

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

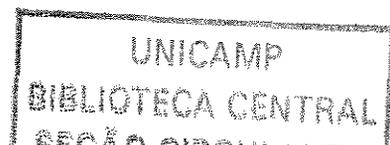
**Equações de Viabilidade para Sementes de  
*Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden e *Pinus taeda* L.**

JUSSARA BERTHO FANTINATTI

Bióloga

200107922

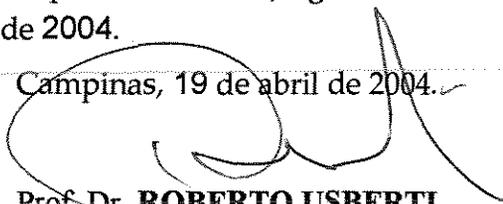
CAMPINAS, SP  
MARÇO/2004



**PARECER**

Este exemplar corresponde à redação final da Tese de Doutorado defendida por **JUSSARA BERTHO FANTINATTI** aprovada pela Comissão Julgadora em 17 de março de 2004.

Campinas, 19 de abril de 2004.



Prof. Dr. **ROBERTO USBERTI**  
Presidente da Banca

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**Equações de Viabilidade para Sementes de  
*Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden e *Pinus taeda* L.**

Tese submetida à banca examinadora para  
obtenção do título de Doutor em Engenharia  
Agrícola, Área de Concentração Tecnologia  
Pós-Colheita.

**Jussara Bertho Fantinatti**

**Orientador: Dr. Roberto Usberti**

**CAMPINAS, SP  
MARÇO/2004**

UNIDADE BC  
1ª CHAMADA UNICAMP  
F218e  
EX  
COMBO BC/ 58095  
PROC 16-117-04  
D X  
PREÇO R\$ 11,00  
DATA 27/05/04  
1ª CPD

CM00197B25-B

BIB ID 316321

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

F218e Fantinatti, Jussara Bertho  
Equações de viabilidade para sementes de *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden e *Pinus taeda* L. / Jussara Bertho Fantinatti.--Campinas, SP: [s.n.], 2004.

Orientador: Roberto Usberti.  
Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Eucalipto. 2. Pinus taeda. 3. Sementes - Deterioração. 4. Sementes - Armazenamento. 5. Sementes - Viabilidade. 6. Longevidade. I. Usberti, Roberto. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. III. Título.

## DEDICATÓRIA

*À DEUS,*

**Então, o Senhor te dará chuva sobre a tua semente,  
com que semeares a terra, como também pão como  
produto da terra, o qual será farto e nutritivo.**

**Isaías 30:23**

---

**Os que lançam suas sementes, com alegria voltarão carregando os  
seus feixes....**

*Jussara*

*Ofereço*

**Aos meus pais e à minha irmã,  
pelo apoio e carinho para vencer os desafios.**

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual de Campinas e ao Departamento de Pré-Processamento de Produtos Agropecuários da Faculdade de Engenharia Agrícola, pela disponibilidade de suas instalações e pelo treinamento proporcionado;

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP pelo apoio financeiro;

Ao Prof. Dr. Roberto Usberti, pela orientação e apoio durante todo o trabalho;

Aos membros do comitê de orientação, Prof. Drs. Benedito Carlos Benedetti e Ivany Ferraz Marques Válio;

Aos membros da Comissão Examinadora, Roberto Usberti - presidente, Rubens Sader, Ivany F. M. Válio, Fátima C. M. Pinã-Rodrigues, Benedito C. Benedetti;

Às secretárias pelo suporte junto a Secretaria de Pós-Graduação;

Aos funcionários e técnicos do laboratório de Pós-Colheita pela ajuda prestada;

Às amigas Rosa H. Aguiar, Fabiana G. Francisco, M. Madalena F. Chaves, Luciana e Marcelo Carneiro e Fernando R. Brod pela amizade e colaboração;

À meus tios e tias, primos e primas que sempre me apoiaram;

Ao ITAL/CETEA (Instituto de Tecnologia de Alimentos; Centro de Tecnologia de Embalagem) pelas determinações de atividade de água das sementes;

Às empresas: Aracruz Celulose S.A.; Votorantim Celulose e Papel; International Paper do Brasil; Cia Suzano; Ripasa Papel e Celulose S.A. pelas informações prestadas;

À empresa Alcan Alumínio do Brasil pela doação do papel de embalagem;

A todos que contribuem para o meu aprimoramento científico usando da ciência para solucionar os problemas de forma ética.

# INDÍCE

<i>DEDICATÓRIA</i> .....	<i>III</i>
<i>AGRADECIMENTOS</i> .....	<i>IV</i>
<i>LISTA DE TABELAS</i> .....	<i>VII</i>
<i>LISTA DE FIGURAS</i> .....	<i>VIII</i>
<i>LISTA DE EQUAÇÕES</i> .....	<i>X</i>
<i>RESUMO</i> .....	<i>XI</i>
<i>SUMMARY</i> .....	<i>XIII</i>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVO</b> .....	<b>3</b>
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>4</b>
3.1. Importância do setor florestal.....	4
3.2. <i>Eucalyptus grandis</i> .....	8
3.3. <i>Pinus taeda</i> .....	10
3.4. Equilíbrio higroscópico, temperatura e histerese.....	11
3.5. A secagem das sementes.....	15
3.6. Atividade de água.....	18
3.7. Atividade de água através de isotermas de sorção.....	19
3.7.1. Modelo de PELEG.....	20
3.7.2. Modelo de BET (Brunauer, Emmet e Teller).....	20
3.7.3. Modelo de GAB (Guggenheim, Anderson e de Boer).....	21
3.7.4. Modelo de LANGMUIR.....	22
3.7.5. Modelo de HALSEY.....	22
3.7.6. Modelo de OSWIN.....	23
3.8. Germinação e utilização de reservas.....	23
3.9. Longevidade de sementes.....	26
3.10. Equação de viabilidade.....	29
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>34</b>
4.1. Caracterização do material genético.....	34
4.2. Análise de pureza física.....	34
4.3. Determinação do peso de mil sementes.....	35
4.4. Determinação do teor de lipídeos.....	35
4.5. Determinação do grau de umidade e acondicionamento das sementes.....	35
4.6. Determinação de atividade de água.....	37
4.7. Modelos de ajustes de isotermas de sorção para as duas espécies.....	38
4.8. Embalagem e armazenamento das sementes.....	38

4.8. Teste de germinação.....	39
4.9. Análise estatística .....	40
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>42</b>
5.1. Análise de pureza física.....	42
5.2. Peso de mil sementes .....	42
5.3. Determinação do teor de lipídeos.....	43
5.4. Secagem das sementes.....	43
5.5. Grau de umidade e umidade relativa de equilíbrio.....	46
5.6. Efeitos do grau de umidade e da temperatura na armazenabilidade das sementes .....	51
5.7. Constantes de viabilidade .....	61
<b>6. CONCLUSÕES.....</b>	<b>68</b>
<b>7. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>69</b>

## LISTA DE TABELAS

Nº		Página
1	Área plantada com <i>Pinus</i> e <i>Eucalyptus</i> no Brasil.	7
2	Armazenamento das sementes de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>Pinus taeda</i> à 40, 50 e 65°C com diferentes graus de umidade.	39
3	Períodos de umidificação (horas) necessários para atingir os níveis desejados de umidade (% b.u.), para <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>Pinus taeda</i> , a partir dos valores iniciais de grau de umidade.	43
4	Períodos de secagem (horas) necessários para atingir os níveis desejados de umidade (% b.u.), para <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>Pinus taeda</i> , a partir dos valores iniciais de grau de umidade.	44
5	Germinação (%) de sementes de <i>Eucalyptus grandis</i> nos diferentes graus de umidade, após secagem em sílica gel.	45
6	Germinação (%) de sementes de <i>Pinus taeda</i> nos diferentes graus de umidade, após secagem em sílica gel.	46
7	Valores de atividade de água ( $A_w$ ) e diferentes graus de umidade à 105 e 130°C para <i>E. grandis</i> e <i>P. taeda</i> .	47
8	Erro relativo médio para os modelos de isotermas de sorção para <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>Pinus taeda</i> .	48
9	Grau de umidade das sementes (%) e a frequência da distribuição das sementes mortas no tempo ( $\sigma$ ) para <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>Pinus taeda</i> em armazenamento hermético à 40, 50 e 65°C, após direcionar todas as curvas de sobrevivência para o mesmo ponto de origem ( $K_i$ ).	59
10	Valores de $K_i$ (em probit) e porcentagem de germinação para <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>Pinus taeda</i> .	60
11	Análise de variância para temperatura de armazenamento/grau de umidade e período de armazenamento em dias para sementes de <i>E. grandis</i> .	60
12	Análise de variância para temperatura de armazenamento/grau de umidade e período de armazenamento em dias para sementes de <i>P. taeda</i> .	61
13	Valores das constantes de viabilidade $K_E$ , $C_W$ , $C_H$ e $C_Q$ determinadas para sementes de <i>E. grandis</i> e <i>P. taeda</i> .	62
14	Análise de variância de todos os sigmas para sementes de <i>Eucalyptus grandis</i> após análise estatística e adequações.	66
15	Análise de variância de todos os sigmas para sementes de <i>Pinus taeda</i> após análise estatística e adequações.	66

## LISTA DE FIGURAS

Nº		Página
1	Cadeia produtiva da madeira.	6
2	O efeito histerese.	14
3	Taxa de secagem de sementes de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>Pinus taeda</i> sobre sílica gel à 25°C.	44
4	Modelo de Langmuir ajustado aos valores experimentais para as sementes de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>Pinus taeda</i> .	49
5	Modelo de Peleg ajustado aos valores experimentais para as sementes de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>Pinus taeda</i> .	50
6	Curvas de sobrevivência em probit para sementes de <i>Eucalyptus grandis</i> (A) e <i>Pinus taeda</i> (B) à 40°C. Os símbolos e as linhas contínuas representam as porcentagens de germinação e as curvas de sobrevivência, respectivamente.	53
7	Curvas de sobrevivência em probit para sementes de <i>Eucalyptus grandis</i> (A) e <i>Pinus taeda</i> (B) à 40°C. Os símbolos e as linhas contínuas representam as porcentagens de germinação e as curvas de sobrevivência, respectivamente.	54
8	Curvas de sobrevivência em probit para sementes de <i>Eucalyptus grandis</i> (A) e <i>Pinus taeda</i> (B) à 50°C. Os símbolos e as linhas contínuas representam as porcentagens de germinação e as curvas de sobrevivência, respectivamente.	55
9	Curvas de sobrevivência em probit para sementes de <i>Eucalyptus grandis</i> (A) e <i>Pinus taeda</i> (B) à 50°C. Os símbolos e as linhas contínuas representam as porcentagens de germinação e as curvas de sobrevivência, respectivamente.	56
10	Curvas de sobrevivência em probit para sementes de <i>Eucalyptus grandis</i> (A) e <i>Pinus taeda</i> (B) à 65°C. Os símbolos e as linhas contínuas representam as porcentagens de germinação e as curvas de sobrevivência, respectivamente.	57
11	Curvas de sobrevivência em probit para sementes de <i>Eucalyptus grandis</i> (A) e <i>Pinus taeda</i> (B) à 65°C. Os símbolos e as linhas contínuas representam as porcentagens de germinação e as curvas de sobrevivência, respectivamente.	58
12	Relação logarítmica entre o grau de umidade (% base úmida) e o desvio padrão da frequência da distribuição das sementes mortas no tempo (sigma) para <i>Eucalyptus grandis</i> em armazenamento hermético à 40, 50 e 65°C (1, 2 e 3). As linhas sólidas representam a regressão linear para cada temperatura de armazenamento. Os símbolos fechados representam os graus de umidade e os abertos representam os graus de umidade removidos para dar melhor ajuste na equação de viabilidade.	64

- 13 Relação logarítmica entre o grau de umidade (% base úmida) e o desvio padrão da frequência da distribuição das sementes mortas no tempo ( $\sigma$ ) para *Pinus taeda* em armazenamento hermético à 40, 50 e 65°C (1, 2 e 3). As linhas sólidas representam a regressão linear para cada temperatura de armazenamento. Os símbolos fechados representam os graus de umidade e os abertos representam os graus de umidade removidos para dar melhor ajuste na equação de viabilidade. 65
- 
-

## LISTA DE EQUAÇÕES

Nº		Página
1	Modelo de PELEG	20
2	Modelo de BET	21
3	Modelo de GAB	21
4	Modelo de LANGMUIR	22
5	Modelo de HALSEY	23
6	Modelo de OSWIN	23
7	Equação de viabilidade	30
8	Equação de viabilidade	30
9	Equação de viabilidade	31
10	Equação de viabilidade	32
11	Equação de viabilidade	32
12	Equação de viabilidade (ELLIS e ROBERTS, 1980)	32
13	Equação utilizada para obter valores de umidade através de secagem ou hidratação.	36
14	Equação de viabilidade estimada para a longevidade de sementes de <i>Eucalyptus grandis</i> .	63
15	Equação de viabilidade estimada para a longevidade de sementes de <i>Pinus taeda</i> .	63

**Equações de Viabilidade para Sementes de *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden e *Pinus taeda* L. Campinas, 2004. 94p. Tese. (Doutorado em Engenharia Agrícola, Área de Concentração Tecnologia Pós-Colheita) - Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI/UNICAMP).**

**Autor: Jussara Bertho Fantinatti**

**Orientador: Roberto Usberti**

---

## **RESUMO**

O conhecimento do comportamento das sementes em relação às condições de armazenamento a que são submetidas, é de extrema importância para a avaliação de sua armazenabilidade. Para a definição de metodologia para assegurar a sobrevivência e a preservação de espécies florestais, este experimento analisou o armazenamento de sementes de *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden e *Pinus taeda* L. visando a obtenção das constantes da equação de viabilidade para as espécies, para a sua conservação bem como para garantir a sua disponibilidade. As sementes de *E. grandis* e *P. taeda* (safras 1999 e 2000, respectivamente) foram reumidificadas sobre água e/ou secas em sílica gel, ambos à 25°C, até a obtenção dos valores de umidade desejados, a partir dos seus valores iniciais. Subamostras de sementes com oito graus de umidade para *E. grandis* (1,2 a 18,1%, valor inicial de 11,3%) e oito graus de umidade para *P. taeda* (1,4 a 19,4%, valor inicial de 12,3%) foram acondicionadas em embalagens de alumínio hermeticamente fechadas e armazenadas à 40, 50 e 65°C até a obtenção de curvas completas de deterioração. As análises estatísticas foram realizadas pelo programa “Glim”. As duas espécies apresentaram comportamento ortodoxo em relação ao

armazenamento, mas as sementes de *E. grandis* mostraram melhor armazenabilidade do que as de *P. taeda*. Dois grupos de constantes foram obtidos para prever a longevidade de sementes de *Eucalyptus grandis* e *Pinus taeda*, a saber:  $K_E = 9,661$  e  $8,838$ ;  $C_W = 6,467$  e  $5,981$ ;  $C_H = 0,03498$  e  $0,10340$ ;  $C_Q = 0,0002330$  e  $0,0005476$ , respectivamente. Para as duas espécies foi observada uma relação inversa entre o teor de água e a longevidade das sementes. Os limites inferiores calculados para aplicação da equação para *E. grandis* e *P. taeda* situam-se ao redor de 4,85 e 4,06, respectivamente, em equilíbrio com valores de UR ao redor de 20%.

---

**PALAVRAS-CHAVE:** *Eucalyptus grandis*, *Pinus taeda*, deterioração controlada, armazenamento hermético, longevidade de sementes.

---

**Viability Equations for *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden and *Pinus taeda* L. seeds. Campinas, 2004. 94p. Thesis (Doctorate on Agricultural Engineering, Post-Harvest Technology Area Concentration) - Faculty of Agricultural Engineering (FEAGRI/UNICAMP).**

**Author: Jussara Bertho Fantinatti**

**Supervisor: Roberto Usberti**

---

## **SUMMARY**

The knowledge of seed performance under storage conditions is extremely important to determine its storability potential. The main aim of this work was determine the best methodology to achieve the survival and preservation of *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden and *Pinus taeda* L. seeds, under controlled storage conditions, through the detection of the viability equation constants for the species. The seeds used in this experiment were harvested in 1999 (*E. grandis*) and 2000 (*P. taeda*). Before the storage period, the seeds were rehydrated over water and or dried over silica gel, both at 25°C, from initial moisture contents, until achieving the desired values. Seed subsamples with 8 moisture contents for *E. grandis* (1.2 to 18.1%, initial value of 11.3%) and 8 moisture contents for *P. taeda* (1.4 to 19.4%, initial value of 12.3%) were then sealed in laminate aluminium-foil packets and stored in incubators maintained at 40, 50 and 65°C. Those storage temperatures were chosen in order to get complete survival curves in relatively short periods of time. Statistical analysis was performed through Glim software. The two species showed orthodox behaviour in relation to the storage, however *E. grandis* seeds presented higher storability than *P. taeda* ones. Two

different viability constant sets were achieved to predict the longevity of *Eucalyptus grandis* and *Pinus taeda* seeds, as follows:  $K_E = 9.661$  and  $8.838$ ;  $C_W = 6.467$  and  $5.981$ ;  $C_H = 0.03498$  and  $0.10340$ ;  $C_Q = 0.0002330$  and  $0.0005476$ , respectively. An inverse relationship was observed between the water content and seed longevity for both species. The lowest limits estimated for application of the viability equation for *E. grandis* and *P. taeda* were 4.85 and 4.06 mc, respectively, in equilibrium with 20% RH.

---

**KEY WORDS:** *Eucalyptus grandis*, *Pinus taeda*, controlled deterioration, hermetic storage, seed longevity.

---

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil ocupa atualmente uma posição de destaque no cenário tecnológico internacional em termos de silvicultura, principalmente com relação às espécies *Eucalyptus* spp. e *Pinus* spp., apresentando uma grande concentração de empresas de papel, celulose e de confecção de móveis, onde a preocupação com a conservação dessas espécies para o reflorestamento é grande.

A atividade silvicultural pode proporcionar bom retorno econômico, devido à elevada produtividade, ao alto valor econômico dos produtos, à disponibilidade de terras e de mão-de-obra, apesar da redução dos reflorestamentos no território paulista na década passada.

O período em que a viabilidade pode ser mantida faz com que as pesquisas com armazenamento de sementes de espécies florestais assumam caráter de extrema importância. Para se reduzir ao mínimo o processo de deterioração, as sementes devem ser armazenadas adequadamente, garantindo assim a manutenção do estoque anual de sementes para os anos subsequentes de baixa produção.

Durante o armazenamento a deterioração das sementes é influenciada pela umidade das sementes, umidade relativa e a temperatura do ar e também pelas características genéticas do cultivar, qualidade inicial das sementes, localização dos danos mecânicos e a presença de patógenos.

As espécies florestais apresentam uma produção irregular de sementes, sendo abundante em determinados anos e escassa em outros. O manejo adequado para a produção de sementes em escala comercial e a preservação da carga genética dos materiais permite um melhor entendimento de suas populações naturais.

As espécies *Eucalyptus grandis* e *Pinus taeda* têm papel importante na disponibilização de matéria-prima florestal para a produção de celulose de fibra curta e longa e processamento mecânico, respectivamente.

Deve-se também ressaltar a dificuldade na obtenção de material de propagação vegetativa com grau de rejuvenescimento e nutrição adequados para o processo de enraizamento em casa de vegetação (SILVA, 2001). A produção de sementes é utilizada para atender à plantios experimentais para futuras seleções de árvores matrizes.

Os estudos com espécies florestais de uso comercial, utilizando-se de condições controladas de armazenamento, pode contribuir para a preservação de sua viabilidade.

## 2. OBJETIVO

O trabalho teve como objetivo estudar a viabilidade de sementes das de *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden e *Pinus taeda* L., em condições controladas de temperatura e de grau de umidade, visando a obtenção das constantes da equação de viabilidade para as espécies.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. Importância do setor florestal

Atualmente, cerca de 80% das florestas plantadas brasileiras (4.800.000 ha) é formada por espécies de *Pinus* e *Eucalyptus*. O *Eucalyptus*, principal matéria-prima do processo de produção da celulose de fibra curta, ocupava em 2001 aproximadamente 3.000.000 ha, localizados em sua maior parte na região Sudeste e no Estado da Bahia. Já *Pinus*, utilizado principalmente na produção de celulose de fibra longa e na indústria moveleira, tem o seu plantio concentrado nas regiões Sul e Sudeste do País (76%), onde as condições climáticas são mais favoráveis (ABIMÓVEL, 2000).

