

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
(BIOLOGIA VEGETAL)

LUÍS FELIPE DAIBES DE ANDRADE

**CARACTERÍSTICAS BIOMÉTRICAS DAS SEMENTES E DESCRIÇÃO DA
RESPOSTA GERMINATIVA PELO MODELO DO TEMPO TÉRMICO EM
DIFERENTES POPULAÇÕES DE *PELTOPHORUM DUBIUM* (SPRENG.) TAUB.**



Rio Claro-SP
2013

LUÍS FELIPE DAIBES DE ANDRADE

**CARACTERÍSTICAS BIOMÉTRICAS DAS SEMENTES E DESCRIÇÃO DA
RESPOSTA GERMINATIVA PELO MODELO DO TEMPO TÉRMICO EM
DIFERENTES POPULAÇÕES DE *PELTOPHORUM DUBIUM* (SPRENG.) TAUB.**

Trabalho de Dissertação apresentado ao Instituto de Biociências da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, campus de Rio Claro, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Ciências Biológicas (Biologia Vegetal).

Orientador: Prof. Dr. Victor José Mendes Cardoso

LUÍS FELIPE DAIBES DE ANDRADE

CARACTERÍSTICAS BIOMÉTRICAS DAS SEMENTES E DESCRIÇÃO DA
RESPOSTA GERMINATIVA PELO MODELO DO TEMPO TÉRMICO EM
DIFERENTES POPULAÇÕES DE *PELTOPHORUM DUBIUM* (SPRENG.) TAUB.

Trabalho de Dissertação apresentado ao
Instituto de Biociências da Universidade
Estadual Paulista “Júlio de Mesquita
Filho”, campus de Rio Claro, como
requisito para obtenção do grau de Mestre
em Ciências Biológicas (Biologia Vegetal).

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Victor José Mendes Cardoso (orientador), UNESP

Profa. Dra. Maria Terezinha Silveira Paulilo, UFSC

Prof. Dr. Massanori Takaki, UNESP

Rio Claro, SP ____ de _____ de _____

*É melhor acender uma vela do que amaldiçoar a escuridão
(Carl Sagan)*

Para minha mãe, Ivani

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto de Biociências e ao Programa de Pós-graduação em Ciências Biológicas (Biologia Vegetal) da UNESP, campus de Rio Claro, especialmente aos professores e técnicos do Departamento de Botânica, que muito contribuíram para minha formação.

À CAPES e ao CNPq pelo suporte financeiro.

Ao meu orientador, prof. Victor, pela atenção e conhecimentos compartilhados.

Ao prof. Massanori Takaki pela ajuda com o datalogger e pelas contribuições no plano de trabalho e na banca de qualificação.

À profa. Alessandra Fidelis pelas boas ideias trocadas e dicas na qualificação.

À profa. Patrícia Morellato, por ter cedido os loggers nos experimentos finais.

Aos professores da banca, especialmente à profa. Maria Terezinha Paulilo, da UFSC.

Às meninas da Secretaria de Pós-graduação, em especial à Vanessa.

À minha família, em especial à minha mãe, Ivani, a quem dedico esta conquista.

Aos amigos que ingressaram comigo no Mestrado: Milene, Rita, Carol, além dos algóticos Danilo, Haruo, Bruno e Thais.

Aos amigos de pós-graduação, especialmente às meninas da Anatomia: Elaine (que se tornou mais-que-uma-irmã), Kaire, Thales, Shirley, Mayra, Blanca. Às meninas da Fenologia: Natalia, Gabi, Bruna. Aos amigos do Jardim Experimental: Camila, Paulo, Henrique (especialmente pela ajuda com o bendito logger...). Aos demais amigos da Botânica: Naiara, Diogo, Rodrigo, Fernando.

À profa. Renita, da Univ. Federal de Rondônia, pela grande amizade, carinho e confiança, por ser sempre uma grande incentivadora do meu trabalho. Aos demais amigos do Labfisió (UNIR), especialmente à Semirian e Jeane, sempre dispostas a ajudar.

Aos amigos dos quais estou longe, em especial à Frances, Alexandre, Diego, Cíntia, Priscila e demais ZL's.

Ao gato Francisco Gabriel (Chicão) que me fez companhia por muitos meses até eu quase morrer de alergia.

Ao André Luís, por todo carinho e apoio na fase mais difícil.

RESUMO

Este estudo teve o objetivo de descrever a biometria de sementes e avaliar a eficiência do modelo do tempo térmico em descrever a resposta germinativa sob condições de laboratório e de simulação de campo em sementes de *Peltophorum dubium* provenientes de quatro diferentes populações. Nós testamos duas hipóteses: (1) os parâmetros biométricos variam de acordo com a população e se correlacionam com a germinação; (2) o modelo descreve o tempo térmico para germinação da espécie, diferindo de acordo com a região climática na qual as sementes foram coletadas. As sementes de Porto Ferreira (Sudeste do Brasil) apresentaram maior comprimento, mas exibiram menor peso, largura e conteúdo de água. As populações do sul não diferiram entre si em nenhum dos parâmetros mensurados e as sementes têm maior velocidade de germinação conforme mais ao sul a coleta, de modo que as sementes de Santa Maria germinam mais rápido do que as outras. Assumindo que a temperatura regula a germinação das sementes, o modelo descreve com acurácia a germinação de *P. dubium* em condições de laboratório. A população de Porto Velho (Norte do Brasil) exibiu maior T_b , enquanto Santa Maria foi mais sensível às temperaturas elevadas, com menor média da distribuição de T_c . Entretanto, quanto maiores as temperaturas nos testes de campo, menor a acurácia do modelo em prever a germinação.

Palavras-chave: Semente. Biometria. Temperatura. Grau-dia. Leguminosa.

ABSTRACT

This study aimed to describe seed biometrics and to evaluate the efficiency of a thermal time model in describing germination responses under laboratory and field simulation conditions of *Peltophorum dubium* from four different populations. We tested two hypotheses: (1) that biometric parameters vary according to population and correlate with seed germination; (2) the model describes the thermal time to germination of the species, differing according to the climate zone in which the seeds were collected. Seeds from Porto Ferreira (Southeastern Brazil) present greater length but are those that exhibit lower weight, width and water content. Southern populations do not differ from each other in any of the parameters measured and the seeds have a higher germination rate as the most southerly the collection, so that seeds of Santa Maria germinate faster than others. Assuming that temperature regulates seed germination, the model accurately described the germination of *P. dubium* under laboratory conditions. The population of Porto Velho (Northern Brazil) showed higher T_b , while Santa Maria was more sensitive to high temperatures, with lower median distribution of T_c . However, in field tests the higher the temperatures the seeds were placed, the lower was the accuracy of the model in predicting germination.

Keywords: Seed. Biometrics. Temperature. Degree-day. Legume.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Distribuição da frequência (%) das classes de peso (massa da semente fresca, em gramas) de diferentes populações de <i>Peltophorum dubium</i> . (A) Porto Velho. (B) Porto Ferreira. (C) Apucarana. (D) Santa Maria.....	27
Figura 2. Distribuição da frequência (%) das classes de comprimento (milímetros) de diferentes populações de <i>Peltophorum dubium</i> . (A) Porto Velho. (B) Porto Ferreira. (C) Apucarana. (D) Santa Maria.....	28
Figura 3. Distribuição da frequência (%) das classes de largura (milímetros) de diferentes populações de <i>Peltophorum dubium</i> . (A) Porto Velho. (B) Porto Ferreira. (C) Apucarana. (D) Santa Maria.....	29
Figura 4. Distribuição da frequência (%) das classes de espessura (milímetros) de diferentes populações de <i>Peltophorum dubium</i> . (A) Porto Velho. (B) Porto Ferreira. (C) Apucarana. (D) Santa Maria.....	30
Figura 5. Germinabilidade a 25°C em diferentes populações de <i>Peltophorum dubium</i> . Barras verticais indicam desvio padrão. PVH = Porto Velho, PFR = Porto Ferreira, APC = Apucarana, SMA = Santa Maria.....	31
Figura 6. Velocidade média de germinação a 25°C em diferentes populações de <i>Peltophorum dubium</i> . Barras verticais indicam desvio padrão. PVH = Porto Velho, PFR = Porto Ferreira, APC = Apucarana, SMA = Santa Maria.....	31
Figura 7. Germinabilidade (G %) em função da temperatura (°C) para diferentes populações de sementes de <i>Peltophorum dubium</i> . (A) Porto Velho. (B) Porto Ferreira. (C) Apucarana. (D) Santa Maria.....	44
Figura 8. Velocidade média de germinação (dias ⁻¹) em função da temperatura (°C) para diferentes populações de sementes de <i>Peltophorum dubium</i> . (A) Porto Velho. (B) Porto Ferreira. (C) Apucarana. (D) Santa Maria.....	45
Figura 9. Germinabilidade (G %) no intervalo infraótimo em função do tempo térmico (°C/dia) para diferentes populações de sementes de <i>Peltophorum dubium</i> . (A) Porto Velho. (B) Porto Ferreira. (C) Apucarana. (D) Santa Maria.....	46
Figura 10. Germinabilidade (G %) no intervalo supraótimo em função da temperatura teto (T _c , °C) para diferentes populações de sementes de <i>Peltophorum dubium</i> . (A) Porto Velho. (B) Porto Ferreira. (C) Apucarana. (D) Santa Maria.....	47
Figura 11. Curva de germinação acumulada esperada (linha pontilhada) e observada (símbolos) ao longo do tempo em condições de laboratório sob temperatura do intervalo ótimo (~27°C). (A) Porto Velho. (B) Porto Ferreira. (C) Apucarana. (D) Santa Maria.....	48

Figura 12. Curva de germinação acumulada esperada (linha pontilhada) e observada (símbolos) ao longo do tempo em condições de laboratório sob temperatura do intervalo infraótimo (~17°C). (A) Porto Velho. (B) Porto Ferreira. (C) Apucarana. (D) Santa Maria.....	49
Figura 13. Curva de germinação acumulada esperada (linha pontilhada) e observada (símbolos) ao longo do tempo em condições de laboratório sob temperatura do intervalo supraótimo (33-34°C). (A) Porto Velho. (B) Porto Ferreira. (C) Apucarana. (D) Santa Maria.....	50
Figura 14. Simulação de campo I (julho de 2012, temperatura média 20,4°C). Curva de germinação acumulada esperada (linha pontilhada) e observada (linha contínua) ao longo do tempo. (A) Porto Velho. (B) Porto Ferreira. (C) Apucarana. (D) Santa Maria.....	55
Figura 15. Simulação de campo II (agosto de 2012, temperatura média 21,5°C). Curva de germinação acumulada esperada (linha pontilhada) e observada (linha contínua) ao longo do tempo. (A) Porto Velho. (B) Porto Ferreira. (C) Apucarana. (D) Santa Maria.....	56
Figura 16. Simulação de campo III (setembro de 2012, temperatura média 23,2°C). Curva de germinação acumulada esperada (linha pontilhada) e observada (linha contínua) ao longo do tempo. (A) Porto Velho. (B) Porto Ferreira. (C) Apucarana. (D) Santa Maria.....	57
Figura 17. Simulação de campo IV (outubro de 2012, temperatura média 32,2°C). Curva de germinação acumulada esperada (linha pontilhada) e observada (linha contínua) ao longo do tempo. (A) Porto Velho. (B) Porto Ferreira. (C) Apucarana. (D) Santa Maria.....	58
Figura 18. Simulação de campo V (dezembro de 2012, temperatura média 24,7°C). Curva de germinação acumulada esperada (linha pontilhada) e observada (linha contínua) ao longo do tempo. (A) Porto Velho. (B) Porto Ferreira. (C) Apucarana. (D) Santa Maria.....	59
Figura 19. Simulação de campo VI, Controle (janeiro de 2013, temperatura média 27,2°C). Curva de germinação acumulada esperada (linha pontilhada) e observada (linha contínua) ao longo do tempo. (A) Porto Velho. (B) Porto Ferreira. (C) Apucarana. (D) Santa Maria.....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Peso médio (g), comprimento, largura e espessura (mm) \pm desvio padrão das sementes das populações estudadas de <i>Peltophorum dubium</i>	24
Tabela 2. Teor de água médio (%) \pm desvio padrão das sementes de diferentes populações de <i>Peltophorum dubium</i>	26
Tabela 3. Caracterização das localidades de coleta de diferentes populações de <i>Peltophorum dubium</i>	37
Tabela 4. Mês e temperaturas média, mínima e máxima das simulações de campo conduzidas com diferentes populações de <i>Peltophorum dubium</i>	38
Tabela 5. Parâmetros da germinação gerados pela análise de Probit para diferentes populações de <i>Peltophorum dubium</i>	43

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
1.1 Biometria e germinação de sementes de leguminosas arbóreas.....	12
1.2 O modelo do tempo térmico.....	13
1.3 Referências bibliográficas.....	16
2 CAPÍTULO I: CARACTERIZAÇÃO BIOMÉTRICA E GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE <i>PELTOPHORUM DUBIUM</i> PROVENIENTES DE DIFERENTES POPULAÇÕES.....	21
2.1 Abstract.....	21
2.2 Introdução.....	21
2.3 Material e métodos.....	22
<i>Material biológico.....</i>	<i>22</i>
<i>Caracterização biométrica e germinação.....</i>	<i>22</i>
<i>Análise estatística.....</i>	<i>23</i>
2.4 Resultados e discussão.....	24
2.5 Conclusão.....	31
2.6 Referências bibliográficas.....	32
3 CAPÍTULO II: GERMINAÇÃO DE DIFERENTES POPULAÇÕES DE <i>PELTOPHORUM DUBIUM</i> DESCRITA PELO MODELO DO TEMPO TÉRMICO.....	35
3.1 Abstract.....	35
3.2 Introdução.....	35
3.3 Material e métodos.....	37
<i>Material biológico.....</i>	<i>37</i>
<i>Germinação em temperaturas constantes.....</i>	<i>37</i>
<i>Simulação de campo (variação natural de temperatura).....</i>	<i>38</i>
<i>Parâmetros germinativos e análise de Probit.....</i>	<i>38</i>
<i>Avaliação do modelo em condições de campo.....</i>	<i>39</i>
<i>Análise estatística.....</i>	<i>39</i>
3.4 Resultados e discussão.....	40
<i>Germinação em temperaturas constantes e modelo do tempo térmico.....</i>	<i>40</i>
<i>Simulação de campo.....</i>	<i>51</i>
3.5 Conclusão.....	54
3.6 Referências bibliográficas.....	61

1 INTRODUÇÃO

A germinação de sementes é um processo biológico que se inicia com a hidratação do embrião (embebição) e termina com o alongamento do eixo embrionário, transformando uma unidade de dispersão quiescente em uma plântula em crescimento (Bewley & Black, 1994; Johnson, 2003). O alongamento do eixo embrionário é marcado pela ruptura, em geral por meio da raiz primária, dos tecidos que cercam o embrião, o que chamamos de germinação visível (Bewley, 1997).

O processo germinativo é afetado por diversos fatores bióticos e abióticos. Entre estes, a temperatura desempenha um papel fundamental, determinando diretamente a capacidade de germinação de um lote de sementes e catalisando a velocidade do processo germinativo. Em muitos casos, além de agir diretamente sobre a germinação, a temperatura do meio pode induzir ou quebrar a dormência das sementes (Probert, 2000).

A germinação de leguminosas arbóreas ainda é estudada basicamente do ponto de vista da análise da qualidade e da tecnologia para produção de mudas, enquanto poucos são os estudos envolvendo aspectos mais aprofundados dessas sementes. Sabemos que muitas dessas espécies apresentam dormência física, ou seja, o tegumento impermeável à água (Morrison et al., 1998; Baskin, 2003). Nesse contexto, *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub. é uma leguminosa arbórea nativa de regiões tropicais e subtropicais da América do Sul (Lewis, 2013). A espécie é um bom modelo biológico para estudo da germinação de leguminosas arbóreas por produzir grande quantidade de sementes viáveis e por ser facilmente encontrada em populações naturais ou plantadas para arborização urbana.

As sementes de *P. dubium* são consideradas estenospérmicas – apresentam pouca variabilidade, de acordo com o conceito de Beltrati (1990) –, oblongas e comprimidas lateralmente; sua superfície é lisa, de coloração castanho-esverdeada-clara (Donadio & Demattê, 2000). São ortodoxas em relação ao armazenamento e a germinação é rápida (Wielewicki et al., 2006; Guimarães et al., 2011). A madeira é de boa qualidade e a espécie é considerada importante para utilização na recuperação de áreas degradadas por sua importância ecológica, rápido crescimento e caráter de sucessão inicial.

Nesse contexto, elaboramos as seguintes perguntas. Quais as diferenças biométricas (massa, largura, comprimento e altura) em sementes de populações de

uma mesma espécie de leguminosa arbórea provenientes de diferentes regiões geográficas? De que forma o modelo do tempo térmico descreve o efeito da temperatura sobre a germinação e qual a diferença nos parâmetros germinativos gerados por esse modelo entre as populações?

O objetivo deste estudo foi descrever a biometria de sementes e estudar a germinação em função de temperaturas constantes e condições de campo, utilizando o modelo do tempo térmico, em quatro populações de *P. dubium* provenientes de diferentes regiões geográficas. Para tanto, testamos as seguintes hipóteses: (1) A biometria das sementes varia de acordo com a população de origem, o que afeta também a germinação. (2) O modelo do tempo térmico descreve a germinação da espécie em temperaturas constantes (em laboratório) e variáveis (em condições de campo), diferindo de acordo com a região climática na qual as sementes foram coletadas.

1.1 Biometria e germinação de sementes de leguminosas arbóreas

As sementes variam em tamanho, peso, forma e cor, características importantes na identificação de espécies (Beltrati & Paoli, 2006). A biometria das sementes está relacionada a características da dispersão e do estabelecimento das plântulas (Fenner, 1993; Fenner & Thompson, 2005), sendo também utilizada para diferenciar espécies pioneiras e climáticas em florestas tropicais (Baskin & Baskin, 2001; Souza & Valio, 2001).

Entre indivíduos da mesma espécie existem diferenças que podem estar relacionadas ao meio no qual as sementes tiveram o seu desenvolvimento e/ou à variabilidade genética da população que está se reproduzindo, de modo que o tamanho das sementes varia entre lotes. O tamanho da semente é indicativo de sua qualidade fisiológica. Normalmente as sementes pequenas de um mesmo lote apresentam menor vigor (em relação à emergência de plântulas) em comparação com as sementes maiores (Popinigis, 1985). A caracterização biométrica de frutos e de sementes fornece informações importantes que contribuem para a diferenciação de espécies do mesmo gênero (Cruz et al., 2001a).

