do-cerrado (Tabela 3). Resultados semelhantes foram encontrados por Gomes et al. (2002) em polpa de acerola (*Malpighia emarginata* D. C.) em pó, nas temperaturas de 20, 25 e 30°C, e por Alexandre et al. (2007) em pitanga (*Eugenia uniflora* L.) em pó, nas temperaturas de 10, 20, 30 e 40°C.

Na Tabela 4, estão apresentados os parâmetros dos modelos ajustados aos valores de teor de água de equilíbrio higroscópico para as sementes de caju-de-árvore-do-cerrado, obtidos por dessorção, para diferentes condições de temperatura e atividade de água.

Tabela 4. Coeficientes dos modelos ajustados aos teores de água de equilíbrio higroscópico para as sementes de caju-de-árvore-do-cerrado, com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2), erros médios relativos (P), erros médios estimados (SE), Qui - quadrado (χ^2) (Rio Verde, GO, 2012).

Modelos	Coeficientes	R^2 (%)	P (%)	SE (decimal)	χ^2
Sigma Copace	a = 0,083041 ^{NS}	94,20	11,182	0,701	0,202
	b = 0,004445 ^{**}				
	c = 0,834361 ^{**}				
Sabbah	a = 17,41643 ^{**}	96,79	7,352	0,388	0,112
	b = 0,67726 ^{**}				
	c = 0,26640 ^{**}				
Pelleg	a = 3,457269 [*]	96,51	8,820	0,440	0,133
	b = 2,111852 [*]				
	c = 4,258419 [*]				
	d = 0,381012 [*]				
Smith	a = 2,463693 ^{**}	92,71	11,423	0,846	0,235
	b = 2,030540 ^{**}				
Halsey Modificado	a = 3,379067 ^{**}	91,06	12,965	1,080	0,3118
	b = 0,010026 ^{NS}				
	c = 2,581460 ^{**}				
GAB	a = 4,537048 ^{**}	94,58	8,992	0,447	0,129
	b = -0,019281 [*]				
	c = 3,363186 ^{**}				
Copace	a = 0,797808 ^{**}	96,50	8,374	0,423	0,122
	b = 0,005577 ^{NS}				
	c = 1,479701 ^{**}				
Chung-Pfost	a = 10,21071 ^{**}	96,87	6,792	0,378	0,109
	b = 1,79224 ^{**}				
	c = 15,18570 [*]				
BET mod.	a = 3,325754 ^{**}	96,30	8,992	0,447	0,129
	b = 8,040258 ^{NS}				
	c = 0,612016 ^{**}				
Oswin	a = 4,537048 ^{**}	94,59	10,162	0,654	0,174
	b = -0,019281 [*]				
	c = 3,363186 ^{**}				

^{**} Significativo a 1% pelo teste t; ^{*} Significativo a 5% pelo teste t; ^{NS} Não significativo.

Analisando os resultados apresentados (Tabela 4), observa-se que os modelos matemáticos utilizados para descrever a higroscopicidade das sementes de caju-de-árvore-do-cerrado apresentaram, para a maioria dos seus coeficientes, significância de regressão ao nível de 1% pelo teste t. Além disso, os modelos Sabbah, Pelleg, Copace, Chung-Pfost, BET Modificado, exibiram elevados valores do coeficiente de determinação, superior a 96%, que de acordo com Madamba et al. (1996), indica uma representação satisfatória do fenômeno em estudo. De acordo com estes pesquisadores, a utilização do coeficiente de determinação como o único critério de avaliação para a seleção dos modelos não lineares não constitui um bom parâmetro para representação do fenômeno em estudo.

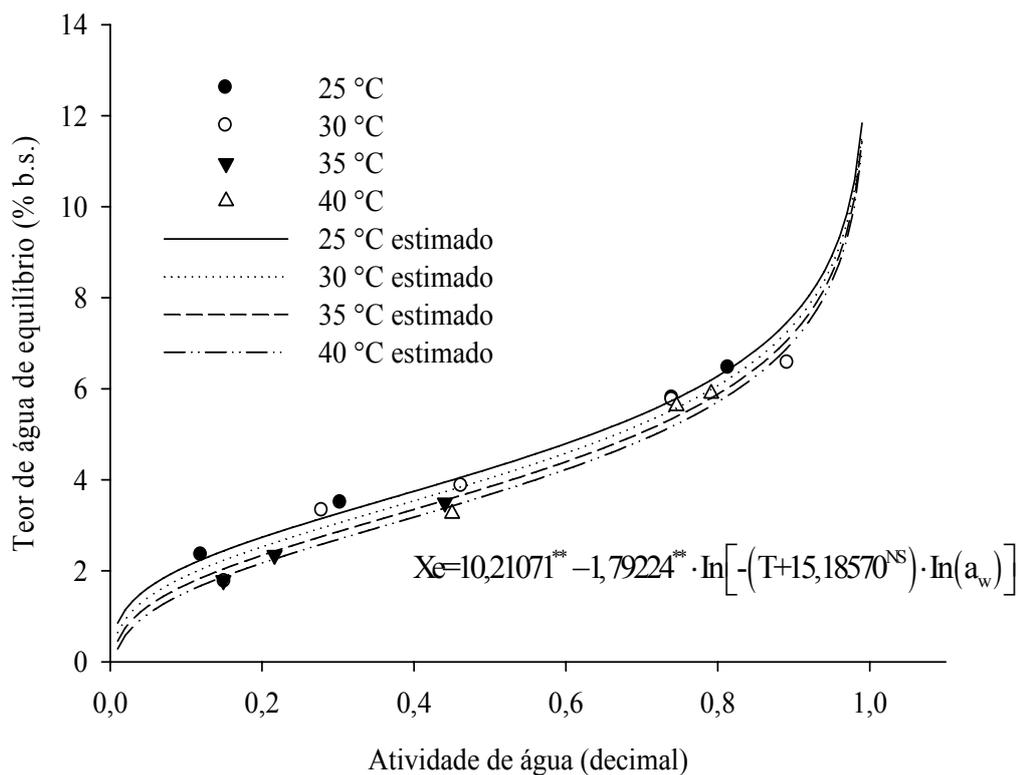
Para uma análise mais detalhada, utilizaram outros parâmetros estatísticos para respaldar a seleção do melhor modelo, tais como o erro médio relativo inferior a 10%, e os menores valores do erro médio estimado e Qui-quadrado. De acordo com os valores obtidos referentes ao erro médio estimado (SE), nota-se que os modelos Sabbah, Copace e Chung-Pfost apresentaram menores valores quando comparados aos demais. Observa-se ainda que os valores do erro médio relativo (P) foram inferiores a 10%, exceto para os modelos de Sigma Copace, Smith, Halsey Modificado e Oswin, que de acordo com Mohapatra & Rao (2005), indica uma representação adequada do fenômeno estudado.

Em relação ao teste de Qui-quadrado (χ^2), os dez modelos analisados se encontram no intervalo de confiança de 95%.

Comparando os modelos, observa-se que o de Sabbah e Chung-Pfost foram os que melhor se ajustaram aos dados experimentais, sendo assim indicados para descreverem o fenômeno de higroscopicidade das sementes de caju-de-árvore-do-cerrado.