Ao contrário de países europeus, asiáticos e da América do Norte, o Brasil produz celulose e papel exclusivamente a partir de florestas plantadas de *Eucalyptus* e *Pinus*, tendo sido exportado em 2002 US\$ 2,1 bilhões desses produtos, gerando um superávit na balança comercial da ordem de US\$ 1,5 bilhões. Para 2003, estão previstas exportações de US\$ 3,1 bilhões, com superávit de US\$ 2,5 bilhões. Nos últimos dez anos o saldo produzido pelo setor para a balança comercial brasileira foi de US\$ 12,8 bilhões (BRACELPA, 2003).

O sucesso dos experimentos com melhoramento genético contribuiu para uma produtividade superior das florestas brasileiras de folhosas (que incluem o *Eucalyptus*) frente às folhosas européias, evidenciando a excelente adaptação da espécie ao território brasileiro.

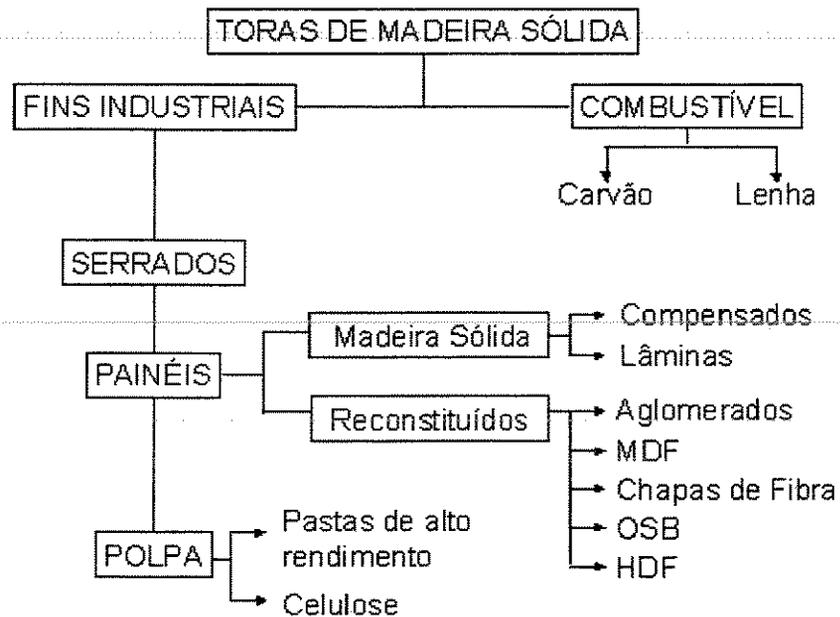
No caso das coníferas (*Pinus*), a produtividade brasileira também é superior à dos demais países do mundo, mas praticamente semelhante às do Chile e da Nova Zelândia (ABIMÓVEL, 2000).

Pelo inventário das áreas reflorestadas no Estado de São Paulo, publicado pelo Instituto Florestal nos anos 1991/92, verificou-se que os reflorestamentos cobriam 804.598 ha, ao passo que em 1999/2000 essa área era de 770.010 ha. Desse valor, 611.517 ha referem-se ao plantio de *Eucalyptus*, com valores praticamente estáveis em relação aos 610.544 ha existentes em 1991/92. Os 158.494 ha restantes são ocupados por reflorestamento de *Pinus*, cuja área sofreu uma diminuição expressiva em relação aos 194.054 ha verificados em 1991/92 (FLORESTAL, 2003).

Segundo a Associação Brasileira de Celulose e Papel (BRACELPA), a área total reflorestada revelou que a auto-sustentabilidade que caracteriza essa atividade industrial é um dos principais fatores que asseguram ao nosso País a posição de liderança mundial. As empresas que integram o setor zelam com dedicação e seriedade pela proteção ambiental industrial e florestal (BRACELPA, 2003).

Segundo a Associação Brasileira das Indústrias do Mobiliário (ABIMÓVEL), a madeira para a produção de painéis de aglomerado no Brasil provém, em sua totalidade, de florestas plantadas. As empresas Placas do Paraná, Tafisa e Berneck utilizam 100% de *Pinus* na fabricação de painéis de aglomerado e a Eucatex 100% de *Eucalyptus*; além disso, as empresas Duratex e Satipel combinam o uso de *Pinus* e *Eucalyptus* em proporções variadas. As indústrias moveleiras localizam-se, em sua maioria, na região centro-sul do Brasil, respondendo por 90% da produção nacional e 70% da mão-de-obra empregada pelo setor. Nos Estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Minas Gerais e Espírito Santo estão implantados pólos consolidados e tradicionais (ABIMÓVEL, 2000).

De acordo com a FAO (Food and Agriculture Organisation of United Nations), em 1999 a produção mundial da atividade florestal atingiu US\$ 450.000.000.000, sendo o setor de papel e celulose responsável por 62% deste valor. No Brasil, a atividade florestal é de grande importância, não só pela extensa cobertura de florestas existente no País, mas também pela capacidade de geração de emprego e renda do setor. A cadeia produtiva da madeira (Figura 1) contempla a produção de madeira para energia (carvão vegetal e lenha), serrados, painéis e polpa para a produção de papel (FAO, 2002).



Fonte: ABIMÓVEL, 2000

Figura 1. Cadeia produtiva da madeira.

Aglomerado - chapas de madeira processada/reconstituída

MDF - medium density fiberboard

Chapas de fibra - mistura de fibras de madeira em meio úmido prensadas e submetidas a tratamento térmico para redução de tensões.

OSB (oriented strand boarding) - chapas de partícula orientada

HDF - high density fiberboard

De acordo com a Sociedade Brasileira de Silvicultura - (SBS), atualmente a maior área plantada de *Pinus* encontra-se no Estado do Paraná, seguido de Santa Catarina, Bahia e São Paulo e para *Eucalyptus* destaca-se o Estado de Minas Gerais, seguido de São Paulo, Tabela 1 (SBS, 2003). Em 2001, o PIB florestal brasileiro atingiu R\$ 21.000.000.000 e as exportações US\$ 5.400.000.000, tendo sido o setor responsável pela geração de 500.000 e 2.000.000 de empregos diretos e indiretos, respectivamente (MORA e GARCIA, 2000).

Tabela 1. Área plantada com *Eucalyptus* e *Pinus* no Brasil (ha) - 2000.

Estados	<i>Pinus</i>	<i>Eucalyptus</i>	Total
Amapá	80.360	12.500	92.860
Bahia	238.390	213.400	451.790
Espírito Santo	-	152.330	152.330
Mato Grosso do Sul	63.700	80.000	143.700
Minas Gerais	143.410	1.535.290	1.678.700
Pará	14.300	45.700	60.000
Paraná	605.130	67.000	672.130
Rio Grande do Sul	136.800	115.900	252.700
Santa Catarina	318.120	41.550	359.670
São Paulo	202.010	574.150	776.160
Outros	37.830	128.060	165.890
Total	1.840.050	2.965.880	4.805.930

Fonte: SBS, 2003

Atualmente a atividade florestal no Brasil engloba uma área de 1.400.000 ha, sendo 69% de *Eucalyptus*, 29% de *Pinus* e 2% de outras madeiras. As principais áreas plantadas encontram-se no Estado de São Paulo, com 308.000 ha, seguidas pelos Estados do Paraná e Bahia, com 267.000 e 217.000 ha, respectivamente. O segmento florestal tem uma previsão de plantios e de reformas programadas, para o período de 2003 a 2010, da ordem de 1.200.000 ha, representando uma média anual de 152.000 ha (BRACELPA, 2003).

Segundo a ABIMÓVEL (2000), a cobertura florestal no mundo soma 3.900.000.000 ha, dos quais 47% correspondem a florestas tropicais, 33% a boreais, 11% a temperadas e 9% à subtropicais. Considerando-se a distribuição regional, Europa e América do Sul concentram 50% das florestas mundiais, sendo a outra metade dividida entre África, Ásia, América do Norte e uma pequena participação da Oceania.

### **3.2. *Eucalyptus grandis***

---

*Eucalyptus grandis* é uma planta melífera, usada em perfumes e produtos de limpeza e também em reflorestamento e na produção de celulose. O seu porte é arbóreo e atinge até 70 m de altura. Apresenta ramos cilíndricos, pouco folhosos e com casca lisa, de coloração acinzentada ou castanha. Suas folhas são alternas, com pecíolo e superfície coriácea e suas flores são axilares e de coloração branca ou amarelada. O fruto é do tipo cápsula, com sementes férteis, de formato arredondado e coloração preta ou inférteis, de coloração vermelha e formato filiforme e possui propriedades medicinais, tais como efeitos adstringente, anti-séptico, antiinflamatório, antimicrobiano, antivirótico e aromático (FLORESTAL, 2003).

---

É uma espécie de clima tropical que ocorre naturalmente na Austrália, ao norte do Estado de New South Wales e ao sul de Queensland (próximo à região costeira e na parte central), bem como ao norte de Queensland, em áreas de altitude de 300-900 m com precipitação pluviométrica anual na faixa de 1.000-1.700 mm, predominantemente no verão, enquanto que a estação seca não ultrapassa 3 meses, com a ocorrência de geadas ocasionais. A temperatura média situa-se na faixa de 29-32°C, com a média das mínimas variando entre 5-6°C. A madeira de *Eucalyptus grandis* é leve e fácil de ser trabalhada e utilizada intensivamente na Austrália e na República Sul Africana como madeira de construção, quando

oriunda de plantações de ciclo longo. A madeira produzida em ciclos curtos é utilizada na fabricação de caixotes. Normalmente a madeira oriunda de árvores com rápido crescimento apresenta problemas de empenamento, contrações e rachaduras quando do desdobro. Plantações convenientemente manejadas podem produzir madeira de excelente qualidade para serraria e laminação, sendo a principal fonte de matéria prima para celulose e papel no Estado de São Paulo (IPEF, 2003).

O *Eucalyptus* chegou ao Brasil em 1868 como planta ornamental e sua utilização para fins econômicos só teve início em 1904, quando passou a ser empregado na produção de dormentes ferroviários e lenha para alimentar as locomotivas da época (MORA e GARCIA, 2000).

Seu cultivo é de grande valor comercial no Brasil, abrangendo uma área de 100.000 ha ano<sup>-1</sup>. Após a poda ocorre o brotamento dentro de aproximadamente 3 meses. Os subprodutos da poda podem ser utilizados para diversas finalidades, tais como fins domésticos, obtenção de postes e indústria, sendo para tanto realizada aos 6, 7-8 e 10-12 anos, respectivamente (FERREIRA, 1979).

Nas plantações de *Eucalyptus* a colheita é realizada de forma sustentável, aliada à manutenção de áreas de proteção ambiental e de reservas naturais inseridas em diversos tipos de ecossistemas, onde os impactos são minimizados. Ainda assim o *Eucalyptus* e o sub-bosque presentes nos plantios formam corredores para as áreas de preservação e criam “habitat” para a fauna. Quando manejados de forma adequada, os plantios de *Eucalyptus* oferecem inúmeras vantagens ao meio ambiente e à sociedade em geral, recuperando solos exauridos pelo cultivo e queimadas, controlando a erosão, contribuindo na regulação do fluxo e da qualidade dos recursos hídricos e na estabilização do solo, absorvendo 10 t de carbono atmosférico por

ha.ano<sup>-1</sup> e, assim, diminuindo a poluição e o aquecimento global e combatendo o efeito estufa (LEITE, 2003).

Além disso, o *Eucalyptus* não seca nem empobrece o solo, pois comparações entre espécies do gênero e outras espécies florestais mostraram que os plantios de *Eucalyptus* no Brasil consomem a mesma quantidade de água do que as florestas nativas. Sua maior eficiência no aproveitamento da água garante maior produtividade quando comparado à outras culturas agrícolas, sendo que com 1 litro de água produz-se 2,9 g de madeira de *Eucalyptus*, mas somente 0,9 g de grãos de trigo e 0,5 g de grãos de feijão. Pesquisas já mostraram os efeitos benéficos do *Eucalyptus* em diversas propriedades do solo, tais como estrutura, capacidade de armazenamento de água, drenagem e aeração. A remoção de nutrientes (N, P, K e Ca) para *Eucalyptus* com 8 anos foi de 110, 11, 95 e 50 kg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, respectivamente, enquanto que para a cana-de-açúcar esses valores alcançaram 208, 22, 200 e 153 kg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> (NOVAES, 1996).

Segundo DONI-FILHO (1974), o reflorestamento no Brasil teve um impulso de desenvolvimento bastante acentuado, sendo que a preferência pelo *E. grandis* tem aumentado em razão de seu maior rendimento por unidade de área, uniformidade dos talhões e pelas características da madeira, adequadas sobretudo à indústria de celulose e papel.

### 3.3. *Pinus taeda*

*Pinus taeda* é uma espécie de clima temperado que ocorre naturalmente nos Estados Unidos, nas regiões de Nova Jersey, Florida, Texas, Arkansas, Oklahoma, Vale do Mississipi e Tennessee. São plantas lenhosas da família das coníferas, do gênero *Pinus*, com frutos deiscentes, sendo plantadas em áreas com altitude superior a 1200 m e precipitação anual

acima de 1.100 mm. A semente é de tamanho variável (2-15 mm de comprimento e 2-10 mm de largura). Na sua exploração as árvores adultas quando cortadas não rebrotam, portanto o maciço é explorado uma só vez, tanto para madeira como para lenha. Deve-se realizar um primeiro desbaste aos 6-7 anos (plantas com 5 m de altura e 12 cm de diâmetro), produzindo-se ao redor de 250 m<sup>3</sup>/ha; aos 10 ou 15 anos pode ser usado para a extração de resinas; muitas vezes a espécie já permite o corte para madeira aos 15 anos, podendo após 20 anos, desde que bem espaçadas, produzir madeira de lei (SUASSUNA, 1977).

*Pinus taeda* foi uma das principais espécies do gênero introduzidas em substituição à *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, como fonte de matéria-prima para produção de celulose de fibra longa. Um dos aspectos fundamentais para alcançar sucesso no estabelecimento das florestas de *P. taeda* no Sul do País foi a definição de metodologia de análise adequada para maior e melhor uniformidade na germinação de suas sementes, que é heterogênea quando comparada ao *Pinus elliottii* Engelm. *P. taeda*, por apresentar um teor de resinas mais baixo do que *P. elliottii*, tornou-se a espécie preferida para as novas florestas industriais e, conseqüentemente, também para a indústria moveleira (PRANGE, 2003).

### **3.4. Equilíbrio higroscópico, temperatura e histerese**

A água atua no processo metabólico das sementes como solvente para as substâncias armazenadas, como catalisador de reações bioquímicas e como componente estrutural (LEOPOLD e VERTUCCI, 1989). A disponibilidade de água no substrato ou na atmosfera dá início ao processo de embebição das sementes, através de seus componentes higroscópicos tais como proteínas e açúcares (JUSTICE e BASS, 1978).

O conhecimento de isotermas de umidade de equilíbrio higroscópico das sementes é essencial, segundo ROA e ROSSI (1977), por estarem diretamente ligadas aos problemas de armazenamento, secagem e comercialização das matérias primas.

A medição da umidade relativa e o método de determinação do conteúdo de umidade de equilíbrio mostram a variação no valor do conteúdo de umidade de equilíbrio das sementes quanto à sua variedade e maturidade (BROOKER et al., 1992).

A maioria dos fungos de armazenamento não crescem e nem se reproduzem nos grãos que estão em equilíbrio com UR inferior a 65%, enquanto que a atividade dos insetos de armazenamento diminui significativamente com UR abaixo de 50% (LOEWER et al., 1994).

Como todo material higroscópico, as sementes cedem ou absorvem umidade do ar que as envolve; assim, se a pressão de vapor da água contida na semente for menor do que a do ar, ocorre a absorção de umidade (adsorção) e, no caso inverso, a semente cede umidade para o ar (desorção). Quando a pressão de vapor d'água da superfície da semente se iguala à pressão de vapor do ar ambiente obtém-se a umidade de equilíbrio (NELLIST e HUGUES, 1973).

Segundo FIOREZE (1989), no processo conhecido como desorção o produto perde umidade para o ar, mas quando a amostra apresenta uma pressão de vapor menor que a do ar, o produto irá ganhar umidade (adsorção) até alcançar o ponto de equilíbrio.

Existem pelo menos três tipos de água que estão ligadas a macromoléculas, a saber, água livre, água ligada e água de constituição, tipos esses definidos pela força com que a água se encontra ligada à superfície de macromoléculas na semente (LEOPOLD e VERTUCCI, 1989).

HUNT e PIXTON (1974) concluíram que a água que realmente interessa para aos estudos de secagem e armazenamento é a adsorvida, ou seja, aquela que resultará em teores de água na faixa de 0 a 25%.

A 25°C e 70% UR a soja entra em equilíbrio com 11,5% de grau de umidade e o trigo a 13,9%. Assim, para um armazenamento seguro, a soja deveria ser armazenada com um conteúdo de umidade mais baixo que o trigo e outros grãos amiláceos (BROOKER et al., 1992).

De acordo com CAVALCANTI-MATA (1997), o diferencial entre a umidade inicial do produto a ser seco e a umidade de equilíbrio ( $U_o - U_e$ ) é definido como potencial de secagem, sendo que o produto só poderá ser seco até a umidade de equilíbrio na temperatura e UR preestabelecidas.

A curva de equilíbrio higroscópico tem um formato sigmóide em função da umidade relativa do ar e a maneira pela qual a água foi retirada da semente (ROCKLAND, 1969).

A temperatura tem um efeito significativo no conteúdo de umidade de equilíbrio. Em milho, a umidade de equilíbrio a 70% UR é 15,6% a 4,4°C e 10,3% a 60°C. Outras sementes apresentam similaridade no comportamento, sendo que um aumento na temperatura à uma UR constante diminui o conteúdo de umidade de equilíbrio (BROOKER et al., 1992).

Segundo SILVA et al. (1979) a umidade de equilíbrio do cacau aumenta com o aumento da UR e a diminuição da temperatura, enquanto que o acréscimo da umidade de equilíbrio será tanto maior quanto maior for o decréscimo da temperatura.

De acordo com PIXTON (1982), a relação entre o conteúdo de umidade e a umidade relativa de equilíbrio não é a mesma para adsorção e desorção em sementes de trigo, cevada, milho e mais oito produtos armazenados a temperatura entre 5-35°C. As sementes e muitos outros materiais higroscópicos apresentam maior valor de equilíbrio quando este é obtido por perda de água (desorção) do que quando está absorvendo água (adsorção), efeito esse conhecido como histerese.

A curva de adsorção é determinada a partir do produto com baixo conteúdo de umidade e colocando-se amostras em ambientes de diferentes UR e temperaturas constantes. Após obtido o equilíbrio higroscópico da amostra de sementes com o ambiente, determina-se o seu conteúdo de umidade. Uma outra curva pode ser obtida, desta vez por perda de água das amostras (desorção). Os extremos das curvas sempre coincidem e o efeito dos ciclos sucessivos de adsorção/desorção é chamado histerese, conforme observa-se na Figura 2.

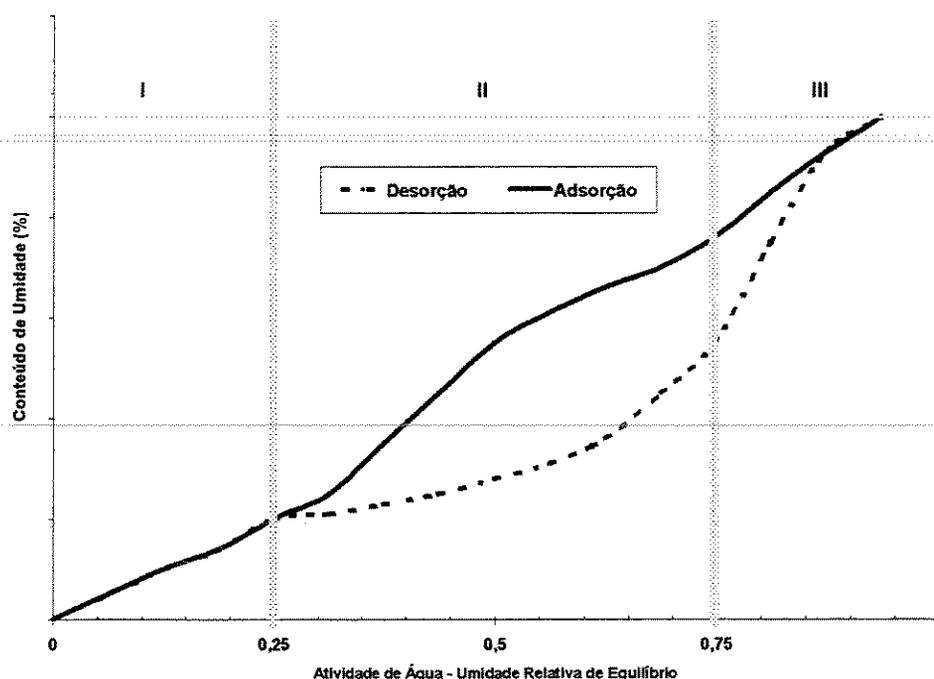


Figura 2: O efeito histerese. (CHUNG e PFOST, 1967b).