Entre as leguminosas arbóreas, são comuns trabalhos com a biometria de sementes e frutos do gênero *Hymenaea* (Botelho et al., 2000; Cruz et al., 2001a;

Pereira et al., 2011; Cunha-Silva et al., 2012). Santiago & Paoli (1999) apresentam uma descrição morfoanatômica do fruto e da semente de *Peltophorum dubium*. Donadio & Demattê (2000) fazem uma descrição morfológica de frutos, sementes e plântulas de *P. dubium* e *Dalbergia nigra*, sem traçar relação entre esses parâmetros e a germinação das espécies.

Alves et al. (2005) concluem que a procedência influencia fortemente a germinação de sementes de *Mimosa caesalpiniiifolia*. Outros trabalhos de cunho semelhante estudam os gêneros *Caesalpinia* (Biruel et al., 2010), *Parkia* (Cruz et al., 2001b), *Dinizia* e *Cedrelinga* (Melo & Varela, 2006), *Dimorphandra* (Ferreira et al., 2001) e *Amburana* (Cunha & Ferreira, 2003).

1.2 O modelo do tempo térmico

A germinação é um fenômeno que ocorre dentro de limites estabelecidos de temperatura, que variam de espécie para espécie determinando sua distribuição geográfica (Labouriau, 1978; 1983; Larcher, 2000). A temperatura a partir e abaixo da qual não se observa mais a germinação é dita T_b (temperatura base), de modo semelhante, conforme aumentamos a disponibilidade térmica, chegamos a uma temperatura a partir e acima da qual as sementes não germinam mais (T_c ou temperatura teto).

Assim, a temperatura ou faixa ótima (aquela na qual a germinação é maior e mais rápida) divide em dois segmentos a resposta das sementes: um intervalo infra e um intervalo supraótimo. A aplicação da teoria do tempo térmico ($^{\circ}\text{C}/\text{dia}$) à germinação leva em conta a existência de uma relação linear entre a velocidade do processo germinativo e a temperatura (Cardoso, 2011). No intervalo infraótimo a velocidade de germinação aumenta a partir de T_b , conforme o aumento da temperatura, até a temperatura ótima. No intervalo supraótimo a velocidade do processo decai a partir da faixa ótima até T_c .

Outro pressuposto é o de que num lote ou população de sementes o processo germinativo não é uniforme, existindo variações entre as necessidades térmicas dos indivíduos, gerando frações “mais rápidas” e “mais lentas” na ordem de germinação (Cardoso & Pereira, 2009). Isso permite que as sementes sejam enquadradas em frações g , ou seja, é possível estimar o tempo para germinação de 5, ou 10, ou 20,

ou 50% das sementes da população e assim por diante (Garcia-Huidobro et al., 1982).

Modelos baseados no conceito de tempo térmico, tempo hídrico e hidrotérmico têm sido desenvolvidos a fim de prever e estimar a germinação. Essa modelagem indica que o tempo de germinação está relacionado à temperatura e/ou potencial hídrico limitantes para a emergência da radícula de uma população ou lote de sementes. A quantidade de graus-dia (θ) que um sistema vivo acumula no ambiente é representada pela quantidade de °C acima da T_b multiplicada pelo tempo (t) de exposição (Equação 1).

$$\theta_{(g)} = (T - T_b) \cdot t_{(g)} \quad (\text{Equação 1})$$

Bierhuizen & Wagenvoort (1974) apresentam a determinação e aplicação da “soma térmica” de graus-dia e da temperatura base para a germinação de espécies cultivadas da Holanda. Outro dos trabalhos pioneiros e de destaque na modelagem de sementes é o de Garcia-Huidobro et al. (1982), no qual os autores estudam a germinação em diferentes temperaturas constantes utilizando uma gramínea (*Pennisetum typhoides*) como modelo.

Gummerson (1986) apresenta a modelagem do tempo hidrotérmico na descrição da resposta germinativa de beterraba (*Beta vulgaris*). Bradford (1995) demonstra a utilização do modelo do tempo hídrico para descrever os efeitos do potencial de água na germinação. Alvarado & Bradford (2002) propõem modificação no modelo do tempo hidrotérmico, incluindo mudanças no valor de $\psi_{b(g)}$ quando as temperaturas são maiores do que a faixa ótima. Bradford (2005) discute a aplicação da modelagem no estudo da ecologia de sementes.

Basicamente, o modelo relaciona um dado processo de desenvolvimento com a energia térmica recebida pelo sistema, partindo do pressuposto que o sistema só acumula energia na forma de temperatura acima da sua T_b . O conceito de tempo térmico prevê medida de como o tempo fisiológico se relaciona com muitos seres poiquilotérmicos (aqueles cuja temperatura corporal é semelhante à do ambiente), especialmente plantas e invertebrados (Trudgill et al., 2005). Conhecendo-se essa relação representada, no caso do processo de germinação, pelo parâmetro $\theta_{(g)}$, e conhecendo-se T_b , é possível prever o tempo necessário para que uma dada

porcentagem das sementes de uma população germine num determinado regime térmico (Equação 2).

$$t_{(g)} = \theta_{(g)}/(T-T_b) \quad (\text{Equação 2})$$

Utilizando-se essa modelagem, é possível ao invés de representar o efeito da temperatura na germinação por meio de uma série de curvas de germinação (uma para cada temperatura testada), plotar uma única curva representativa da porcentagem de sementes germinadas contra o tempo térmico. Para quantificar essa relação, utilizamos análise de Probit a fim de linearizar os dados, traçar uma reta de regressão e estabelecer um valor de R^2 para representar o quanto a germinação observada é semelhante ao esperado pelo modelo (Ellis et al., 1986; Bradford, 1995; Alvarado & Bradford, 2002; Cardoso 2011).

$$\text{probit}_{(g)} = a + \log \theta_{(g)}/\sigma_{(\theta)} \quad (\text{Equação 3})$$

Sendo a o intercepto, $\theta_{(g)}$ a quantidade de tempo térmico para germinação de uma dada fração g (ex. 50%) e $\sigma_{(\theta)}$ o desvio padrão da distribuição dos valores de tempo térmico, cujo valor corresponde ao inverso do coeficiente de inclinação da reta, b .

O modelo vem sendo utilizado como subsídio para o manejo de espécies daninhas (Kebreab & Murdoch, 1999; Steinmaus et al., 2000; Grundy et al., 2000; Grundy et al., 2003; Cardoso & Pereira, 2009). Outra utilização é para o melhor aproveitamento de espécies forrageiras, permitindo estimativas da emergência de plântulas no campo (Moot et al., 2000; McDonald, 2002; Qiu et al., 2006).

Finch-Savage et al. (2001) e Rowse & Finch-Savage (2003) descrevem o comportamento germinativo da cenoura, *Daucus carota*, e da cebola, *Allium cepa*, por meio do modelo do tempo hidrotérmico. Diversas leguminosas cultivadas, como a soja, *Glycine max*, o grão-de-bico, *Cicer arietinum*, o feijão, *Phaseolus vulgaris*, e a lentilha, *Lens culinaris*, também são utilizadas como modelo biológico em diversos trabalhos (Covell et al., 1986; Ellis et al., 1986; White & Montes-R, 1993; Ellis & Barrett, 1994).

Esse modelo relativamente simples caracteriza o comportamento germinativo de sementes em um gradiente de condições ambientais e estágios de dormência,

podendo ser utilizado na elaboração de modelos mais gerais da germinação e emergência de plântulas no campo (Bradford 2005). O modelo é capaz de descrever a perda da dormência em sementes de *Polygonum aviculare* (Batlla & Benech-Arnold, 2003). Recentemente, a modelagem tem sido utilizada para caracterizar a germinação de espécies tropicais adaptadas a regiões semiáridas, como *Jatropha curcas* (Windauer et al., 2012), uma Euphorbiaceae arbórea utilizada para produção de biodiesel, e o cacto epifítico *Hylocereus setaceus* (Simão et al., 2010).

Estudos com modelagem da germinação de espécies arbóreas tropicais ainda são escassos, a despeito de sua aplicabilidade ecológica e potencial uso no manejo florestal e aproveitamento econômico dessas espécies. Enquanto estudo aplicado, os resultados apresentam utilização direta na produção vegetal de espécies florestais para manejo e reflorestamento, tornando-se importante ferramenta na conservação da biodiversidade.

1.3 Referências bibliográficas

Alvarado V, Bradford KJ. A hydrothermal time model explains the cardinal temperatures for seed germination. **Plant, Cell and Environment**. 25, 1061-1069. 2002.

Alves EU, Bruno RLA, Oliveira AP, Alves AU, Alves AU, Paula RC. Influência do tamanho e da procedência de sementes de *Mimosa caesalpinifolia* Benth. sobre a germinação e vigor. **R. Árvore**. 29(6), 877-885. 2005.

Baskin CC. Breaking physical dormancy in seeds – focussing on the lens. **New Phytologist**. 158, 227-238. 2003.

Baskin CC, Baskin JM. **Seeds**. Ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination. San Diego: Academic Press. 2001.

Batlla D, Benech-Arnold RL. A quantitative analysis of dormancy loss dynamics in *Polygonum aviculare* L. seeds: Development of a thermal time model based on changes in seed population thermal parameters. **Seed Science Research**. 13, 55-68. 2003.

Beltrati CM. **Morfologia e anatomia de sementes**. Apostila. Rio Claro: UNESP, Instituto de Biociências, Departamento de Botânica. 100p. 1990.

Beltrati CM, Paoli AAS. Semente. In: Apezato-da-Glória B, Carmello-Guerreiro SM (Ed.). **Anatomia Vegetal**. 2ª edição. Editora UFV. 438p. 2006.

Bewley JD. Seed germination and dormancy. **The Plant Cell**. 9, 1055-1066. 1997.

Bewley JD, Black M. **Seeds: Physiology of Development and Germination**. 2nd edition. New York: Plenum Press. 1994.

Bierhuizen JF, Wagenvoort WA. Some aspects of seed germination in vegetables. 1. The determination and application of heat sums and minimum temperature for germination. **Scientia Hort**. 2, 213-219. 1974.

Biruel RP, Paula RC, Aguiar IB. Germinação de sementes de *Caesalpinia leiostachya* (Benth.) Ducke (pau-ferro) classificadas pelo tamanho e pela forma. **R. Árvore**. 34(2), 197-204. 2010.

Botelho SA, Ferreira RA, Malavasi MM, Davide AC. Aspectos morfológicos de frutos, sementes, plântulas e mudas de jatobá-do-cerrado (*Hymenaea stigonocarpa* Mart.ex Hayne) – Fabaceae. **Revista Brasileira de Sementes**. 22(1), 144-152. 2000.

Bradford KJ. Water relations in seed germination. In: Kigel J, Galili G (Ed.). **Seed development and germination**. New York: Marcel Dekker. 351-396. 1995.

Bradford KJ. Threshold models applied to seed germination ecology. **New Phytologist**. 165, 338-341. 2005.

Cardoso VJM. Metodologia para análise da dependência térmica da germinação pelo modelo de graus-dia. **Oecologia Australis**. 15(2), 236-248. 2011.

Cardoso VJM, Pereira FJM. Dependência térmica da germinação de sementes de *Drymaria cordata* (L.) Willd. ex Roem. & Schult. (Cariophyllaceae). **Acta Bot. Bras**. 23(2), 305-312. 2009.

Covell S, Ellis RH, Roberts EH, Summerfield RJ. The influence of temperature on seed germination rate in grain legumes. I. A comparison of chickpea, lentil, soyabean and cowpea at constant temperatures. **Journal of Experimental Botany**. 37(178), 705-715. 1986.

Cruz ED, Carvalho JED, Leão NVM. Métodos para superação de dormência e biometria de frutos e sementes de *Parkia nitida* Miquel. (Leguminosae – Mimosoideae). **Acta Amazonica**. 31(2), 167-177. 2001b.

Cruz ED, Martins FO, Carvalho JEU. Biometria de frutos e sementes e germinação de jatobá-curuba (*Hymenaea intermedia* Ducke, Leguminosae - Caesalpinioideae). **Revista Brasil. Bot**. 24(2), 161-165. 2001a.

Cunha MCL, Ferreira RA. Aspectos morfológicos da semente e do desenvolvimento da planta jovem de *Amburana cearensis* (Arr. Cam.) A.C. Smith - cumaru - Leguminosae Papilionoideae. **Revista Brasileira de Sementes**. 25(2), 89-96. 2003.

Cunha-Silva GR, Rodrigues CM, Miranda SC. Dados biométricos de frutos e sementes de *Hymenaea courbaril* var. *stilbocarpa* (Hayne) Y. T. Lee & Langenh e *H. martiana* Hayne. **Biotemas**. 25 (3), 121-127. 2012

Donadio NMM, Demattê MESP. Morfologia de frutos, sementes e plântulas de canafístula (*Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub.) e jacarandá-da-bahia (*Dalbergia nigra* (Vell.) Fr.All. ex Benth.) – Fabaceae. **Revista Brasileira de Sementes.** 22(1), 64-73. 2000.

Ellis RH, Barrett S. Alternating temperatures and rate of seed germination in lentil. **Annals of Botany.** 74, 519-524. 1994.

Ellis RH, Covell S, Roberts EH, Summerfield RJ. The influence of temperature on seed germination rate in grain legumes. II. Intraspecific variation in chickpea (*Cicer arietinum* L.) at constant temperatures. **Journal of Experimental Botany.** 37(183), 1503-1515. 1986.

Fenner M. **Seed ecology.** London: Chapman & Hall. 1993.

Fenner F, Thompson K. **The ecology of seeds.** Cambridge University Press. 2005.

Ferreira RA, Botelho SA, Davide AC, Malavasi MM. Morfologia de frutos, sementes, plântulas e plantas jovens de *Dimorphandra mollis* Benth. - faveira (Leguminosae-Caesalpinioideae). **Revista Brasil. Bot.** 24(3), 303-309. 2001.

Finch-Savage WE et al. Seed reserve-dependent growth responses to temperature and water potential in carrot (*Daucus carota* L.). **Journal of Experimental Botany.** 52(364), 2187-2197. 2001.

Garcia-Huidobro J, Monteith JL, Squire GR. Time, temperature and germination of Pearl Millet (*Pennisetum typhoides* S. & H.). **Journal of Experimental Botany.** 33(133), 288-296. 1982.

Grundy AC, Phelps K, Reader RJ, Burston S. Modelling the germination of *Stellaria media* using the concept of hydrothermal time. **New Phytol.** 148, 433-444. 2000.

Grundy AC, Peters NCB, Rasmussen IA. Emergence of *Chenopodium album* and *Stellaria media* of different origins under different climatic conditions. **Weed Research.** 43, 163-176. 2003.

Guimarães CC, Faria JMR, Oliveira JM, Silva EAA. Avaliação da perda da tolerância à dessecação e da quantidade de DNA nuclear em sementes de *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taubert durante e após a germinação. **Revista Brasileira de Sementes.** 33(2), 207-215. 2011.

Gummerson RJ. The effect of constant temperatures and osmotic potentials on the germination of sugar beet. **Journal of Experimental Botany.** 37(179), 729-741. 1986.

Johnson R. Germination. **Encyclopedia of Applied Plant Sciences.** 1298-1304. 2003.

Kebreab E, Murdoch AJ. Modelling the effects of water stress and temperature on

germination rate of *Orobanche aegyptiaca* seeds. **Journal of Experimental Botany**. 50(334), 655–664. 1999.

Labouriau LFG. **A germinação das sementes**. Washington: Organização dos Estados Americanos. 174p. 1983.

Labouriau LFG. Seed germination as a thermobiological problem. **Rad. and Environm. Biophys**. 15, 345-366. 1978.

Larcher W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RIMA. 531p. 2000.

Lewis GP. *Peltophorum* in **Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2013. Disponível em: (<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB83566>). Acesso em 4 de março de 2013.

McDonald CK. Germination response to temperature in tropical and subtropical pasture legumes. 1. Constant temperature. **Australian Journal of Experimental Agriculture**. 42, 407-419. 2002.

Melo MFF, Varela VP. Aspectos morfológicos de frutos, sementes, germinação e plântulas de duas espécies florestais da Amazônia. I. *Dinizia excelsa* Ducke (angelim-pedra). II *Cedrelinga catenaeformis* Ducke (cedrorana) - Leguminosae: Mimosoideae. **Revista Brasileira de Sementes**. 28(1), 54-62. 2006.

Moot DJ et al. Base temperature and thermal time requirements for germination and emergence of temperate pasture species. **New Zealand Journal of Agricultural Research**. 43(1), 15-25. 2000.

Morrison DA, McClay K, Porter C, Rish S. The role of the lens in controlling heat-induced breakdown of testa-imposed dormancy in native Australian legumes. **Annals of Botany**. 82, 35-40. 1998.

Pereira SR, Giraldelli GR, Laura VA, Souza ALT. Tamanho de frutos e de sementes e sua influência na germinação de jatobá-do-cerrado (*Hymenaea stigonocarpa* var. *stigonocarpa* Mart. ex Hayne, Leguminosae – Caesalpinoideae). **Revista Brasileira de Sementes**. 33(1), 141-148. 2011.

Popinigis F. **Fisiologia da semente**. 2ª edição. Brasília. 289p. 1985.

Probert RJ. The role of temperature in the regulation of seed dormancy and germination. In: Fenner M (Ed.). **Seeds: The ecology of regeneration in plant communities**, 2nd edition. Wallingford: CABI Publishing. 261--292. 2000.

Qiu J, Bai Y, Coulman B, Romo JT. Using thermal time models to predict seedling emergence of orchardgrass (*Dactylis glomerata* L.) under alternating temperature regimes. **Seed Science Research**. 16, 261-271. 2006.

Rowse HR, Finch-Savage WE. Hydrothermal threshold models can describe the

germination response of carrot (*Daucus carota*) and onion (*Allium cepa*) seed populations across both sub- and supra-optimal temperatures. **New Phytologist**. 158, 101-108. 2003.

Santiago EF, Paoli AAS. Morfologia do fruto e da semente de *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taubert. (Leg. – Caesalpinoideae). **Naturalia**. 24, 139-152. 1999.