Dentre estes dois modelos, verifica-se que o de Chung-Pfost, exibiu maior coeficiente de determinação (R^2) e menores valores do erro médio relativo (P), do erro médio estimado (SE) e menor magnitude dos valores de Qui-quadrado (X^2), sendo assim, o mais recomendado para predição do equilíbrio higroscópico de sementes de caju-de-árvore-do-cerrado.

Na Figura 1, estão apresentados os valores experimentais do teor de água de equilíbrio de sementes de caju-de-árvore-do-cerrado, obtidos por dessorção, bem como suas isotermas estimadas pelo modelo de Chung-Pfost.



** Significativo a 1% pelo teste t; ^{NS} Não significativo.

Figura 1- Valores experimentais de teor de água de equilíbrio higroscópico e isotermas de dessorção estimadas pelo modelo de Chung-Pfost para as sementes de caju-de-árvore-do-cerrado, em diferentes condições de temperatura e atividades de água (Rio Verde, GO, 2012).

Verifica-se na Figura 1, que para uma atividade de água constante os valores de teor de água de equilíbrio higroscópico das sementes de caju-de-árvore-do-cerrado diminuíram com o aumento da temperatura, seguindo a mesma tendência da maioria dos produtos vegetais já estudados, tendo sido observado por Prado et al. (1999), Silva et al. (2002), Ferreira & Pena (2003), Corrêa et al. (2005), Goneli (2008), Goneli et al. (2010) ao estudarem isotermas de dessorção de tâmaras (*Phoenix dactylifera*), polpa de manga (*Mangifera indica* L.), farinha de pupunha (*Bactris gasipaes* kunth), milho (*Zea mays* L.), mamona (*Ricinus communis* L.) e sementes de quiabo (*Abelmoschus esculentus* L.), respectivamente.

As isotermas de dessorção das sementes de caju-de-de-árvore-do-cerrado são curvas do tipo II (Figura 1), seguindo a classificação de Brunauer (Brunauer et al. 1938), cuja forma sigmoidal é utilizada principalmente em isotermas de produtos orgânicos. Nunes et al. (2009), estudando o processo de sorção de água para o amido de inhame, verificaram que o modelo de Chung-Pfost, foi o que melhor se ajustou aos seus

dados experimentais. Outros autores recomendam este modelo para descrição da higroscopicidade de arroz (*Oryza sativa*) em casca (Basunia & Abe 2001), milho doce (*Zea mays* L.) (Araújo et al. 2001), trigo (*Triticum spp.*) (Corrêa et al. 2005b), alpiste (*Phalaris canariensis* L.) e painço (*Setaria italica*) (Corrêa et al. 2006), folha de louro (*Lauro nobilis* L.) (Silva & Devilla 2005) e sementes de quiabo (*Abelmoschus esculentus* L.) (Goneli et al. 2010).

CONCLUSÃO

Com base nos resultados, infere-se que o teor de água de equilíbrio higroscópico das sementes de caju-de-árvore-do-cerrado é diretamente proporcional a atividade de água e decresce com o aumento de temperatura, para um mesmo valor de atividade de água. Baseando-se em parâmetros estatísticos, o modelo de Chung-Pfost é o que melhor representa a higroscopicidade das sementes de caju-de-árvore-do-cerrado, quando comparado aos demais modelos testados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOSTINI-COSTA, T. S.; VIEIRA, R. F.; NAVES, R. V. Caju, identidade tropical que exala saúde. Disponível em:

<<http://www.embrapa.br/imprensa/artigos/2005/artigo.2005-12-29.6574944222>>.

Acesso em: 08 fev. 2012

ALCÂNTARA, S. R. et al. Isotermas de adsorção do pedúnculo seco do caju. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 13, n.1, p. 81-87, 2009.

ALEXANDRE, H. V.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Isotermas de adsorção de umidade da pitanga em pó. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 11-20, 2007.

ALMEIDA, S. P. Frutas nativas do Cerrado: caracterização físico-química e fonte potencial de nutrientes. In: SANO M. S.; ALMEIDA, S. P. de (Eds.). *Cerrado: ambiente e flora*. Planaltina, DF: Embrapa-CPAC, 1998. p. 245-285.

ARAÚJO, E. F.; CORRÊA, P. C.; SILVA, R. F. Comparação de modelos matemáticos para descrição das curvas de dessecamento de sementes de milho doce. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v. 36, n. 7, p. 991-995, 2001.

BASUNIA, M. A.; ABE, T. Moisture desorption isotherms of medium-grain rough rice. *Journal of Stored Products Research*, Oxford, v. 37, n. 3, p. 205-219, 2001.

BORGES, S. et al. Equilíbrio higroscópico e viabilidade de sementes de angico-vermelho (*Anadenanthera peregrina* (L.) (Speng) em diferentes condições ambientais de armazenamento. *Scientia Florestalis*, Piracicaba, v. 37, n. 84, p. 475-481, 2009.

BRASIL, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. *Regras para análise de sementes*. Brasília, DF: 2009.

BRANDÃO, M.; CARVALHO, P. G. S.; JESUÉ, G. *Guia ilustrado de plantas do cerrado de Minas Gerais*. CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais). Belo Horizonte: Superintendência de Apoio Administrativo – AD, 1992.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). *Frutas nativas do cerrado brasileiro: aproveitamento alimentar*. Brasília, DF: Embrapa, 2002.

BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. *Drying and storage of grains and oilseeds*. Westport: The AVI Publishing Company, 1992.

BRUNAUER, S.; EMMET, P.; TELLER, E. Adsorption of gases in multimolecular layers. *Journal of American Chemical Society*, Washington, v. 60, n. 2, p. 309-319, 1938.

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

CAVALCANTI JUNIOR, A. T.; ROSSETTI, A. G. Umidade de armazenamento da castanha de caju. *Revista Ciência Agrônômica*, Fortaleza, v. 35, n. 2, p. 384-389, 2004.

CHEN, C. Factors which effects equilibrium relative humidity of agricultural products. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, St. Joseph, v. 43, n. 3, p. 673-683, 2000.

CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; RIBEIRO, D. M. Isotermas de sorção das espigas de milho: obtenção e modelagem. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, Sete Lagoas, v. 4, n. 1, p. 126-134, 2005a.

CORRÊA, P. C. et al. Obtenção e modelagem das isotermas de dessorção e do calor isostérico de dessorção para grãos de trigo. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 39-48, 2005b.

CORRÊA, P. C. et al. Equilíbrio higroscópico de milheto, alpiste e painço: Obtenção e modelagem. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 162-167, 2006.

FAN, J.; SIEBENMORGEN, T. J.; MARKS, B. P. Effects of variety and harvest moisture content on equilibrium moisture contents of rice. *Applied Engineering in Agriculture*, St. Joseph, v. 16, n. 3, p. 245-251, 2000.

FERREIRA, C. D.; PENA, R. S. Comportamento higroscópico da farinha de pupunha (*Bactris gasipaes*). *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v. 23, n. 2, p. 251-255, 2003.

GALLINA TOSCHI, T. et al. A study on cashew nut oil composition. *Journal of the American Oil Chemist's Society*, Champaign, v. 70, n. 10, p. 1017-1020, 1993.

