



Jardim Botânico  
de Brasília

ISSN 1983-6996

Versão impressa

ISSN 2359-165X

Versão *on line*

*Herpingeriana*

9(1): 13-23. 2015

## PARÂMETROS TERMO-HÍDRICOS DA GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE *Astronium fraxinifolium* SCHOTT E ASPECTOS ECOFISIOLÓGICOS.

Victor José Mendes Cardoso<sup>1</sup>

**RESUMO** - Modelos matemáticos baseados no conceito de “tempo térmico” (*thermal time*) assumem que, dentro de uma amostra de sementes, sempre existirão aquelas que germinam mais rápido, as intermediárias e as mais lentas, e essa ordem independe da temperatura. Modelo similar também tem sido usado para descrever a dependência da germinação em relação ao potencial de água (*hydrotime*), assumindo que cada semente apresenta um potencial hídrico base ( $\Psi_{b(G)}$ ) que determina sua sensibilidade ao  $\Psi$  do meio. Neste trabalho, mostrou-se que os pressupostos do modelo foram atendidos na resposta à temperatura e potencial de água por sementes de *Astronium fraxinifolium* (Anacardiaceae), sendo que o modelo respondeu por  $\cong 70\%$  da variação total dos tempos de germinação. Possíveis implicações ecofisiológicas e perspectivas de utilização dos parâmetros do modelo na germinação da espécie são discutidos.

**Palavras-chave:** Gonçalo-alves, potencial hídrico, tempo térmico.

**ABSTRACT** (Hydrothermal time parameters and physiological aspects on the germination of *Astronium fraxinifolium* Schott seeds) – Mathematical models based in thermal time concept assume that the order in which seeds germinate within a population is independent of temperature, that is, each seed can be assigned a value of G, corresponding to slow, intermediate and fast germinators. A similar model (hydrotime) has been used to describe the water potential dependence on the germination, base on the assumption that each seed can be assigned a base water potential ( $\Psi_{b(G)}$ ) which determines the seed sensitivity to the environment  $\Psi$ . This work showed that model assumptions were met concerning the response of *Astronium fraxinifolium* (Anacardiaceae) seeds to temperature and water potential, with the model responding for  $\cong 70\%$  of the germination time's variation. Ecophysiological meaning and possible applications of the model parameters on the species seed germination are discussed.

**Keywords:** Gonçalo-alves, thermal time, water potential.

<sup>1</sup>Departamento de Botânica, Instituto de Biociências, UNESP, Campus de Rio Claro. Caixa Postal 199, CEP 13506-900, Rio Claro, Brasil. E-mail: victorjc@rc.unesp.br.

## INTRODUÇÃO

A germinação é muito sensível à temperatura (T) e ao potencial de água do meio ( $\Psi$ ), sendo comum na literatura científica a descrição da resposta das sementes a esses fatores com base em modelos matemáticos. Dentre eles, modelos baseados no conceito de “tempo térmico” (*thermal time*) e “tempo hídrico” (*hydrotime*) têm sido comumente empregados (Alvarado & Bradford, 2002; Larsen & Bibby, 2005; Bloomberg *et al.*, 2009; Rawlins *et al.*, 2012), com base no conceito de que, dentro de uma população, as sementes apresentam uma temperatura base ou mínima ( $T_b$ ), bem como um potencial hídrico limiar ( $\Psi_{b(G)}$ ), que determinam os limites mínimos de germinação em função da temperatura e da água, respectivamente. De acordo com Labouriau (1983), o conhecimento das temperaturas cardiais de germinação, como  $T_b$ , é importante, não só para a agricultura, como também para ajudar a explicar a distribuição geográfica da espécie, além de refletirem a condição fisiológica da semente. Assim, embora dentro de uma dada amostra de sementes o valor de  $T_b$  em geral varie muito pouco (Finch-Savage, 2004), esse parâmetro pode se alterar dependendo do grau de dormência da semente (Labouriau, 1983).

Por sua vez, de acordo com o modelo, os valores do parâmetro  $\Psi_{b(G)}$  variam entre as sementes de uma mesma amostra, o que, em última análise, irá determinar o tempo de germinação da semente, o qual seria inversamente proporcional à diferença entre os valores de  $\Psi_{b(G)}$

e do  $\Psi$  do meio (Finch-Savage, 2004). Do ponto de vista fisiológico,  $\Psi_{b(G)}$  pode ser uma estimativa do  $\Psi$  mínimo necessário para que o potencial de crescimento do embrião supere as forças restritivas representadas pelos tecidos extra embrionários da semente (Bradford, 1995). De acordo com Bradford (1995),  $\Psi_{b(G)}$ , pode ser afetado não apenas pelo genótipo, mas também pelo estágio de maturação da semente, grau de dormência e presença de hormônios vegetais.