Simão E, Takaki M, Cardoso VJM. Germination response of *Hylocereus setaceus* (Salm-Dyck ex DC.) Ralf Bauer (Cactaceae) seeds to temperature and reduced water potentials. **Braz. J. Biol.** 70(1), 135-144. 2010.

Souza RP, Valio IFM. Seed size, seed germination, and seedling survival of Brazilian tropical tree species differing in successional status. **Biotropica**. 33(3), 447-457. 2001.

Steinmaus SJ, Prather TS, Holt JS. Estimation of base temperatures for nine weed species. **Journal of Experimental Botany**. 51(343), 275-286. 2000.

Trudgill DL, Honek A, Li D, Van Straalen NM. Thermal time – concepts and utility. **Annals of Applied Biology**. 146, 1-14. 2005.

White JW, Montes-R C. The influence of temperature on seed germination in cultivars of common bean. **Journal of Experimental Botany**. 44(269), 1795-1800. 1993.

Wielewicki AP, Leonhardt C, Schlindwein G, Medeiros ACS. Proposta de padrões de germinação e teor de água para sementes de algumas espécies florestais presentes na região Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Sementes**. 28(3), 191-197. 2006.

Windauer LB, Martinez J, Rapoport D, Wassner D, Benech-Arnold RL. Germination responses to temperature and water potential in *Jatropha curcas* seeds: a hydrotime model explains the difference between dormancy expression and dormancy induction at different incubation temperatures. **Annals of Botany**. 109, 265-273. 2012.

2 CAPÍTULO I:

CARACTERIZAÇÃO BIOMÉTRICA E GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE *PELTOPHORUM DUBIUM* PROVENIENTES DE DIFERENTES POPULAÇÕES

2.1 Abstract

This study aimed to describe the biometrics of seeds from four different populations of *Peltophorum dubium*, testing the hypothesis that biometric parameters vary according to population and correlate with germination. Seeds from Porto Ferreira present greater length but are those that exhibit lower weight, width and water content. Southern populations do not differ from each other in any of the parameters measured and the seeds have a higher germination rate as the most southerly the collection, so that seeds of Santa Maria germinate faster than others.

2.2 Introdução

Existe uma enorme variedade de formas e tamanhos das sementes entre as espécies vegetais do mundo (Leishman et al., 2000). A caracterização biométrica de frutos e de sementes fornece informações importantes que contribuem para a diferenciação de espécies do mesmo gênero (Cruz et al., 2001). O tamanho da semente é indicativo de sua qualidade fisiológica, ou seja, as sementes pequenas de um mesmo lote apresentam menor vigor (relacionado à emergência de plântulas) em comparação com as sementes maiores (Popinigis, 1985).

A germinação de leguminosas arbóreas ainda é pouco estudada. Sabemos que muitas dessas espécies apresentam dormência física, ou seja, o tegumento impermeável à água (Morrison et al., 1998; Baskin, 2003). Nesse contexto, *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub. é uma leguminosa arbórea nativa de regiões tropicais e subtropicais da América do Sul (Lewis, 2013). *P. dubium* produz grande quantidade de sementes viáveis e é facilmente encontrada em populações naturais ou plantadas para arborização urbana.

Sua madeira é de boa qualidade e a espécie é considerada importante para utilização na recuperação de áreas degradadas por sua importância ecológica, rápido crescimento e caráter de sucessão inicial. As sementes são ortodoxas em relação ao

armazenamento e a germinação é rápida (Wielewicki et al., 2006; Guimarães et al., 2011). Morfologicamente são oblongas e comprimidas lateralmente, sua superfície é lisa, de coloração castanho-esverdeada-clara (Donadio & Demattê, 2000).

Dessa forma, este estudo teve como objetivo descrever a biometria de sementes de quatro diferentes populações de *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub., testando a hipótese de que os parâmetros biométricos variam de acordo com a população e se correlacionam com os aspectos germinativos.

2.3 Material e métodos

Material biológico

Sementes de *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub. foram fornecidas de quatro localidades do Brasil: Porto Velho/RO (PVH, região Norte do Brasil, latitude 8° 45' S), Porto Ferreira/SP (PFR, região Sudeste, latitude 21° 51' S), Apucarana/PR (APC, região Sul, latitude 23° 33' S) e Santa Maria/RS (SMA, região Sul, latitude 29° 41' S).

De acordo com a classificação de Köppen, as populações apresentam as seguintes regiões climáticas. PVH: Am equatorial, com temperatura média anual próxima a 25°C; PFR: Aw tropical, temperatura média próxima a 22°C; APC: Cfa subtropical, temperatura média de 20 a 21°C; SMA: Cfa subtropical, temperatura média inferior a 19°C. As coletas ocorreram entre maio de 2011 e março de 2012 em populações de indivíduos localizados próximos geograficamente. Após a obtenção dos lotes e ao longo do estudo, as sementes foram armazenadas sob refrigeração entre 7 e 9°C.

Caracterização biométrica e germinação

Caracterizamos as sementes com relação à distribuição individual de peso (massa) e de tamanho (comprimento, largura e espessura), além do teor de água. A distribuição da frequência de peso das sementes foi estimada através do peso individual de 200 sementes retiradas aleatoriamente do lote e pesadas em balança analítica, não sendo repostas durante a amostragem. As dimensões do tamanho: (1) comprimento do eixo longitudinal da semente, da região da micrópila à extremidade oposta, (2) largura do eixo transversal, mensurado na região mediana da face da

semente e (3) espessura da porção mediana, foram determinadas com paquímetro (precisão 0,05 mm) para 200 sementes individuais de cada população estudada.

Avaliamos teor de água médio das sementes tomando como base o peso fresco de 5 repetições de 40 sementes. As repetições foram pesadas inicialmente (peso fresco) em balança analítica, sendo então secas em estufa a $105 \pm 5^\circ\text{C}$ por 24 horas e pesadas novamente (peso seco). Cálculo da porcentagem de água: $[(\text{peso fresco} - \text{peso seco}) / \text{peso fresco}] \cdot 100$. Apesar da diferença no tempo de armazenamento, essa avaliação foi feita simultaneamente em fevereiro de 2013 em todas as populações.

Para caracterizar a germinação das sementes, estas foram escarificadas mecanicamente com lixa e colocadas para germinar (4 repetições de 20 sementes) sobre papel de filtro umedecido com água destilada em caixas gerbox, em câmara de germinação a 25°C . O experimento foi mantido úmido e monitorado diariamente, sendo a contagem do número de sementes germinadas, ou seja, que exibiam protrusão da raiz primária (Bewley, 1997), feita durante 7 dias. Calculamos então a germinabilidade (%) e a velocidade média de germinação (V média, dias^{-1}) (Labouriau, 1983; Ranal & Santana, 2006).

Análise estatística

Foram calculadas as médias dos parâmetros biométricos de cada população e comparados através de análise de variância e do intervalo de confiança (95%). Os dados de germinação foram comparados através de análise de variância e teste de Tukey ($\alpha = 0,05$) (Sokal & Rohlf, 1969).

2.4 Resultados e discussão

A população de Porto Ferreira (PFR) apresentou maior comprimento e menor largura e quando comparada às demais populações (Tabela 1). Porto Velho (PVH) exibiu menor espessura, enquanto as duas populações do Sul (Apucarana, APC, e Santa Maria, SMA) não diferiram entre si em nenhum dos parâmetros mensurados.

Tabela 1. Média dos parâmetros comprimento, largura e espessura (mm) e massa fresca (g) \pm desvio padrão das sementes das populações estudadas de *Peltophorum dubium*. Valores seguidos de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo intervalo de confiança (95%).

População	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)	Massa fresca (g)
Porto Velho	10,264 \pm 0,431 b	4,548 \pm 0,275 a	1,473 \pm 0,129 c	0,0532 \pm 0,007 a
Porto Ferreira	10,63 \pm 0,654 a	3,857 \pm 0,265 c	1,583 \pm 0,137 b	0,0496 \pm 0,007 b
Apucarana	9,699 \pm 0,607 c	4,211 \pm 0,305 b	1,818 \pm 0,156 a	0,0518 \pm 0,008 a
Santa Maria	9,85 \pm 0,61 c	4,306 \pm 0,314 b	1,837 \pm 0,177 a	0,0536 \pm 0,009 a

Em relação à distribuição de massa fresca, somente PFR apresentou média menor, diferindo das demais populações. PVH exibiu a maior frequência (> 50%) de sementes na classe de média 0,055 g, o que faz com que essa população apresente ligeira assimetria negativa (Figura 1). As populações APC e SMA exibiram maiores valores de teor de água (Tabela 2), o que pode ter alguma relação com o seu ponto de maturidade fisiológica no ato da coleta ou ao tempo de armazenamento durante a condução do estudo.

Labouriau (1970), estudando a germinação de sementes da leguminosa *Vicia graminea*, identifica o conteúdo de água das sementes como a maior fonte de variabilidade do seu peso fresco individual, relacionando este parâmetro à umidade do ar durante o período de estocagem, após a colheita. Neste estudo, entretanto, a população APC foi a que teve a coleta mais antiga e apresenta o maior teor de água, juntamente com SMA.

Esse resultado leva-nos a crer que as sementes da região sul, independente do tempo de armazenamento, têm sua massa fresca relacionada a um teor de água elevado (>11%) em relação às demais populações, podendo ter sido coletadas em um estágio um pouco mais inicial de sua maturação fisiológica, antes do término da fase de dessecação da semente. Considerando que a maturação dos frutos ocorre

em março-abril e que estes permanecem maduros na planta-mãe por diversos meses, observamos que SMA e APC foram coletadas nos meses de março e abril, enquanto que PFR e PVH permaneceram até maio e junho, respectivamente, o que pode explicar sua maior dessecação em relação às populações sulinas.

Em relação ao comprimento das sementes, os dados aqui reportados estão de acordo com o encontrado por Donadio & Demattê (2000), que mensuraram sementes de *P. dubium* de 9 a 12 mm de comprimento. Na distribuição desse parâmetro, novamente quase 50% das sementes da população PVH se encontram em uma única classe de frequência (média 10,3 mm), demonstrando que essa população tende a ser bastante homogênea em relação às demais (Figura 2).

O comprimento das sementes de PFR se distribui em sua maioria de 10 a 11,5 mm, deslocando a assimetria dessa população para a direita. Ainda que PFR apresente o maior comprimento médio, essa população exibe o menor teor de água, de forma que acreditamos que o armazenamento influenciou nesse parâmetro, tendo em vista que essa população foi a primeira a ser coletada. Essa perda de água pode estar relacionada também ao fato dessa população ter a menor massa fresca média em relação às demais, corroborando com as afirmações de Labouriau (1970).

Para os valores do parâmetro largura (Figura 3), Donadio & Demattê (2000) encontraram sementes de 4 a 6 mm, diferindo dos dados aqui reportados para a população PFR, que apresenta média de 3,857 mm. A distribuição da largura nessa população está associada a classes de valor inferiores em relação aos demais genótipos. A espessura aumenta conforme mais ao sul a localização geográfica da população. PVH e PFR apresentam grande quantidade de sementes (ca. 60%) na classe de 1,4 a 1,6 mm de espessura, enquanto APC e SMA se distribuem em sua maioria de 1,6 a 2 mm (Figura 4).

Para Biruel et al. (2010), conforme as sementes de *Caesalpinia leiostachya* apresentam maior largura, maiores a massa de mil sementes, a capacidade germinativa e a velocidade de germinação. De forma semelhante, para esses autores, a espessura e a forma arredondada também conferem melhor qualidade fisiológica às sementes de *C. leiostachya*.

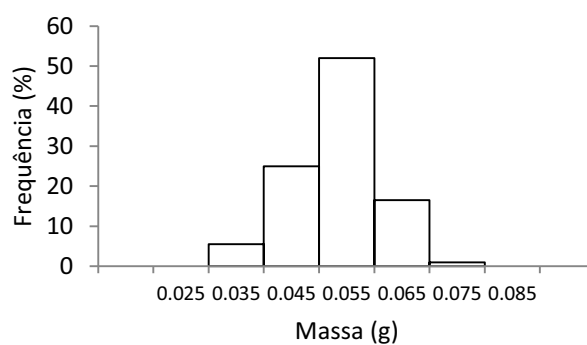
Tabela 2. Teor de água médio (%) \pm desvio padrão e período de coleta aproximado das sementes de diferentes populações de *Peltophorum dubium*. Valores seguidos de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo intervalo de confiança (95%).

População	Teor de água (%)	Período coleta
Porto Velho	8,33 \pm 0,703 b	Junho 2011
Porto Ferreira	6,97 \pm 0,747 b	Maio 2011
Apucarana	11,32 \pm 0,554 a	Abril 2011
Santa Maria	11,34 \pm 0,993 a	Março 2012

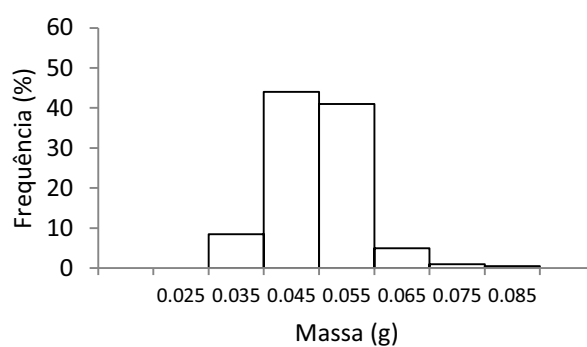
Em relação à germinação, não houve grande diferença em relação à germinabilidade quando comparadas as diferentes procedências (Figura 5). Já as velocidades médias de germinação (Figura 6), são maiores conforme mais ao sul (ou mais fria) a região geográfica na qual foi realizada a coleta das sementes, de forma que a V média em SMA é maior do que em todas as outras populações.

Em diferentes espécies vegetais, às vezes mesmo pequenas variações na temperatura durante o desenvolvimento das sementes na planta-mãe pode ter influência na germinação (Gutterman, 2000). Essa diversidade provavelmente se deve – além de características associadas à variabilidade genética das plantas de cada localidade –, às condições de disponibilidade hídrica e de nutrientes e do microclima de cada população em relação à temperatura. Essas diferenças não existem em sementes de *P. dubium* em relação à sua germinabilidade, mas em relação à V média estão diretamente relacionadas à distribuição das populações num gradiente latitudinal.

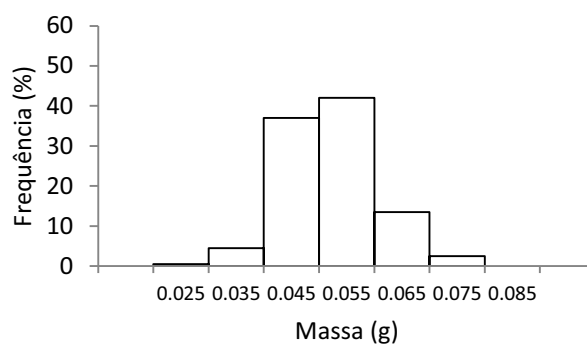
Em estudo com *Acacia senegal*, a germinação não foi afetada pelo tamanho das sementes (Ferreira & Torres, 2000), o que pode estar relacionado ao fato de os autores terem utilizado sementes provenientes de apenas uma população da espécie coletada no estado de Pernambuco. A germinação de *Mimosa caesalpiniiifolia* é fortemente influenciada pela procedência das sementes, enquanto o vigor das plântulas é afetado pelo seu tamanho (Alves et al., 2005). Oliveira et al. (2008) demonstram que há diferença na germinação de sementes de *P. dubium* provenientes de lotes de diferentes localizações geográficas.



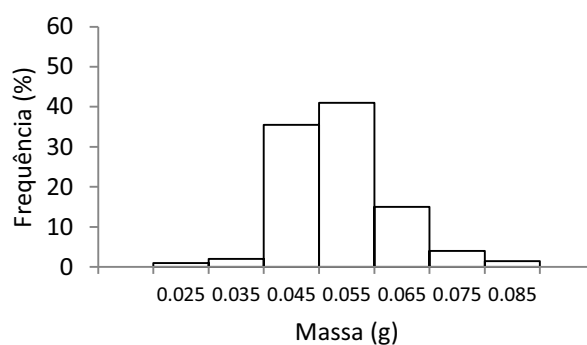
(A)



(B)

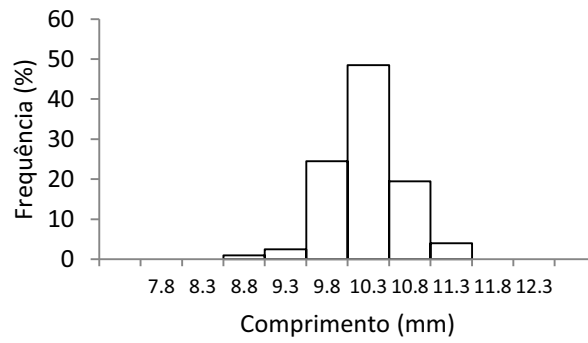


(C)

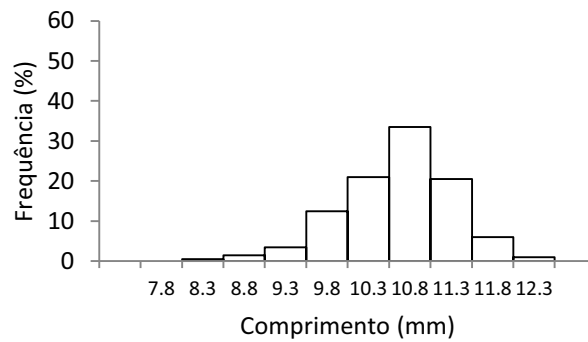


(D)

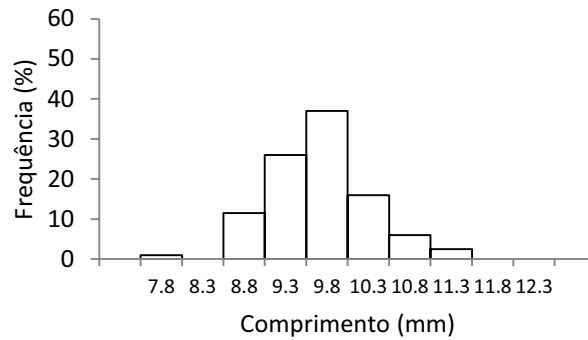
Figura 1. Distribuição da frequência (%) das classes de peso (massa da semente fresca, em gramas) de diferentes populações de *Peltophorum dubium*. (A) Porto Velho. (B) Porto Ferreira. (C) Apucarana. (D) Santa Maria.