GOMES, P. M. A.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Caracterização e isotermas de adsorção de umidade da polpa de acerola em pó. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, v. 4, n. 2, p. 157-165, 2002.

GONELI, A. L. D. *Variação das propriedades físico-mecânicas e da qualidade de mamona (Ricinus communis L.) durante a secagem e o armazenamento*. 2008. 186f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

GONELI, A. L. D. et al. Water Desorption and Thermodynamic Properties of Okra seeds. *Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers*, St. Joseph, v. 53, n. 1, p. 191-197, 2010.

HALL, C. W. *Drying and storage of agricultural crops*. Westport: The AVI Publishing Company, 1980.

MADAMBA, P. S.; DRISCOLL, R. H.; BUCKLE, K. A. The Thin-layer drying characteristics of garlic slices. *Journal of Food Engineering*, London, v. 29, n. 1, p. 75-97, 1996

MENDONÇA, R. C. et al. Flora Vascular do Cerrado. In: SANO, S. M; ALMEIDA, S. P. de (Eds.). *Cerrado: ambiente e flora*. Planaltina, DF: Embrapa-CPAC, 1998. p. 289-556.

MOHAPATRA, D.; RAO, P. S. A thin layer drying model of parboiled wheat. *Journal of Food Engineering*, London, v. 66, n. 4, p. 513-518, 2005.

NAVES, R. V. *Espécies frutíferas dos cerrados de Goiás: caracterização e influências do clima e dos solos*. 1999. 202 f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 1999.

NUNES, L. de S. et al. Avaliação do comportamento higroscópico de amido de inhame. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, v. 11, n. 2, p. 149-158, 2009.

OLIVEIRA, M. M. et al. Isotermas de dessecção da casca do maracujá (*Passiflora edulis* Sims): determinação experimental e avaliação de modelos matemáticos. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 36, n. 5, p. 1624-1629, 2006.

OLIVEIRA, D. L.; ROCHA, C. Alternativas sustentáveis para a merenda escolar com o uso de plantas do cerrado, promovendo educação ambiental. *Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental*, Rio Grande, v. 21, p. 35-53, 2008.

OLIVEIRA, M. M. da et al. Estudo do equilíbrio higroscópico da casca de abacaxi. *Tecnologia e Ciência Agropecuária*, João Pessoa, v. 3, n. 3, p. 63-66, 2009.

PRADO, M. E. T. et al. Isotermas de sorção de tâmaras: determinação experimental e avaliação de modelos matemáticos. *Ciência e Tecnologia de alimentos*, Campinas, v. 19, n. 3, p. 233-236, 1999.

ROCHA, W. S. et al. Compostos fenólicos totais e taninos condensados em frutas nativas do cerrado. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v. 33, n. 4, p. 1215-1221, 2011.

SILVA, J. A. da et al. *Frutas nativas dos cerrados*. Brasília, DF: Embrapa – CPAC, 1994.

SILVA, D. B. et al. *Frutas do cerrado*. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2001.

SILVA, M. M. da et al. Demanda energética envolvida no processo de dessecção de umidade em polpa de manga. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, v. 4, n. 2, p. 107-117, 2002.

SILVA, C. C.; DEVILLA, I. A. Higroscopia das folhas de louro (*Lauro nobilis* L.)

Disponível em:

<<http://prp.urg.br/06v1/conteúdo/pesquisainicci/encontros/sic2005/arquivos/agrarias/higroscopia.pdf>>. Acesso em: 08 fev. 2012.

CAPÍTULO 2

CRIOPRESERVAÇÃO DE SEMENTES DE CAJU-DE-ÁRVORE-DO-CERRADO (*Anacardium othonianum* Rizz.)

CRYOPRESERVATION OF SEEDS FROM SAVANNAH CASHEW-TREE (*Anacardium othonianum* Rizz.)

RESUMO

O armazenamento de sementes é uma preocupação crescente nos programas de melhoramento genético de plantas e tem grande importância como forma de preservação de espécies vegetais. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do armazenamento das sementes de caju-de-árvore-do-cerrado (*Anacardium othonianum* Rizz.) em nitrogênio líquido por 2, 4 e 6 meses a -196°C , submetidas ao descongelamento rápido (banho-maria a 37°C durante dez minutos) e lento (temperatura ambiente a $26^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ por um período de 2 horas). Sementes de caju com 7% de teor de água sem criopreservação foram utilizadas como testemunhas. Antes e após o armazenamento das sementes, foram realizadas as avaliações de porcentagem de germinação, índice de velocidade de germinação (IVG) e porcentagem de plântulas normais. Para a porcentagem de germinação não houve diferença entre os tempos de armazenamento, observou-se valores acima de 75%. O índice de velocidade de germinação decresceu linearmente com o aumento do tempo de armazenamento. A porcentagem de plântulas normais foi de 73% aos 3,7 meses de armazenamento. O descongelamento lento foi mais benéfico para as sementes de caju-de-árvore-do-cerrado, proporcionou maior porcentagem de germinação e índice de velocidade de germinação.

Palavras-chave: armazenamento; germinação; baixas temperaturas.

ABSTRACT

The storage of seeds is a growing concern in breeding programs for plants and is of great importance as a means for preserving the genetic material. This study aimed to evaluate the effect of storage *Anacardium othonianum* Rizz. Seeds in liquid nitrogen for

2, 4 and 6 months at $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ under methods of thawing fast (water bath at $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ for ten minutes) and slow (room temperature to $26\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ for a period of 2 hours). Cashew seeds with 7% moisture content without cryopreservation were used as witnesses. Before and after seed storage, evaluations were made evaluating the germination percentage, speed germination index (GSI) and percentage of normal seedlings. For the germination percentage there were no difference between stored times, observed values above 75%. The speed germination index decreased linearly with increasing storage time. The percentage of normal seedlings was 73% at 3.7 months of storage. The slow thawing was more beneficial for seeds from cashew tree having a higher percentage of germination and speed germination index.

keywords: storage; germination; low temperatures.

INTRODUÇÃO

O cerrado apresenta mais de 50 espécies de diferentes famílias que produzem frutos comestíveis, consumidos pelas populações locais (SILVA et al., 2008), e comercializados nas feiras livres e mercados públicos da região de ocorrência das espécies (GUSMÃO et al., 2006). Esses frutos apresentam elevados teores de açúcares, proteínas, vitaminas e sais minerais, além de sabor exótico (SILVA et al., 2008).

Considerado o terceiro produtor mundial de frutas, o Brasil se diferencia dos demais países produtores de caju (*Anacardium occidentale* L.) pelo aproveitamento industrial do pseudofruto (pedúnculo carnoso) (MELO, 2002). Dentre as espécies de caju existentes no país, destaca-se no Estado de Goiás, o *Anacardium othonianum* Rizz. conhecido como caju-de-árvore-do-cerrado, planta arbórea com 3 a 6 m de altura e tronco de 20 a 40 cm de diâmetro (NAVES, 1999), cujo fruto é uma drupa reniforme (castanha) e o pseudofruto a parte carnosa do caju.