Segundo CHUNG e PFOST (1967b), o efeito histerese pode ser causado durante a secagem, por modificações que ocorrem na estrutura das moléculas. Em função dessas observações, formularam a hipótese de que a histerese ocorre quando o calor de desorção é maior do que o de adsorção. CHUNG e PFOST (1967a) verificaram que, para sementes de milho, entre os graus de umidade de 4 e 20%, à 31°C, o calor de adsorção/ desorção estaria entre 10,5 e 16 kcal/mol.

O efeito histerese fica bem caracterizado para as sementes de amendoim, feijão, milho e trigo, enquanto para arroz em casca e soja as curvas de adsorção e desorção se confundem, não ficando claro a ocorrência deste fenômeno (BENEDETTI e JORGE, 1987).

### **3.5. A secagem das sementes**

A perda de peso das sementes, que ocorre durante a secagem, depende da temperatura e do período de exposição durante o processo (GENTIL e FERREIRA, 2002). Assim, diferentes combinações de temperatura/período de exposição vêm sendo adotadas na determinação do grau de umidade de sementes, muito embora o método de  $105\pm 3^{\circ}\text{C}$  por 24 horas (BRASIL, 1992) seja o mais utilizado em pesquisas realizadas no Brasil (ZINK e ROCHELLE, 1964; EIRA et al., 1994; FANTINATTI et al., 2002 e GENTIL e FERREIRA, 2002). Durante a secagem, a água livre é facilmente removida pela aplicação do calor de vaporização, enquanto a água quimicamente retida exige calor excessivo para sua retirada (GRABE, 1989).

Segundo HARRINGTON (1973), o grau de umidade ideal para o armazenamento depende da espécie, das condições ambientais, do período e do tipo de embalagem empregada.

A umidade relativa e a temperatura do ar são os fatores físicos mais importantes que afetam a qualidade da semente durante o armazenamento. Desses dois fatores, a umidade relativa é o mais importante porque tem uma relação direta com o grau de umidade da semente. A temperatura e a umidade relativa nas regiões tropicais e subtropicais são condições adversas para o armazenamento de sementes e, por isso, há necessidade da redução do teor de água das sementes após a colheita (DELOUCHE et al., 1973).

De acordo com CARVALHO e NAKAGAWA (2000), a secagem tem como finalidade reduzir o grau de umidade das sementes a um nível adequado exigido pela espécie, garantindo dessa maneira a sua qualidade fisiológica. Para WORMSBECKER (1986), as sementes devem ter o seu grau de umidade reduzido a um nível compatível com o período em que ficarão armazenadas.

Dentre os fatores que contribuem para a manutenção da viabilidade durante o armazenamento, a secagem é de extrema importância, devendo ser lenta e gradativa, possibilitando a migração de umidade de dentro para fora da semente. A perda de umidade da superfície da semente para o ambiente é maior do que o deslocamento de umidade do interior para a superfície (LASSERAN, 1978).

Segundo HARRINGTON (1972) e ROBERTS (1973), para sementes passíveis de secagem, a redução do grau de umidade associado ao armazenamento apropriado restringem a velocidade do processo de deterioração, conferindo-lhes maior longevidade.

XIAORONG et al. (1998), testaram a eficiência da secagem usando sílica gel como dessecante e a secagem por congelamento à vácuo. As taxas obtidas na secagem foram semelhantes nos dois métodos, mas os níveis de água mais baixos foram obtidos mais economicamente através da sílica gel.

A secagem é empregada na maioria das espécies florestais para a extração das sementes do interior dos frutos e para a redução do conteúdo de umidade das sementes para o seu acondicionamento (BONNER, 1981). No entanto, deve-se evitar utilizá-la em sementes recalcitrantes, que não aceitam a desidratação, como *Araucaria angustifolia* e *Inga* spp., cujas sementes sobrevivem melhor quando acondicionadas com alto grau de umidade (em torno de 40%).

Pode-se conseguir uma boa preservação da qualidade das sementes utilizando-se baixas temperaturas para sua secagem, tornando o processo de remoção da água mais lento, evitando-se deste modo tensões internas nas sementes e reduzindo-se a incidência de danos mecânicos (VALENTINI, 1992).

Para SILVA et al. (1979), a secagem não deve ser muito lenta, pois propicia o aparecimento de microorganismos, afetando deste modo a qualidade das sementes, visto que algumas espécies perdem mais rapidamente a umidade no início do processo e mais lentamente à proporção que perdem umidade.

Trabalhando com *E. saligna*, AGUIAR et al. (1977) verificaram que as sementes foram extraídas quando o grau de umidade das cápsulas atingiu valor inferior a 20%. Isto ocorreu após oito horas de secagem em estufa a 60°C e após 24 horas de secagem ao sol ou em estufa a 40°C. Desta maneira, o período de secagem poderá ser drasticamente reduzido com o aumento da temperatura.

Após a secagem, as cápsulas de *Eucalyptus* devem ser agitadas vigorosamente para completa extração das sementes. Esta agitação, também denominada de bateção, é feita por peneiramento, ficando as cápsulas retidas enquanto que as sementes passam pela peneira (AGUIAR et al., 1993).

Os cones de *Pinus* por ocasião da colheita apresentam grau de umidade relativamente elevado, tornando deste modo obrigatória a pré-secagem à sombra em galpões com boa ventilação por período de tempo variável em função dessa umidade. As sementes liberadas passam pela tela e se acumulam num anteparo tipo mini-gaveta, enquanto que os cones ficam retidos na tela (AGUIAR et al., 1993).

Em muitos casos, uma semente se conserva melhor em temperaturas relativamente elevadas (25°C) quando seu grau de umidade é baixo (6-8%), do que quando armazenada a

baixas temperaturas com elevado grau de umidade. Para a maioria das espécies, um grau de umidade baixo (6-12%) é o mais adequado para um armazenamento seguro (SUASSUNA, 1977).

### **3.6. Atividade de água**

A determinação da atividade de água ( $A_w$ ) é uma das medidas mais importantes no processamento e análise de alimentos. A afinidade existente entre a água e os outros componentes de um produto definem sua higroscopicidade, que é muito marcante nos produtos alimentícios e torna-se uma característica fundamental, que irá influenciar os processos de manuseio, estocagem e consumo de materiais biológicos (TEIXEIRA NETO e QUAST, 1977).

A água livre no produto é expressa pela  $A_w$ , que é dada pela relação entre a pressão de vapor de água em equilíbrio e a pressão de vapor de água pura, à mesma temperatura.  $A_w$  também pode ser entendida como a umidade relativa em equilíbrio com o produto na temperatura considerada (MOHSENIN, 1986).

De modo a inibir crescimento microbiano em alimentos sólidos, a remoção de água passou a ter grande importância na armazenagem, no transporte e na redução dos custos energéticos e de embalagem (PARK e NOGUEIRA, 1992).

O valor máximo de  $A_w$  é 1, para a água pura. Nos alimentos com  $A_w$  acima de 0,90 pode ocorrer a formação de soluções diluídas, com os alimentos servindo de substrato para reações químicas e desenvolvimento microbiano. Quando a  $A_w$  situa-se entre 0,40 e 0,80 há uma aceleração das reações químicas pelo aumento da concentração dos substratos. Próximo a

0,60, cessa a atividade microbiana e para  $A_w$  inferior a 0,30 atinge-se a zona de adsorção primária (LABUZA, 1968).

Medidas do ponto de orvalho com higrômetro elétrico são empregadas para a determinação da  $A_w$ . Na temperatura do ponto de orvalho, uma corrente de ar com vapor d'água em equilíbrio com a amostra em teste condensa na superfície resfriada de um espelho. Com a temperatura do ponto de orvalho, a  $A_w$  é calculada usando-se parâmetros psicrométricos que relacionam essa temperatura com a pressão parcial de vapor da água em equilíbrio com o produto. Um sensor de temperatura bem próximo à amostra e outro na superfície do espelho registram simultaneamente as temperaturas nesses dois locais até que a  $A_w$  calculada esteja dentro de um erro de 0,001 (NINNI, 1999)

A água no alimento se apresenta como água livre quando fisicamente se comporta com a pressão de vapor igual à da água pura. A água é referida como água ligada quando a  $A_w$  é reduzida, a ponto da água tornar-se menos ativa e não manter as propriedades químicas e físicas da água pura como, por exemplo, não podendo congelar ou agir como solvente (LABUZA, 1968 e BOBBIO, 1992).

Um método para se estudar a  $A_w$  é através das isotermas de desorção mas esta relação é complexa e depende da composição química do produto. Uma isoterma é uma curva que descreve, em uma umidade específica, a relação de equilíbrio de uma quantidade de água sorvida por componentes da semente e a pressão de vapor ou umidade relativa, a uma dada temperatura (PARK e NOGUEIRA, 1992).

### **3.7. Atividade de água através de isotermas de sorção**

O estudo da  $A_w$  pode ser feito através de isotermas que descrevem, em uma umidade específica, a relação de equilíbrio entre uma quantidade de água sorvida pela semente e a umidade relativa, à uma determinada temperatura. O conhecimento das curvas de sorção é indispensável para a determinação do grau de umidade necessário na estabilização do produto.

Diversos modelos empíricos de ajustes foram propostos para a previsão do comportamento das isotermas de sorção e conhecimento das características dos produtos, a seguir relacionados:

### 3.7.1. Modelo de PELEG

Modelo empírico de quatro parâmetros em uma equação (PELEG, 1993):

$$X_{eq} = k_1 \cdot a_w^{n_1} + k_2 \cdot a_w^{n_2}, \quad [1]$$

onde:

$X_{eq}$  - conteúdo de umidade de equilíbrio,  $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ;

$A_w$  - atividade de água, adimensional;

$k_1$ ,  $k_2$ ,  $n_1$  e  $n_2$  - constantes,

A restrição para esta equação é que  $n_1 < 1$  e  $n_2 > 1$ .

### 3.7.2. Modelo de BET (Brunauer, Emmet e Teller)

Analisando aspectos da natureza química da umidade, Brunauer, Emmet e Teller (BET) propõem, para camadas polimoleculares, por apresentar três parâmetros a serem estimados ( $X_m$ ,  $C$  e  $n$ ) e sendo uma equação polinomial de grau maior que 2, dependendo do

valor numérico de n estimado, o modelo de BET na sua forma original apresenta uma maior possibilidade de ajuste dos dados experimentais PARK e NOGUEIRA (1992).

$$X_{eq} = \frac{(X_m \cdot C \cdot a_w) \cdot (1 - (n+1) \cdot a_w^n + n \cdot a_w^{n+1})}{(1 - a_w) \cdot (1 + (C-1) \cdot a_w - C \cdot a_w^{n+1})}, \quad [2]$$

onde:

$X_{eq}$  - conteúdo de umidade de equilíbrio,  $kg \cdot kg^{-1}$ ;

$X_m$  - conteúdo de umidade na monocamada molecular,  $kg \cdot kg^{-1}$ ;

$A_w$  - atividade de água, adimensional;

C, n - constantes.

Esta equação tem dois importantes casos especiais: quando  $n=1$ , ela fica reduzida à equação de Langmuir; quando n tende a infinito, ela se reduz à equação de BET linearizável.

### 3.7.3. Modelo de GAB (Guggenheim, Anderson e de Boer)

Analisando as teorias de adsorção física de BET, Guggenheim, Anderson e de Boer estenderam resultados numa equação triparamétrica, que permite um melhor ajuste dos dados de sorção dos alimentos até a  $A_w$  de 0,9. A equação de GAB é escrita, segundo VAN DER BERG (1984), como:

$$X_{eq} = \frac{X_m \cdot C \cdot K \cdot a_w}{(1 - K \cdot a_w) \cdot (1 - K \cdot a_w + C \cdot K \cdot a_w)}, \quad [3]$$

onde:

$X_{eq}$  - conteúdo de umidade de equilíbrio,  $kg \cdot kg^{-1}$ ;

$X_m$  - conteúdo de umidade na monocamada molecular,  $\text{kg.kg}^{-1}$ ;

$A_w$  - atividade de água, adimensional;

$C, K$  - constantes de adsorção.

As constantes  $C$  e  $K$  são relacionadas com as interações energéticas entre as moléculas da monocamada e as subseqüentes, num dado sítio de sorção. Quando  $K = 1$ , a equação de GAB fica reduzida à equação de BET linearizada para  $n$  infinito.

#### 3.7.4. Modelo de LANGMUIR

---

Leva em consideração as condições de equilíbrio aplicada à água livre, fornecendo a taxa de evaporação idêntica à taxa de condensação, pois o gás está em equilíbrio com o líquido da superfície. Baseado nessa premissa, LANGMUIR (1918) propõe a equação:

$$X_{eq} = \frac{XM \cdot C \cdot a_w}{1 + C \cdot a_w} \quad [4]$$

onde:

$A_w$  - atividade de água, adimensional;

$X_{eq}$  - conteúdo de umidade de equilíbrio,  $\text{kg.kg}^{-1}$ ;

$XM$  - conteúdo de umidade da monocamada ( $\text{kg}_w/\text{kg}_s$ );

$C$  - constantes de adsorção.

#### 3.7.5. Modelo de HALSEY

HALSEY (1985) desenvolveu um modelo para a condensação das camadas a uma distância relativamente grande da superfície.

$$a_w = \exp\left(\frac{-A}{X_{eq}^B}\right), \quad [5]$$

onde:

$X_{eq}$  - conteúdo de umidade de equilíbrio,  $\text{kg.kg}^{-1}$ ;

w - atividade de água, adimensional;

A, B - constantes.

### 3.7.6. Modelo de OSWIN

O modelo baseia-se na expansão matemática para curvas de formato sigmoidal. Apresenta algumas vantagens sobre os modelos cinéticos de BET e GAB, com apenas duas constantes de fácil linearização. É um modelo empírico, definido por CHINNAN e BEAUCHAT, (1985) como:

$$X_{eq} = A \cdot \left(\frac{a_w}{1 - a_w}\right)^B, \quad [6]$$

onde:

$X_{eq}$  - conteúdo de umidade de equilíbrio,  $\text{kg.kg}^{-1}$ ;

$a_w$  - atividade de água, adimensional;

A, B - constantes.

### 3.8. Germinação e utilização de reservas

Durante o processo de germinação, ocorrem alterações na composição química da semente e no consumo de substâncias de reserva, tais como carboidratos, lipídeos e proteínas, que fornecem energia para o desenvolvimento do embrião (BORGES e RENA, 1993).

A germinação da semente se inicia pelas reservas próprias do embrião e é mantida com a degradação dos componentes dos tecidos de reserva, pela atividade enzimática e fluxo dos componentes solúveis às regiões de crescimento. Na semente os tecidos de reserva apresentam baixa atividade respiratória e, com a absorção de água, são estimuladas a respiração e a atividade das enzimas, que resulta na degradação das substâncias de reservas em substâncias solúveis. Este fenômeno biológico é a retomada do crescimento do embrião com conseqüente rompimento do tegumento pela radícula (CARVALHO e NAKAGAWA, 2000).

Fatores extrínsecos como umidade, temperatura, luz e oxigênio e os intrínsecos (inibidores e promotores da germinação), aliados aos aspectos fisiológicos e metabólicos como embebição, potencial hídrico, expansão celular, ação de hormônios, respiração e a utilização de reservas como carboidratos, proteínas, lipídeos e glicose, influenciam a seqüência de eventos na germinação das sementes (BORGES e RENA, 1993).

Do ponto de vista fisiológico, germinar é sair do repouso e entrar em atividade metabólica. Em uma semente viável em repouso, após ser suprida em suas necessidades externas (do ambiente) e internas (dos órgãos), ocorre o crescimento do embrião, o qual conduzirá à germinação (LABOURIAU, 1983).

As sementes e alguns frutos são os únicos órgãos vegetais capazes de armazenar grandes quantidades de triglicerídeos (principais lipídeos neutros saponificáveis de reserva). Por esta razão, a oxidação dos triglicerídeos durante a germinação requer grande consumo de oxigênio. Os triglicerídeos são insolúveis em água, podendo ser transformados em açúcares com perda de apenas 25% do seu carbono, que são translocados para os tecido de reserva da semente e o embrião, sendo posteriormente utilizados na germinação (BORGES e RENA, 1993).

Os efeitos da temperatura na germinação foram evidenciados por HARRINGTON (1963), mostrando que esse fator atua na porcentagem final, na velocidade e na uniformidade de germinação.

A velocidade e o progresso da deterioração nas sementes são influenciados diretamente pelo grau de hidratação da semente, temperatura e herança genética. Para DELOUCHE (2002), o ambiente no campo tem um efeito marcante na qualidade fisiológica das sementes. A deterioração de sementes pode ser vista como o complexo de mudanças que ocorrem com o passar do tempo, causando prejuízos a sistemas e funções vitais e resultando na diminuição no grau de capacidade e desempenho da semente.

BELL (1994), trabalhando com a interação de estímulos de temperatura e luz na germinação de 16 espécies procedentes de florestas do sudoeste da Austrália, verificou que *Eucalyptus marginata* Donn ex Sm. e *Eucalyptus calophylla* R.Br., espécies predominantes na região, não necessitam de pré-tratamento com estímulos de calor para facilitar a germinação.

SOUZA e CARDOSO (2000) estudaram os efeitos de diferentes ambientes de “stress” na germinação de sementes de *Eucalyptus grandis* e verificaram que, com temperaturas abaixo de 17°C e acima de 33°C houve redução drástica na germinação e que, deste modo, certamente existe uma tolerância para os extremos de temperatura, sendo que a temperatura ideal de germinação para a espécie situa-se na faixa de 17 e 27,2°C.

A partir de um determinado ponto, o efeito da temperatura se inverte e a germinação começa a cair, até que o ponto da temperatura máxima é atingido, além do qual nenhuma semente mais germina (CARVALHO e NAKAGAWA, 2000).

Em análise de sementes, um dos objetivos principais é a padronização de metodologias. Para as espécies tropicais, as técnicas empregadas devem ser adaptadas devido às características intrínsecas do material. Para espécies que apresentam sementes muito

pequenas e requerem cuidados especiais para a germinação, deve-se adotar metodologias que possam ser repetidas em outros locais e, para tanto, as REGRAS PARA ANÁLISE DE SEMENTES DO MINISTÉRIO DA AGRICULTURA tem sido a mais utilizada nas pesquisas realizadas no Brasil (AGUIAR et al., 1979; AGUIAR e MARDEGAN, 1987; NAKAGAWA et al., 2001).

### 3.9. Longevidade de sementes

A longevidade de uma determinada espécie pode ser reduzida quando não são empregadas condições adequadas de armazenamento.

EWART (1908) e HARRINGTON (1972) propuseram uma classificação levando-se em consideração apenas o tempo da viabilidade, separando as espécies em duas categorias: as de vida curta, com longevidade de 10 anos ou inferior e as longevas, com longevidade de 10 anos ou superior.

ROBERTS (1973) classificou as sementes em dois grupos, de acordo com suas diferenças de resposta à dessecação. As ortodoxas, que se mantêm com vida média de 3 a mais de 15 anos, com a longevidade inversamente proporcional à temperatura e grau de umidade, enquanto as de vida curta, chamadas recalcitrantes, apresentam maior dificuldade para sua conservação.

TOLEDO e MARCOS-FILHO (1974) classificaram as espécies em sementes microbióticas ou de vida curta, que permanecem viáveis por períodos inferiores a 3 anos (cacau, café, manga, seringueira); sementes mesobióticas ou de vida média, que permanecem viáveis de 3 a 15 anos (maioria das espécies cultivadas) e as sementes macrobióticas ou de vida longa, que apresentam longevidade superior a 15 anos (aveia, sorgo, trigo, milho e fumo).