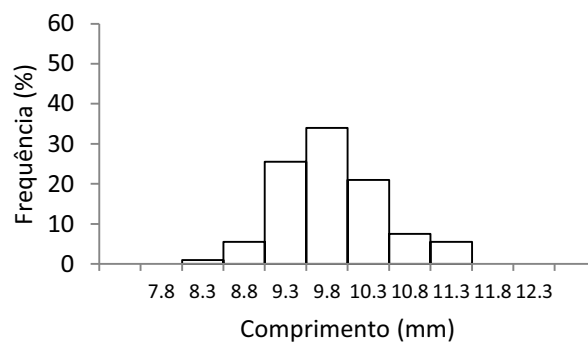
(A)



(B)

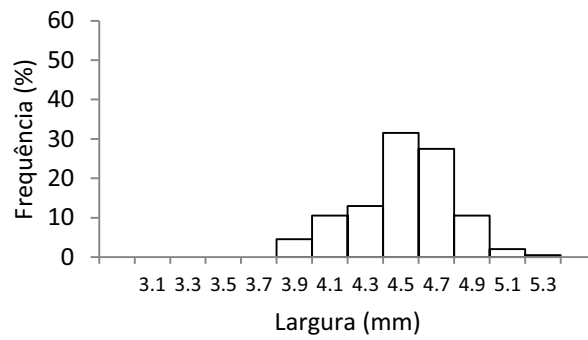


(C)

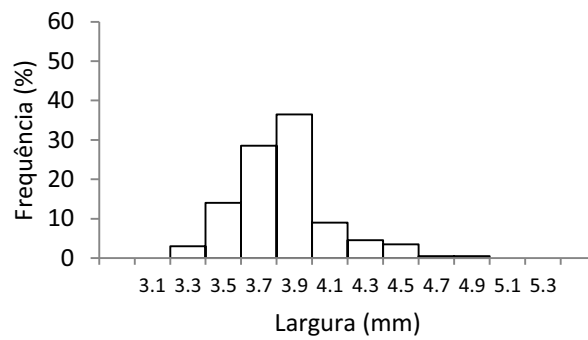


(D)

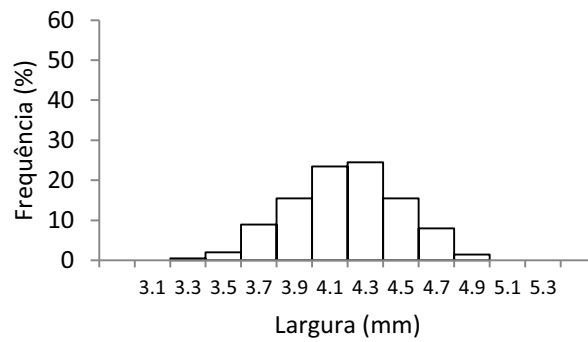
Figura 2. Distribuição da frequência (%) das classes de comprimento (milímetros) de diferentes populações de *Peltophorum dubium*. (A) Porto Velho. (B) Porto Ferreira. (C) Apucarana. (D) Santa Maria.



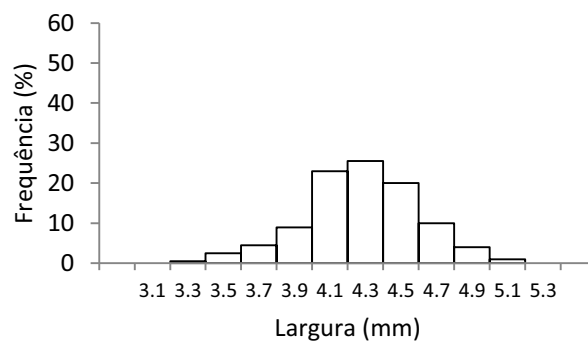
(A)



(B)

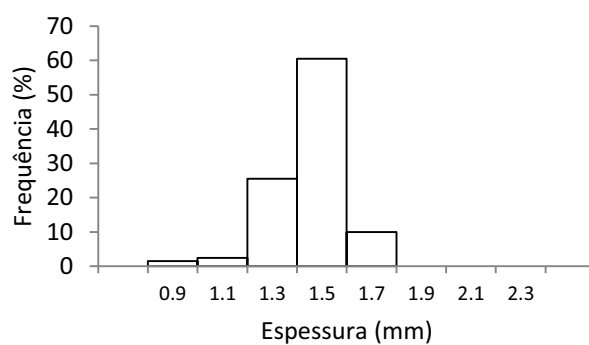


(C)

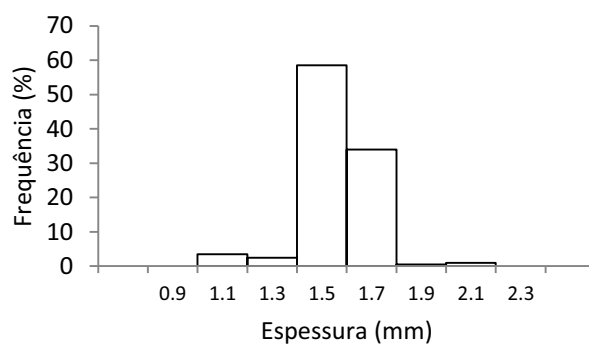


(D)

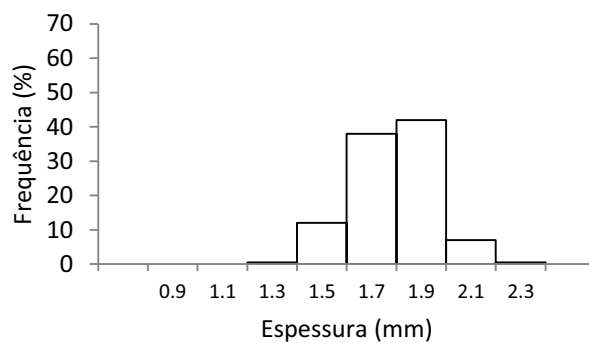
Figura 3. Distribuição da frequência (%) das classes de largura (milímetros) de diferentes populações de *Peltophorum dubium*. (A) Porto Velho. (B) Porto Ferreira. (C) Apucarana. (D) Santa Maria.



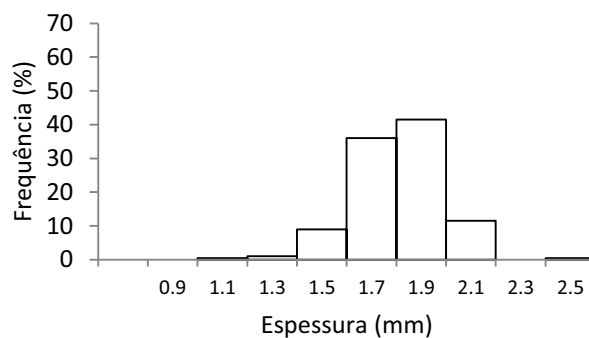
(A)



(B)



(C)



(D)

Figura 4. Distribuição da frequência (%) das classes de espessura (milímetros) de diferentes populações de *Peltophorum dubium*. (A) Porto Velho. (B) Porto Ferreira. (C) Apucarana. (D) Santa Maria.

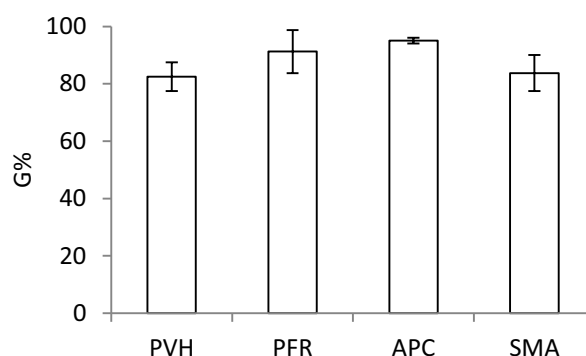


Figura 5. Germinabilidade a 25°C em diferentes populações de *Peltophorum dubium*. Barras verticais indicam desvio padrão. PVH = Porto Velho, PFR = Porto Ferreira, APC = Apucarana, SMA = Santa Maria.

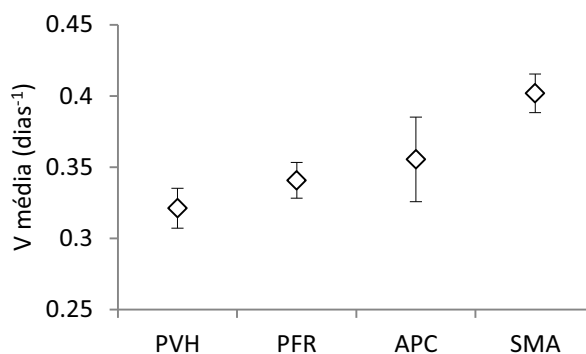


Figura 6. Velocidade média de germinação a 25°C em diferentes populações de *Peltophorum dubium*. Barras verticais indicam desvio padrão. PVH = Porto Velho, PFR = Porto Ferreira, APC = Apucarana, SMA = Santa Maria.

2.5 Conclusão

A biometria muda de acordo com a região de coleta, tendo em vista que as sementes do sul são semelhantes entre si e diferem das demais. Em relação à germinação, embora a germinabilidade não varie, quanto mais ao sul a região de coleta, maior a velocidade do processo germinativo.

2.6 Referências bibliográficas

- Alves EU, Bruno RLA, Oliveira AP, Alves AU, Alves AU, Paula RC. Influência do tamanho e da procedência de sementes de *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth. sobre a germinação e vigor. **R. Árvore**. 29(6), 877-885. 2005.
- Baskin CC. Breaking physical dormancy in seeds – focussing on the lens. **New Phytologist**. 158, 227-238. 2003.
- Bewley JD. Seed germination and dormancy. **The Plant Cell**. 9, 1055-1066. 1997.
- Biruel RP, Paula RC, Aguiar IB. Germinação de sementes de *Caesalpinia leiostachya* (Benth.) Ducke (pau-ferro) classificadas pelo tamanho e pela forma. **R. Árvore**. 34(2), 197-204. 2010.
- Cruz ED, Martins FO, Carvalho JEU. Biometria de frutos e sementes e germinação de jatobá-curuba (*Hymenaea intermedia* Ducke, Leguminosae - Caesalpinioideae). **Revista Brasil. Bot.** 24(2), 161-165. 2001.
- Donadio NMM, Demattê MESP. Morfologia de frutos, sementes e plântulas de canafístula (*Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub.) e jacarandá-da-bahia (*Dalbergia nigra* (Vell.) Fr.All. ex Benth.) – Fabaceae. **Revista Brasileira de Sementes**. 22(1), 64-73. 2000.
- Ferreira MGR, Torres SB. Influência do tamanho das sementes na germinação e no vigor de plântulas de *Acacia senegal* (L.) de Willd. **Revista Brasileira de Sementes**. 22(1), 271-275. 2000.
- Guimarães CC, Faria JMR, Oliveira JM, Silva EAA. Avaliação da perda da tolerância à dessecação e da quantidade de DNA nuclear em sementes de *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taubert durante e após a germinação. **Revista Brasileira de Sementes**. 33(2), 207-215. 2011.
- Gutterman Y. Maternal effects on seeds during development. In: Fenner M (Ed.). **Seeds: The ecology of regeneration in plant communities**, 2nd edition. Wallingford: CABI Publishing. 59–8?. 2000.
- Labouriau LFG. On the physiology of seed germination in *Vicia graminea* Sm. – I. **An. Acad. Bras. Ciênc.** 42(2), 235-261. 1970.
- Labouriau LFG. **A germinação das sementes**. Washington: Organização dos Estados Americanos. 174p. 1983.
- Leishman MR, Wright IJ, Moles AT, Westoby M. The evolutionary ecology of seed size. In: Fenner M (Ed.). **Seeds: The ecology of regeneration in plant communities**, 2nd edition. Wallingford: CABI Publishing. 31--57. 2000.
- Lewis GP. *Peltophorum* in **Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2013. Disponível em:

(<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB83566>). Acesso em 4 de março de 2013.

Morrison DA, McClay K, Porter C, Rish S. The role of the lens in controlling heat-induced breakdown of testa-imposed dormancy in native Australian legumes. **Annals of Botany**. 82, 35-40. 1998.

Oliveira LM, Davide AC, Carvalho MLM. Teste de germinação de sementes de *Peltophorum dubium* (Sprengel) Taubert – Fabaceae. **Floresta**. 38(3). 2008.

Popinigis F. **Fisiologia da semente**. 2ª edição. Brasília. 289p. 1985.

Ranal MA, Santana DG. How and why to measure the germination process? **Rev. Bras. Bot.** 29(1), 1-11. 2006.

Sokal RR, Rohlf FJ. **Biometry**. W. H. São Francisco, Freeman and Co. 1969.

Wielewicki AP, Leonhardt C, Schlindwein G, Medeiros ACS. Proposta de padrões de germinação e teor de água para sementes de algumas espécies florestais presentes na região Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Sementes**. 28(3), 191-197. 2006.

3 CAPÍTULO II:

GERMINAÇÃO DE DIFERENTES POPULAÇÕES DE *PELTOPHORUM DUBIUM* DESCRITA PELO MODELO DO TEMPO TÉRMICO

3.1 Abstract

Assuming that temperature regulates seed germination, we aimed to evaluate the efficiency of a thermal time model in describing *Peltophorum dubium* germination responses under laboratory and field simulation conditions. The model accurately described the germination of *P. dubium* under laboratory conditions. The population of Porto Velho (Northern Brazil) showed higher T_b , while Santa Maria (Southern) was more sensitive to high temperatures, with lower median distribution of T_c . However, in field tests the higher the temperatures the seeds were placed, the lower was the accuracy of the model in predicting germination.

3.2 Introdução

A temperatura representa, juntamente com a água, o principal fator abiótico que afeta a germinação (Alvarado & Bradford, 2002). Sua ação pode ocorrer determinando a capacidade germinativa e sua velocidade, removendo ou induzindo a dormência e influenciando a deterioração e viabilidade das sementes (Bewley, 1997; Probert, 2000).

A resposta da semente ao fator térmico é delimitada pelas temperaturas cardiais base (T_b) e teto (T_c), a partir das quais não há germinação, além do intervalo ótimo, no qual a velocidade e capacidade de germinação são máximas (Labouriau, 1978; Alvarado & Bradford 2002). A determinação desses parâmetros através de modelos matemáticos, como o modelo do tempo térmico (θ), permite a comparar espécies e/ou populações e, principalmente, descrever e fazer previsões sobre a germinação em diferentes condições ambientais de temperatura (Trudgill et al., 2005; Cardoso, 2011). Portanto, a modelagem do tempo térmico representa uma ferramenta no manejo de espécies vegetais para fins agrícolas e de reflorestamento.

Estudos com espécies florestais nativas da região tropical em geral discutem o efeito de flutuações ambientais na dormência e germinação (Vázquez-Yanes &

Orozco-Segovia, 1982; Moreno-Casasola et al., 1994; Everham et al., 1996; Souza & Valio, 2001; Valio & Scarpa, 2001), mas usualmente não quantificam os parâmetros térmicos (T_b , T_c e θ) através de modelos matemáticos. Entretanto, o modelo do tempo térmico tem sido aplicado para descrever a resposta da germinação em espécies daninhas (*weeds*) (Steinmaus et al., 2000), leguminosas forrageiras (Qi et al., 1999; McDonald, 2002a) e produtoras de grãos (Covell et al., 1986; Ellis et al., 1986). Estudos deste âmbito poderiam fundamentar a elaboração e validação de metodologias de análise de sementes de espécies florestais, agregando valor na sua produção e comercialização.

Adicionalmente, a modelagem matemática da germinação é importante na ecologia de populações em comunidades tropicais nativas, já que essas sementes apresentam grande variedade de níveis de dormência e de condições ambientais requeridas para sua quebra (Bradford, 2005). Um aspecto pouco explorado da modelagem matemática é que além de estimar parâmetros térmicos “estáticos” da germinação numa população de sementes, os modelos também são capazes de quantificar mudanças na sensibilidade e distribuição dos parâmetros germinativos enquanto as sementes entram ou saem de um estágio de dormência (Batlla & Benech-Arnold, 2003; Bradford, 2002; 2005).

Nesse contexto, foi selecionada a leguminosa *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub. (canafístula), espécie arbórea de ampla distribuição na região neotropical, para avaliar o modelo térmico em sementes provenientes de diferentes regiões climáticas. Como muitas Leguminosae (Morrison et al., 1998; Baskin, 2003), *P. dubium* apresenta dormência física causada pela impermeabilidade do tegumento à água. Uma vez quebrada essa dormência, esperamos que as sementes respondam de forma semelhante às aquelas não-dormentes.

É suposto que o modelo do tempo térmico descreve a germinação de leguminosas tropicais (Covell et al., 1986) e que as variações naturais de temperatura controlam a germinação, ajudando a explicar a distribuição de espécies numa comunidade. A hipótese do estudo é de que o modelo do tempo térmico descreve a germinação da espécie em temperaturas constantes e condições de campo, diferindo de acordo com a região climática na qual as sementes foram coletadas.

Desta forma, o avaliamos o modelo do tempo térmico em descrever a germinação em sementes de *P. dubium*. Foi verificada a diferença nos parâmetros

isotérmicos do modelo na germinação entre populações da espécie e testada sua eficiência em descrever a germinação sob variações térmicas no ambiente natural.

3.3 Material e métodos

Material biológico

Sementes de *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub. foram fornecidas de quatro localidades do Brasil (Tabela 3). Em todos os casos as coletas ocorreram entre maio e outubro de 2011 em populações de até 10 indivíduos localizados próximos geograficamente.

Tabela 3. Caracterização das localidades de coleta de diferentes populações de *Peltophorum dubium*.

Localidade	Estado	Região	Latitude	Clima ¹	Temperatura média anual (°C)
Porto Velho (PVH)	RO	Norte	8° 45' S	Am equatorial	25,1 ²
Porto Ferreira (PFR)	SP	Sudeste	21° 51' S	Aw tropical	22,3 ³
Apucarana (APC)	PR	Sul	23° 33' S	Cfa subtropical	20,6 ²
Santa Maria (SMA)	RS	Sul	29° 41' S	Cfa subtropical	18,8 ²

¹ De acordo com a classificação de Köppen

² CEPAGRI/UNICAMP

³ EMBRAPA Monitoramento por Satélite (2003)

Germinação em temperaturas constantes

Para os testes de germinação sob temperaturas constantes, as sementes foram escarificadas com lixa nº 150 e dispostas (5 repetições de 40 sementes) em tubos de ensaio sobre papel de filtro umedecido com água destilada em 9 temperaturas (de 12,5 a 39 ± 0,5°C) num bloco de gradiente térmico (Cardoso, 2010). Como as sementes não são fotoblásticas, conduzimos todos os testes no escuro. O registro da germinação foi feito diariamente por 4 semanas, sendo consideradas germinadas as sementes que exibiam protrusão da raiz primária (Bewley, 1997), com pelo menos 5 mm de crescimento.