A espécie possui sementes classificadas como ortodoxas (LIMA et al., 2012). Considerando que a propagação de caju-de-árvore-do-cerrado (*Anacardium othonianum* Rizz.), é predominantemente por meio de sementes, o armazenamento representa a maneira mais simples, viável e econômica de conservar a variabilidade genética vegetal, *ex situ*, por meio do estabelecimento de bancos de germoplasma (VAN SLAGEREN, 2003).

As sementes podem ser conservadas *ex situ* por criopreservação (entre -160°C e -196°C), que diminui a níveis mínimos o metabolismo das sementes e evita a deterioração do material biológico, proporcionando a conservação dos recursos fitogenéticos a longo prazo, assegurando a preservação das fontes genéticas da planta, além de reduzir os custos e a perda da viabilidade (MEDEIROS e CAVALLARI, 1992; HOEKSTRA et al., 2001).

Na última década, o avanço significativo nas pesquisas utilizando as técnicas de criopreservação de sementes, resultou em protocolos de conservação para cerca de 100 espécies. Entretanto, a maioria envolveu sementes de espécies de clima temperado e frio, e poucas pesquisas foram realizadas com as espécies de clima tropical e subtropical. Wetzell et al. (2003), consideram que a criopreservação de sementes pode ser considerada uma maneira de preservar a biodiversidade das espécies nativas.

Segundo Santos (2000), a criopreservação é eficiente e prática para a conservação de material vegetal a longo prazo, especialmente em se tratando de espécies que apresentam sementes recalcitrantes ou intermediárias. Em virtude da sensibilidade dessas sementes a dessecação e ao congelamento, são utilizados os explantes para a criopreservação e posterior cultivo *in vitro*.

Diversos autores têm descrito que o percentual de teor de água das sementes é o grande desafio na determinação de um protocolo de criopreservação (COELHO e CAVALCANTI MATA, 2005). O teor de água da semente é o fator mais crítico, se este teor for muito alto, ocorre morte instantânea da semente durante o processo de congelamento e/ou descongelamento. O baixo teor de umidade das sementes ortodoxas é uma das características que lhes confere grande viabilidade quando criopreservadas (FOWLER, 2000).

Em um banco de germoplasma a baixas temperaturas, não somente o processo de criopreservação deve ser levado em consideração como também o método de descongelamento das sementes, pois quanto mais rápido ocorrer o descongelamento das sementes, melhor a preservação de suas características fisiológicas. Portanto, o método de descongelamento a temperatura ambiente se torna questionável, uma vez que existe a possibilidade do recongelamento durante este período. Molina et al. (2006), recomendam o descongelamento em banho-maria à temperatura de 37°C a 40°C por aproximadamente 5 minutos. Entretanto, Towill (2002), afirma que sementes ortodoxas podem ser descongeladas lentamente a temperatura ambiente sem nenhum efeito prejudicial.

O objetivo deste trabalho foi estudar a possibilidade de criopreservar sementes de caju-de-árvore-do-cerrado (*Anacardium othonianum* Rizz.) submetidas a diferentes tempos de armazenamento, verificando também o método mais adequado para o descongelamento.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas sementes de caju-de-árvore-do-cerrado, coletadas de frutos a partir de várias plantas matrizes, em setembro de 2010, na fazenda Gameleira no Município de Montes Claros de Goiás-GO com coordenadas geográficas latitude (S) – 16° 06' 20''; longitude (W) - 51° 17' 11'.

Após a coleta os frutos foram encaminhados ao Laboratório de Sementes do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano Campus Rio Verde-GO para despolpa manual e obtenção das sementes. Estas foram tratadas com fungicida Vitavax-Thiram® [Ingrediente Ativo (carboxina + tiram): 200 + 200 g/L], na dosagem de 300 mL de fungicida diluído em 500 mL de água destilada para 100 kg de sementes, a fim de evitar a contaminação por fungos. Posteriormente foi determinado o teor de água inicial (umidade de colheita) das sementes, utilizando o método padrão da estufa a $105 \pm 3^\circ\text{C}$, que se baseia no processo de extração de água do produto durante a sua permanência por 24 horas na estufa, segundo as regras para análise de sementes (BRASIL, 2009).

Após a determinação do teor de água inicial (15%), as sementes foram submetidas ao processo de secagem para que esse teor de água fosse reduzido a 7%. De acordo com Stanwood (1984), o teor de água das sementes após a secagem para serem armazenadas em nitrogênio líquido e terem o potencial fisiológico preservado deve estar entre 4 e 7%. No processo de secagem, as sementes foram colocadas em contato direto sobre uma camada uniforme de 1 kg de sílica gel em bandejas com 35x30x8cm de tamanho, caracterizando assim como secagem rápida. O cálculo da massa das sementes foi obtido com o acompanhamento da perda de massa das sementes a cada hora no início da secagem até se manter constante. A massa final da amostra, correspondente ao teor de água desejado (7%) foi calculada por meio da equação de CROMARTY et al. (1985).

Antes do armazenamento criogênico, as sementes correspondentes ao tratamento controle foram submetidas a testes de germinação e vigor (porcentagem de germinação,

índice de velocidade de germinação e porcentagem de plântulas normais) segundo as regras para análises de sementes (BRASIL, 2009).

Para criopreservação, foram utilizados três lotes de sementes com teor de água de 7%. Cada lote separado por tempo de armazenamento, foi embalado em papel alumínio e acondicionado dentro de um tubo cilíndrico de alumínio (canister), totalizando três canisters devidamente identificados, que foram colocados dentro do botijão contendo nitrogênio líquido a -196°C , e ficaram armazenados pelos períodos de 2, 4 e 6 meses, respectivamente.

Decorrido cada um dos três tempos de criopreservação, o canister contendo as sementes correspondentes ao período de armazenamento estudado, foi retirado do botijão crioprotetor e as sementes foram descongeladas. Para estudar o efeito do tipo de descongelamento sobre a germinação das sementes criopreservadas, após cada tempo de criopreservação, estas foram descongeladas através de dois métodos: descongelamento lento, à temperatura ambiente de $26^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ por 2 horas; e descongelamento rápido, em banho-maria a 37°C por 10 minutos. As sementes criopreservadas passaram pelos mesmos testes citados anteriormente para as sementes controle.

Para o teste de germinação, foram utilizadas quatro repetições de 25 sementes, distribuídas uniformemente sobre duas folhas de papel germitest, cobertas pela terceira folha e dispostas na forma de rolo. O substrato foi umedecido com água destilada em quantidade equivalente a 2,5 vezes o peso do substrato seco. As sementes foram mantidas em germinador tipo “Mangelsdorf”, regulado a temperatura constante de 30°C . A germinação foi avaliada a partir do terceiro dia após a semeadura, registrando o número de sementes com protrusão da radícula até completa estabilização, e a porcentagem de plântulas normais correspondeu a proporção do número de sementes que produziram plântulas classificadas como normais até o 30° dia de avaliação. Os resultados foram expressos em porcentagem de germinação e porcentagem de plântulas normais.

O índice de velocidade de germinação (IVG) foi determinado registrando diariamente o número de sementes germinadas até o último dia de germinação, calculado pela fórmula proposta por MAGUIRE (1962).