Dois fatores afetam a qualidade inicial das sementes por ocasião da colheita, ou sejam, as condições climáticas durante a maturação e o grau de umidade (DELOUCHE, 1980; ELLIS e ROBERTS, 1980).

A deterioração das sementes começa quando a semente alcança sua maturidade fisiológica. O aumento da temperatura de armazenamento provoca aumento da taxa respiratória da semente, de fungos e de insetos que a acompanham. A deterioração das sementes é irreversível, sendo mínima por ocasião da maturidade fisiológica. Um armazenamento adequado visa manter o vigor e o poder germinativo pelo maior período possível, visto que a qualidade das sementes não é melhorada, mas pode ser mantida com um mínimo de deterioração possível (POPINIGIS, 1985).

ELLIS et al. (1990) classificaram as sementes de algumas espécies como intermediárias, que sofrem danos de secagem em graus de umidade próximos a 10%, pois podem sofrer injúria pelo frio, não se comportando como ortodoxas nem como recalcitrantes.

BONNER (1990) propôs uma classificação específica para sementes florestais: ortodoxas verdadeiras, que toleram a dessecação a baixa temperatura e mantêm sua viabilidade por longos períodos em condições secas (eucalipto, pinus e acácia); sub-ortodoxas, que podem ser armazenadas nas mesmas condições que as ortodoxas, mas no máximo por 6 anos, apresentando alto conteúdo de lipídeos, de tamanho pequeno e com tegumento fino; recalcitrantes temperadas, que são sensíveis à dessecação mas podem ser armazenadas em temperaturas próximas a de congelamento (*Quercus* spp.) e recalcitrantes tropicais, que apresentam sementes grandes, sendo sensíveis à dessecação e ao congelamento (coco, cacau e manga).

O termo longevidade está relacionado com o período de tempo em que a semente se mantém viável. A longevidade da semente é característica de cada espécie, pois enquanto

algumas mantêm sua viabilidade por longo período de tempo, outras se deterioram rapidamente (CARNEIRO e AGUIAR, 1993).

Algumas espécies não sofrem redução do grau de umidade tão pronunciada ao final do seu período de desenvolvimento e perdem rapidamente a viabilidade quando submetidas à dessecação, devido à deposição diferenciada de substâncias (açúcares, proteínas), tamanho das sementes e estruturas das membranas e envoltórios (CHIN et al., 1989; LEPRINCE et al., 1993).

As condições e tipos de embalagem utilizados no armazenamento de espécies florestais visando a preservação da sua qualidade até a próxima semeadura compreendem: câmara fria e acondicionamento em sacos plásticos impermeáveis ou tamboretas de fibra (*Pinus*) e acondicionamento em sacos de pano, caixas de madeira ou tamboretas de fibra e armazenadas em câmaras seca (*Eucalyptus*) (CARNEIRO e AGUIAR, 1993).

Sementes de *Eucalyptus citriodora* Hook. e *Eucalyptus grandis* foram colocadas para embeber em soluções de polietileno glicol (PEG 6000) com potenciais osmóticos de 0,0; -0,2; -0,4; e -0,6 Mpa e, posteriormente, submetidas ou não à secagem ao ar por três períodos de tempo (0, 15 e 30 dias) e duas temperaturas (5 e 20°C). As porcentagens de emergência e os graus de umidade decresceram sensivelmente com o aumento do potencial osmótico. O osmocondicionamento foi efetivo para *Eucalyptus citriodora*, quando a viabilidade das sementes era menor do que 70,75%. As sementes de *E. grandis* responderam positivamente ao osmocondicionamento, com restrição apenas para aquelas que receberam secagem ao ar e foram armazenadas por 30 dias a 20°C. De maneira geral, a melhor conservação dessas sementes pode ser obtida sem secagem ao ar e após o osmocondicionamento e armazenamento a 5°C (CÓRDOBA et al., 1995).

O grau de umidade elevado nas sementes é uma das principais causas da perda do poder germinativo durante o armazenamento (DESAI, et al., 1997), causando aumento da taxa respiratória e da ação dos microorganismos

Segundo CARVALHO e NAKAGAWA (2000), uma planta enfraquecida pela ação de qualquer fator ambiental pode originar sementes com viabilidade mais curta. A injúria mecânica é um dos fatores mais importantes, podendo levar à redução do período de viabilidade e também pode facilitar o acesso de microorganismos patogênicos. Vários outros fatores podem ter esse mesmo efeito deletério, tais como as características genéticas e vigor da planta mãe, as condições climáticas na maturação, as condições ambientais de armazenamento, bem como erros acidentais no processo de secagem.

O período de longevidade das espécies é extremamente variável, indo desde poucos dias até mais de séculos. A espécie *Mimosa glomerata* Forssk. tem sua longevidade estimada em 220 anos, enquanto a espécie *Salix japonica* C.P.Thunb. ex A. Murray mantém a sua viabilidade por apenas uma semana, informações estas de extremo interesse para os bancos de germoplasma (CARVALHO e NAKAGAWA, 2000).

DELOUCHE (2002) cita que há evidências substanciais de que existem mecanismos de reparo ativos com a finalidade de reverter alguns dos efeitos da deterioração em sementes no solo e naquelas submetidas aos vários tipos de condicionamento osmótico.

### **3.10. Equação de viabilidade**

Com a evolução do conhecimento sobre a longevidade de sementes, muitas equações tem sido propostas para relacionar as condições de armazenamento com o período de

viabilidade das sementes, de modo a permitir uma previsão da sua sobrevivência bem como sua sensibilidade ao grau de umidade e à temperatura.

ELLIS (1984) verificou que os valores de viabilidade das sementes em porcentagem poderiam ser transformados em valores de 'probit' e plotados linearmente em relação ao período de armazenamento das sementes (dias). Também observou que a duração de vida das sementes se apresentava em distribuição normal e que as curvas de sobrevivência das sementes eram sigmoidais cumulativas negativas.

$$v = K_i - p (1/\sigma), \quad [ 7 ]$$

Onde  $v$  é o probit da viabilidade das sementes em porcentagem após o armazenamento no tempo  $p$ ;  $p$  é o período de armazenamento em dias;  $K_i$  é o ponto de origem da curva de sobrevivência das sementes no tempo zero ou, em outras palavras, é o valor de probit da viabilidade inicial, o qual significa o ponto de interceptação do eixo das ordenadas ( $y$ ) da curva de sobrevivência transformada;  $1/\sigma$  é a inclinação da curva de sobrevivência transformada, onde  $\sigma$  é o tempo observado para que a viabilidade caia para um probit, ou seja, representa a medição de sua longevidade, reduzindo a viabilidade de 84,1 para 50,0%, por exemplo.

Existe uma relação logarítmica inversa entre o grau de umidade e a longevidade das sementes na faixa de grau de umidade entre 5 a 25% conforme descrito por ELLIS (1984) através da equação:

$$\log \sigma = K - C_w \log m, \quad [ 8 ]$$

Onde  $K$  é a constante da interceptação a 1% de umidade das sementes, da regressão entre  $\log \sigma$  e o logaritmo do grau de umidade da semente ( $m$ ) e  $C_w$  a constante de viabilidade para o gradiente que descreve os efeitos relativos da umidade (b.u.) na longevidade. Entre as espécies existem diferenças no efeito relativo de umidade ( $C_w$ ).

Segundo ELLIS (1984), os efeitos da temperatura são significativos e não lineares em relação à longevidade de sementes e podem ser descritos como:

$$\log \sigma = K - C_H t - C_Q t^2 \quad [ 9 ]$$

$K$  é a constante, representada pelo ponto em que a curva de sobrevivência corta o eixo Y;  $C_H$  e  $C_Q$  são constantes de viabilidade, as quais quando combinadas refletem a sensibilidade da longevidade à temperatura.

A equação aperfeiçoada de viabilidade proposta por ELLIS e ROBERTS (1980) inclui cinco constantes:

- duas constantes de temperatura linear e quadrática ( $C_H$  e  $C_Q$ , respectivamente)
- constante para cada espécie:  $K_E$ ;
- constante que indica a resposta logarítmica da longevidade das sementes para o grau de umidade:  $C_W$ ;
- uma constante que quantifica a qualidade inicial do lote de sementes antes do armazenamento:  $K_i$ .

Para qualquer lote homogêneo de sementes, dentro de uma grande faixa de condições de armazenamento, essas constantes podem ser empregadas para a previsão da longevidade das sementes.

Os valores de  $\sigma$  obtidos são utilizados na determinação das constantes  $K$  e  $C_w$  por regressão linear utilizando a equação:

$$\log \sigma = K - C_w \log m, \quad [ 10 ]$$

Onde  $K$  é o ponto de interceptação no eixo Y da regressão entre  $\log \sigma$  e  $\log m$ ;  $m$  é o grau de umidade das sementes (b.u.). A constante de viabilidade  $K_E$  da equação aperfeiçoada de viabilidade pode também ser estimada adotando-se a equação abaixo:

$$K_E = K + C_H t - C_Q t^2 \quad [ 11 ]$$

Onde  $K$  é o ponto de interceptação da regressão no eixo Y,  $C_H$  e  $C_Q$  são constantes que descrevem os efeitos da temperatura  $t$  na longevidade e  $t$  é a temperatura do armazenamento em °C. As constantes  $K_E$ ,  $C_W$ ,  $C_H$  e  $C_Q$  são valores que podem ser usados na previsão da percentagem de germinação em probit ( $v$ ), após qualquer período de armazenamento em diferentes valores de temperatura e de umidade das sementes, utilizando-se da equação:

$$v = K_i - p/10^{K_E - C_W \log m - C_H t - C_Q t^2} \quad [ 12 ]$$

onde:

- $v$  = porcentagem de viabilidade prevista;
- $p$  = período de tempo em dias;
- $m$  = grau de umidade das sementes (b.u.);
- $t$  = temperatura de armazenamento (°C);
- $K_E$  = constante para cada espécie;

$K_i$  = constante que quantifica a qualidade inicial de cada lote de sementes antes do armazenamento;

$C_w$  = indica a resposta logarítmica da longevidade das sementes para o grau de umidade;

$C_H$  e  $C_Q$  = são constantes linear e quadrática da temperatura, respectivamente e descrevem o efeito da temperatura de armazenamento sobre a longevidade das sementes.

Esta equação foi testada com valores constantes para sementes de cevada e abrangendo uma grande faixa de condições ambientais e posteriormente foi comprovada a possibilidade de sua determinação para outras espécies vegetais. A equação de ELLIS e ROBERTS (1980) prevê a porcentagem de viabilidade esperada para qualquer lote de sementes durante o armazenamento em diferentes valores de temperatura e grau de umidade das sementes.

BONNER (1994) transformou os dados de germinação em valores de probit e calculou as equações de viabilidade para quatro espécies florestais ortodoxas *Pinus taeda* L., *P. elliottii* Engelm., *Liquidambar styraciflua* L. e *Platanus occidentalis* L., mostrando que para as duas angiospermas (*L. styraciflua* e *P. occidentalis*) os dados calculados com cinco anos foram adequados, ao contrário das gymnospermas (*P. taeda* e *P. elliottii*). Os coeficientes de regressão para os parâmetros de temperatura foram semelhantes aos valores obtidos em experimentos semelhantes em outras espécies florestais.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi realizado no Laboratório de Tecnologia Pós-Colheita da Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, SP, no período de 2000 à 2003.

### 4.1. Caracterização do material genético

O lote de sementes de *E. grandis*, da safra 1999/2000, produzido na Estação Experimental de Ciências Florestais de Anhembi, SP, foi adquirido em maio de 2000, (VIEIRA, 2003).

O lote de sementes de *P. taeda* foi adquirido em outubro de 2000, produzido a partir de matrizes selecionadas da Estação Experimental de Itapetininga, do Instituto Florestal, SP (FIGLIOLIA, 2003).

### 4.2. Análise de pureza física

Para esta determinação foram usados 5 g de sementes de *Eucalyptus grandis*, com o objetivo de determinar a composição da amostra em exame. A amostra de trabalho foi separada em semente puras, outras sementes e material inerte (BRASIL, 1992)

O peso de cápsulas necessário para liberar um quilograma de sementes misturadas é denominado de relação de extração ou relação fruto/semente que, para *E. grandis*, apresenta

valores médios de 15:1, enquanto que o número de sementes puras é de 700.000/kg (VIEIRA e DINIZ, 1995).

#### **4.3. Determinação do peso de mil sementes**

Essa determinação foi realizada de acordo com as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 1992), usando-se oito subamostras de 100 sementes puras.

#### **4.4. Determinação do teor de lipídeos**

Para a determinação do teor de lipídeos a extração foi realizada em aparelho de Soxhlet durante 5 horas, utilizando éter de petróleo como solvente e a quantidade de lipídios foi determinada gravimetricamente com 2 g de amostra, colocadas em cartuchos de papel Whatman com 80 mm de comprimento e 33 mm de diâmetro interno. Para os procedimentos da análise as amostras de sementes de *E. grandis* foram maceradas e as de *P. taeda* foram moídas (ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY, 1995).

#### **4.5. Determinação do grau de umidade e acondicionamento das sementes**

O grau de umidade das sementes foi realizado em estufa com circulação de ar a  $105\pm 3^{\circ}\text{C}$  por 24 horas e também a  $130\pm 2^{\circ}\text{C}$  por duas horas, usando-se três subamostras de 5 g de sementes por repetição, conforme metodologia descrita nas Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 1992) e em INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION (1999), respectivamente.

A partir de seu valor inicial, os graus de umidade das sementes foram ajustados em oito níveis de umidade antes do armazenamento, usando-se dessecadores com sílica gel,

constantemente regenerada ou através de umidificação sobre água (com 4 cm de água em sua parte inferior), ambos a 25°C. Para o controle da quantidade de água removida ou absorvida durante os processos de secagem ou reidratação das sementes das duas espécies, as subamostras foram pesadas periodicamente. O processo foi encerrado ao ser atingido o peso correspondente ao grau de umidade final desejado para cada tratamento. A equação utilizada para se obter os valores desejados foi a adotada por VALENTINI (1992), a saber:

$$Mf = ((PBi-T)*Mi + 100*(PBf-PBi)) / (PBf-T) \quad [ 13 ]$$

Onde:

Mf = grau de umidade final (% , b.u.);

PBi = peso bruto inicial em gramas;

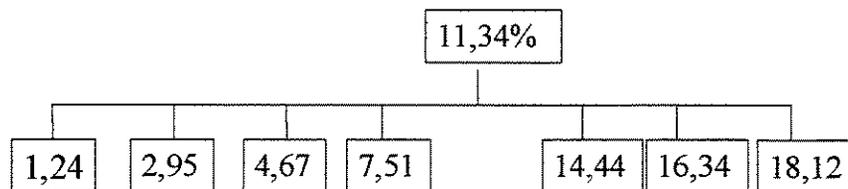
T = tara do saco de filó (*Pinus*) e placa de Petri (*Eucalyptus*);

Mi = grau de umidade inicial (% , b.u.);

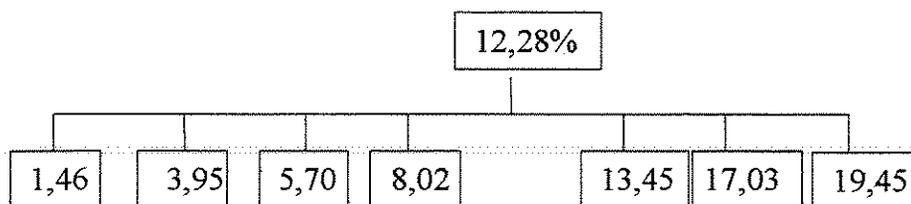
PBf = peso bruto final em gramas.

As subamostras foram pesadas periodicamente durante o período de secagem ou reidratação até que as sementes atingissem o peso correspondente ao grau de umidade final desejado para cada tratamento. Após um período de 4 dias para homogeneização em geladeira convencional, o grau de umidade das sementes foi determinado em estufa a 105±3°C e 130±2°C, sendo que os valores obtidos estão apresentados a seguir:

*Eucalyptus grandis*



*Pinus taeda*



#### 4.6. Determinação de atividade de água

A determinação de  $A_w$  foi realizada no ITAL (Instituto de Tecnologia de Alimentos)/CETEA (Centro de Tecnologia de Embalagem), utilizando-se um higrômetro baseado em psicrometria, de marca Decagon-Aqualab, com resolução de 0,01  $A_w$ . Este equipamento é acoplado a um banho termostatizado, de marca Brookfield, modelo TC 500, com resolução de 0,1°C. As determinações foram feitas a  $25 \pm 0,3^\circ\text{C}$ . De cada nível de umidade obtido foram tomadas ao acaso três subamostras de sementes moídas para determinar a  $A_w$  em aparelho DECAGON. O princípio de medida do aparelho é a determinação da temperatura do ponto de orvalho. Quando uma amostra de semente moída é colocada na câmara fechada do equipamento, um pequeno ventilador é acionado para acelerar o equilíbrio entre o ambiente e a amostra. O vapor de água entra em contato com um espelho localizado na parte superior da câmara. Este espelho é continuamente resfriado e aquecido até uma determinação precisa do ponto de orvalho do vapor em equilíbrio com a amostra. Conhecendo-se a temperatura do

ponto de orvalho pode-se então relacionar à pressão parcial de vapor da água em equilíbrio com a amostra e, deste modo, determinar a  $A_w$  (AQUALAB, 1997).

#### 4.7. Modelos de ajustes de isotermas de sorção para as duas espécies

Para a determinação dos erros relativos médios foram utilizados os modelos de BET (Brunauer, Emmet e Teller); GAB (Guggenheim, Anderson e de Boer); Halsey modificado; Oswin e Langmuir e Peleg.

Modelos	Constantes, $R^2$ e Erro
BET	XM; C; N; $R^2$ ; E%
GAB	XM; C; K; $R^2$ ; E%
HALSEY modificado	XM; A; R; $R^2$ ; E%
LANGMUIR	XM; C; R; $R^2$ ; E%
OSWIN	A; B; R; $R^2$ ; E%
PELEG	K1; N1; K2; N2; $R^2$ E%

#### 4.8. Embalagem e armazenamento das sementes

As sementes foram embaladas em embalagens de papel aluminizado hermeticamente fechados em termossoldadora marca PYROTEC, modelo 08/40, serie 82, 600 watts, potência de solda 4, tempo de solda de 7". O papel laminado usado apresenta estrutura de poliéster (PET)/alumínio(Al)/polietileno de baixa densidade(PEBD), com espessura total de 65  $\mu\text{m}$ , por componentes 12/8/44  $\mu\text{m}$  (PET/Al/PEBD).

As sementes foram acondicionadas com um mínimo de 10 subamostras para cada combinação temperatura/grau de umidade, com 0,6 g para *E. grandis* e 200 sementes para *P. taeda*, sendo posteriormente divididas em blocos; a seguir foram armazenadas à 40, 50 e

65±0,5°C, em estufas de secagem e esterilização, com controlador eletrônico de temperatura microprocessado, onde permaneceram até a obtenção de curvas completas de deterioração, conforme metodologia de ELLIS e ROBERTS (1980). A Tabela 2 apresenta o armazenamento das sementes em temperaturas a 40, 50 e 65°C nos diferentes graus de umidade para *E. grandis* e *P. taeda*.

Tabela 2. Armazenamento das sementes de *Eucalyptus grandis* e *Pinus taeda* à 40, 50 e 65°C com diferentes graus de umidade.

	Temperatura de armazenamento (°C)					
	<i>Eucalyptus grandis</i>			<i>Pinus taeda</i>		
	40	50	65	40	50	65
Grau de umidade (%)		1,24	1,24	1,46	1,46	1,46
		2,95	2,95	3,95	3,95	3,95
		4,67	4,67	5,70	5,70	5,70
		7,51	7,51	8,02	8,02	8,02
		11,34	11,34	12,28	12,28	12,28
		14,44	14,44	13,45	13,45	13,45
		16,34	16,34	17,03	17,03	
		18,12	18,12	18,12	19,45	

#### 4.8. Teste de germinação

Os procedimentos para esse teste, segundo as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 1992) foram: para *E. grandis* foram testadas quatro subamostras de 0,15 g, semeadas em caixa plástica de 11x11 cm (gerbox) com uma folha de papel de filtro previamente umedecida com 6 ml de água destilada e, a seguir, encaminhadas para germinar sob alternância de temperaturas de 20-30°C, com a primeira contagem aos cinco dias e a contagem final aos 14 dias. Para *P. taeda*, procedeu-se inicialmente a quebra de dormência através da estratificação (tratamento úmido à 5°C durante 28 dias), usando-se oito subamostras

de 25 sementes, que foram semeadas em caixas plásticas de 11x11 cm; após aquele período, as sementes foram encaminhadas para germinação normal, em alternância de 20-30°C, com a primeira contagem aos sete dias e a contagem final aos 28 dias. As sementes foram consideradas germinadas quando emitiram a radícula, conforme critério adotado por DICKIE e SMITH (1995) e SOUZA e CARDOSO (2000).