Simulação de campo (variação natural de temperatura)

Foram realizados 5 testes de simulação das condições de campo e um teste controle em sala climatizada com temperatura próxima do ótimo de germinação da espécie (Tabela 4), cada um em uma situação diferente de variação natural da temperatura. As sementes foram escarificadas e dispostas em bandejas de alumínio sobre mistura de substrato comercial tipo Plantmax e vermiculita em um delineamento semelhante ao descrito acima (5 repetições x 40 sementes) em casa de vegetação. A temperatura do ar próximo à superfície do substrato foi registrada a cada hora por um sensor acoplado a um datalogger. O experimento foi mantido sempre úmido, regado diariamente e monitorado por duas semanas, sendo consideradas germinadas as sementes com pelo menos 5 mm de protrusão da raiz primária.

Tabela 4. Mês e temperaturas média, mínima e máxima das simulações de campo conduzidas com diferentes populações de *Peltophorum dubium*.

	Mês/Ano	Temperatura média (°C)	Temperatura mínima	Temperatura máxima
Simulação I	Julho 2012	20,4	6,6	35,9
Simulação II	Agosto 2012	21,5	12,2	33,4
Simulação III	Setembro 2012	23,2	10,3	39
Simulação IV	Outubro 2012	32,2	17,5	> 50
Simulação V	Dezembro 2012	24,7	19,2	41,4
Simulação VI (Controle)	Janeiro 2013	27,2	24,9	29,1

Parâmetros germinativos e análise de Probit

Na análise dos resultados de cada tratamento consideramos as seguintes variáveis: **a)** porcentagem final de germinação ou germinabilidade, $G = (n/N).100$, onde n é número total de sementes germinadas e N é o número inicial de sementes; **b)** velocidade média de germinação, $V = \Sigma n_i / \Sigma n_i \cdot t_i$, em dias^{-1} , onde n_i é o número de sementes germinadas no intervalo de tempo t_i (Labouriau, 1983; Ranal & Santana, 2006).

Para a obtenção dos parâmetros T_b (temperatura base), $\theta_{(g)}$ (“tempo térmico”, ou a quantidade de graus-dia para a germinação de uma fração percentual g) e desvio padrão (σ_{θ}) da distribuição de $\theta_{(g)}$, utilizamos o método da regressão probítica repetida (Bradford, 1995). As porcentagens diárias cumulativas de germinação sob

temperaturas do intervalo infraótimo foram transformadas em Probit e plotadas em função do tempo corrigido ou “térmico”, $\theta_{(g)} = (T - T_b) \cdot t_{(g)}$, onde $t_{(g)}$ representa o tempo para a germinação de uma fração percentual g . Os dados das temperaturas infraótimas foram combinados em regressão linear para determinação da T_b de acordo com a equação: $\text{probit}_{(g)} = \{\log.[(T - T_b) \cdot t_{(g)}] - \log\theta\} / \sigma_{(\theta)}$.

No intervalo supraótimo, procedimento similar foi utilizado para se determinar os parâmetros T_c (temperatura teto), $\sigma_{(T_c)}$ (desvio padrão de T_c) e θ (tempo térmico). O modelo foi representado pela equação $\theta = (T_c - T) \cdot t_{(g)}$. A relação entre germinação (g) e θ foi testada por intermédio do modelo: $\text{probit}_{(g)} = k + (T + \theta/t_{(g)}) \cdot 1/\sigma_{(T_c)}$ (Ellis et al., 1986), onde k é o intercepto. Através de regressão probítica, experimentamos diferentes valores de θ no modelo até o melhor ajuste (maior valor de R^2).

Avaliação do modelo em condições de campo

Por meio dos parâmetros de Probit (a , que é o intercepto, b que é a inclinação da reta, e T_b) obtidos, estimamos os tempos esperados de germinação de cada fração diária (%) de sementes germinadas para a média da temperatura de cada hora dos dias de cada experimento. Assim, geramos as curvas de germinação ($G\%$ x dias) observadas e esperadas para cada simulação de campo.

Análise estatística

As diferenças entre médias das populações foram testadas por análise de variância, seguida de teste de Tukey ($\alpha = 0,05$) (Sokal & Rohlf, 1969). O intervalo térmico ótimo para germinação (abaixo e acima do qual foram estabelecidos os intervalos infra e supraótimos, respectivamente) foi determinado por regressão linear das velocidades médias (Labouriau & Agudo, 1987).

3.4 Resultados e discussão

Germinação em temperaturas constantes e modelo do tempo térmico

A população de Porto Velho (PVH) foi a única que não exibiu germinação na temperatura de 12,5°C, condição que reduziu a germinabilidade nas demais populações. Nos tratamentos restantes, a germinação foi próxima ou acima de 80% em praticamente todo intervalo de temperaturas amostradas (Figura 7). Próximo aos 39°C, as populações PVH e PFR (Porto Ferreira) exibiram redução na porcentagem de sementes germinadas. A partir dos 33-34°C, a germinabilidade nas populações APC (Apucarana) e SMA (Santa Maria) foi reduzida para entre 50 e 60%, indicando uma maior dependência da temperatura relacionada à sua capacidade germinativa.

Com relação às velocidades médias de germinação (Figura 8), observamos um padrão geral para a espécie semelhante em todas as populações. Há uma correlação linear entre a velocidade da germinação e a temperatura, na qual a velocidade do processo aumenta positivamente no intervalo infra e decai a partir de um certo ponto, estabelecendo um intervalo supraótimo. Dessa forma, a faixa ótima de germinação ficou entre 27 e 30°C para todas as populações, exceto PVH, que exibiu uma única temperatura ótima a 30°C.

Para a descrição da resposta térmica de uma amostra de sementes, 5 temperaturas têm de ser identificadas: temperaturas de início e de término da germinabilidade máxima, temperatura (ou faixa) ótima, T_b e T_c (Garcia-Huidobro et al., 1982). Tais valores aqui encontrados estão de acordo com o esperado para espécies tropicais (Larcher et al., 2000; Baskin & Baskin, 2001) e são diferentes da resposta de leguminosas cultivadas, que costumam apresentar T_b 's mais baixas, algumas até mesmo próximas ao ponto de congelamento ou abaixo de 0°C (Covell et al., 1986; Ellis et al., 1986).

A ampla gama de temperaturas nas quais a espécie é capaz de exibir porcentagens máximas de germinação (Figura 7) indica que a temperatura não é limitante para a germinabilidade e que as velocidades de germinação são muito mais dependentes da disponibilidade térmica (Figura 8). A temperatura ótima entre 27 e 30°C está de acordo com outros trabalhos realizados com a espécie. De acordo com Oliveira et al. (2008), a temperatura de 30°C e o substrato papel, na forma de rolo, são as condições mais adequadas para conduzir o teste de germinação em sementes de *P. dubium*. Os trabalhos de Perez et al. (1998), Wanli et al. (2001) e

Botelho & Perez (2001) consideram 27°C como a temperatura ótima para a germinação da espécie.

Esses resultados vão de encontro ao proposto por Brancalion et al. (2010), que sugerem que o teste de germinação com espécies arbóreas seja conduzido a 25°C para espécies da Mata Atlântica e 30°C para espécies da Amazônia. De acordo com Lewis (2013), *P. dubium* não ocorre na Amazônia, sendo típica do Sul e Sudeste, ocorrendo também em parte do Nordeste e Centro-Oeste brasileiros, nos domínios da Mata Atlântica, do Cerrado, do Pantanal e da Caatinga. Talvez pelo seu caráter de leguminosa arbórea pioneira, isso possa contribuir para que a espécie apresente temperatura ótima superior a 25°C. Em leguminosas forrageiras a faixa ótima de germinação se encontra entre 24 e 36°C (McDonald, 2002a). Para diferentes cultivares de feijão, essa faixa térmica fica entre 27 e 34,5°C (White & Montes-R, 1993).

O modelo do tempo térmico se mostrou capaz de estimar com precisão os valores de T_b e T_c da espécie (Tabela 5). PVH exibe a maior T_b . SMA exibe os menores valores tanto para a distribuição de θ no intervalo infra, como para a distribuição de T_c no intervalo supraótimo. As curvas de germinação plotadas contra o tempo térmico descrevem o curso da germinação como típico de uma espécie sem dormência (Figuras 9 e 10). A acurácia do modelo na descrição da resposta germinativa em condições de laboratório fica mais evidente quando avaliamos as curvas esperadas e observadas de germinação acumulada (Figuras 11 a 13).

As sementes da população PVH apresentaram os maiores valores de T_b pelo fato de não terem exibido germinação nas quatro semanas dentro das quais o experimento foi monitorado. No estudo de McDonald (2002a), a T_b ficou entre 6,9 e 14,1°C para leguminosas forrageiras tropicais e subtropicais. Moot et al. (2000) encontraram T_b inferior a 4°C para gramíneas e leguminosas de pastagens de região temperada. Para cultivares de feijão, a T_b se encontra entre 6,8 e 8,3°C (White & Montes-R, 1993). Em regiões temperadas, espécies daninhas que dispersam as sementes no verão tendem a exibir uma T_b mais elevada (média de 13,8°C) em relação àquelas que dispersam no inverno (Steinmaus et al., 2000).

Não é possível distinguir entre as variações no efeito da temperatura devido ao genótipo ou devido ao ambiente experimentado pela semente desde a sua formação na planta-mãe até a semeadura (Ellis et al., 1987). Covell et al. (1986) demonstram que para descrever quantitativamente a relação entre a velocidade de

germinação e a temperatura em leguminosas produtoras de grãos e aplicar o potencial da modelagem em programas de melhoramento, é necessário levar em consideração diferenças hereditárias entre genótipos.

Dessa forma, não conseguimos afirmar até que ponto a diferença na T_b da população PVH se deve ao fato de as plantas-mãe estarem localizadas numa região geográfica mais quente (região Norte do Brasil) ou à baixa variabilidade genética dos indivíduos formados. Tendo em vista que a espécie não ocorre naturalmente na região, tendo sido plantada em área urbana para fins ornamentais, a reprodução das plantas ocorre por fecundação cruzada entre os indivíduos ali presentes.

É provável que espécies que exibem uma T_b muito elevada entrem em algum estágio de dormência induzida pelas temperaturas baixas constantes (Cardoso & Pereira, 2009). Para descartar a hipótese de que as sementes entram em dormência secundária quando expostas a baixas temperaturas, transferimos sementes que estavam por quatro semanas a 10°C para uma temperatura de 25°C , constatando que a recuperação da capacidade germinativa sementes é baixa (inferior a 20%, dados não mostrados) e que elas logo apresentam deterioração visível. Assim, concluímos que a exposição prolongada a temperaturas baixas acarreta na morte das sementes. Tendo em vista que a dormência física foi quebrada antes de todos os experimentos aqui realizados, acreditamos que as temperaturas dentro do intervalo testado não induzem qualquer tipo de dormência secundária na espécie.

No intervalo supraótimo, a distribuição de T_c apresenta mediana semelhante nas populações PVH, PFR e APC, próxima dos 38°C (Tabela 5). Somente SMA apresentou valores mais baixos (mediana de $33,7^{\circ}\text{C}$), demonstrando ser mais sensível ao aumento da temperatura do que as demais populações. Os valores de T_c são muito variáveis e em linhas gerais se assume que esses valores apresentam distribuição normal; para leguminosas cultivadas, os valores de T_c são muito diferentes entre espécies, variando de 48 a $60,8^{\circ}\text{C}$ para grão-de-bico, de $31,8$ a 33°C para lentilha e de $46,8$ a $55,2^{\circ}\text{C}$ para soja (Covell et al., 1986).

Com relação aos valores de tempo térmico, novamente SMA exibe os menores valores tanto para a mediana da distribuição de θ_{infra} como para os valores de graus-dia no intervalo supraótimo. Embora T_b seja semelhante à encontrada para PFR e APC, os dados mostram que essa população é mais sensível ao efeito das temperaturas constantes sobre a germinação.

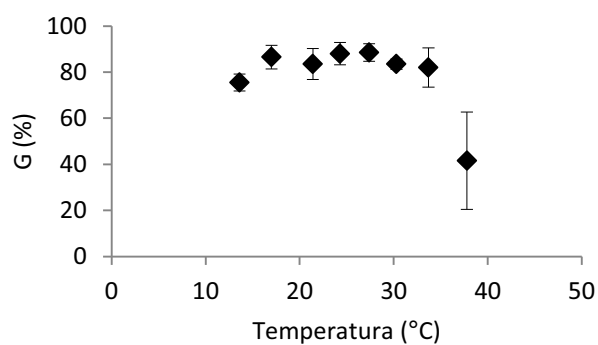
Partindo do pressuposto que as condições climáticas, particularmente a temperatura, influenciam não só na formação da semente, mas também na proporção de sementes que germinam (Thompson, 1970), era esperado que SMA exibisse valores menores para a distribuição de T_c . Essa população está localizada mais ao Sul do Brasil e é, portanto, aquela na qual as plantas-mãe estão expostas às menores temperaturas anuais. Dessa forma, concluímos que em temperaturas constantes, em condições de laboratório, o modelo descreve com certa acurácia a germinação de *P. dubium* e que os parâmetros germinativos descritos pelo modelo para cada população é diferente de acordo com a sua localização geográfica.

Entretanto, a população APC também provém da região Sul e está sob um clima semelhante ao de SMA (Tabela 3) e não apresentou diferença na distribuição de T_c em relação a PVH e PFR. Diversos fatores atuam na germinação e vigor das sementes em desenvolvimento, é possível, por exemplo, que o microclima da região da população APC, o nível de precipitação no ano e/ou mês da coleta, a qualidade e a disponibilidade de nutrientes no solo tenham influenciado também a germinação do genótipo.

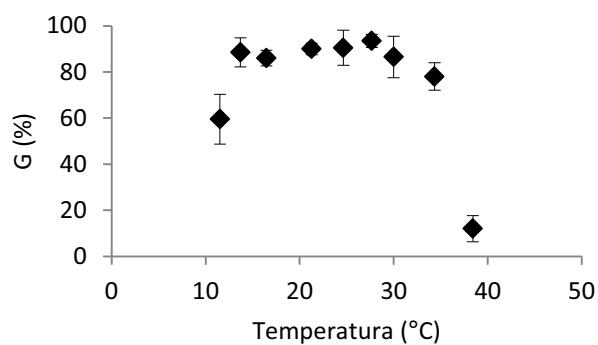
Diversos aspectos do ambiente materno têm efeito sobre a germinação das sementes produzidas. Uma parte dessa variação é de ordem genética, mas se sabe que muita dessa diferença é fenotípica, ou seja, causada pelas condições locais sob as quais as sementes atingiram estágio de maturação (Guterman, 2000). O entendimento desses efeitos maternos nas plantas, embora complexos e difíceis de identificar, tem importante papel no entendimento da distribuição intra e interpopulacional dos indivíduos (Roach & Wulff, 1987).

Tabela 5. Parâmetros da germinação gerados pela análise de Probit para diferentes populações de *Peltophorum dubium*.

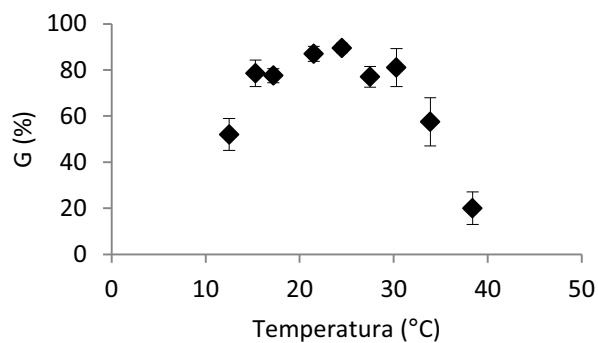
População	T_b	θ_{infra} (mediana)	R^2	T_c (mediana)	θ_{supra}	R^2
Porto Velho	12,5	31,6 ± 3,3	0,92	38 ± 1,3	7,8	0,97
Porto Ferreira	11,4	32,5 ± 3,8	0,84	38 ± 0,9	8	0,99
Apucarana	11,2	33,1 ± 6,6	0,95	37,6 ± 1,4	13	0,96
Santa Maria	11,4	29,9 ± 10,8	0,87	33,7 ± 1,2	5	0,99



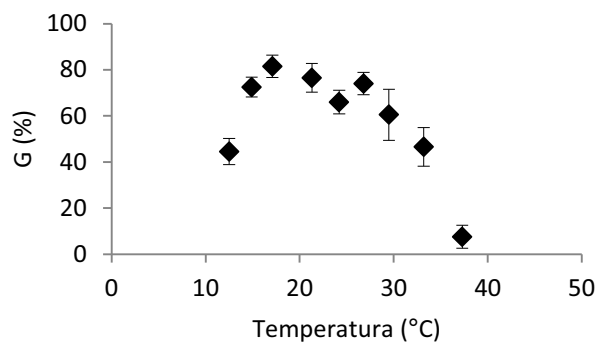
(A)



(B)

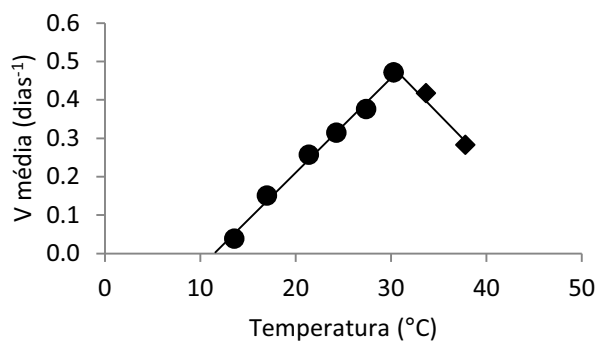


(C)

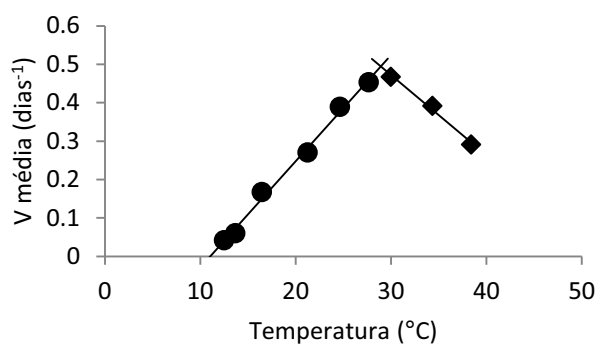


(D)

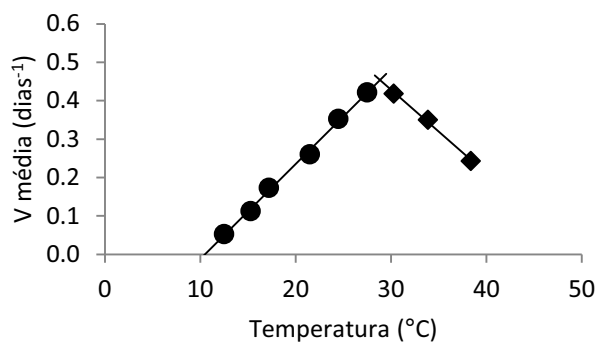
Figura 7. Germinabilidade (G %) em função da temperatura (°C) para diferentes populações de sementes de *Peltophorum dubium*. (A) Porto Velho. (B) Porto Ferreira. (C) Apucarana. (D) Santa Maria.