Utilizou-se o delineamento inteiramente ao acaso, em esquema fatorial 4×2 (4 períodos de conservação: 0, 2, 4 e 6 meses \times 2 tipos de descongelamento: lento e rápido), com quatro repetições de 25 sementes. Os dados foram submetidos a testes de normalidade e homogeneidade de variância, em que os dados de porcentagem foram

transformados em $\arcsen\sqrt{x}$ e submetidos a análise de regressão ao nível de 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados referentes ao percentual de germinação de sementes de caju-de-árvore-do-cerrado após serem criopreservadas por 2, 4 e 6 meses, estão apresentados na figura 1.

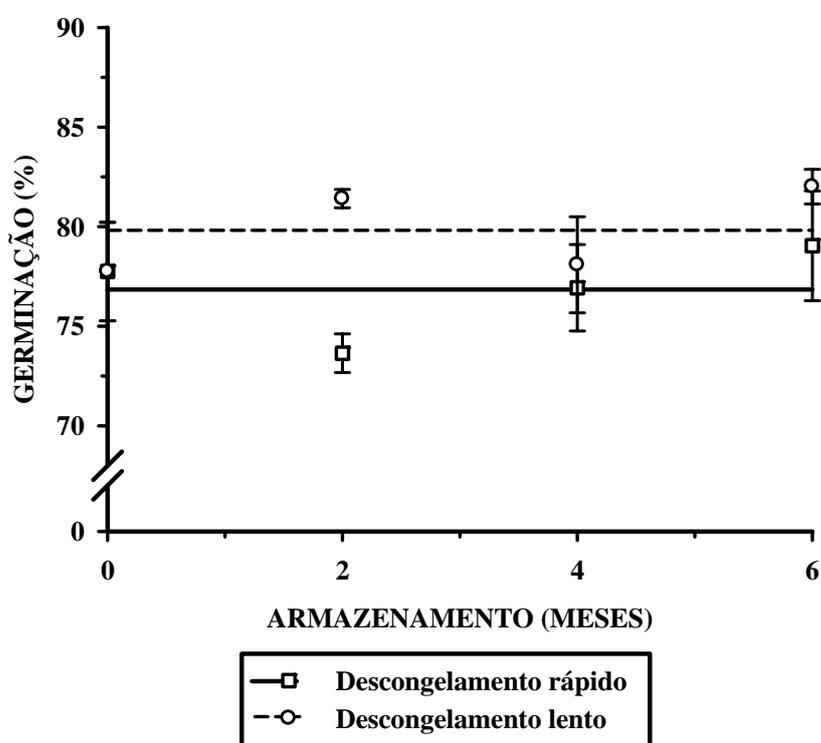


Figura 1. Porcentagem de germinação das sementes de caju-de-árvore-do-cerrado armazenadas em nitrogênio líquido por 2, 4 e 6 meses, submetidas ao descongelamento rápido e lento.

Pode-se observar que o comportamento germinativo das sementes de caju-de-árvore-do-cerrado armazenadas em nitrogênio líquido foi igual aos observados para as sementes não expostas à temperatura criogênica em todos os tempos estudados (Figura 1), evidenciando que o período de armazenamento não influenciou a qualidade fisiológica das sementes.

Verificou-se diferença apenas para os tipos de descongelamento. A maior porcentagem de germinação foi encontrada nas sementes submetidas ao

descongelamento lento, atingindo 80%, enquanto no descongelamento rápido foi de aproximadamente 76% de germinação.

As taxas de germinação das sementes armazenadas por até 6 meses, mantiveram constantes, sendo superior a 75%. Isso indica que a dessecação e a criopreservação não prejudicaram a qualidade fisiológica das sementes e o objetivo do armazenamento foi atingido, mantendo a viabilidade das sementes pelos períodos avaliados.

Silva et al. (2012), crioarmazenaram sementes de quina (*Strychnos pseudoquina* A. St. Hil.), com teores de água de 6% e 7%, durante 2, 4 e 6 meses, e observaram que as sementes com 7% de teor de água tiveram taxas de germinação mais elevadas, correspondentes a 80%.

Segundo Vieira et al. (2002), a deterioração da semente é um processo inevitável, porém a redução do seu teor de água, da temperatura e umidade relativa do ar do ambiente de armazenamento da semente fazem com que ocorra redução do metabolismo.

As temperaturas criogênicas proporcionam redução da atividade metabólica e paralisação da deterioração biológica. Ocorre a preservação das estruturas físicas e bioquímicas das sementes e conseqüentemente proporciona bons resultados de germinação e vigor.

Os resultados obtidos indicam que as sementes de caju-de-árvore-do-cerrado podem ser desidratadas a 7% de umidade, mantendo sua viabilidade, corroborando com Hoekstra et al. (2001) e Walters et al. (2004), ao recomendarem que os conteúdos de umidade para sementes ortodoxas devem estar abaixo de 10%. Stanwood (1980), recomenda que o teor de umidade das sementes após a secagem e para serem submetidas a criopreservação devem estar entre 4 e 7%.

Os efeitos da criopreservação em termos de porcentagem de germinação variam muito entre as espécies de plantas. Existe também uma variação intraespecífica entre as espécies em relação à tolerância à criopreservação, que está relacionada com a tolerância das sementes a dessecação.

Silva et al. (2011), observaram que as sementes de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) com 5,9% de umidade criopreservadas, tiveram a porcentagem de germinação reduzida de 81,9% para 37%, entre os períodos de 0 a 3 meses de armazenamento, indicando que a sobrevivência dessas sementes foi negativamente afetada. De acordo com Crane et al. (2003) e Volk et al. (2006), sementes com conteúdos elevados de óleo são mais susceptíveis a injúrias e danos físicos causados por

exposições a baixas temperaturas. Segundo os autores, baixas temperaturas podem cristalizar lipídeos durante a conservação das sementes, o que não ocorreu neste trabalho.

Já Goldfarb et al. (2010), ao analisar sementes de pinhão-mansó (*Jatropha curcas* L.), com 8% de umidade aos três meses de exposição ao nitrogênio líquido, verificaram que não houve diferença entre a porcentagem de germinação das sementes controle e daquelas criopreservadas, cujo percentual de germinação foi de 63%. Essas diferenças observadas entre cultivares, podem ocorrer por causa da composição química e/ou pela sensibilidade das sementes aos danos físicos e ao frio.

O intervalo de umidade favorável para o congelamento difere entre as espécies. Sementes de mamona (*Ricinus communis* L.) com teores de água entre 4 e 10%, tiveram sua germinabilidade mais favorável quando foram criopreservadas por 30 dias (ALMEIDA et al., 2002), sendo os teores de água mais adequados entre 4 e 8%. Tresena et al. (2009), estudaram a criopreservação de sementes de ipê rosa (*Tabebuia heptaphylla*) com 8% de umidade durante 1, 2 e 3 meses de armazenamento e observaram que a porcentagem de germinação se manteve em 92%. Rocha et al. (2009), estudaram os períodos de 5, 30, 60, e 90 dias de criopreservação de sementes de algodão (*Gossypium hirsutum* L.), e constataram que, com o aumento do período de permanência das sementes expostas às temperaturas criogênicas, a germinação e o vigor também aumentaram, em razão dessa temperatura promover quebra de dormência pela ação do frio.