As sementes com grau de umidade inferior a 6% foram previamente reidratadas durante 48 horas à 25°C, em caixa de polietileno com 1,5 cm de água destilada na parte inferior, sendo as sementes colocadas sobre telas de náilon. Para *P. taeda* as sementes foram diretamente colocadas sobre a tela de náilon enquanto que para *E. grandis* foram usadas as embalagens aluminizadas abertas, que serviram de apoio sobre a tela de náilon para as sementes. Este procedimento serviu para evitar possíveis danos provocados pela embebição rápida (ELLIS et al., 1988).

#### **4.9. Análise estatística**

As curvas de longevidade para cada tratamento (grau de umidade/temperatura) foram obtidas em função de probit. Os pontos de origem das retas no eixo Y não convergem para o mesmo ponto, necessitando de um ajuste estatístico em cada curva, levando-as a atingirem o mesmo valor com o menor erro possível ( $K_i$ ). Os valores de porcentagem de germinação obtidos durante o período de armazenamento foram plotados em gráficos X-Y e linhas de regressão linear foram obtidas em valores de probit após a mudança da escala do eixo Y. A transformação dos valores de porcentagem de germinação em probit, distribuindo uniformemente os ciclos de vida individuais das sementes, com a subsequente análise e ajuste de regressão, fez-se necessário para a obtenção da equação de viabilidade. O programa

estatístico utilizado foi o Glim (BAKER e NELDER, 1978), para a obtenção dos respectivos valores de sigma, que indicam o período de tempo necessário para a redução da viabilidade das sementes de 1 probit (84,1% de germinação) para probit zero (50% de germinação).

Para cada tratamento umidade/temperatura foi possível obter, com o uso de logaritmos decimais de sigma e dos graus de umidade, os coeficientes específicos de cada espécie, para a definição da equação de previsão de longevidade.

Para os resultados de germinação (sementes com e sem reidratação) foi utilizado o delineamento estatístico inteiramente casualizado e o teste de Tukey para a comparação de médias, enquanto que as curvas de sobrevivência e o ajuste das isotermas de sorção foram obtidos através dos programas Origin 4.1 e Estatística, respectivamente.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Análise de pureza física

Na análise de pureza física das sementes de *Eucalyptus grandis* foram encontrados dois tipos de material basicamente distintos, sendo um mais leve, de tamanho relativamente pequeno e formato filiforme de cor avermelhado (óvulos inférteis) e o outro de tamanho um pouco maior e formato arredondado ou algumas vezes disforme de cor preta (semente). As porcentagens de pureza detectadas foram de 19,0% para *E. grandis* e 100% para *P. taeda*.

### 5.2. Peso de mil sementes

A qualidade da semente é avaliada por um conjunto de parâmetros, dentre eles o peso de mil sementes puras que, para *E. grandis*, foi calculado em 0,226 g e para *P. taeda* em 25 g. Com base nesses valores e na análise de pureza física das amostras em teste, obteve-se 841.643 sementes puras de *E. grandis* por kg e 40.000 sementes puras de *P. taeda* por kg. Segundo GENTIL e FERREIRA, (2002), esse parâmetro é afetado pela uniformidade de tamanho das sementes, genótipo das plantas matrizes e fatores ambientais.

### 5.3. Determinação do teor de lipídeos

Os teores de lipídeos detectados nas sementes de *E. grandis* e de *P. taeda* foram de 24,2 e 52,3%, respectivamente. Esses resultados são discutidos nos itens 5.4 Secagem de sementes, 5.5 Grau de umidade, 5.6 Efeitos do grau de umidade e da temperatura na armazenabilidade das sementes e 5.7 Constantes de viabilidade.

### 5.4. Secagem das sementes

As sementes de *E. grandis* perderam água mais rapidamente do que as de *P. taeda* no início da secagem (Tabelas 3 e 4), mostrando que com a velocidade mais lenta do processo, o grau de umidade das sementes apresentou relação inversa com o período de secagem. HALL (1980) afirmou que no processo de secagem ocorre um aumento da temperatura, devido a transferência de calor não ser compensada pela transferência de massa da semente; quando a taxa de transporte interno da água é menor do que a taxa de evaporação, esta velocidade é decrescente.

Tabela 3. Períodos de umidificação (horas) necessários para atingir os níveis desejados de umidade (% b.u.), para *Eucalyptus grandis* e *Pinus taeda*, a partir dos valores iniciais de grau de umidade.

Período de umidificação (horas)	Grau de umidade (%)	
	<i>Eucalyptus grandis</i>	<i>Pinus taeda</i>
0	11,34	12,28
24	14,44	13,45
48	16,34	
144	18,12	
192		17,03
432		19,45

Tabela 4. Períodos de secagem (horas) necessários para atingir os níveis desejados de umidade (% b.u.), para *Eucalyptus grandis* e *Pinus taeda*, a partir dos valores iniciais de grau de umidade.

Período de secagem (horas)	Grau de umidade %	
	<i>Eucalyptus grandis</i>	<i>Pinus taeda</i>
0	11,34	12,28
9	7,51	
24	4,67	8,02
72		5,70
96	2,95	
120		3,95
528	1,24	
692		1,46

Após dois dias de secagem, as sementes de *E. grandis* apresentavam 6,77% de grau de umidade, enquanto que esse valor para *P. taeda* era de 7,37% (Figura 3). Provavelmente, esse fato foi devido aos diferentes teores de lipídeos detectados para as espécies (24,2 e 52,3%).

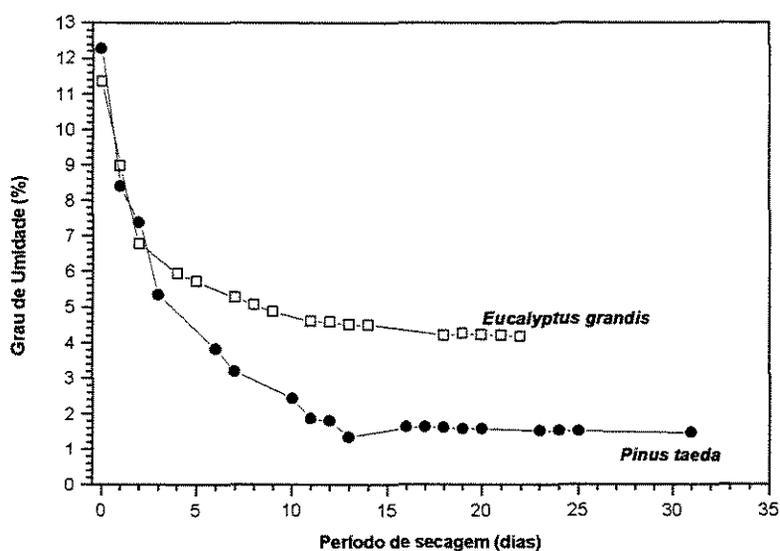


Figura 3. Taxa de secagem de sementes de *Eucalyptus grandis* e *Pinus taeda* sobre sílica gel à 25°C.

Para as duas espécies florestais a secagem com sílica gel respondeu positivamente, sendo que as umidades mais baixas foram obtidas sem causar danos às sementes, como podemos observar através dos resultados de germinação, vindo confirmar a eficiência do método que também foi utilizado por XIAORONG et al. (1998) com oito espécies, dentre elas *Sesamum indicum* L. e *Amaranthus tricolor* L..

Não houve diferença significativa de germinação entre os níveis de umidade bem como para as sementes com e sem reidratação (Tabela 5) mas as maiores porcentagens de germinação foram obtidas em 7,51 e 11,34% de grau de umidade sem reidratação e a menor em 1,24% de umidade também sem reidratação, mostrando a necessidade de se fazer a reidratação para as umidades inferiores a 6%.

Tabela 5. Germinação (%) de sementes de *Eucalyptus grandis* nos diferentes graus de umidade, após secagem em sílica gel.

Umidade (%)	Sementes de <i>Eucalyptus grandis</i>	
	sem reidratação (%)	com reidratação (%)
11,34	87,5	82,5
7,51	84,5	70,5
4,67	78,0	79,0
2,95	68,0	80,0
1,24	68,0	77,0

Os resultados para germinação de sementes de *P. taeda*, após a secagem em sílica gel à diferentes níveis de umidade, encontram-se na Tabela 6. Para as sementes com 8,02 e 1,46% de umidade, com e sem reidratação, observaram-se as menores porcentagens de germinação. Apenas as sementes com 12,28% de umidade tiveram um aumento significativo com a reidratação, para as demais houve um aumento não significativo na germinação após a

reidratação. De maneira geral, as sementes submetidas previamente a um tratamento de hidratação apresentam melhor germinação (BRADFORD, 1995).

Tabela 6. Germinação (%) de sementes de *Pinus taeda* nos diferentes graus de umidade, após secagem em sílica gel.

Umidade (%)	sementes de <i>Pinus taeda</i>	
	sem reidratação (%)	com reidratação (%)
12,28	82,0 a B	95,0 a A
8,02	75,5 ab A	78,5 b A
5,70	81,0 a A	85,0 ab A
3,95	85,0 a A	89,0 ab A
1,46	63,0 b A	74,0 b A

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna, não diferem pelo teste de Tukey, a 1%.  
Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na linha, não diferem pelo teste de Tukey, a 5%.

Segundo BEWLEY e BLACK, (1994) as sementes resistem às condições adversas do ambiente e, quando expostas a condições adequadas e na ausência de dormência, têm a capacidade de retomada do metabolismo no processo de germinação.

### 5.5. Grau de umidade e umidade relativa de equilíbrio

Para *E. grandis* e *P. taeda*, conseguiu-se alcançar valores de graus de umidade na faixa de 1 a 19%, com umidade relativa de equilíbrio variando de 8 a 95% UR. Através dos valores de Aw verificou-se que as sementes de *P. taeda* são mais oleaginosas que as de *E. grandis*. O conhecimento desse parâmetro é de fundamental importância para o armazenamento seguro dessas sementes. As umidades relativas de equilíbrio detectadas para as duas espécies estão apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7. Valores de atividade de água ( $A_w$ ) e diferentes graus de umidade à 105 e 130°C para *E. grandis* e *P. taeda*.

Espécies	Graus de umidade (%) e $A_w$		
	Temperaturas (°C)		$A_w$
	105	130	
<i>Eucalyptus grandis</i>	1,24	1,66	0,087
	2,95	3,35	0,096
	4,67	4,93	0,228
	7,51	7,97	0,397
	11,34	11,39	0,654
	14,44	14,81	0,806
	16,34	15,94	0,858
	18,12	18,53	0,936
<i>Pinus taeda</i>	1,46	1,76	0,103
	3,95	4,03	0,210
	5,70	5,96	0,293
	8,02	8,35	0,456
	12,28	12,66	0,735
	13,45	13,85	0,816
	17,03	17,27	0,915
	19,45	19,81	0,956

A determinação e os módulos dos erros relativos médios foram testados nos modelos de BET (Brunauer, Emmet e Teller); GAB (Guggenheim, Anderson e de Boer); Halsey modificado; Oswin e Langmuir e Peleg.

O melhor ajuste das isotermas foi alcançado pelo modelo de dois parâmetros de Langmuir para *E. grandis* (erro relativo = 12,22%), enquanto que para *P. taeda* o melhor modelo foi o de quatro parâmetros de Peleg (erro relativo = 6,71%) apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Erro relativo médio para os modelos de isothermas de sorção para *Eucalyptus grandis* e *Pinus taeda*.

Modelos	Erro (%)	
	<i>Eucalyptus grandis</i>	<i>Pinus taeda</i>
BET	15,19	14,76
GAB	12,45	10,80
HALSEY modificado	51,01	40,31
LANGMUIR*	12,22*	9,27
OSWIN	35,98	29,19
PELEG*	12,62	6,71*

\*o melhor ajuste das isothermas.

Usando os modelos de Langmuir e Peleg foram obtidas isothermas de absorção e desorção (Figuras 4 e 5) para os valores experimentais e os previstos para as espécies, dependendo se os valores foram obtidos abaixo ou acima dos graus de umidade iniciais (11,34% para *E. grandis* e 12,28% para *P. taeda*).

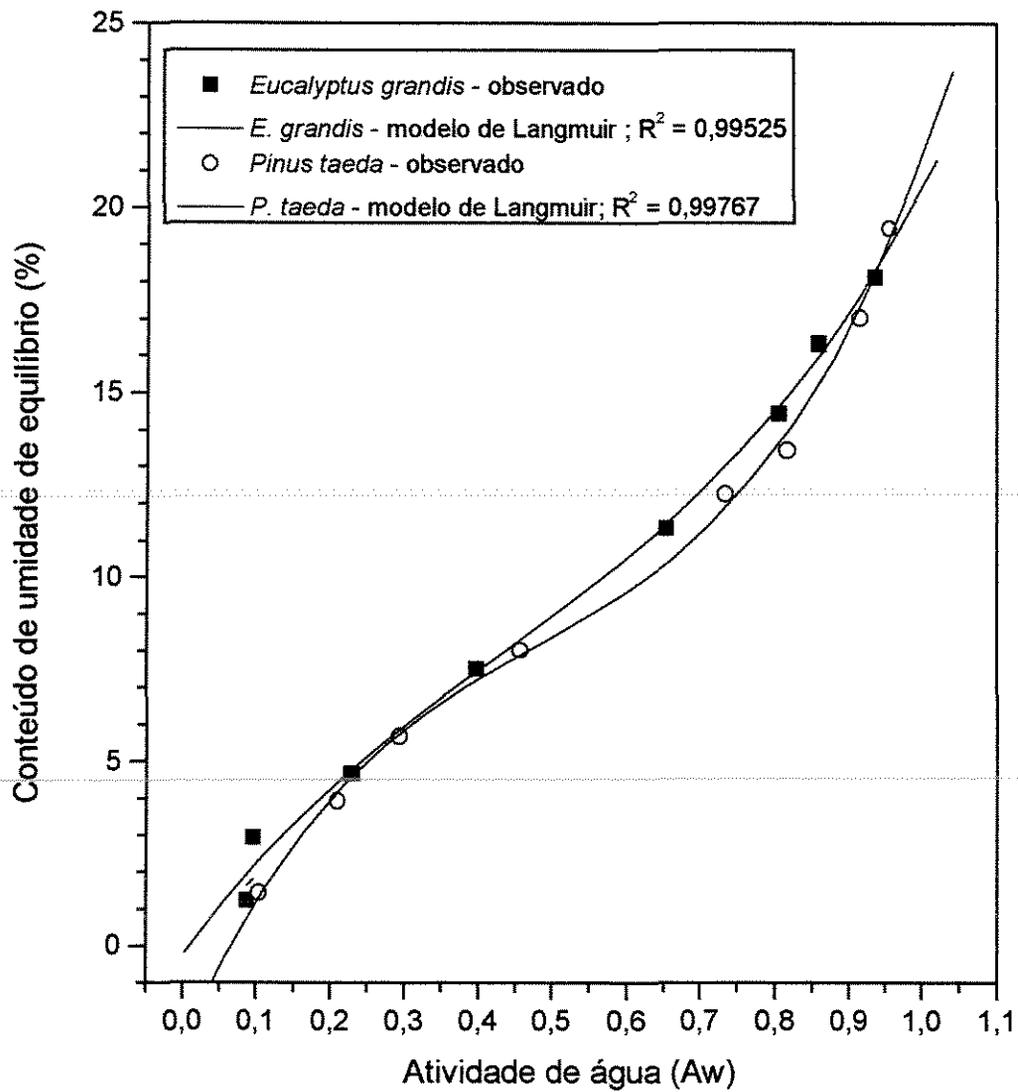


Figura 4. Modelo de Langmuir ajustado aos valores experimentais para as sementes de *Eucalyptus grandis* e *Pinus taeda*.

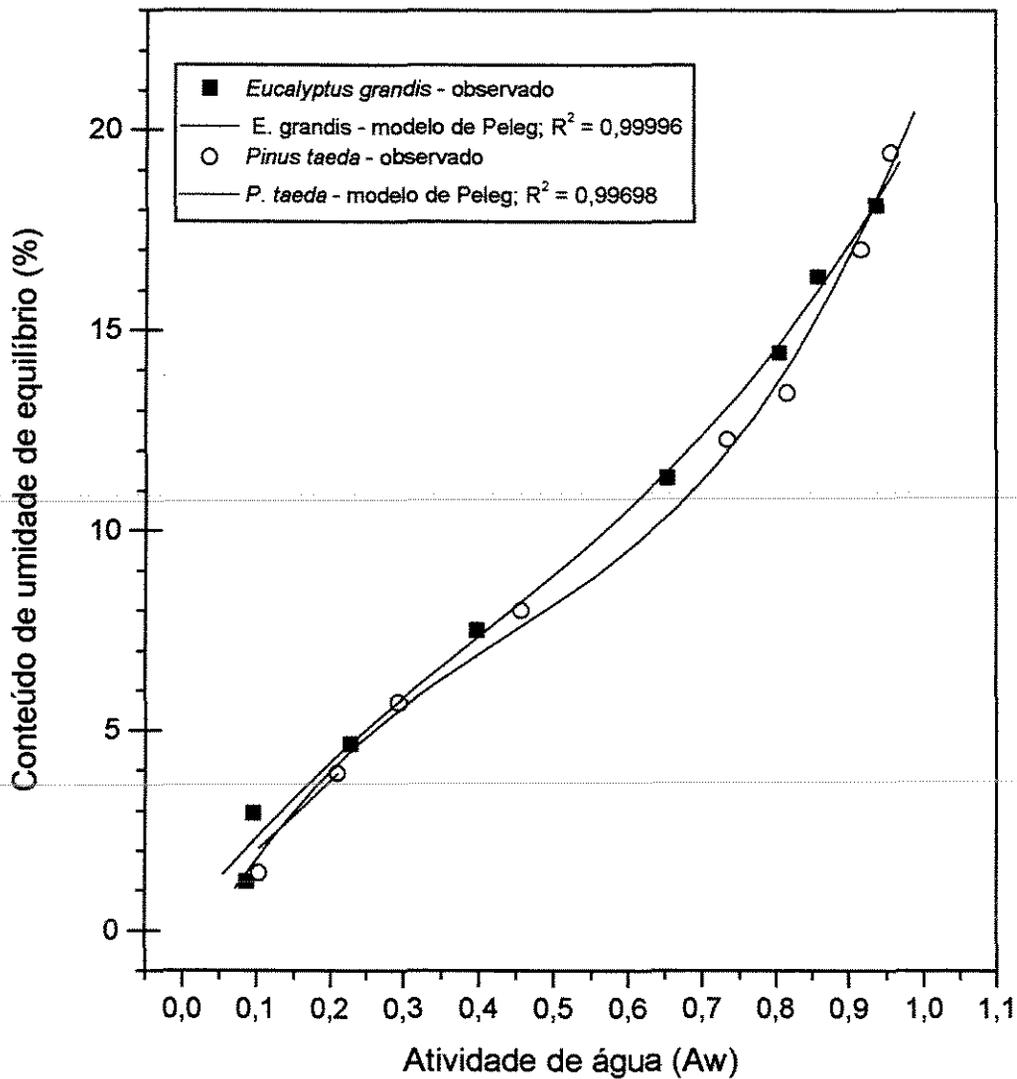


Figura 5. Modelo de Peleg ajustado aos valores experimentais para as sementes de *Eucalyptus grandis* e *Pinus taeda*.

As isotermas abrangem três regiões, que correspondem às diferentes categorias de água ligada que ocorrem nos tecidos; à baixo grau de umidade, a água nas sementes é mantida por ligações muito fortes enquanto que, para umidades intermediárias e altas, a água é mantida por ligações fracas e a água multimolecular (VERTUCCI e LEOPOLD, 1987).

O ponto de inflexão da isoterma para *P. taeda* (ao redor de 4,0% de umidade), considerando-se a diferença entre o primeiro e o segundo tipo de água ligada (baixo e intermediário graus de umidade), pode acarretar a descontinuidade da relação logarítmica inversa entre longevidade e grau de umidade. Assim, verificou-se que a longevidade das sementes aumentou com a redução do grau de umidade até que toda a água fracamente ligada tenha sido removida.