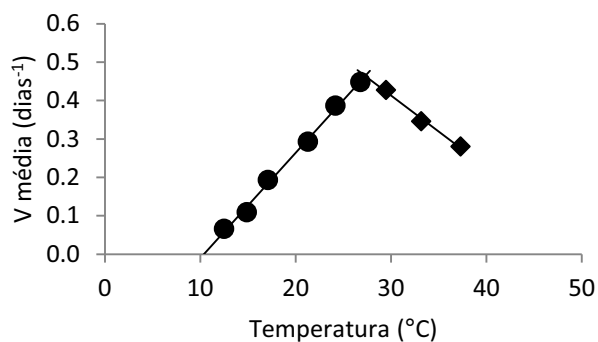
(A)



(B)

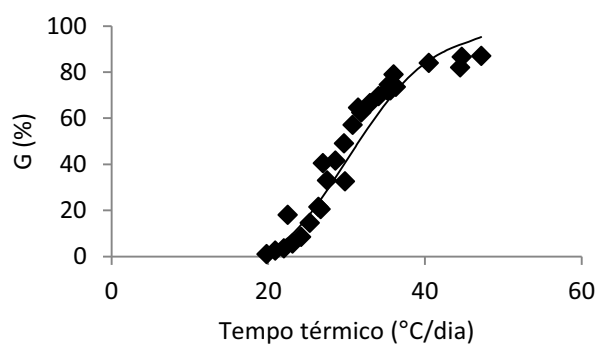


(C)

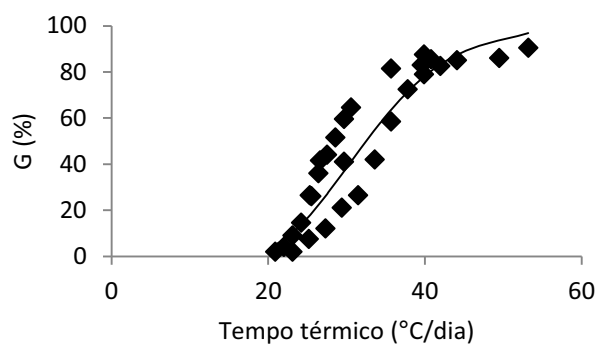


(D)

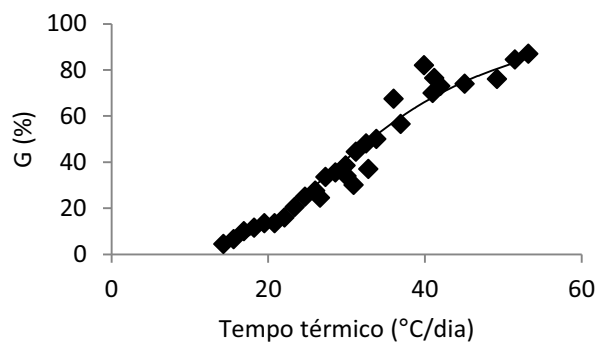
Figura 8. Velocidade média de germinação (dias⁻¹) em função da temperatura (°C) para diferentes populações de sementes de *Peltophorum dubium*. (A) Porto Velho. (B) Porto Ferreira. (C) Apucarana. (D) Santa Maria.



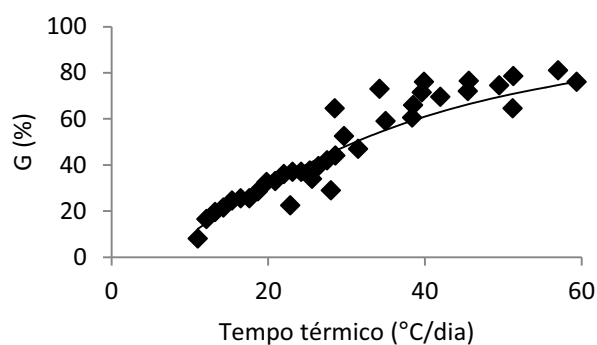
(A)



(B)

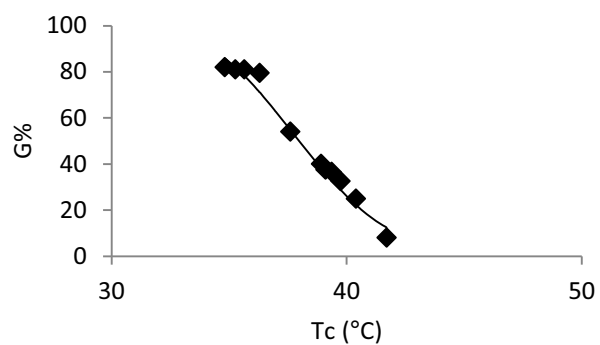


(C)

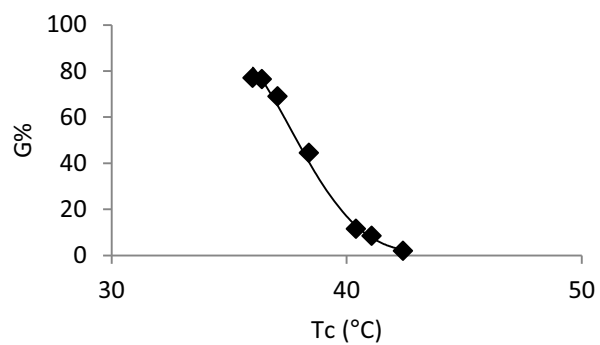


(D)

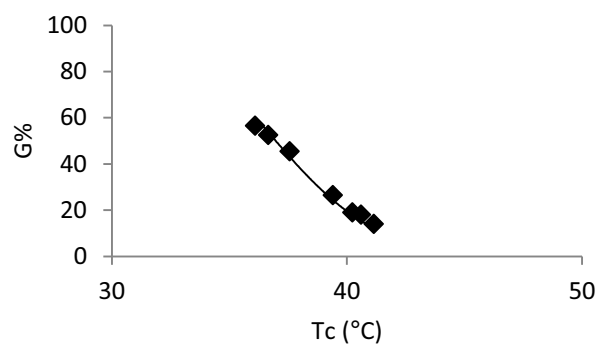
Figura 9. Germinabilidade (G %) no intervalo infraótimo em função do tempo térmico (°C/dia) para diferentes populações de sementes de *Peltophorum dubium*. (A) Porto Velho. (B) Porto Ferreira. (C) Apucarana. (D) Santa Maria.



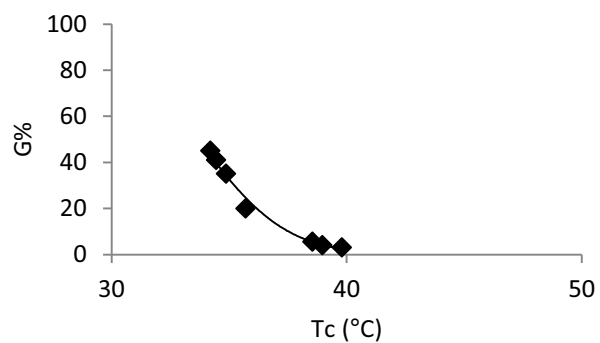
(A)



(B)

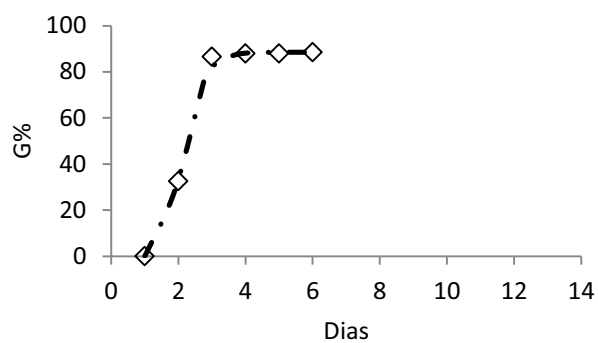


(C)

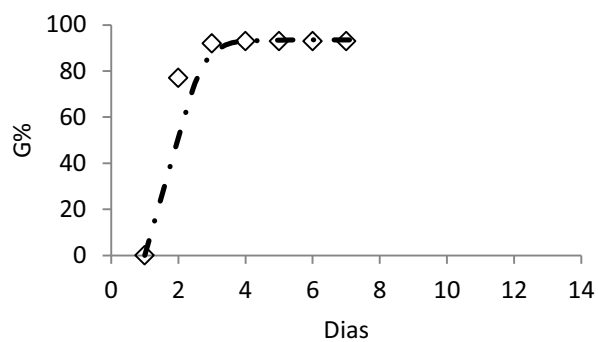


(D)

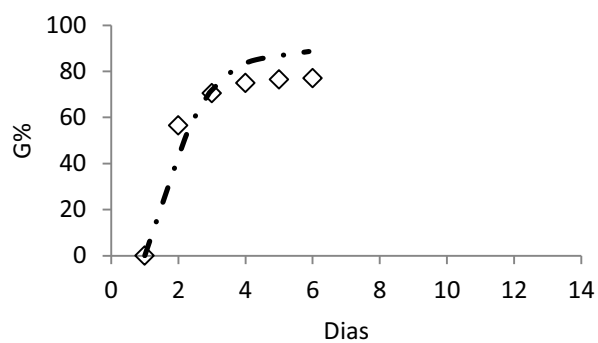
Figura 10. Germinabilidade (G %) no intervalo supraótimo em função da temperatura teto (T_c , °C) para diferentes populações de sementes de *Peltophorum dubium*. (A) Porto Velho. (B) Porto Ferreira. (C) Apucarana. (D) Santa Maria.



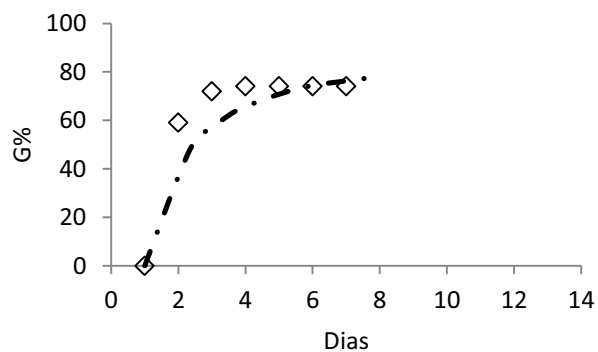
(A)



(B)

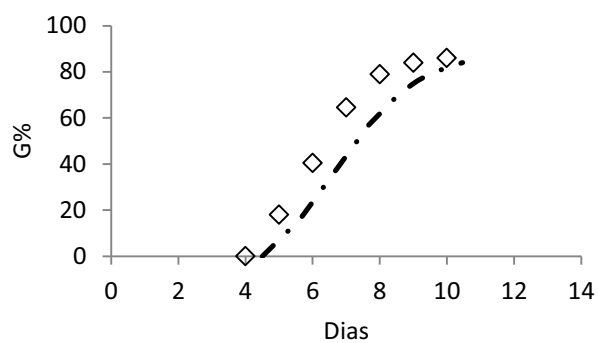


(C)

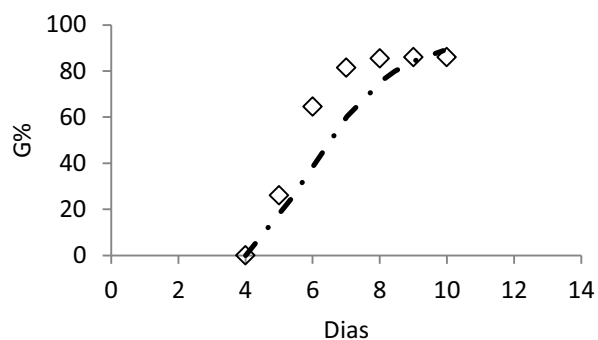


(D)

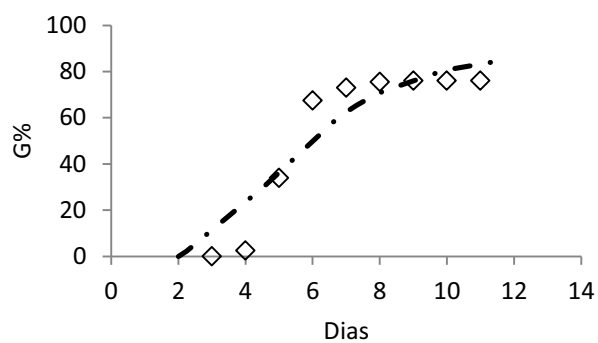
Figura 11. Curva de germinação acumulada esperada (linha pontilhada) e observada (símbolos) ao longo do tempo em condições de laboratório sob temperatura do intervalo ótimo (~27°C). (A) Porto Velho. (B) Porto Ferreira. (C) Apucarana. (D) Santa Maria.



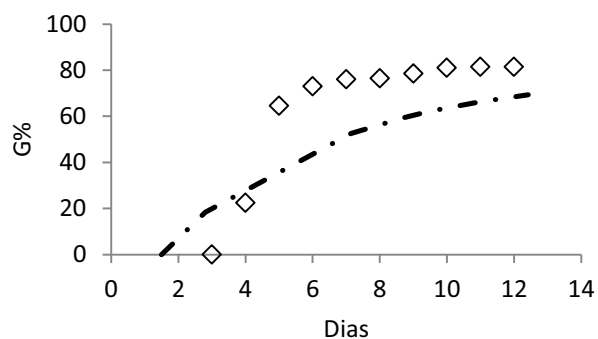
(A)



(B)

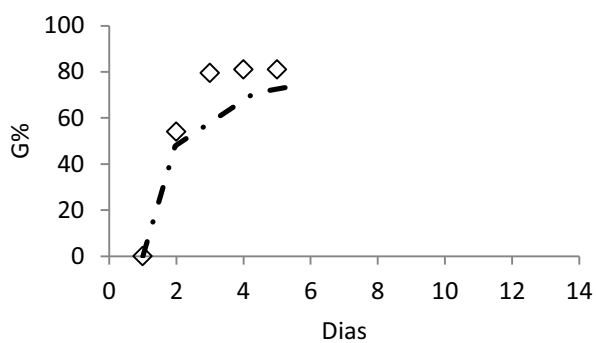


(C)

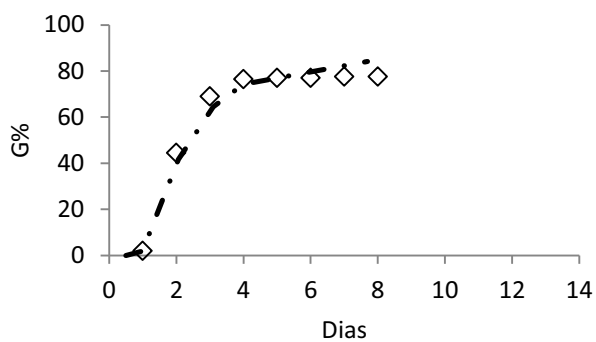


(D)

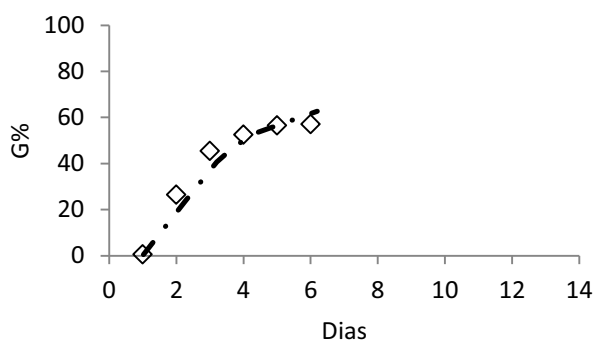
Figura 12. Curva de germinação acumulada esperada (linha pontilhada) e observada (símbolos) ao longo do tempo em condições de laboratório sob temperatura do intervalo infraótimo ($\sim 17^{\circ}\text{C}$). (A) Porto Velho. (B) Porto Ferreira. (C) Apucarana. (D) Santa Maria.



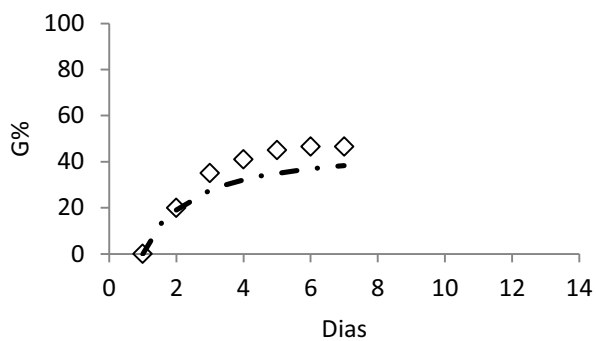
(A)



(B)



(C)



(D)

Figura 13. Curva de germinação acumulada esperada (linha pontilhada) e observada (símbolos) ao longo do tempo em condições de laboratório sob temperatura do intervalo supraótimo (33-34°C). (A) Porto Velho. (B) Porto Ferreira. (C) Apucarana. (D) Santa Maria.

Simulação de campo

A simulação de campo I foi a única na qual o modelo exibiu curvas de germinação acumulada esperadas mais atrasadas em relação ao observado (Figura 14). Nas curvas das demais simulações, ainda que estas apresentem padrão semelhante para as populações, o início da germinação descrito pelo modelo é mais rápido do que o observado, deslocando a curva esperada para a esquerda independente da temperatura média do teste (Figuras 15 a 19).