Ainda de acordo com o modelo, a distribuição dos tempos de germinação de uma população de sementes, em função da temperatura e do potencial de água, pode ser descrita pelas seguintes equações (Bewley *et al.*, 2013):

Equação 1:

$$\theta_{T(G)} = [T - T_b] \cdot t_{(G)} \therefore t_{(G)} = \theta_{T(G)} / [T - T_b];$$

Equação 2:

$$\theta_H = [\Psi - \Psi_{b(G)}] \cdot t_{(G)} \therefore t_{(G)} = \theta_H / [\Psi - \Psi_{b(G)}],$$

onde  $\theta_{T(G)}$  e  $\theta_H$  são as constantes *thermal time* e *hydrotime*, respectivamente, e  $t_{(G)}$  é o tempo para a germinação de uma porcentagem G de sementes. Gummerson (1986) combinou as equações (1) e (2) num único modelo:

Equação 3:

$$\theta_{HT} = [T - T_b] \cdot [\Psi - \Psi_{b(G)}] \cdot t_{(G)},$$

onde  $\theta_{HT}$  é a constante *hydrothermal time* (tempo termo-hídrico, em tradução livre), que representa o progresso em direção à germinação (protrusão radicular), em função do potencial de água e temperatura ambiente.

Portanto, para um dado intervalo de tempo real, as sementes mais lentas (maior tempo de germinação) acumulam mais lentamente tempo termo-hídrico em comparação com as sementes mais rápidas (aquelas que germinam primeiro). A equação (3) mostra, mais uma vez, a reciprocidade entre o tempo “real” ( $t$ ) e o  $\Psi_b$  para a germinação de uma porcentagem  $G$  numa dada temperatura, ou seja, quanto maior  $t_{(G)}$  menor  $\Psi_{b(G)}$ , de modo que o tempo “corrigido” ( $\theta_{HT}$ ) permanece constante. Em suma, uma redução do  $\Psi$  e/ou um aumento do  $\Psi_{b(G)}$  deverá expandir o tempo corrigido em relação ao tempo real, o contrário ocorrendo com um aumento do  $\Psi$  e/ou redução do  $\Psi_{b(G)}$  (Bradford, 1995).

Considerando-se que a distribuição dos tempos de germinação de sementes individuais deve ser definida pela distribuição dos valores de  $\theta_{T(G)}$  e  $\Psi_{b(G)}$ , o conhecimento dos parâmetros (média e desvio padrão) dessa distribuição deverá permitir a construção das curvas esperadas de germinação em diferentes condições de temperatura e potencial de água. A estimativa dos parâmetros  $\theta_{T(50)}$  (tempo térmico médio),  $\Psi_{b(50)}$  (potencial base médio),  $T_b$ ,  $\theta_H$  e  $\theta_{HT}$  pode ser feita tanto por métodos gráficos como, mais usualmente, por modelos de regressão, como o probítico (Bradford, 1995; Bewley *et al.*, 2013).

O conhecimento dos parâmetros permite a quantificação da sensibilidade das sementes a fatores como hormônios, oxigênio e luz. Além disso, sob uma perspectiva ecológica, uma germinação lenta pode ser tão efetiva quanto a dormência em condições ambientais não

Parâmetros termohídricos da germinação de sementes...  
favoráveis, já que a semente não germinada é mais tolerante à desidratação do que a plântula.

Assim, o uso de modelos que permitam prever a distribuição dos tempos de germinação das sementes também pode servir como elemento de discussão sobre as diferentes estratégias das sementes em ambientes sujeitos a flutuações erráticas, como inundações ou geadas, o que pode definir a sobrevivência da espécie nesses ambientes (Bewley *et al.*, 2013).