As sementes de *P. taeda* apresentaram graus de umidade de equilíbrio mais baixos do que as de *E. grandis*, quando armazenadas em condições semelhantes. Sementes ricas em óleo apresentam graus de umidade de equilíbrio mais baixos em relação as sementes amiláceas, quando expostas a condições semelhantes, pois não absorvem ou absorvem menos água, por serem hidrófobas (BROOKER et al., 1992). Resultados semelhantes foram obtidos por BENEDETTI e JORGE (1987) para sementes de amendoim (alto teor de lipídios), que apresentou uma menor umidade de equilíbrio do que o arroz, o milho, a soja e o trigo a uma mesma temperatura.

## **5.6. Efeitos do grau de umidade e da temperatura na armazenabilidade das sementes**

As curvas de sobrevivência de sementes de *Eucalyptus grandis* e *Pinus taeda* à 40, 50 a 65°C são apresentadas nas Figuras 6 a 11, mostrando os efeitos do grau de umidade e da temperatura na armazenabilidade das sementes. As Figuras mostram curvas da sobrevivência em probit obtidas através de regressão linear. ELLIS (1984) verificou que os valores de viabilidade das sementes em porcentagem podem ser transformados em valores de probit e plotados linearmente em relação ao período de armazenamento das sementes (dias).

As curvas de sobrevivência para as duas espécies apresentaram o mesmo comportamento. Os resultados mostram uma distribuição normal (Figuras 6 a 11) na longevidade das sementes para as duas espécies e as curvas de sobrevivência obtidas foram sigmoidais cumulativas negativas, confirmando a observação feita por ELLIS (1984) de que a duração de vida das sementes se apresentava em distribuição normal e que as curvas de sobrevivência das sementes eram sigmoidais cumulativas negativas. O mesmo autor também observou que as curvas de sobrevivência das sementes apresentam sempre o mesmo formato, diferindo entre si apenas em relação ao tempo de deterioração controlada, mas apresentando todas um mesmo desvio padrão.

Quando o grau de umidade (no intervalo de 1,24 a 19,45%) e a temperatura de armazenamento foram reduzidos, ocorreu o aumento previsível na longevidade das sementes das duas espécies, como se observa nas Figuras 6, 7 e 8.

Nas relações entre umidade e longevidade foram observadas diferenças, sendo que a sensibilidade à umidade de *P. taeda* foi maior do que para as sementes de *E. grandis*. TOMPSETT (1986), trabalhando com duas espécies arbóreas, verificou que a longevidade das sementes de *Ulmus carpinifolia* Borkh. foi significativamente mais sensível à umidade do que a de *Terminalia brassii* Exell.

Para as sementes de *E. grandis* com 7,51% de umidade e armazenadas à 40°C foram necessários 90 dias para a germinação cair de um probit, enquanto que para as sementes de *P. taeda*, com umidade de 8,02% e armazenadas na mesma temperatura, foram necessários 5 dias. Para a germinação atingir valores inferiores a 5% à 40°C, foram necessários 10 dias para *E. grandis* e 0,416 dias (10 horas) para *P. taeda* na umidade de 14,44 e 13,45%, respectivamente (Figura 6).

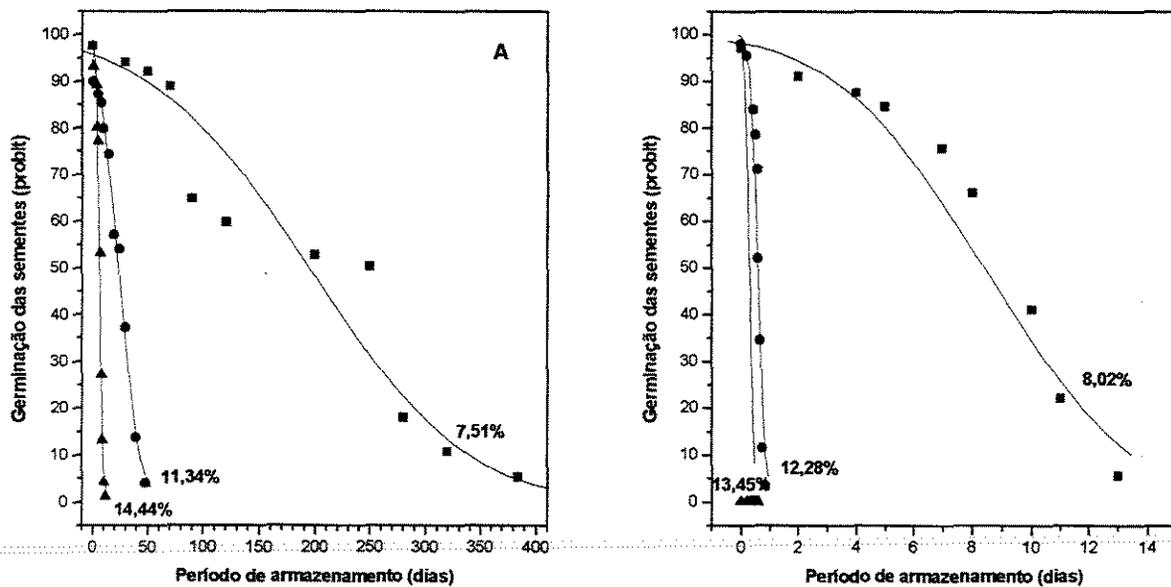


Figura 6. Curvas de sobrevivência em probit para sementes de *Eucalyptus grandis* (A) e *Pinus taeda* (B) à 40°C. Os símbolos e as linhas contínuas representam as porcentagens de germinação e as curvas de sobrevivência, respectivamente.

A combinação das temperaturas mais elevadas com o aumento da umidade das sementes acarretou uma redução de sua longevidade, mais pronunciada nas umidades mais elevadas (16,34% e 18,12% para *E. grandis* e 17,03% e 19,45% para *P. taeda*), conforme Figura 7. Observa-se que com o aumento da umidade foram obtidas curvas de sobrevivência mais inclinadas, confirmando assim o efeito deste parâmetro na longevidade das sementes. Resultados semelhantes foram obtidos em sementes de amendoim (USBERTI e GOMES, 1998) e em *Dalbergia nigra* (Vell.) Fr.All.Ex Benth e *Dimorphandra mollis* Benth (CHAVES, 2001).

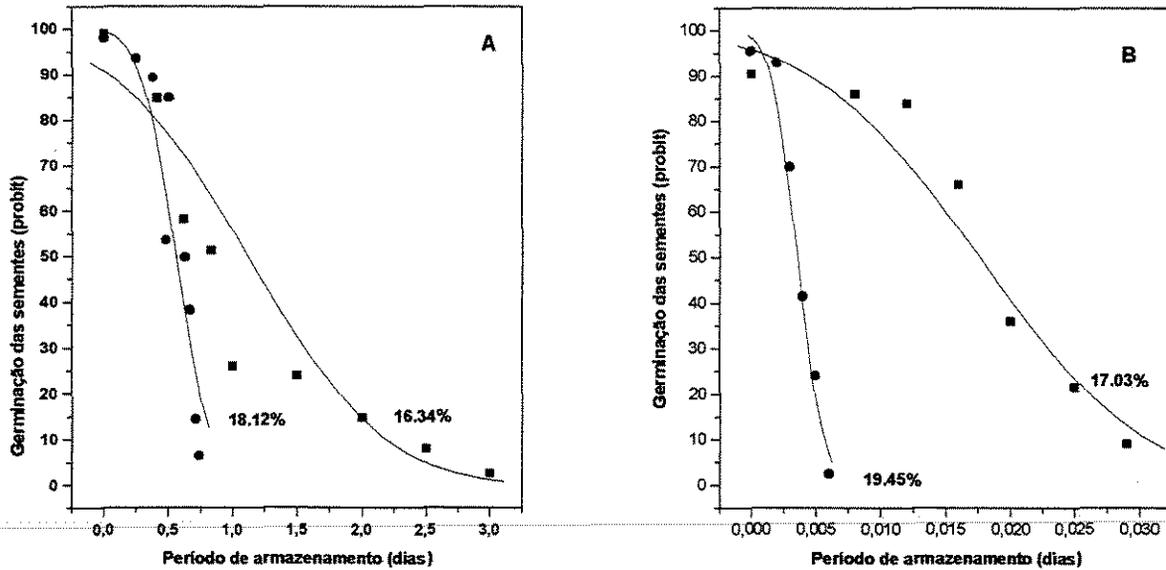


Figura 7. Curvas de sobrevivência em probit para sementes de *Eucalyptus grandis* (A) e *Pinus taeda* (B) à 40°C. Os símbolos e as linhas contínuas representam as porcentagens de germinação e as curvas de sobrevivência, respectivamente.

Quando armazenadas à 50°C com 7,51% de umidade, as sementes de *E. grandis* necessitaram 40 dias para a germinação cair de um probit, enquanto que para as sementes de *P. taeda* com umidade de 8,02% à mesma temperatura foram necessários somente 2 dias (Figura 8). Nas umidades mais baixas (4,67 e 3,95%) foram necessários 55 e 4 dias para *E. grandis* e *P. taeda*, respectivamente, para o mesmo propósito. Também observa-se que para *P. taeda* na umidade de 5,70%, o tempo necessário para a germinação atingir valor inferior a 6% foi de 14 dias.

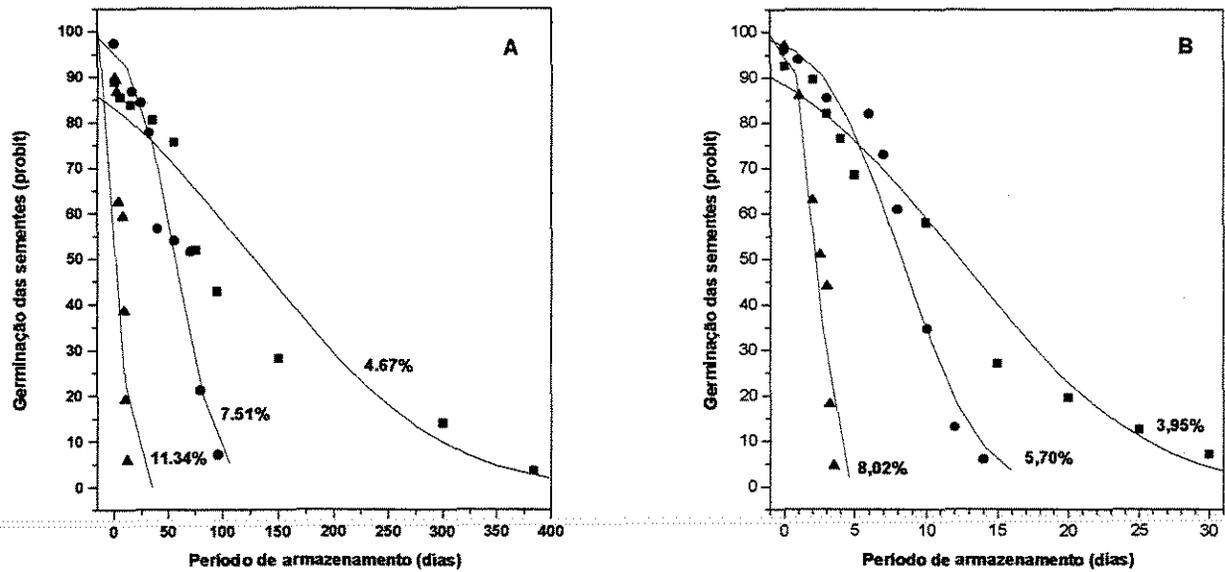


Figura 8. Curvas de sobrevivência em probit para sementes de *Eucalyptus grandis* (A) e *Pinus taeda* (B) à 50°C. Os símbolos e as linhas contínuas representam as porcentagens de germinação e as curvas de sobrevivência, respectivamente.

Para a germinação das sementes cair de um probit nas umidades de 14,44 e 13,45% à 50°C, foram necessários 0,62 dias (15 horas) para *E. grandis* e 0,0208 dias (50") para *P. taeda*, respectivamente (Figura 9). O tempo necessário para a germinação atingir valores inferiores a 8% nas umidades de 18,12 e 17,03% foi de 0,184 dias (4 horas) para *E. grandis* e 0,007 dias (11") para *P. taeda*.

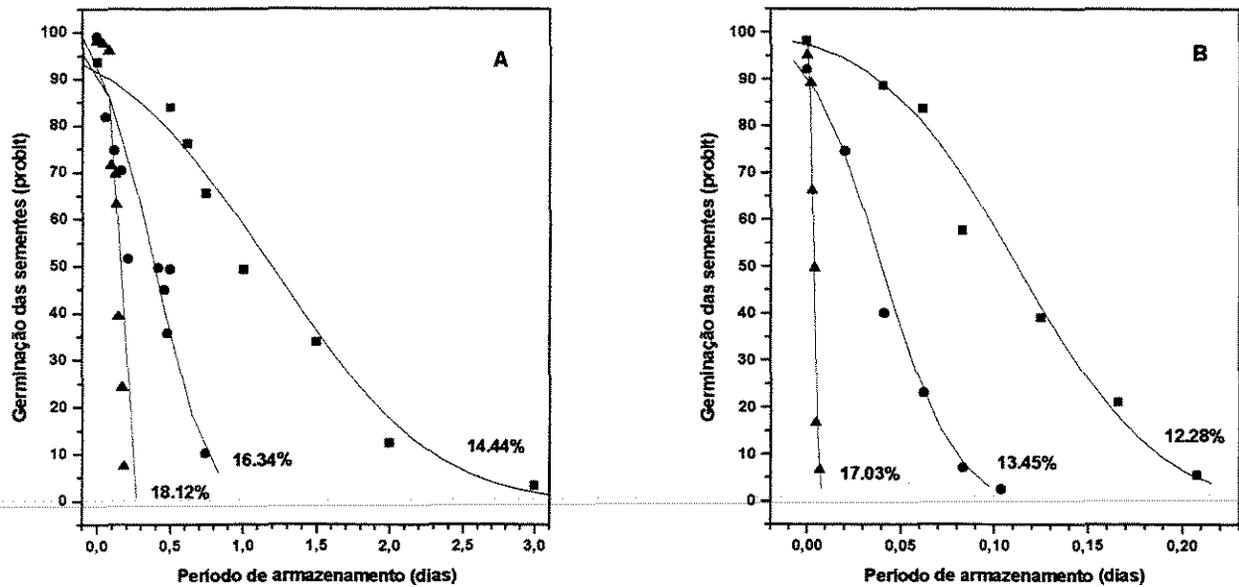


Figura 9. Curvas de sobrevivência em probit para sementes de *Eucalyptus grandis* (A) e *Pinus taeda* (B) à 50°C. Os símbolos e as linhas contínuas representam as porcentagens de germinação e as curvas de sobrevivência, respectivamente.

As sementes de *E. grandis* armazenadas a 65°C necessitaram 40 dias e 1 dia para a germinação cair de um probit, nas umidades de 1,24 e 7,51%, respectivamente; em sementes de *P. taeda* com umidade de 1,46% nessa mesma temperatura esse tempo reduziu-se para 3 dias. (Figura 10). Para que a germinação atingisse valores inferiores a 5%, nas umidades de 2,95 e 3,95% foram necessários 96 dias para *E. grandis* e 3,25 dias para *P. taeda*, respectivamente.

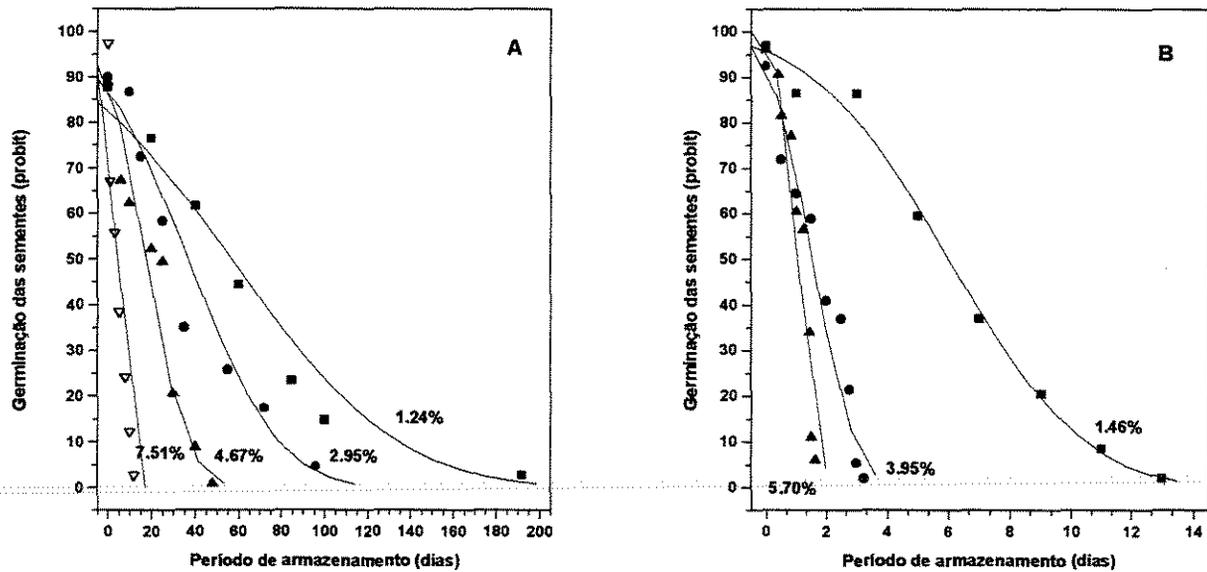


Figura 10. Curvas de sobrevivência em probit para sementes de *Eucalyptus grandis* (A) e *Pinus taeda* (B) à 65°C. Os símbolos e as linhas contínuas representam as porcentagens de germinação e as curvas de sobrevivência, respectivamente.

O tempo necessário para a germinação de sementes de *E. grandis* e *P. taeda* cair de um probit, após armazenamento à 65°C nas umidades de 11,34 e 8,02%, foi de 0,38 dias (9 horas) e 0,25 dias (6 horas), respectivamente (Figura 11). Para *E. grandis* na umidade de 16,34% o tempo necessário para a germinação atingir valores inferiores a 5% foi de 0,093 dias (2'13").

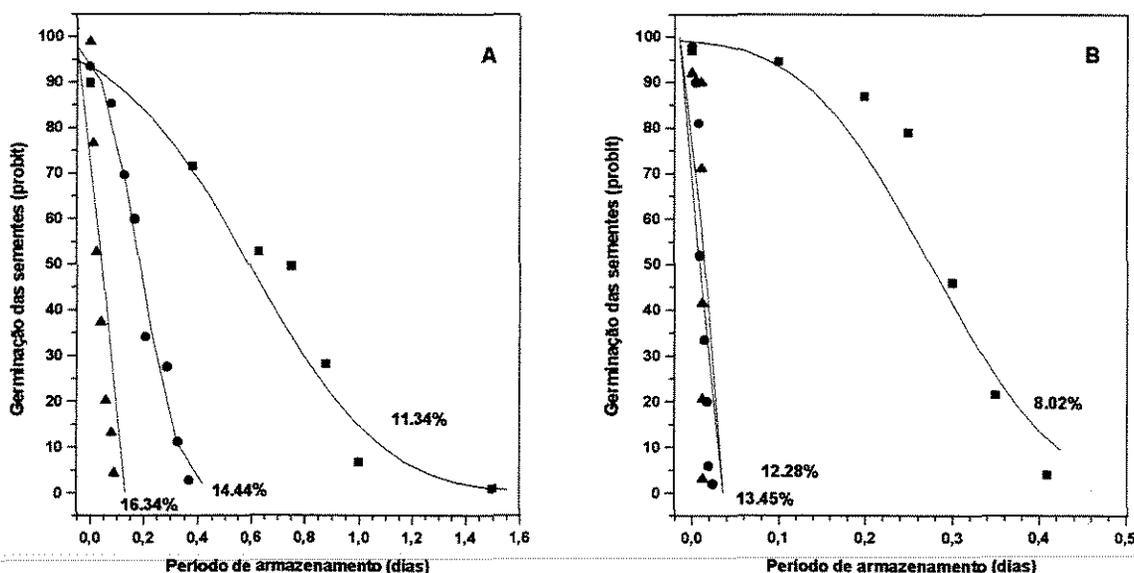


Figura 11. Curvas de sobrevivência em probit para sementes de *Eucalyptus grandis* (A) e *Pinus taeda* (B) à 65°C. Os símbolos e as linhas contínuas representam as porcentagens de germinação e as curvas de sobrevivência, respectivamente.