Resposta semelhante ocorreu em estudo com a gramínea *Urochloa brizantha*, no qual o modelo superestimou os tempos de germinação (Nakao & Cardoso, inédito). Os autores acreditam que essa superestimativa ocorreu devido à utilização da temperatura média do período como parâmetro de predição, e alterações nos valores de T_b , T_c e θ devido às oscilações da temperatura no campo. Segundo Murdoch & Roberts (1997), para algumas espécies os tempos e porcentagens de germinação podem ser diferentes entre condições de temperaturas constantes ou variáveis, causando diminuição na acurácia de previsões. Temperaturas muito baixas ou altas durante o processo germinativo podem alterar os parâmetros do modelo do tempo térmico, tornando-o menos acurado (Forcella et al., 2000).

O tempo térmico tem sido utilizado com algum sucesso no crescimento de espécies cultivadas, a temperatura do solo pode ser transformada em graus-dia e utilizada para prever a emergência de plântulas em campo (Angus et al., 1981; Qiu et al., 2006). De acordo com Forcella et al. (2000), isso ocorre porque espécies cultivadas são relativamente homogêneas do ponto de vista genético e são comumente semeadas em solo com umidade ideal e profundidade precisa, contrastando com a diversidade genética das sementes selvagens, nativas ou daninhas, que experimentam uma série de níveis variados de profundidade, temperatura e disponibilidade hídrica no solo.

Hardegree (2006a) considera que, num sentido prático, é provável que uma predição de tempo de germinação com um erro de até ± 1 dia seja adequada na maioria dos casos. No presente estudo, os erros em relação ao tempo de germinação observado podem gerar problemas nas estimativas da germinação em campo. A predição da resposta germinativa sob condições variáveis de temperatura requer a adoção de pressupostos associados a efeitos térmicos secundários na dormência e viabilidade das subpopulações, tendo em vista que a alternância

térmica por si pode induzir ou quebrar a dormência em algumas espécies (Hardegree, 2006b).

Qiu et al. (2006) demonstram que a alternância de temperaturas aumenta a germinabilidade e a velocidade de germinação, além de mudar os parâmetros do modelo nas sementes da gramínea *Dactylis glomerata*. Esta espécie apresenta dormência e, conforme aumenta a amplitude da alternância térmica, diminuem os valores de T_b , aumentando a janela térmica na qual as sementes são capazes de germinar. Um modelo do tempo térmico baseado nas mudanças dos parâmetros térmicos da população também é capaz de descrever a perda da dormência em sementes de *Polygonum aviculare* (Battla & Benech-Arnold, 2003).

Perez et al. (1998) afirmam que as sementes de *P. dubium*, quando mantidas sob estresse hídrico por meio da redução do potencial de água utilizando soluções de PEG (polietilenoglicol) e manitol, entram dormência secundária. Algo semelhante pode ocorrer na espécie em resposta a temperaturas extremas. Entretanto, no caso de temperaturas extremas do intervalo supraótimo, ocorre a deterioração das sementes pela presença de fungos (observações de campo).

Como não testamos se há a indução de dormência secundária e essa probabilidade é baixa devido à ampla gama de temperaturas nas quais as sementes respondem e à baixa capacidade de recuperação da germinação após períodos prolongados sob baixas temperaturas (dados não mostrados), as diferenças entre o esperado pelo modelo e o observado nos testes de campo deve se dar devido a múltiplos fatores. A simulação I foi aquela na qual o modelo descreveu melhor a germinação e também aquela na qual foram registradas as temperaturas mais baixas. Dessa forma, acreditamos que conforme as temperaturas médias diárias aumentam, diminui a acurácia do modelo em descrever o comportamento germinativo. Isso pode estar relacionado a uma série de fatores: disponibilidade hídrica no substrato em campo, presença de patógenos, temperaturas muito elevadas – acima de T_c .

Na simulação IV (Figura 17), na qual temos temperaturas máximas acima de 50°C , observamos as menores porcentagens de germinação tanto nas curvas observadas como nas curvas previstas pelo modelo. Entretanto, mesmo nas simulações V e VI (Figuras 18 e 19), nas quais as temperaturas ficaram todas dentro do intervalo ótimo de germinação, sem grande amplitude entre a máxima e a mínima, o modelo não descreve adequadamente a germinação, superestimando os

dias na curva acumulada. Isso pode ter ocorrido devido à disponibilidade hídrica e à ação de patógenos nos testes de campo.

O potencial de água no substrato foi mantido por meio de irrigação diária das bandejas instaladas nos experimentos. Dessa forma, não acreditamos que a disponibilidade hídrica tenha sido fator limitante para a germinação durante os testes. Entretanto, o substrato pode agir das mais diversas formas na germinação das sementes. Oliveira et al. (2008), embora recomendem o uso de papel na forma de rolo para conduzir o teste de germinação de *P. dubium*, observaram maior germinação no substrato areia no lote Lins em comparação com os lotes Lavras 1 e 2 no mesmo tratamento. Já o estudo de Perez et al. (1999) não observou diferença entre os substratos areia, xaxim e algodão na germinação da espécie.

No estudo de Wang et al. (2006), a predição da emergência de plântulas utilizando o modelo do tempo hidrotérmico varia de acordo com as condições de campo. Para os autores, o modelo ajusta melhor quando as médias das temperaturas no solo estão entre 10 e 15°C, de modo que o modelo superestima a emergência em temperaturas mais altas ou mais baixas. Temperaturas mais elevadas do que a ótima para a germinação reduzem a velocidade da emergência das plântulas, mudando os parâmetros do modelo (Rowse & Finch-Savage, 2003).

Sabemos que a exposição das sementes a temperaturas supraótimas pode causar danos degenerativos irreversíveis, como degradação de membrana e desnaturação de enzimas. No estudo de McDonald (2002b), as previsões menos acuradas ocorreram em regimes de temperaturas alternadas que se sobrepunham ao intervalo supraótimo. Regimes alternância de temperatura tendem a maximizar o tempo gasto no intervalo supraótimo de temperaturas, onde o dano à semente é mais provável de ocorrer (Hardegree, 2006b).

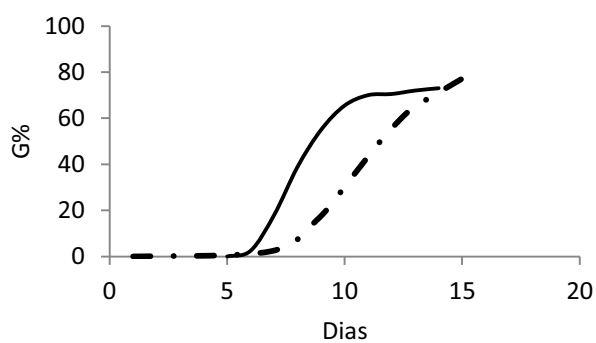
As curvas esperadas pelo modelo nem sempre descrevem com precisão a germinação das populações e essa acurácia aumenta conforme mais baixas as temperaturas do experimento. Assim, surgem novas perguntas que não pudemos responder neste estudo, como por exemplo: Qual é exatamente a diferença de potencial de água entre os testes de laboratório e o substrato de campo? Como esse potencial influencia na germinação? A combinação entre o efeito do potencial de água e a média da temperatura de cada hora para os dias do experimento é capaz de descrever a emergência de plântulas? Um estudo com o modelo do tempo hidrotérmico nas condições de campo, avaliando o efeito combinado da variação

térmica e da disponibilidade hídrica pode ajudar a explicar a germinação e emergência de plântulas de *P. dubium*.

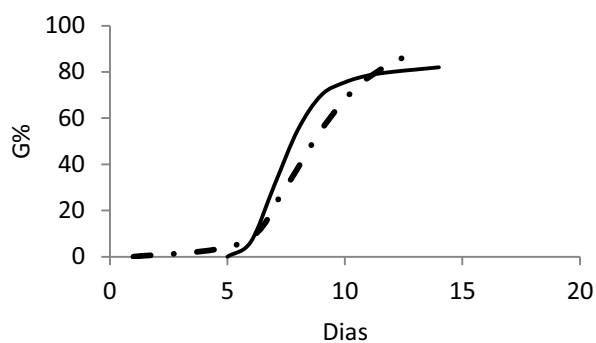
3.5 Conclusão

O modelo descreve com acurácia a germinação de *P. dubium* em condições de laboratório. A população de Porto Velho exibe maior T_b , enquanto a de Santa Maria é mais sensível às altas temperaturas, apresentando menor mediana da distribuição de T_c .

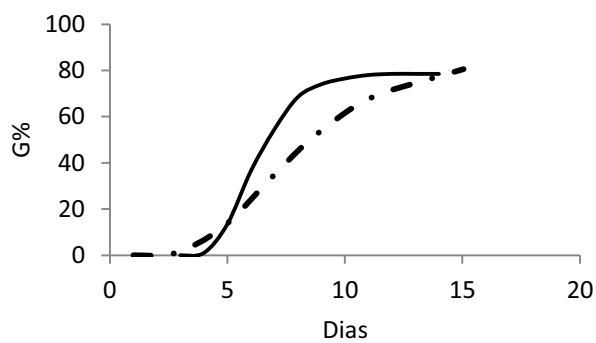
Nas variações naturais de temperatura o modelo não descreve a germinação tão bem quanto em laboratório, o que provavelmente está associado ao potencial de água do substrato das simulações de campo. Quanto maiores as temperaturas às quais as sementes estão sujeitas nos testes de campo, menor a precisão do modelo em prever a germinação. Sugere-se um estudo com a modelagem do tempo hidrotérmico na emergência de plântulas em condições de campo, avaliando o efeito combinado da disponibilidade hídrica e da variação térmica, para complementar a descrição da germinação na espécie.



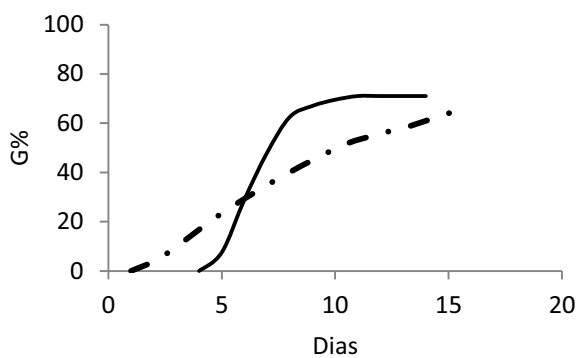
(A)



(B)

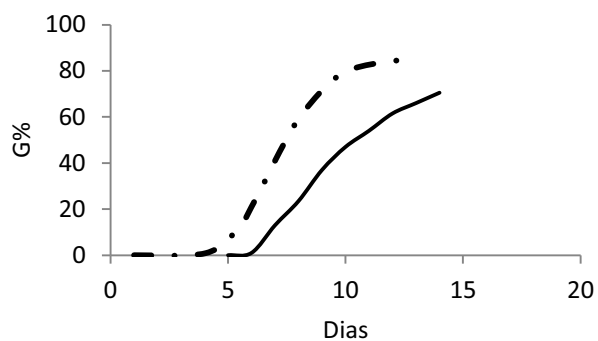


(C)

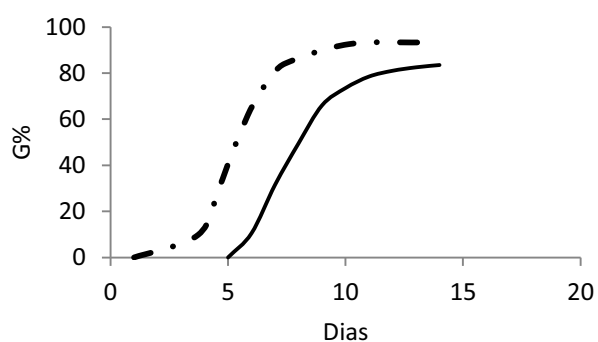


(D)

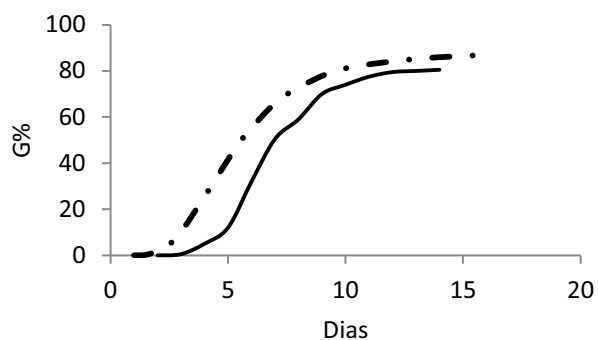
Figura 14. Simulação de campo I (julho de 2012, temperatura média 20,4°C). Curva de germinação acumulada esperada (linha pontilhada) e observada (linha contínua) ao longo do tempo. (A) Porto Velho. (B) Porto Ferreira. (C) Apucarana. (D) Santa Maria.



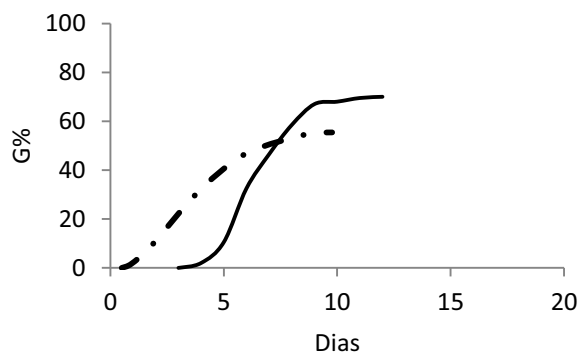
(A)



(B)

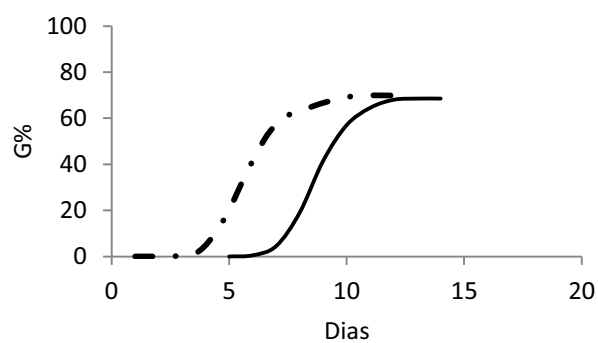


(C)

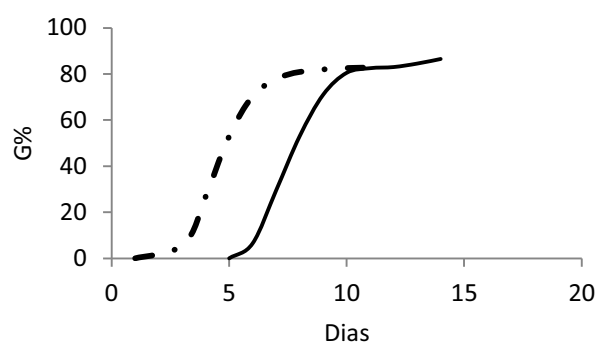


(D)

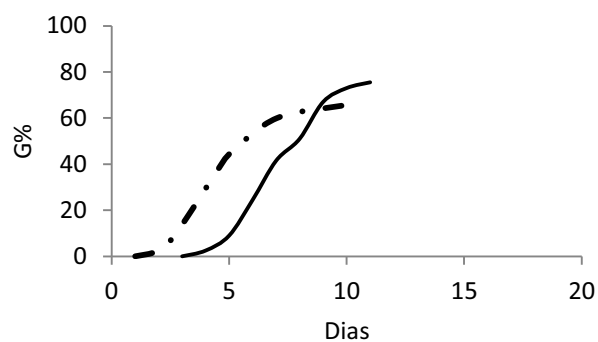
Figura 15. Simulação de campo II (agosto de 2012, temperatura média 21,5°C). Curva de germinação acumulada esperada (linha pontilhada) e observada (linha contínua) ao longo do tempo. (A) Porto Velho. (B) Porto Ferreira. (C) Apucarana. (D) Santa Maria.



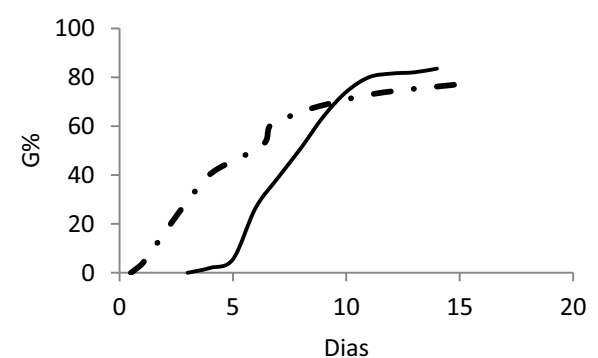
(A)



(B)

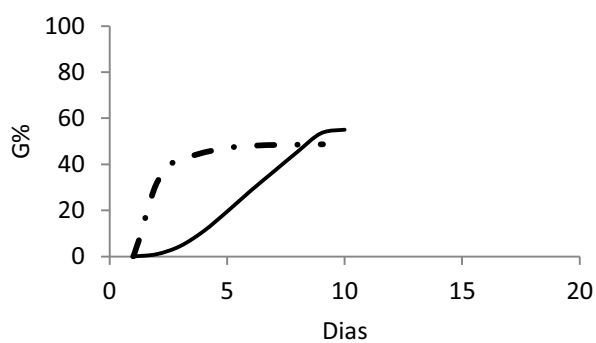


(C)

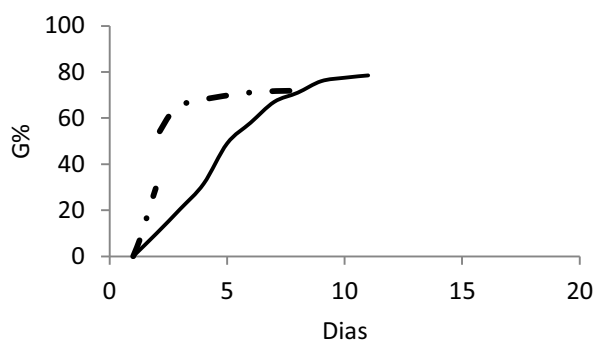


(D)

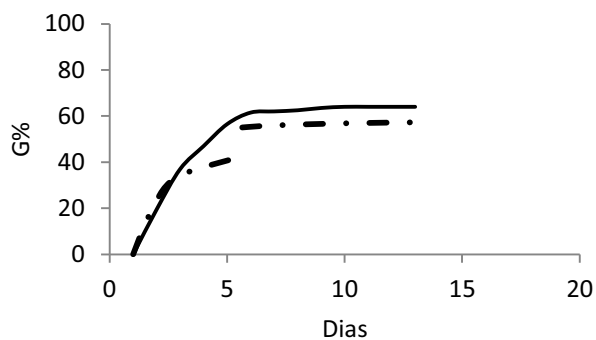
Figura 16. Simulação de campo III (setembro de 2012, temperatura média 23,2°C). Curva de germinação acumulada esperada (linha pontilhada) e observada (linha contínua) ao longo do tempo. (A) Porto Velho. (B) Porto Ferreira. (C) Apucarana. (D) Santa Maria.