*Astronium fraxinifolium* Schott (Anacardiaceae), espécie arbórea classificada como pioneira típica – embora não restrita – do Cerrado central do Brasil, está incluída entre as espécies prioritárias para conservação de recursos genéticos no Brasil, segundo a Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia (Leite, 2002). A espécie apresenta ampla distribuição, incluindo as regiões Nordeste, Sudeste, Centro-Oeste e parte da região Sul do Brasil, bem como a região amazônica, Bolívia, Paraguai, Colômbia e Venezuela. No Brasil, sua ocorrência mais meridional é no estado do Paraná. Floresce de junho a agosto no Cerrado e de junho a outubro na Amazônia, e frutifica de outubro a dezembro na Amazônia (Leite, 2002). Sua propagação é feita basicamente por sementes, as quais não apresentam dormência e são tolerantes à dessecação e baixas temperaturas no armazenamento (Vieira *et al.*, 2008; Braga *et al.*, 2014). De acordo com Souza *et al.* (2012), dentre as temperaturas testadas (20, 25 e 30 °C), a de 30 °C produziu a maior germinabilidade de sementes de *A. fraxinifolium*, não havendo diferença entre os substratos papel e areia. O conhecimento da biologia das sementes dessa,

bem como de outras espécies arbóreas prioritárias para conservação, pode, entre outros, subsidiar programas voltados para a conservação *in situ* da espécie.

Considerando-se que o uso dos parâmetros  $\Psi_{b(G)}$  e  $T_b$  na modelagem da germinação em condições variáveis de  $\Psi$  e  $T$  prevê – entre outros – que as sementes apresentem  $T_b$  comum e que esse seja independente do  $\Psi$ , além de que  $\Psi_{b(G)}$  seja independente de  $T$ , o que nem sempre é o caso, neste trabalho objetivou-se determinar os valores e possíveis relações entre os parâmetros do modelo *hydrothermal time* na germinação de *A. fraxinifolium*.

## MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas sementes de *Astronium fraxinifolium*, também conhecida como “gonçalo-alves”, obtidas junto à empresa Amburana Sementes, Araras (SP), e provenientes do município de Trindade (GO). O tempo decorrido entre a coleta e os ensaios de germinação aqui descritos foi de aproximadamente sete meses, com as sementes armazenadas à temperatura de  $\cong 7^\circ\text{C}$ . A amostra apresentou massa média de  $28,35 \pm 0,32$  mg por semente (erro padrão), dados obtidos a partir de pesagens individuais de uma amostra de 164 sementes, e teor de água de  $11,42 \pm 0,08\%$  (base massa fresca) ou  $12,9 \pm 0,1\%$  (base massa seca).

Os ensaios de germinação foram realizados em bloco de gradiente térmico, conforme descrito por Cardoso (2010),

utilizando-se as temperaturas constantes de 13,3, 15,0; 17,1; 18,9; 20,8; 22,6 e 24,5  $^\circ\text{C}$ , situadas no intervalo considerado infra-ótimo para a germinação de *A. fraxinifolium*, com base em Souza *et al.* (2012). Este trabalho limitou-se às temperaturas infra-ótimas tendo em vista não só a melhor adequação do modelo a esse intervalo térmico, como também às bruscas reduções da capacidade de germinação em temperaturas supra-ótimas. Os diferentes potenciais de água (0,2 a -0,8 MPa) foram obtidos com soluções de polietilenoglicol 6000 (IMPEX), usando-se água destilada (0 MPa) como controle. As sementes foram germinadas sobre uma tira de papel de filtro Whatman n. 1, mantida saturada com água ou solução e suportada por uma canaleta plástica de 16 mm larg. x 200 mm compr., inserida num tubo de ensaio de 25 mm diâm. x 250 mm compr., sendo 40 sementes por tubo. Cada tubo era mantido ligeiramente inclinado dentro do bloco termogradiente, e continha em seu fundo um excesso de água ou solução, o qual ficava em contato com uma extremidade da tira de papel e supria o líquido eventualmente evaporado ao longo do experimento. Os ensaios foram mantidos em escuro constante, exceto quando das contagens de germinação, as quais eram realizadas sob luz branca. Como critério de germinação usou-se a protrusão da raiz primária através do tegumento, descartando-se as sementes germinadas imediatamente após cada contagem.

No delineamento experimental, em cada estação térmica do bloco (Cardoso, 2010) foram distribuídos aleatoriamente cinco tubos de ensaio, cada qual com uma solução de PEG 6000 (0,0; -0,2; -0,4; -0,6 e -0,8 MPa). Durante as contagens

os tubos eram retirados de cada estação térmica e, em seguida, realocados nas respectivas estações sempre de maneira aleatória.