Wetzel et al. (2003), estudando o armazenamento de sementes de 13 espécies de cerrado a -20°C e a -196°C , verificaram diminuição significativa no poder germinativo de apenas uma espécie. Lima et al. (2012), verificaram que sementes de caju-de-árvore-do-cerrado (*Anacardium othonianum* Rizz.), com teor de água de 20% e 16,8% mantiveram sua viabilidade quando armazenadas à temperatura de 18°C , por até 12 meses.

Os resultados apresentados na Figura 2, indicam que as sementes de caju-de-árvore-do-cerrado tiveram elevadas porcentagens de plântulas normais, acima de 73%. Por se tratar de espécie nativa, em que a maioria apresenta grande dificuldade de germinação e produção de plântulas normais, esse valor é considerado bastante satisfatório.

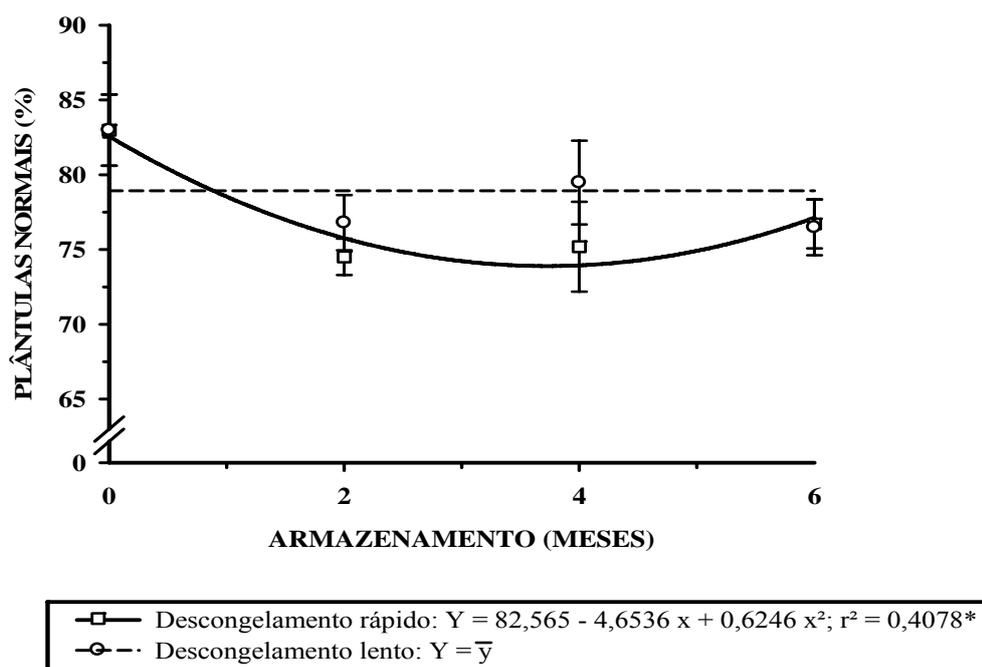


Figura 2. Porcentagem de plântulas normais das sementes de caju-de-árvore-do-cerrado armazenadas por 2, 4 e 6 meses e submetidas ao descongelamento rápido e lento.

Para a porcentagem de plântulas normais não houve diferença entre os tipos de descongelamento utilizados, para todos os tempos avaliados, provavelmente, pelos valores obtidos de plântulas normais serem altos. Os valores correspondentes ao descongelamento lento são expressos pela linha horizontal pontilhada, e corresponde à média dos valores de plântulas normais para todos os tempos de armazenamento. A eles não se ajustou nenhum modelo matemático que explicasse o comportamento dos dados de plântulas normais.

Para o descongelamento rápido ajustou-se o modelo quadrático para explicar o comportamento dos valores de plântulas normais.

Houve diferença para porcentagem de plântulas normais apenas entre os tempos de armazenamento.

Observou-se que, para as sementes submetidas ao descongelamento rápido, houve decréscimo da porcentagem de plântulas normais desde o período inicial até 3,7 meses de armazenamento, quando atingiu o ponto de mínimo (Figura 2). A partir desse período de armazenamento houve pequeno acréscimo da porcentagem de plântulas

normais. Esses resultados indicam que para obter maior porcentagem de germinação, maior velocidade de germinação e maior porcentagem de plântulas normais, recomenda-se o armazenamento das sementes de caju-de-árvore-do-cerrado em nitrogênio líquido por até 3,5 meses. Entretanto, para o descongelamento lento não existe diferença na porcentagem de plântulas normais entre os tempos de armazenamento.

A redução do teor de água para 7%, não prejudicou a capacidade das sementes de caju-de-árvore-do-cerrado em produzir plântulas normais e a capacidade germinativa não foi afetada durante o armazenamento por seis meses. A qualidade fisiológica dessas sementes foi preservada sob armazenamento em nitrogênio líquido, confirmando o alto vigor e indicando que haviam atingido a maturidade fisiológica quando foram colhidas.

A espécie tolerou a secagem e a baixa temperatura no nitrogênio líquido. Não houve efeito prejudicial da temperatura ultrabaixa sobre a produção de plântulas normais, não demonstrando perda na qualidade fisiológica para o descongelamento lento. Os melhores resultados foram obtidos até 3,5 meses de armazenamento, indicando alto vigor das sementes, elevada capacidade de emergência e possibilidade de uniformidade no desenvolvimento de plantas em condições adversas de campo ou em condições de viveiro.

Esse comportamento pode estar relacionado com o possível teor de água ótimo para a redução da temperatura, ou seja, com o teor de água disponível para prevenir os danos por dessecação, mas em quantidade baixa o suficiente para prevenir os danos por cristalização da água durante o congelamento.

Os resultados de desenvolvimento de plântulas normais obtidos por Hellmann et al. (2006), em sementes de pau-brasil (*Caesalpinia echinata* Lam.), confirmam a importância de reduzir a temperatura, para manutenção da viabilidade dessa espécie, conforme mostrado por (BARBEDO et al., 2002). Estas sementes não perderam a capacidade germinativa e de desenvolver plântulas normais mesmo após seis meses de armazenamento em câmara fria principalmente quando acondicionadas em embalagens permeável ou semipermeável (BARBEDO et al., 2002).

Os resultados obtidos por Kohama et al. (2006), em sementes de grumixameira (*Eugenia brasiliensis* Lam.) indicam que, desde que mantidas sob baixa temperatura (7°C), é possível armazenamento por, no mínimo, seis meses, com 60% das sementes podendo produzir plântulas normais e por até nove meses com cerca de 30% das sementes podendo ainda iniciar a germinação, e 20% produzir plântulas normais.

Moura et al. (2006), obtiveram índices elevados (acima de 85%) de emergência para plântulas de maracujá amarelo (*Passiflora edulis flavicarpa*) e maracujá roxo (*Passiflora edulis*), quando as sementes foram conservadas em nitrogênio líquido.

Os resultados obtidos referentes ao índice de velocidade de germinação para as sementes de caju-de-árvore-do-cerrado (*Anacardium othonianum* Rizz.), revelaram diferença tanto entre os tempos de armazenamento quanto entre os tipos de descongelamento utilizados (Figura 3). Entretanto, observa-se altos valores da velocidade de germinação. O vigor das sementes, expresso pela velocidade de germinação, diminuiu linearmente com o aumento do tempo de criopreservação, comportamento verificado para os dois tipos de descongelamento, mas as maiores reduções foram verificadas para o descongelamento rápido. É importante ressaltar que mesmo com esse decréscimo da velocidade de germinação, ao final dos seis meses o índice ainda pode ser considerado elevado, quando comparado a outras espécies.