Observa-se que, de maneira geral, a redução da germinação para *P. taeda* foi maior que para *E. grandis*, pois as sementes oleaginosas se deterioram mais rapidamente do que as ricas em amido ou em proteínas.

O grau de umidade das sementes (%) e a frequência da distribuição das sementes mortas no tempo (sigma) para *E. grandis* e *P. taeda* em armazenamento hermético à 40, 50 e 65°C são apresentados na Tabela 9. As sementes de *E. grandis* com umidade de 18,12% e armazenadas à 40 e 50°C necessitaram 0,736 e 0,184 dias (log 0,40; 0,10) para que a germinação caísse um probit, respectivamente; para 17,03% à 40 e 50°C, esses valores foram 0,029 e 0,007 dias (log 0,009; 0,002), respectivamente.

Tabela 9. Grau de umidade das sementes (%) e a frequência da distribuição das sementes mortas no tempo (sigma) para *Eucalyptus grandis* e *Pinus taeda* em armazenamento hermético à 40, 50 e 65°C, após direcionar todas as curvas de sobrevivência para o mesmo ponto de origem ( $K_i$ ).

Graus de umidade (%)	Sigma (dias)					
	<i>Eucalyptus grandis</i>			<i>Pinus taeda</i>		
	40°C	50°C	65°C	40°C	50°C	65°C
1,24			43,19			
1,46						3,29
2,95			27,81			
3,95					7,35	0,97
4,67		97,27	14,51			
5,70					4,59	0,60
7,51	137,60	40,83	3,59			
8,02				4,70	1,27	0,15
11,34	17,33	4,97	0,44			
12,28				0,30	0,060	0,006
13,45				0,15	0,023	0,005
14,44	4,20	0,84	0,13			
16,34	0,76	0,29	0,03			
17,03				0,009	0,002	
18,12	0,40	0,10				
19,45				0,001		

Sigma = número de dias necessários para a germinação cair de 1 probit, nas condições de temperatura e grau de umidade especificados.

Segundo ELLIS e ROBERTS (1980) e ELLIS et al. (1982, 1988 e 1990a), a relação da longevidade das sementes com a temperatura é na forma quadrática e para diversas espécies há uma relação logarítmica negativa entre a longevidade das sementes e o grau de umidade.

Segundo HARRINGTON (1963), a umidade é o fator mais importante na longevidade das sementes e o período de viabilidade da semente pode ser dobrado a cada redução de 1% no grau de umidade e a cada diminuição da temperatura em 5,6°C.

Com o propósito de se estudar o efeito da umidade e da temperatura na longevidade das sementes, ELLIS et al. (1990a), concluíram que em oito espécies vegetais o efeito relativo

do potencial de água na semente foi o mesmo e que, provavelmente, ocorra o mesmo efeito para as demais espécies ortodoxas.

TOMPSETT (1986) verificou que aumentando o grau de umidade em sementes armazenadas em temperatura constante, pode-se prever pela equação de ELLIS e ROBERTS (1980) uma diminuição na longevidade em todas as temperaturas usadas no experimento.

Com as combinações de grau de umidade/temperatura no armazenamento, num total de 24 tratamentos para as temperaturas 40, 50 e 65°C, obteve-se os valores de  $K_i$  (qualidade inicial das sementes) de 1,351 para a *E. grandis* e 1,819 para a *P. taeda* (Tabela 10).

Tabela 10. Valores de  $K_i$  (em probit) e porcentagem de germinação para *Eucalyptus grandis* e *Pinus taeda*.

Ponto de origem das retas	Espécies	
	<i>Eucalyptus grandis</i>	<i>Pinus taeda</i>
$K_i$ (probit)	1,351	1,819
Germinação (%)	90,0	98,0

Houve efeito significativo na interação entre grau de umidade/temperatura de armazenamento e período de armazenamento, conforme mostram as Tabelas 11 e 12.

Tabela 11. Análise de variância para temperatura de armazenamento/grau de umidade e período de armazenamento em dias para sementes de *E. grandis*.

Fonte de variação	GL	SQ	QM	F
Período de armazenamento em dias (D)	1	3410,0	3410,0	161,68**
Temperatura /Grau de umidade (TGU)	17	26893,0	1581,94	75,00**
TGUxD	17	1755,0	103,23	4,89**
Resíduo	118	2488,9	21,09	
Total	153	34546,0		

Limites de F ao nível de 1%.

Tabela 12. Análise de variância para temperatura de armazenamento/grau de umidade e período de armazenamento em dias para sementes de *P. taeda*.

Fonte de variação	GL	SQ	QM	F
Período de armazenamento em dias (D)	1	1309,0	1309,0	107,11**
Temperatura /Grau de umidade (TGU)	16	10484,0	655,25	53,62 **
TGUxD	16	509,2	31,82	2,60 **
Resíduo	96	1174,0		
Total	129	13476,0		

Limites de F ao nível de 1%.

### 5.7. Constantes de viabilidade

O melhor ajuste estatístico foi obtido com a remoção de alguns tratamentos, obtendo-se sensível redução da variância residual e um melhor ajuste da equação de viabilidade. Assim, para *E. grandis* foi necessária a remoção dos valores de grau de umidade mais baixos à 65°C (1,24; 2,95 e 4,67%) e uma umidade à 50°C (4,67%). Já para *P. taeda* o melhor ajuste ocorreu com a remoção de dois graus de umidade à 65°C (1,46 e 3,95) e um à 50°C (3,95%).

As constantes obtidas para as duas espécies definem a equação à 40, 50 e 65°C, que para *E. grandis* é:  $K = 8.084; 5.745; 2.486$  e  $C_W = 6.641; 5.103; 2.777$  e para *P. taeda* é:  $K = 8.802; 4.673; 1.454$  e  $C_W = 8.748; 5.596; 2.949$ , respectivamente. Segundo ELLIS et al., (1986), a constante  $K$  ( $K = K_E - C_{HT} - C_{Qt}^2$ ) fornece uma média simplificada da equação de viabilidade quando somente uma temperatura é considerada.

O limite inferior de aplicação da equação de longevidade fornece uma orientação prática para a secagem das sementes antes do armazenamento. Este limite é variável e foi apresentado para 23 espécies por ROBERTS (1991). Por exemplo, de 2,0% para o amendoim e girassol (ELLIS et al., 1988 e 1990a, respectivamente) e 6,2% para a ervilha (ELLIS et al.,

1989). Com base nestas informações foi calculado o limite inferior que mostra a descontinuidade da relação logarítmica para as duas espécies, obtendo-se 4,85% para *E. grandis* (equilíbrio higroscópico a 22,9% UR) e 4,06% para *P. taeda* (equilíbrio higroscópico a 21,2% UR).

Os valores calculados para as constantes de viabilidade  $K_E$ ,  $C_W$ ,  $C_H$  e  $C_Q$  obtidos para as espécies *E. grandis* e *P. taeda* encontram-se na Tabela 13. TOMPSETT (1989) constatou que as constantes para previsão da longevidade podem ser empregadas com segurança para qualquer lote homogêneo de sementes, dentro de uma grande faixa de condições de armazenamento.

Tabela 13. Valores das constantes de viabilidade  $K_E$ ,  $C_W$ ,  $C_H$  e  $C_Q$  determinadas para sementes de *E. grandis* e *P. taeda*.

Espécies	Constantes de viabilidade			
	$K_E$	$C_W$	$C_H$	$C_Q$
<i>Eucalyptus grandis</i>	9,661	6,467	0,03498	0,0002330
<i>Pinus taeda</i>	8,838	5,981	0,10340	0,0005476

Neste experimento foram estimadas as constantes  $K_E$  e  $C_W$  para *E. grandis* (9,661 e 6,467, respectivamente), que são diferentes das constantes estimadas para *P. taeda* (8,838 e 5,981). As constantes de viabilidade que refletem a sensibilidade da longevidade à temperatura,  $C_H$  e  $C_Q$ , para as duas espécies foram 0,03498 e 0,0002330 para *E. grandis* e 0,10340 e 0,0005476 para *P. taeda*.

Os valores de  $C_W$  variaram entre as espécies em estudo, vindo confirmar a observação feita por ELLIS (1984) de que para sementes de cereais esses valores situaram-se ao redor de 6,0, enquanto que para sementes oleaginosas foram menores, entre 3,5 e 4,0, indicando assim

a necessidade das sementes oleaginosas serem secas a níveis mais baixos do que as sementes de cereais.

DICKIE et al. (1990) verificaram que as temperaturas nas quais a equação aperfeiçoada de viabilidade pode ser aplicada vão desde -13 a 90°C. Também observou uma pequena e negativa associação entre os valores de  $C_w$  e o conteúdo de óleo das sementes, entre diferentes espécies.

Os valores encontrados para a equação de viabilidade em sementes de *E. grandis* estão muito próximos aos encontrados por ELLIS e ROBERTS (1980), que obtiveram resultados de viabilidade para sementes de cevada com os valores de  $K_E = 9,983$ ,  $C_w = 5,896$ ,  $C_H = 0,040$  e  $C_Q = 0,000428$ .

As equações de viabilidade estimadas para a longevidade de sementes de *Eucalyptus grandis* e *Pinus taeda* são:

$$v = K_i - p/10^{K_E - C_W \log m - C_H t - C_Q t^2}$$

$$v = K_i - p/10^{9,661 - 6,467 \cdot \log m - 0,03498t - 0,0002330t^2} \quad E. grandis \quad [14]$$

$$v = K_i - p/10^{8,838 - 5,981 \cdot \log m - 0,10340t - 0,0005476t^2} \quad P. taeda \quad [15]$$

Muitas espécies de valor econômico classificadas como ortodoxas, tais como *Abies*, *Alnus*, *Betula*, *Fraxinus*, *Larix*, *Picea*, *Pinus*, *Platanus*, *Prunus*, *Pseudotsuga*, *Tsuga* e algumas tropicais incluindo a *Acacia*, *Eucalyptus*, *Casuarina*, *Gmelina* e muitas leguminosas podem

ser armazenadas por períodos relativamente longos a temperaturas baixas, se o conteúdo de umidade for reduzido abaixo de 10% (BONNER, 1990).

As Figuras 12 e 13 mostram a relação logarítmica entre o grau de umidade das sementes e o desvio padrão da frequência de distribuição das sementes mortas no tempo ( $\sigma$ ) à 40, 50, 65°C para as duas espécies em estudo. Fica evidente o paralelismo entre as retas, causado pelo efeito das diferentes temperaturas de armazenamento utilizadas.

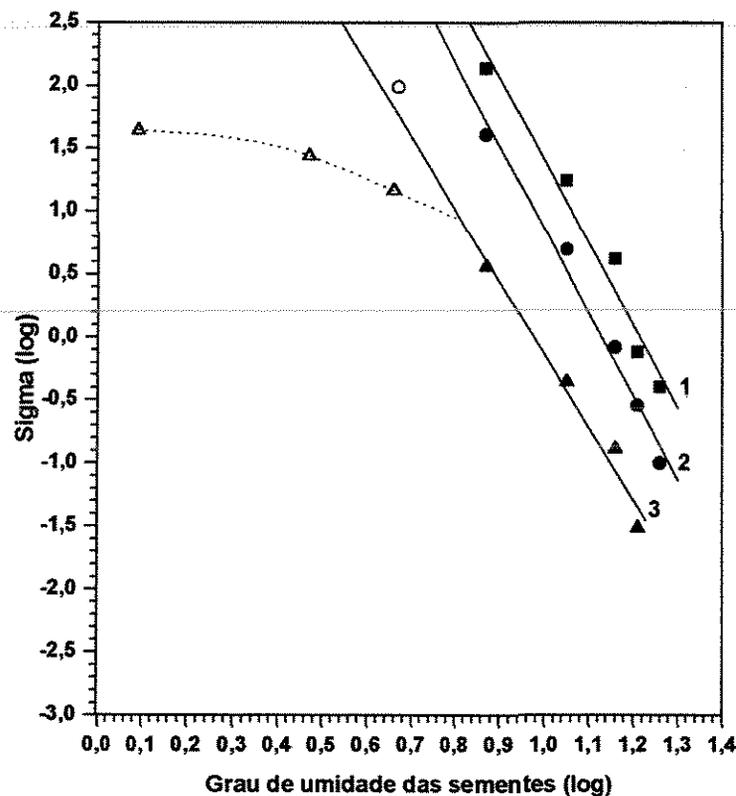


Figura 12. Relação logarítmica entre o grau de umidade (% base úmida) e o desvio padrão da frequência da distribuição das sementes mortas no tempo ( $\sigma$ ) para *Eucalyptus grandis* em armazenamento hermético à 40, 50 e 65°C (1, 2 e 3). As linhas sólidas representam a regressão linear para cada temperatura de armazenamento. Os símbolos fechados representam os graus de umidade e os abertos representam os graus de umidade removidos para dar melhor ajuste na equação de viabilidade.

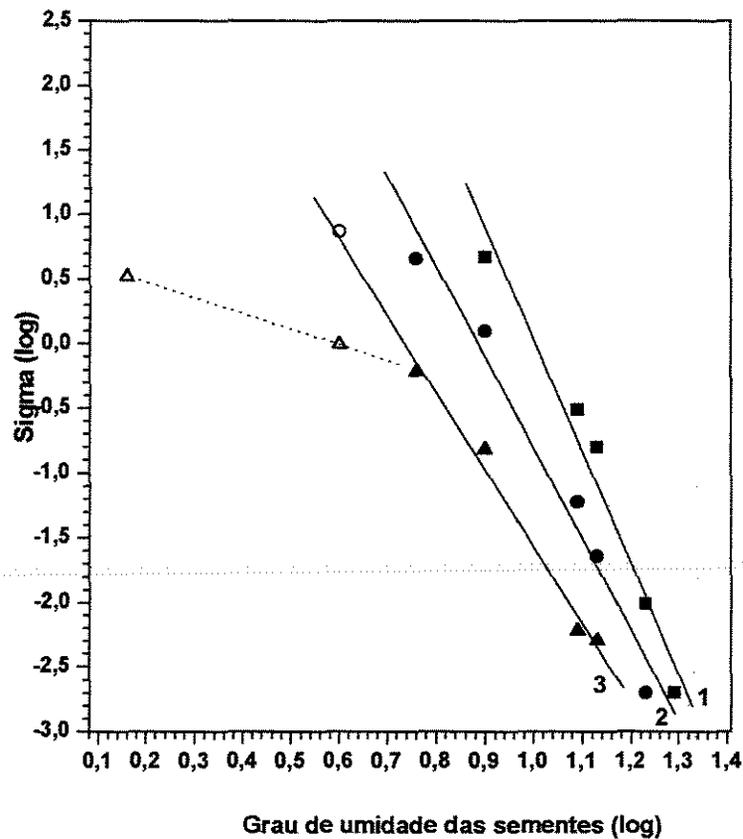


Figura 13. Relação logarítmica entre o grau de umidade (% base úmida) e o desvio padrão da frequência da distribuição das sementes mortas no tempo (sigma) para *Pinus taeda* em armazenamento hermético à 40, 50 e 65°C (1, 2 e 3). As linhas sólidas representam a regressão linear para cada temperatura de armazenamento. Os símbolos fechados representam os graus de umidade e os abertos representam os graus de umidade removidos para dar melhor ajuste na equação de viabilidade.

Para *E. grandis* e *P. taeda* não houve interação significativa entre o logaritmo do grau de umidade das sementes e a temperatura de armazenamento ( $F=0,47$  e  $3,08$ , respectivamente), conforme Tabelas 14 e 15.

Tabela 14. Análise de variância de todos os sigmas para sementes de *Eucalyptus grandis* após análise estatística e adequações.

Fonte	GL	SQ	QM	F
Log. do grau de umidade(LGU)	1	9,153	9,153	250,77 **
Temperatura (T)	2	4,879	2,440	66,83 **
LGU*T	2	0,034	0,017	0,47 ns
Resíduo	8	0,292	0,036	
Total	13	14,356		

Limites de F ao nível de 1%.

Tabela 15. Análise de variância de todos os sigmas para sementes de *Pinus taeda* após análise estatística e adequações.

Fonte	GL	SQ	QM	F
Log. do grau de umidade(LGU)	1	14,600	14,600	138,59 **
Temperatura (T)	2	2,221	1,111	10,54 **
LGU*T	2	0,733	0,367	3,48 ns
Resíduo	8	0,842	0,105	
Total	13	18,396		

Limites de F ao nível de 1%.

Dois diferentes grupos de constantes foram obtidos para prever a longevidade de sementes de *Dalbergia nigra* e *Dimorphandra mollis*, a saber:  $K_E= 5,199$  e  $6,282$ ;  $C_W= 4,524$  e  $3,838$ ;  $C_H= 0,08175$  e  $0,05405$ ;  $C_Q= 0,001641$  e  $0,001316$ , respectivamente. Para as duas espécies foi observada uma relação inversa entre o teor de água e a longevidade das sementes (CHAVES, 2001).

Segundo BONNER (1999), as equações de viabilidade baseadas em 10 anos de armazenamento para quatro espécies florestais *Pinus taeda* L., *P. elliottii* Engelm., *Liquidambar styraciflua* L., e *Platanus occidentalis* L. foram atualizados com 5 anos adicionais dos dados. As constantes encontradas para as espécies foram  $K_E= 1,8486$ ,  $5,5557$ ,  $5,6611$  e  $4,7477$ ;  $C_W= -2,2449$ ,  $1,3787$ ,  $2,1515$  e  $1,3413$ ;  $C_H= 0,0514$ ,  $0,0398$ ,  $0,0280$  e  $0,0392$ ;  $C_Q= -0,00014$ ,  $0,0008$ ,  $0,0009$  e  $0,0007$ , respectivamente. Não houve qualquer

relacionamento entre o índice de lipídeos do embrião das sementes armazenadas com os coeficientes de umidade ( $C_w$ ) destas espécies.

A equação da longevidade foi também determinada para sementes de amendoim, através das constantes  $K_E = 6,177$ ,  $C_w = 3,426$ ,  $C_H = 0,0304$  e  $C_Q = 0,000453$ ; o limite inferior de umidade para aplicação desta equação está ao redor de 2,4% (USBERTI e GOMES, 1998).

MEDEIROS (1997), usando os valores  $K_E = 7,5498$  e  $C_w = 3,76$  encontrados na equação de viabilidade, verificou que a espécie *Astronium urundeuva* (Fr.All.) Engl. apresenta comportamento ortodoxo e, adotando  $C_H = 0,0329$  e  $C_Q = 0,000478$  como constantes universais que descrevem os efeitos de temperatura na longevidade, com a temperatura de -20°C e o grau de umidade das sementes em equilíbrio higroscópico à 15°C e 15% UR, verificou que o tempo previsto para a viabilidade dessas sementes cair de um probit seria de 1.167 anos.

Com a aplicação da equação de viabilidade definida para as espécies em estudo e adotando-se a temperatura de armazenamento de 4°C (geladeira doméstica) e graus de umidade das sementes de 7,51 e 8,02 (em equilíbrio com 40 e 45% UR), obtidos em poucos dias de secagem em sílica gel, espera-se que as sementes de *E. grandis* e as de *P. taeda* necessitarão de 19,9 e 2,9 anos, respectivamente, para a germinação cair de um probit. Este comportamento pode ser explicado devido à diferente composição química dessas sementes, pois as sementes de *E. grandis* apresentam teores médios de lipídeos inferiores as sementes de *P. taeda*.

## 6. CONCLUSÕES

- As sementes de *P. taeda* apresentaram graus de umidade de equilíbrio mais baixos do que as de *E. grandis*, quando armazenadas em condições semelhantes;
- O melhor ajuste das isotermas foi alcançado pelos modelos de Langmuir para *E. grandis*, enquanto que para *P. taeda* foi o de Peleg;
- A redução da germinação para *P. taeda* foi maior do que para *E. grandis*;
- Para as duas espécies foi observada uma relação inversa entre o teor de água e a longevidade das sementes;
- Dois grupos de constantes foram obtidos para prever a longevidade de sementes de *Eucalyptus grandis* e *Pinus taeda*, a saber:  $K_E= 9,661$  e  $8,838$ ;  $C_W= 6,467$  e  $5,981$ ;  $C_H= 0,03498$  e  $0,10340$ ;  $C_Q= 0,0002330$  e  $0,0005476$ , respectivamente;
- Os limites inferiores de grau de umidade calculados para a aplicação da equação a  $65^\circ\text{C}$  para *E. grandis* e *P. taeda* situam-se ao redor de  $4,85$  e  $4,06\%$ , respectivamente.