Os parâmetros dos modelos *thermal time* ( $T_b$ ), *hydrotime* ( $\theta_H$ ,  $\Psi_{b(50)}$ ) e respectivos desvios ( $\sigma_{\Psi_b}$ ) e *hydrothermal time* ( $\theta_{HT}$ ) foram estimados com auxílio de planilha eletrônica, pelo método de regressão probítica (Finney, 1952), conforme descrito em detalhes por Bradford (1995) e Cardoso (2013). A velocidade média de germinação ( $V$ ) foi estimada com base em Labouriau (1983), a partir da equação:

$$V = \frac{\sum n_i}{\sum t_{ni}}$$

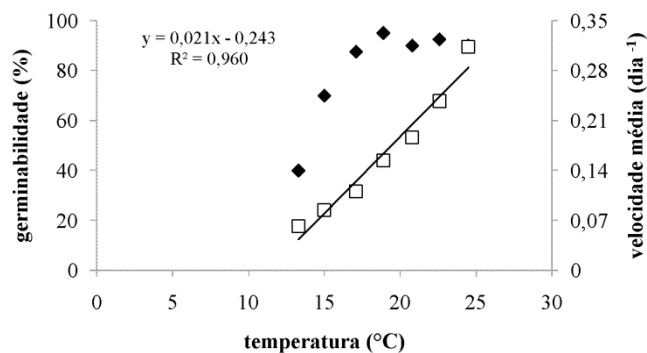
Onde  $n_i$  é o número de sementes germinadas no intervalo de tempo  $t_i$ .

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As temperaturas utilizadas neste trabalho corresponderam à faixa térmica infra-ótima da população de *A. fraxinifolium*, considerando-se o aumento linear da velocidade ( $V$ ) com a temperatura ( $T$ ), ao passo que a germinabilidade (porcentagem final de germinação) tendeu a estabilizar-se a partir de 17 °C (Figura 1).

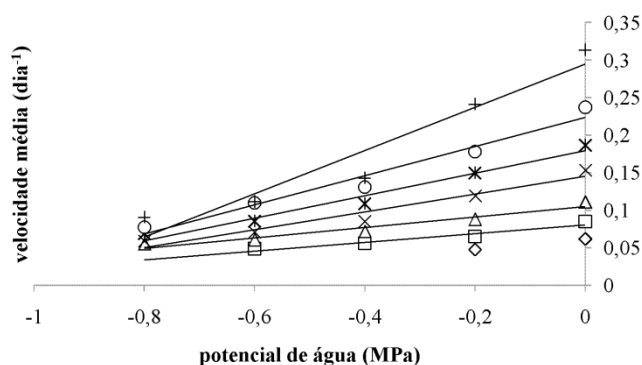
Portanto, considerando-se o critério segundo o qual a  $T$  ótima é aquela que produz o maior número de sementes germinadas no menor tempo (Cardoso, 2008), no presente caso a temperatura de 24 °C pode ser considerada ótima para essa população, enquanto que a extrapolação da reta de regressão das velocidades médias em  $T$  (Labouriau, 1978) aponta para uma temperatura base ( $T_b$ ) de  $\cong 11,6$  °C, bastante próxima da  $T_b$  (11,3 °C) obtida através do método de regressão

Parâmetros termohídricos da germinação de sementes... probítica. Esse valor de  $T_b$  é relativamente alto, se comparado com espécies de clima temperado, como *Populus tremuloides* (5 °C), *Quercus robur* (0,8 a 2,4 °C) e *Araucaria hunsteinii* (6 °C) (Phartyal *et al.*, 2003), o que poderia ajudar a explicar a não ocorrência da espécie no extremo sul do Brasil, por exemplo, considerando-se que parâmetros como a temperatura mínima e o número de graus-dia para desenvolvimento podem atuar como indicadores da distribuição de plantas de diversas espécies europeias, por exemplo (Jones, 2014).



**Figura 1.** Dependência da temperatura da germinabilidade (♦) e velocidade média (□) de germinação de sementes de *A. fraxinifolium*.

A velocidade de germinação das sementes de *A. fraxinifolium* decresceu com a redução do potencial de água, sendo que a taxa de decréscimo, conforme esperado com base na literatura (Bradford, 1995), variou com a temperatura (Figura 2). A partir da inclinação das retas de regressão pode-se notar que em temperaturas mais elevadas a taxa de decréscimo é relativamente maior, em comparação com as temperaturas mais próximas de  $T_b$ , sugerindo uma maior sensibilidade à redução do potencial de água em temperaturas mais altas.