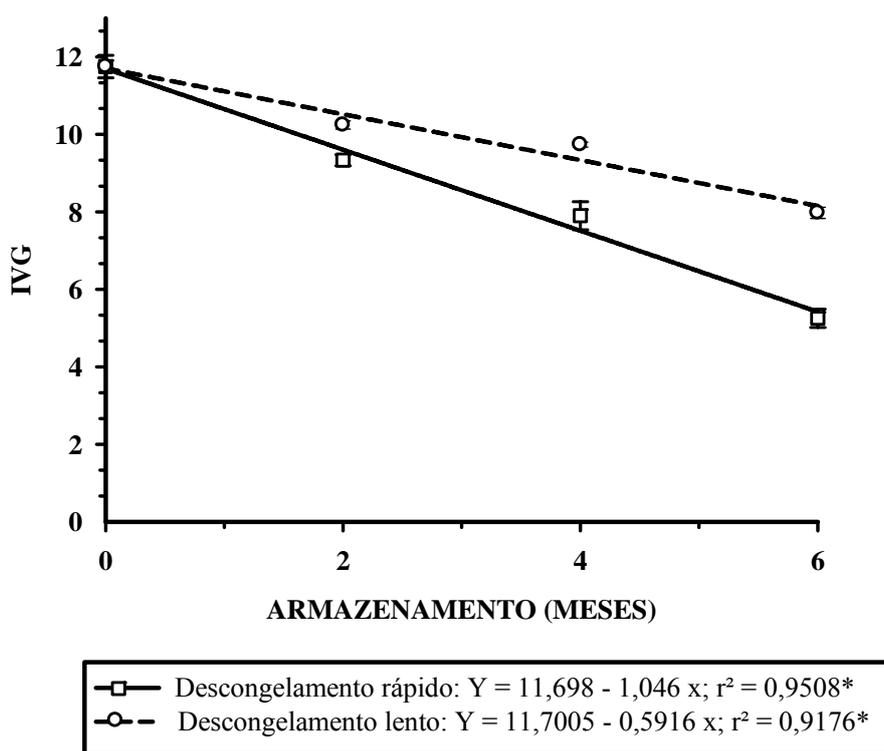


Figura 3. Índice de velocidade de germinação das sementes de caju-de-árvore-do-cerrado armazenadas por 2, 4 e 6 meses em nitrogênio líquido e submetidas ao descongelamento rápido e lento.

O melhor resultado para o índice foi verificado para sementes não criopreservadas, sugerindo que pela ausência de congelamento e descongelamento das

sementes, não houve danos causados pela formação de cristais de gelo e não foi necessário reparos no sistema de membranas. Assim que as sementes foram embebidas estavam aptas a iniciar o processo germinativo, proporcionando maior velocidade de germinação. Em contraste, para as sementes criopreservadas pode ter danos físicos pelo processo de congelamento ou de descongelamento, sendo o principal problema relatado a formação de cristais de gelo intracelular, indicando que com o aumento do tempo de imersão das sementes em nitrogênio líquido, aumenta também o tempo necessário para ativação do metabolismo e, conseqüentemente a recuperação das sementes para a germinação se torna mais lenta, proporcionando um IVG menor.

Entre os tipos de descongelamento, a maior velocidade de germinação corresponde ao descongelamento lento. Pode-se inferir que esse tipo de descongelamento tenha influenciado para preservar a qualidade fisiológica das sementes de caju-de-árvore-do-cerrado, em razão do tempo suficiente para ocorrer os reparos das membranas celulares. Coelho (2006), constatou em trabalho com sementes de algodão (*Gossypium hirsutum* L.), que nas temperaturas de -170 e -196°C , o método de descongelamento à temperatura ambiente (lento), produziu maiores valores para o vigor.

Com o armazenamento em temperatura subzero, as sementes tendem a estabilizar seu metabolismo e até mesmo entrar em quiescência. Somente após o descongelamento ela começa a reativar a parte fisiológica, principalmente suas membranas. Isso, explica o fato de sementes com menor tempo de armazenamento recuperar mais rápido este processo de reativação fisiológica proporcionando maior velocidade de germinação.

A menor velocidade de germinação foi observada para as sementes armazenadas por seis meses, submetidas ao descongelamento rápido. Pode-se inferir que esse tipo de descongelamento não proporcionou o tempo necessário para os reparos das membranas das células, e pode ocorrer mudanças fisiológicas na estrutura da semente durante a exposição à temperaturas ultrabaixas.

Baixos teores de umidade tornam o material biológico mais favorável ao congelamento, evitando a formação de cristais de gelo que causam danos ao tecido. Esta é uma hipótese a ser considerada para explicar a preservação da qualidade fisiológica das sementes utilizadas.

As condições ambientais em que as sementes de caju-de-árvore-do-cerrado (*Anacardium othonianum* Rizz.), foram armazenadas proporcionaram rápida velocidade

de germinação, confirmando o alto vigor e viabilidade dessas sementes depois de armazenadas a -196°C por até seis meses.

A diversidade de resposta entre as diferentes espécies de plantas, ou mesmo entre diferentes tecidos de uma mesma espécie, dificulta a generalização e o desenvolvimento de um protocolo de criopreservação de caráter universal.

Diante do grande potencial do caju-de-árvore-do-cerrado, estudos sobre o comportamento dos fatores envolvidos na germinação de sementes se tornam fundamentais para subsídios de pesquisas que visem a conservação e otimização no manuseio da espécie tanto para reflorestamento quanto para pesquisas.

De acordo com Black et al. (2002), a tolerância das sementes a dessecação pode ser definida como a capacidade de recuperar as funções biológicas após desidratação. Os resultados obtidos nesse trabalho permitem classificar as sementes de caju-de-árvore-do-cerrado como ortodoxas, confirmando resultados obtidos por Lima et al. (2012) para a mesma espécie.

Este trabalho é um passo preliminar no desenvolvimento de protocolo de criopreservação de sementes de caju-de-árvore-do-cerrado (*Anacardium othonianum* Rizz.), que pelo número reduzido das plantas, é difícil a obtenção de sementes, dificultando a propagação da espécie e consequentes estudos. Os resultados acrescentam informações novas sobre a fisiologia da germinação de sementes de caju-de-árvore-do-cerrado e permitem inferir que é possível conservá-las em condições criogênicas, contribuindo para manter a variabilidade genética de espécies do cerrado.

CONCLUSÕES

As sementes de caju-de-árvore-do-cerrado após a criopreservação por seis meses, mantiveram elevadas taxas de germinação, acima de 75% .

O descongelamento lento proporcionou maiores porcentagens de germinação e velocidade de germinação das sementes.

A criopreservação pode ser uma alternativa promissora para a conservação *ex situ* de várias espécies do bioma cerrado, entre elas o *Anacardium othonianum* Rizz.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F. de A. C. et al. Crioconservação de sementes de mamona das variedades nordestina e pernambucana. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 295-302, 2002.