## 7. BIBLIOGRAFIA

ABIMÓVEL. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDUSTRIAS DO MOBILIÁRIO.  
GORINI, A.P.F. **A Industria de Móveis no Brasil**, o estudo nº2 da coleção leitura  
moveleira, 2000, 80p.

AGUIAR, I.B.; MARDEGAN, A.G. Beneficiamento de sementes de *Eucalyptus saligna* SM.  
**Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, Ano 9, n.2, p.9-17, 1987.

AGUIAR, I.B.; CARVALHO, N.M.; MAIMONI-RODELLA, R.C.S.; DAMASCENO,  
M.C.M. Influência do tamanho sobre a germinação e o vigor de sementes de eucalipto.  
**Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v.1, n.1, p.53-58, 1979.

AGUIAR, I.B.; FIGLIOLIA, M.B.; SILVA A. Secagem, extração e beneficiamento de  
sementes. In: AGUIAR, I.B.; PIÑA-RODRIGUES, F.C.M.; FIGLIOLIA, M.B. **Sementes  
florestais tropicais**, Brasília, ABRATES, 1993, p.303-331.

AGUIAR, I.B.; MELLO, H.A.; BANZATTO, D.A. Métodos de secagem de frutos de  
*Eucalyptus saligna* Sm. para fins de extração de sementes. **IPEF**, Piracicaba, (15) p.89-  
100, 1977.

AGUIAR, I.B.; PIÑA-RODRIGUES, F.C.M.; FIGLIOLIA, M.B. **Sementes Florestais  
Tropicais**, Brasília, ABRATES, 1993, p. 275-302.

AQUALAB. **Analizador de atividade de água Decagon**. Brasil: ABRASEQ, 1997. 21p.  
(Manual, 01).

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY. **Official Methods of Analysis**, W. Washington. 1995.

BAKER, R.J.; NELDER, J.A. *The Glim System. Release 3*. Oxford: Numerical Algorithms Group. 1978.

BELL, D.T. Interaction of fire, temperature and light in the germination response of 16 species from the *Eucalyptus marginata* forest of south-western Western Australia. **Australian Journal of Botany**, v.42, n.29, p.501-509, 1994.

BENEDETTI, B.C.; JORGE, J.T. Curvas de umidade de equilíbrio de vários grãos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.7, n.2, p.172-188, 1987.

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

BOBBIO, P.A. **Química do processamento de alimentos**. 2ed., São Paulo: Varela, 1992, 151p.

BONNER, F.T. Storage principles for tropical tree seed. In: REUNION SOBRE PROBLEMAS EN SEMILLAS FLORESTALES TROPICALES, Quintana Rôo, 1980, México INIF, n.1, 1981, p.213-33.

BONNER, F.T. Storage of seeds: potencial and limitations for germoplasm conservation. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.35, n.1/2, p.35-43, 1990.

BONNER, F.T. Predicting seed longevity for four forest tree species with orthodox seeds. **Seed Science and Technology**, Zürich, v.22, p.361-370, 1994.

BONNER, F.T. Viability equations for forest tree seeds. **Seed Science and Technology**, Zürich, v.27, p.981-989, 1999.

BORGES, E.E.L.; RENA, A.B. Germinação de Sementes. In: AGUIAR, I.B.; PIÑA-RODRIGUES, F.C.M.; FIGLIOLIA, M.B. **Sementes Florestais Tropicais**, Brasília, ABRATES, 1993, p. 83-135.

BRACELPA. SOCIEDADE BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL. Relatório Estatístico 2002, São Paulo, **Bracelpa**, 2003, 98p.

BRADFORD, K.J. Water relations in seed germination. In: KIGEL, J. & GALILI, G. (eds.). **Seed development and germination**, New York: Marcel Dekker, p. 351-396, 1995.

BRASIL, Ministério da Agricultura. Regras para Análise de Sementes, Brasília, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 1992. 365p.

BROOKER, D.B., BAKKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.W. Grain equilibrium moisture content. In: **Drying and storage of grains and oilseeds**, New York, p.67-86, 1992.

CARNEIRO, J.G.A.; AGUIAR, I.B. Armazenamento de sementes. In: AGUIAR, I.B.; PIÑA-RODRIGUES, F.C.M.; FIGLIOLIA, M.B. **Sementes Florestais Tropicais**, Brasília, ABRATES, 1993, p.333-350.

CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. Campinas: Fundação CARGILL. 2ª ed., 2000, 522p.

CAVALCANTI-MATA, M.E.R.M. **Secagem a nível de produtor**. In: SIMPÓSIO ARMAZENAMENTO DE GRÃOS E SEMENTES NAS PROPRIEDADES RURAIS, Campina Grande, UFPB, 1997. 291p.

CHAVES, M.M.F. **Previsão da longevidade de sementes de espécies florestais *Dimorphandra mollis* Benth. Caesalpinaceae e *Dalbergia nigra* (Vell.) Fr. *All. ex Benth.*), Fabaceae**. Campinas, 2001. 68p. Tese (Doutorado), FEAGRI/UNICAMP.

CHIN, H.F.; KRISHNAPILLAY, B.; STANWOOD, P.C. Seed moisture: Recalcitrant vs. orthodox seeds. In: STANWOOD, P.C.; McDONALD, M.B. (eds.). **Seeds moisture**. Madison: Crop Science Society of America, 1989, 115p. (Special publication, 14).

CHINNAN, M.S.; BEAUCHAT, L.R. Sorption isotherms of whole cowpeas and flours. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie**, London, v.18, p.83-8, 1985.

CHUNG, D.S.; PFOST, H.B. Adsorption and desorption of water vapor by cereal grains and their products. Part II. Development of the general isotherm equation. **Transactions of the American Society Agricultural Engineers**, v. 10, p.551-554, 1967a.

CHUNG, D.S.; PFOST, H.B. Adsorption and desorption of water vapor by cereal grains and their products. Part III: A hypothesis for explaining the hysteresis effect. **Transactions of the American Society Agricultural Engineers**, v. 10, p.556-557, 1967b.

CÓRDOBA, G.A.T.; BORGES, E.E.L.; BORGES, R.C.G.; NEVES, J.C.L. Osmocondicionamento, secagem e armazenamento de sementes de *Eucalyptus citriodora* HOOL e *Eucalyptus Grandis* A.W.Hill (ex Maiden). **Revista Brasileira de Sementes**, v. 17, n. 1, p.81-95, 1995.

DELOUCHE, J.C. Environmental effects on seed development and seed quality. **Horticultural Science**, v.15, p.775-780, 1980.

DELOUCHE, J.C. Germinação, deterioração e vigor da semente. **Revista Seed News**, Pelotas, v.6, n.6, p.1-8, 2002.

DELOUCHE, J.C.; MATTHES, R.K.; DOUGHERTY, G.M.; BOYD, A. Storage of seed in sub-tropical and tropical regions. **Seed Science and Technology**, Zurich, v.1, p.671-700, 1973.

DESAI, B.B.; KOTECHA, P.M.; SALUNKHE, D.K. **Seeds handbook: Biology, Production, Processing and Storage**, New York: Basel, 1997. 627p.

DICKIE, J.B.; ELLIS, R.H.; KRAAK, H.L.; RYDER, K.; TOMPSETT, P.B. Temperature and seed storage longevity. **Annals of Botany**, London, v.65, p.197-204, 1990.

DICKIE, J.B.; SMITH, R.D. Observations on the survival of seeds of *Agathis* sp. stored at low moisture contents and temperature. **Seed Science Research**, London, v.5, p.5-14, 1995.

DONI-FILHO, L. **Influência do beneficiamento em algumas características de um lote de sementes de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden baseado na separação pelo tamanho e peso específico**. Piracicaba, 1974. 92p. Tese (Mestrado) - ESALQ.

EIRA, M.T.S.; SALOMÃO, A.N.; CUNHA, R.; CARRARA, D.K.; MELLO, C.M.C. Efeito do teor de água sobre a germinação de sementes de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O.Ktze. - Araucariaceae. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v.16, n.1, 1994, p. 71-75.

ELLIS, R.H.; ROBERTS, E.H. Improved equations for the prediction of seed longevity. **Annals of Botany**, v. 4, n.45, p. 13-30, 1980.

ELLIS, R.H.; OSEI-BONSU, K.; ROBERTS, E.H. The influence of genotype, temperature and moisture on seed longevity in chickpea, cowpea and soybean. **Annals of Botany**, London, v.50, p.69-82, 1982.

ELLIS, R.H. The meaning of viability. In: DICKIE, J.B.; LININGTON, S.H.; WILLIAMS, J.T. (Eds). **Seed management techniques for genebanks: a report of a workshop**. Rome: International Board for Plant Genetic Resources, 1984. 294p.

ELLIS, R.H.; HONG, T.D.; ROBERTS, E.H. Logarithmic relationship between moisture content and longevity in sesame seeds. **Annals of Botany**, London, v.57, p. 499-503, 1986.

ELLIS, R.H.; HONG, T.D.; ROBERTS, E.H. A low-moisture-content limit to logarithmic relations between seed moisture content and longevity. **Annals of Botany**, London, v.61, p.405-408, 1988.

ELLIS, R.H.; HONG, T.D.; ROBERTS, E.H. A comparison of the low-moisture-content limit to the logarithmic relation between seed moisture and longevity in twelve species. **Annals of Botany**, London, v.63, p.601-611, 1989.

ELLIS, R.H.; HONG, T.D.; ROBERTS, E.H. An intermediate category of seed storage behaviour I Coffee. **Journal of Experimental Botany**, London, v.41, n.230, p.1167-1174, 1990.

ELLIS, R.H.; HONG, T.D.; ROBERTS, E.H.; TAO, K.L. Low moisture content limits to relations between seed longevity and moisture. **Annals of Botany**, n. 65, p.493-504, 1990a.

EWART, J.A. **On the longevity of seeds**. Proceedings of the Royal Society of Victoria, v.1, p.2-210, 1908.

FANTINATTI, J.B.; HONÓRIO, S.L.; RAZERA, L.F. Qualidade de sementes de feijão de diversas densidades obtidas na mesa gravitacional. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v.24, n.1, 2002, p.24-32.

FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS. 2002. O setor florestal no Brasil e a importância do reflorestamento. In: ABIMOVEL. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDUSTRIAS DO MOBILIÁRIO. GORINI, A.P.F. **A Indústria de móveis no Brasil**, o estudo nº2 da coleção leitura moveleira, São Paulo, 2000, 80p.

FERREIRA, M. Escolha de espécies de eucalipto. Circular Técnica **IPEF**, v.47, p.1-30, 1979.

FIGLIOLIA, M.B. Informações sobre *Pinus taeda*, caracterização do material genético. Coordenadoria de informações técnicas, documentação e pesquisa ambiental. INSTITUTO FLORESTAL, São Paulo, 2003.

FIGLIOLIA, M.B. Equação para o teor de umidade de equilíbrio estático para produtos biológicos. **Revista de Tecnologia e Ciência**, v.3, p.9-11, 1989.

FLORESTAL. FUNDAÇÃO PARA A CONSERVAÇÃO E A PRODUÇÃO FLORESTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Florestas de produção. **IF**, São Paulo, p.1-2, 2003.

GRABE, D.F. Measurement of seed moisture. In: STANWOOD, P.C.; McDONALD, M.B. (Ed.). **Seed moisture**. Madison: Crop Science Society of América, 1989, p. 69-92 (Special publication, 14).

GENTIL, D.F.O.; FERREIRA, S.A.N. Preparação das subamostras, temperatura e período de secagem na determinação do grau de umidade de sementes de Camu-Camu (*Myrciaria dubia* (H.B.K.) Mc Vaugh), **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v.24, n.2, p.62-69, 2002.

HALL, C.W. **Drying and storage of agricultural crops**. Westport, The AVI Publishing, 1980. 382p.

HALSEY, G. Physical adsorption on uniform surfaces. **Journal of Chemical Physics**, Woodbury, v.16, n.10, p.931-7, 1948.

HARRINGTON, J.F. Practical advice and instructions on seed storage. **Proceedings of the International Seed Testing Association**, Vollebakk, v.28, p.989-994, 1963.

HARRINGTON, J.F. Seed storage and longevity. In: KOZLOWSKI, T.T., Ed. **Seed Biology**. v.3. Academic, New York, 1972, p.145-241.

HARRINGTON, J.F. Packaging seed for storage and shipment. **Seed Science and Technology**, Zürich, v.1, n.3, p. 701-709, 1973.

HUNT, W.H.; PIXTON, S.W. Moisture - Its significance, behaviour and measurement. In: CHRISTENSEN, C.M. **Storage of cereal grains and their products**. American Associety Cereal Chemical Incorporated, Minnesota, USA, p.1-53, 1974.

IPEF. INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS. Certificado de origem e qualidade, Piracicaba, 2003, 2p.

ISTA. INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION. International rules for seed testing. RULES 1999. **Seed Science and Technology**, Zúrique, v.27, supl., p. 283-284, 1999.

JUSTICE, O.L.; BASS, L.N. **Principles and practices of seed storage**. Washington: 1978. 289p. (Agriculture Handbook, 506).

LABOURIAU, L.G. **A germinação das sementes**. OEA: Washington, 1983. 174p.

LABUZA, T.P. Sorption phenomena in foods. **Food technology**, Chicago, v.22, n.3, p.15-24, 1968.

LANGMUIR, I. Adsorption of gases on glass, mica and platinum. **Journal of the American Chemical Society**, n.46, p.1361-1403, 1918.

LASSERAN, J.C. Princípios gerais de secagem. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v.3, n.3, p.46, 1978.

LEITE, N.B. Eucalipto com ciência, plantio consciente. In: SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA, São Paulo, 2003, p.1-5.

LEOPOLD, A.C.; VERTUCCI, C.W. Moisture as a regulator of physiological reactions in seeds. In: STANWOOD, P.C.; McDONALD, M.B. (Eds.) **Seed moisture**. Madison: Crop Science Society of America, 1989. p. 1-67 (Special Publication 14).

LEPRINCE, O.; HENDRY, G.A.F.; McKERSIE, B.D. The mechanisms of desiccation tolerance in developing seeds. **Seed Science Research**, London, v.3, n.4, p.231-246, 1993.

LOEWER, O.J., BRIDGES, T.C.; BUCKLIN, R.A. Principles of drying. In: ON-FARM DRYING AND STORAGE SYSTEMS. **American Society of Agricultural Engineers**, 1994, p.27-71.

---

MEDEIROS, A.C.S. **Comportamento fisiológico, conservação de germoplasma a longo prazo e previsão de longevidade de sementes de aroeira (*Astronium urundeuva* (Fr. All.) Engl.)**. Jaboticabal, 1997. 127p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

---

MOHSENIN, N.N. **Physical properties of plants and animals materials**. 2.ed., Amsterdam: Gordon and Breach Publishers, 1986. 841p.

MORA, A.L.; GARCIA, C.H. A cultura do eucalipto no Brasil, (eds.) **SBS - SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA**, São Paulo, 2000, 112p.

NAKAGAWA, J.; MORI, E.S.; AMARAL, W.A.N.; MELLO, E.J. Envelhecimento acelerado em sementes de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden classificadas por tamanho. **Scientia Forestalis**, n.60, p.99-108, 2001.

NELLIST, M.E.; HUGUES, M. Physical and biological processes in the drying of seed. **Seed Science and Technology**, Zürich, v. 1, n.3, p.613-643, 1973.

NINNI, L. **Modelagem da atividade de água usando métodos de contribuição de grupos**. Campinas, 1999. 101p.Tese (Doutorado). FEA/UNICAMP.

NOVAES, R.F. Aspectos nutricionais e ambientais do eucalipto. **Revista Silvicultura**, n.68, p.10-17, 1996.

PARK, K.J.; NOGUEIRA, R.I. Modelos de ajuste de isotermas de sorção de alimentos. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v.3, n.1, p.81-6, 1992.

PELEG, M. Assessment of a semi-empirical four parameter general model for sigmoid moisture sorption isotherms. **Journal of Food Processing Engineering**, Connecticut-USA, v.16, n.1, p.21-37, 1993.

POPINIGIS, F. **Fisiologia da semente**. AGIPLAN, Brasília, 1985. 289p.

PIXTON, S.W. The importance of moisture and equilibrium relative humidity in stored products. **Tropical Stored Products Information**, v. 43, p.16-29, 1982.

PRANGE, P.W. *Pinus taeda*: a observação que deu início ao sucesso da espécie. In: **SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA**. Memórias, São Paulo, 2003, 1p.

ROA, G.; ROSSI, S.J. Determinação experimental de curvas de teor de umidade de equilíbrio mediante a medição da umidade relativa de equilíbrio. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v.2, n.2, p.17-22, 1977.

ROCKLAND, L.B. Water activity and storage stability. **Food Technology**, 23, p.1241-51, 1969.

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

ROBERTS, E.H. Genetic conservation in seed banks. **Biological Journal of the Linnean Society**, v.43, p.23-29, 1991.

SILVA, J.N.; PINHEIRO FILHO, J.B.; SEDIYAMA, G.C.; CONDÉ, A.R. Curvas de equilíbrio higroscópico do cacau. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v.4, n. 2, p.31-38, 1979.

SILVA, L.F. Propagação e Produção de Clones de *Eucalyptus*. International Paper. **Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais - IPEF**. n° 156, p.4-5, 2001.

SOUZA, G.M.; CARDOSO, V.J.M. Effects of different environmental stresses on seed germination. **Seed Science and Technology**, v.28, n.16, p.621-630, 2000.

SUASSUNA, J. A cultura do *Pinus*: uma perspectiva e uma preocupação. **Revista Brasil Florestal**, ano VIII, n° 29, p.1-21, 1977.

TEIXEIRA NETO, R.O.; QUAST, D.G. Isotermas de adsorção de umidade em alimentos. Campinas: **ITAL**, v.8, p.141-197, 1993.

TOLEDO, F.F.; MARCOS-FILHO, J. **Manual de sementes**. Tecnologia da produção. São Paulo, Ed. Agronomia Ceres, 1977. 224p.

TOMPSETT, P.B. The effect of temperature and moisture content on the longevity of seed of *Ulmus carpinifolia* and *Terminalia brassii*. **Annals of Botany**, London, v.57, p. 875-883, 1986.

TOMPSETT, P.B. Predicting the storage life of orthodox tropical forest tree seeds. In: TURNBULL, J.W. (Ed.) **Tropical tree seed research**, Australian, p.93-8, 1989. (Aciar Proceedings, 28).

USBERTI, R.; GOMES, R.B.G. Seed viability constants for groundnut. **Annals of Botany**, London, v.82, n.5, p.691-694, 1998.

VALENTINI, S.R.T. Efeito da secagem de sementes de peroba-rosa (*Apidosperma polyneuron* M. Arg.). Campinas: 1992. 70p. Tese (Mestrado), FEAGRI/UNICAMP.

VAN DER BERG, C. Description of water activity of foods for engineering purposes by means of the GAB model of sorption. In: MCKENNA, B.M. (ed.). **Engineering and Food**. London: Elsevier Applied Science, v.1, p.311-21, 1984.

VERTUCCI, C.W.; LEOPOLD, A.C. Water binding in legume seeds. **Plant Physiology**, Rockville, v.85, n.85, p. 224-231, 1987.

VIEIRA, I.G. Caracterização do material genético. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais - IPEF, Piracicaba, 2003. 1p.

VIEIRA, J.D.; DINIZ, A.S. Colheita, secagem e beneficiamento de sementes de *Eucalyptus* na Champion Papel e Celulose Ltda. In: MANUAL TÉCNICO DE SEMENTES FLORESTAIS. IF série registros, São Paulo, n.14, 1995, p.13-20.

WORMSBECKER, A. **Atualização em produção de sementes**. Fundação CARGILL, Piracicaba, 1986, 223p.

XIAORONG, H.; YUNLAN, Z.; CHENGLIAN, H.; MEI, T.; SHUPING, C. A comparison of methods for drying seeds: vacuum freeze-drier versus silica gel. **Seed Science Research**, v.8, Supplement n.1, p.29-33, 1998.

ZINK, E.; ROCHELLE, L.A. Estudos sobre a conservação de sementes. XI. Cacau. **Bragantia**, Campinas, v.23, n. 11, 1964, p.111-116.