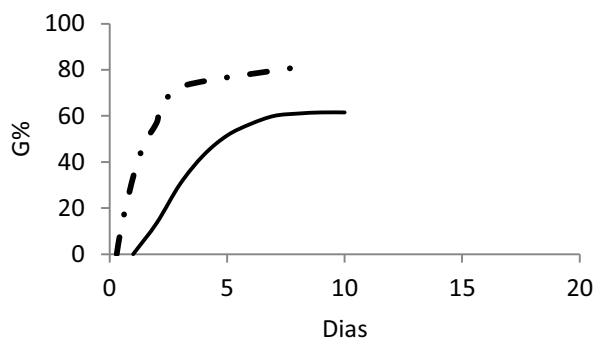
(A)



(B)

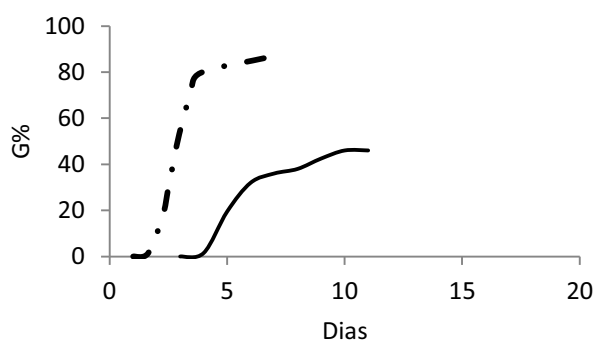


(C)

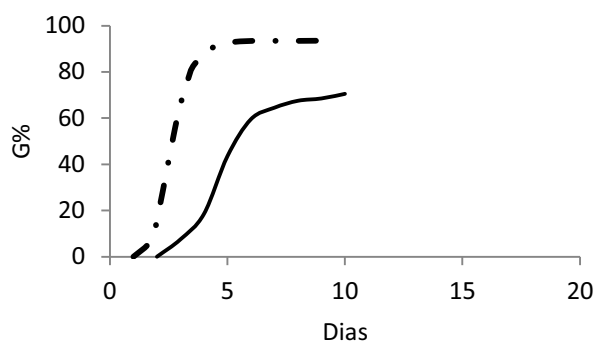


(D)

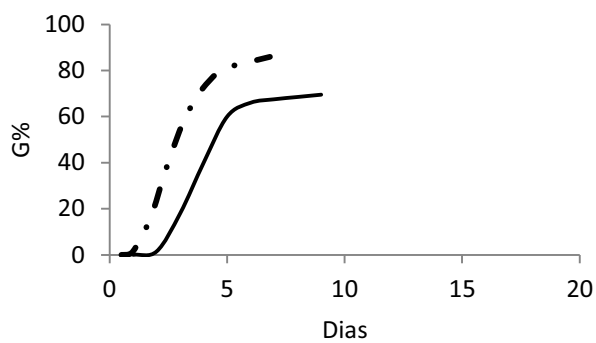
Figura 17. Simulação de campo IV (outubro de 2012, temperatura média 32,2°C). Curva de germinação acumulada esperada (linha pontilhada) e observada (linha contínua) ao longo do tempo. (A) Porto Velho. (B) Porto Ferreira. (C) Apucarana. (D) Santa Maria.



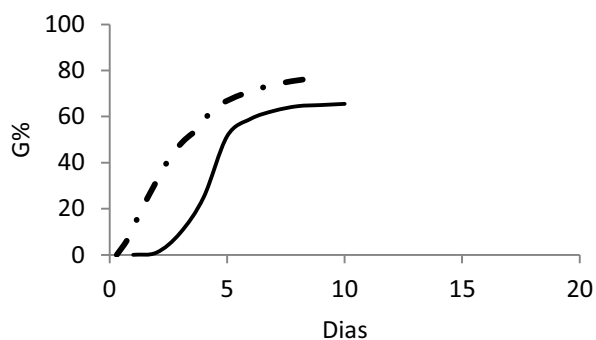
(A)



(B)

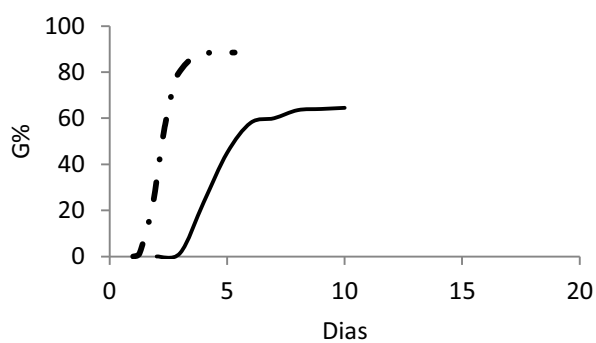


(C)

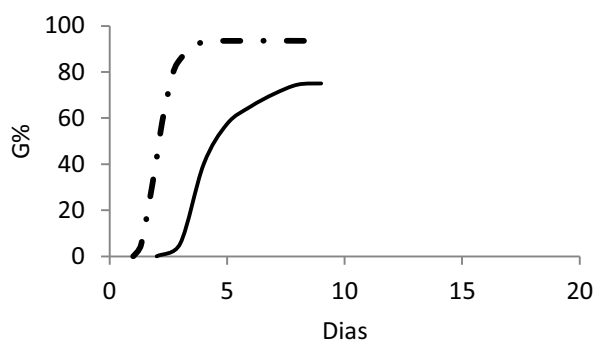


(D)

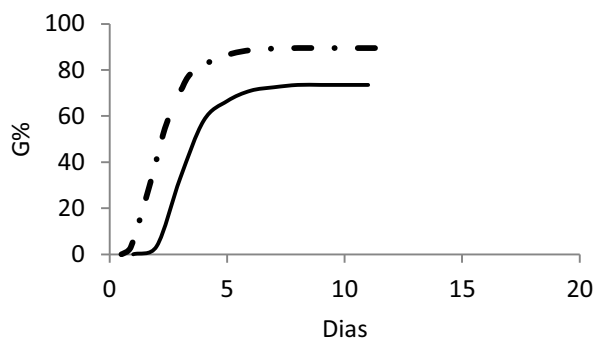
Figura 18. Simulação de campo V (dezembro de 2012, temperatura média 24,7°C). Curva de germinação acumulada esperada (linha pontilhada) e observada (linha contínua) ao longo do tempo. (A) Porto Velho. (B) Porto Ferreira. (C) Apucarana. (D) Santa Maria.



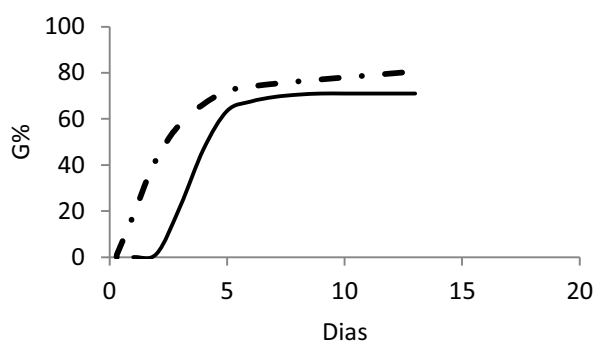
(A)



(B)



(C)



(D)

Figura 19. Simulação de campo VI, Controle (janeiro de 2013, temperatura média 27,2°C). Curva de germinação acumulada esperada (linha pontilhada) e observada (linha contínua) ao longo do tempo. (A) Porto Velho. (B) Porto Ferreira. (C) Apucarana. (D) Santa Maria.

3.6 Referências bibliográficas

- Alvarado V, Bradford KJ. A hydrothermal time model explains the cardinal temperatures for seed germination. **Plant, Cell and Environment**. 25, 1061-1069. 2002.
- Angus JF, Cunningham RB, Moncur MW, Mackenzie DH. Phasic development in field crops I. Thermal response in the seedling phase. **Field Crops Research**. 3, 365-378. 1981.
- Baskin CC. Breaking physical dormancy in seeds – focussing on the lens. **New Phytologist**. 158, 227-238. 2003.
- Baskin CC, Baskin JM. **Seeds**. Ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination. San Diego: Academic Press. 2001.
- Batlla D, Benech-Arnold RL. A quantitative analysis of dormancy loss dynamics in *Polygonum aviculare* L. seeds: Development of a thermal time model based on changes in seed population thermal parameters. **Seed Science Research**. 13, 55-68. 2003.
- Bewley JD. Seed germination and dormancy. **The Plant Cell**. 9, 1055-1066. 1997.
- Botelho BA, Perez SCJ. Estresse hídrico e reguladores de crescimento na germinação de sementes de canafístula. **Scientia Agricola**. 58(1), 43-49. 2001.
- Bradford KJ. Water relations in seed germination. In: Kigel J, Galili G (Ed.). **Seed development and germination**. New York: Marcel Dekker. 351-396. 1995.
- Bradford KJ. Applications of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. **Weed Research**. 50, 248-260. 2002.
- Bradford KJ. Threshold models applied to seed germination ecology. **New Phytologist**. 165, 338-341. 2005.
- Brançalion PHS, Novembre ADL, Rodrigues RR. Temperatura ótima de germinação de sementes de espécies arbóreas brasileiras. **Revista Brasileira de Sementes**. 32(4), 15-21. 2010.
- Cardoso VJM. An adapted thermal-gradient block for the germination of photoblastic seeds. **Brazilian Archives of Biology and Technology**. 53(6), 1267-1277. 2010.
- Cardoso VJM. Metodologia para análise da dependência térmica da germinação pelo modelo de graus-dia. **Oecologia Australis**. 15(2), 236-248. 2011.
- Cardoso VJM, Pereira FJM. Dependência térmica da germinação de sementes de *Drymaria cordata* (L.) Willd. ex Roem. & Schult. (Cariophyllaceae). **Acta Bot. Bras.** 23(2), 305-312. 2009.

CEPAGRI – Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura. Unicamp. **Clima dos municípios paulistas**: A classificação climática de Koeppen para o estado de São Paulo. Disponível em: (<http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima-dos-municipios-paulistas.html>). Acesso em 4 de março de 2013.

Covell S, Ellis RH, Roberts EH, Summerfield RJ. The influence of temperature on seed germination rate in grain legumes. I. A comparison of chickpea, lentil, soyabean and cowpea at constant temperatures. **Journal of Experimental Botany**. 37(178), 705-715. 1986.

Ellis RH, Covell S, Roberts EH, Summerfield RJ. The influence of temperature on seed germination rate in grain legumes. II. Intraspecific variation in chickpea (*Cicer arietinum* L.) at constant temperatures. **Journal of Experimental Botany**. 37(183), 1503-1515. 1986.

Ellis RH, Simon G, Covell S. The influence of temperature on seed germination rate in grain legumes. III. A comparison of five faba bean genotypes at constant temperatures using a new screening method. **Journal of Experimental Botany**. 38(191), 1033-1043. 1987.

EMBRAPA Monitoramento por Satélite. **Banco de dados climáticos do Brasil**. 2003. Disponível em: (<http://www.bdclima.cnpm.embrapa.br>). Acesso em 4 de março de 2013.

Everham III EM, Myster RW, Vandegenachte E. Effects of light, moisture, temperature, and litter on the regeneration of five tree species in the Tropical Montane Wet Forest of Puerto Rico. **American Journal of Botany**. 83(8), 1063-1068. 1996.

Forcella F, Benech-Arnold RL, Sanchez R, Ghera CM. Modelling seedling emergence. **Field Crop Research**. 67, 123-139. 2000.

Garcia-Huidobro J, Monteith JL, Squire GR. Time, temperature and germination of Pearl Millet (*Pennisetum typhoides* S. & H.). **Journal of Experimental Botany**. 33(133), 288-296. 1982.

Gutterman Y. Maternal effects on seeds during development. In: Fenner M (Ed.). **Seeds: The ecology of regeneration in plant communities**, 2nd edition. Wallingford: CABI Publishing. 59—8?. 2000.

Hardegree SP. Predicting germination response to temperature. I. Cardinal-temperature models and subpopulation-specific regression. **Annals of Botany**. 97, 1115-1125. 2006a.

Hardegree SP. Predicting germination response to temperature. III. Model validation under field-variable temperature conditions. **Annals of Botany**. 98, 827-834. 2006b.

Labouriau LFG. **A germinação das sementes**. Washington: Organização dos Estados Americanos. 174p. 1983.

Labouriau LFG. Seed germination as a thermobiological problem. **Rad. and Environm. Biophys.** 15, 345-366. 1978.

Labouriau LFG, Agudo M. On the physiology of seed germination in *Salvia hispanica* L. I. Temperature effects. **Anais Academia Brasileira Ciências.** 59(1), 37-56. 1987.

Larcher W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RIMA. 531p. 2000.

Lewis GP. *Peltophorum* in **Lista de espécies da flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2013. Disponível em: (<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB83566>). Acesso em 4 de março de 2013.

McDonald CK. Germination response to temperature in tropical and subtropical pasture legumes. 1. Constant temperature. **Australian Journal of Experimental Agriculture.** 42, 407-419. 2002a.

McDonald CK. Germination response to temperature in tropical and subtropical pasture legumes. 2. Alternating temperatures. **Australian Journal of Experimental Agriculture.** 42, 421-429. 2002b.

Moot DJ et al. Base temperature and thermal time requirements for germination and emergence of temperate pasture species. **New Zealand Journal of Agricultural Research.** 43(1), 15-25. 2000.

Moreno-Casasola PA, Grime JP, Martínez ML. Comparative study of the effects of fluctuations in temperature and moisture supply on hard coat dormancy in seeds of coastal tropical legumes in Mexico. **Journal of Tropical Ecology.** 10, 67-86. 1994.

Morrison DA, McClay K, Porter C, Rish S. The role of the lens in controlling heat-induced breakdown of testa-imposed dormancy in native Australian legumes. **Annals of Botany.** 82, 35-40. 1998.

Murdoch AJ, Roberts EH. Temperature and the rate of germination of dormant seeds of *Chenopodium album*. In: Ellis RH, Black M, Murdoch AJ, Hong TD (Ed.). **Basic and Applied Seed Biology**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 1997.

Oliveira LM, Davide AC, Carvalho MLM. Teste de germinação de sementes de *Peltophorum dubium* (Sprengel) Taubert – Fabaceae. **Floresta.** 38(3). 2008.

Perez SCJ, Fanti SC, Casali CA. Influência da temperatura sobre a resistência das sementes de canafístula (*Peltophorum dubium* (Spreng) Taubert) ao estresse hídrico simulado. **Revista Brasileira de Sementes.** 20(2), 96-103. 1998.

Perez SCJ, Fanti SC, Casali CA. Influência do armazenamento, substrato, envelhecimento precoce e profundidade de semeadura na germinação de canafístula. **Bragantia.** 58(1), 57-68. 1999.

Probert RJ. The role of temperature in the regulation of seed dormancy and germination. In: Fenner M (Ed.). **Seeds: The ecology of regeneration in plant communities**, 2nd edition. Wallingford: CABI Publishing. 261--292. 2000.

Qi A, Wheeler TR, Keatinge JDH, Ellis RH, Summerfield RJ, Craufurd PQ. Modelling the effects of temperature on the rates of seedling emergence and leaf appearance in legume cover crops. **Experimental Agriculture**. 35, 327-344. 1999.

Qiu J, Bai Y, Coulman B, Romo JT. Using thermal time models to predict seedling emergence of orchardgrass (*Dactylis glomerata* L.) under alternating temperature regimes. **Seed Science Research**. 16, 261-271. 2006.

Ranal MA, Santana DG. How and why to measure the germination process? **Rev. Bras. Bot.** 29(1), 1-11. 2006.

Roach DA, Wulff RD. Maternal effects in plants. **Annual Review of Ecology and Systematics**. 18, 209-235. 1987.

Rowse HR, Finch-Savage WE. Hydrothermal threshold models can describe the germination response of carrot (*Daucus carota*) and onion (*Allium cepa*) seed populations across both sub- and supra-optimal temperatures. **New Phytologist**. 158, 101-108. 2003.

Sokal RR, Rohlf FJ. **Biometry**. W. H. São Francisco, Freeman and Co. 1969.

Souza RP, Valio IFM. Seed size, seed germination, and seedling survival of Brazilian tropical tree species differing in successional status. **Biotropica**. 33(3), 447-457. 2001.

Steinmaus SJ, Prather TS, Holt JS. Estimation of base temperatures for nine weed species. **Journal of Experimental Botany**. 51(343), 275-286. 2000.

Thompson PA. Characterization of the germination response to temperature of species and ecotypes. **Nature**. 225(5232), 827-831. 1970.

Trudgill DL, Honek A, Li D, Van Straalen NM. Thermal time – concepts and utility. **Annals of Applied Biology**. 146, 1-14. 2005.

Valio IFM, Scarpa FM. Germination of seeds of tropical pioneer species under controlled and natural conditions. **Rev. Bras. Bot.** 24(1), 79-84. 2001.

Vázquez-Yanes C, Orozco-Segovia A. Seed germination of a tropical rain forest pioneer tree (*Heliocarpus donnell-smithii*) in response to diurnal fluctuation of temperature. **Physiologia Plantarum**. 56(3), 295-298. 1982.

Wang R, Bai Y, Tanino K. Seedling emergence of Winterfat (*Krascheninnikovia lanata* (Pursh) A.D.J. Meeuse & Smit) in the field and its prediction using the hydrothermal time model. **Journal of Arid Environments**. 64, 37-53. 2006.

Wanli Z, Leihong L, Perez SCJ. Pré-condicionamento e seus efeitos em sementes de canafístula (*Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub.). **Revista Brasileira de Sementes**. 23(1), 146-153. 2001.

White JW, Montes-R C. The influence of temperature on seed germination in cultivars of common bean. **Journal of Experimental Botany**. 44(269), 1795-1800. 1993.