BARBEDO, C. J. et al. Tolerância à dessecação e armazenamento de sementes de *Caesalpinia echinata* Lam. (pau-brasil), espécie da Mata Atlântica, **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 25, n. 4, p. 431-439, 2002.

BLACK, M. et al. Damage and tolerance in retrospect and prospect. In: BLACK, M.; PRITCHARD, H. W. (Eds.). **Desiccation and survival in plants: drying without drying**. Wallingford: CABI, 2002. p. 367-382.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 2009. 399p.

COELHO, R. R. P. **Protocolo de crioconservação de sementes de algodão (*Gossypium hirsutum* L. raça *Latifolium* Hutch.) cultivares BRS 200 marrom e BRS verde**. 2006, 89f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2006.

COELHO, R. R. P.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M. Teor de umidade limite para criopreservação de sementes de algodão colorido. In: **Congresso Brasileiro de Algodão, 5**. Salvador, 2005. Disponível em: <http://www.cnpa.embrapa.br/produtos/algodao/publicacoes/trabalhos_cba5/391.pdf>. Acesso em: 09 nov.2011.

CRANE, J. et al. Triacylglycerols determine the unusual storage physiology of Cuphea seed. **Planta**, Berlin, v. 217, p. 699-708, 2003.

CROMARTY, A. S. et al. **The design of seed storage facilities for genetic conservation**. Rome, IBPGR. 1985, 100p.

FOWLER, J. A. P. Superação de dormência e armazenamento de sementes de espécies florestais. In: GALVÃO, A. P. M. (Ed.). **Reflorestamento de propriedades para fins produtivos e ambientais: um guia para ações municipais e regionais**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000. p. 77-90.

GOLDFARB, M. et al. Armazenamento criogênico de sementes de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) Euphorbiaceae. **Biotemas**, Florianópolis, v. 23, p. 27-33, 2010.

GUSMÃO, E. et al. Biometria de frutos e endocarpos de murici (*Byrsonima verbascifolia* Rich. Ex. A. juss). **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 1, p. 84-91, 2006.

HOEKSTRA, F. A. et al. Mechanisms of plant desiccation tolerance. **Trends in Plant Science**, London, v. 6, p. 431-438, 2001.

HELLMANN, M. E. et al. Tolerância ao congelamento de sementes de pau-brasil (*Caesalpinia echinata* Lam.) influenciada pelo teor de água inicial. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 29, n. 1, p. 93-101, 2006.

KOHAMA, S. et al. Secagem e armazenamento de sementes de *Eugenia brasiliensis* Lam. (grumixameira). **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 28, n. 1, p.72-78, 2006.

LIMA, R. E. de et al. Effect of water contents and storage on caju-de-árvore-do-cerrado seed germination. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 05, n. 01, p.78-82, 2012.

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

MEDEIROS, A. C. S.; CAVALLARI, D. A. N. Conservação de germoplasma de aroeira (*Astronium urundeuva* (Fr. All.) Engl. I.). **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 14, n. 1, p. 713-75, 1992.

MELO, Q. M. S. **Caju fitossanidade**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002. 56 p.

MOLINA, T. F. et al. Crioconservação em sementes de cebola. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 28, n. 3, p. 72-81, 2006.

MOURA, M. F. et al. Criopreservação de sementes de quatro espécies de maracujazeiro. In: 19º CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA. **Anais...** Cabo Frio: SBF/UENF/UFRRJ. 2006. p. 387.

NAVES, R. V. **Espécies frutíferas dos cerrados de Goiás: caracterização e influências do clima e dos solos**. 1999, 202 f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 1999.

ROCHA, M. do S. et al. Crioconservação de sementes de algodão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 3, p. 312-318, 2009.

SANTOS, I. R. I. Criopreservação: potencial e perspectivas para a conservação de germoplasma vegetal. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v. 12, p. 70-84, 2000.

SILVA, M. R. et al. Caracterização química de frutos nativos do cerrado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 6, p. 1.790-1.793, 2008.

SILVA, R. de C. et al. Potencial germinativo e morfoanatomia foliar de plântulas de pinhão-manso originadas de germoplasma criopreservado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 8, p. 836-844, 2011.

SILVA, V. F. et al. Cryopreservation of quina seeds (*Strychnos pseudoquina* A. St. Hil). **International Research Journal of Biotechnology**, Egypt, v. 3, n. 4, p. 55-60, 2012.

STANWOOD, P. C. Tolerance of crop seeds to cooling and storage in Liquid nitrogen (-196°C). **Journal of Seed Technology**, Lincoln, n. 5, p. 26-31, 1980.

STANWOOD, P. C. Cryopreservation of seeds: a preliminary guide to the practical preservation of seed germoplasm in liquid nitrogen. In: FAO. **International Board for Plant Resources**. Roma: IBPGR Advisory Committee on Seed Storage. 1984, p. 8-27.

TOWILL, L. E. Cryopreservation of plant germoplasm. In: TOWILL, L. E., BAJAJ, Y. P. S. (Eds.) **Cryopreservation of plant germoplasm II**. Berlim, Springer- Verlag: Biotechnology in Agriculture and Forestry. v. 50, 2002. p. 4-21.

TRESENA, N. de L. et al. Qualidade fisiológica da semente de ipê rosa (*Tabebuia heptaphylla* (Vellozo) Toledo) submetidas à criopreservação. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 11, n. 1, p. 87-93, 2009.

VAN SLAGEREN, M. W. The millennium seed bank: building partnerships in arid regions for the conservation of wild species. **Journal of Arid Environments**, v. 54, n. 1, p. 195-201, 2003.

VIEIRA, R. D. et al. Condutividade elétrica e teor de água inicial das sementes de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 9, p. 1333-1338, 2002.

VOLK, G. M.; et al. Massive cellular disruption occurs during early inhibitions of *Cuphea* seeds containing crystallized triacylglycerols. **Planta**, Berlim, v. 224, p. 1415-1426, 2006.

WALTERS, C.; et al. Longevity of cryogenically stored seeds. **Cryobiology**, San Diego, v. 48, p. 229-244, 2004.

WETZEL, M. M. V. S.; REIS, R. B.; RAMOS, K. M. et al. **Metodologia para criopreservação de sementes de espécies florestais nativas**. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2003. 5p. (Circular Técnica n. 26).

CONCLUSÃO GERAL

De acordo com os resultados obtidos, pode-se concluir que:

O teor de água de equilíbrio higroscópico das sementes de caju-de-árvore-do-cerrado é diretamente proporcional à atividade de água e decresce com o aumento de temperatura, para um mesmo valor de umidade relativa de equilíbrio. O modelo de Chung-Pfost é recomendado para representar a higroscopicidade das sementes de caju-de-árvore-do-cerrado, sendo que sua utilização gera informações referentes ao armazenamento adequado e a tomada de decisão sobre medidas preventivas para a manutenção da qualidade do produto.

O método de criopreservação utilizado neste experimento foi eficiente para as características avaliadas e manteve a qualidade fisiológica das sementes de *Anacardium othonianum* Rizz, sendo que a criopreservação é uma ferramenta para os melhoristas, no que tange ao armazenamento de sementes, visando produção de mudas ou como banco de germoplasma.