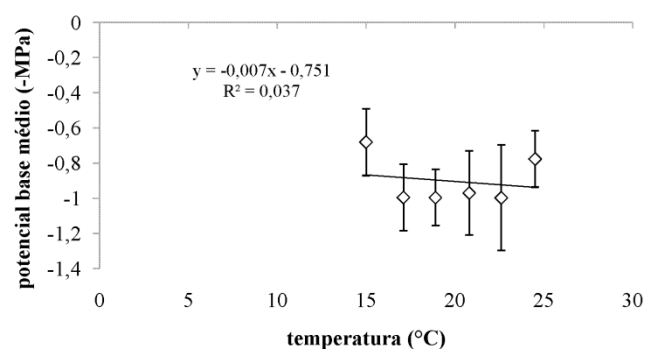


**Figura 2.** Dependência do potencial de água da velocidade média de germinação de sementes de *Astronium fraxinifolium* às temperaturas de: 13,3 °C (◇) ; 15 °C (□) ; 17,1 °C (Δ) ; 18,9 °C (x); 20,8 °C (\*) ; 22,6 °C (○) e; 24,5 °C (+).

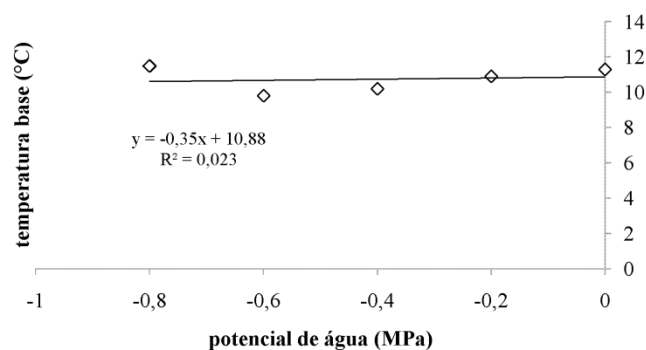
O potencial hídrico base médio ( $\Psi_{b(50)}$ ), que é um dos parâmetros do modelo para se quantificar e prever o comportamento germinativo e a sensibilidade global do lote de sementes em função do  $\Psi$  do meio (Bradford, 1995), não apresentou variação significativa (Teste F,  $\alpha = 5\%$ ) no intervalo térmico (Figura 3), mostrando portanto independência entre  $\Psi_b$  e temperatura, o que permite o uso do modelo descrito pela equação (3) (Gummerson, 1986; Alvarado & Bradford, 2002). Já a constante *hydrotime* ( $\theta_H$ ) (equação 2), que representa a quantidade de MPa·dia necessária para que cada semente germine e cujo inverso indica a velocidade de germinação por unidade de diferença entre  $\Psi$  e  $\Psi_b$ , decresceu com o aumento de T (figura não apresentada). Outro pré-requisito para a utilização do modelo, a temperatura base ( $T_b$ ) praticamente não variou com o  $\Psi$  do meio (Figura 4), ao passo que as sementes de *A. fraxinifolium* precisam acumular

mais “tempo térmico” para germinar com a redução do  $\Psi$  (gráfico não apresentado), o que indica diminuição da velocidade de germinação.

Numa análise geral, considerando-se o modelo (equação 3), é possível assumir que, em temperaturas infra-ótimas, as sementes da população de *A. fraxinifolium* apresentam uma única  $T_b$  e que a distribuição dos tempos de germinação pode ser descrita pela distribuição de  $\Psi_b$  dentro dessa população.



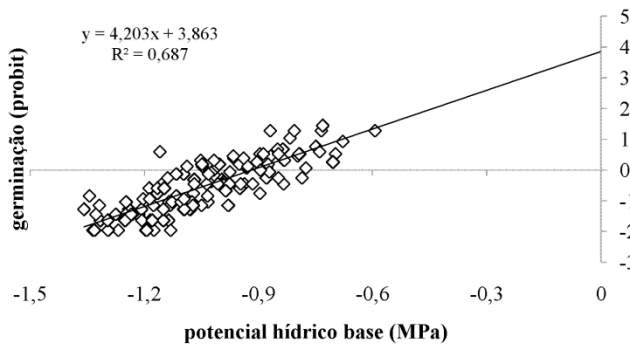
**Figura 3.** Distribuição do potencial base médio ( $\Psi_{b(50)}$ ) em função de temperaturas da faixa infra-ótima da germinação de sementes de *A. fraxinifolium*.



**Figura 4.** Distribuição da temperatura base ( $T_b$ ) em função do potencial de água do meio, na germinação de sementes de *A. fraxinifolium*.

A determinação dos parâmetros da distribuição de  $\Psi_b$  foi feita a partir de regressão probítica (Figura 5) combinando-se numa única

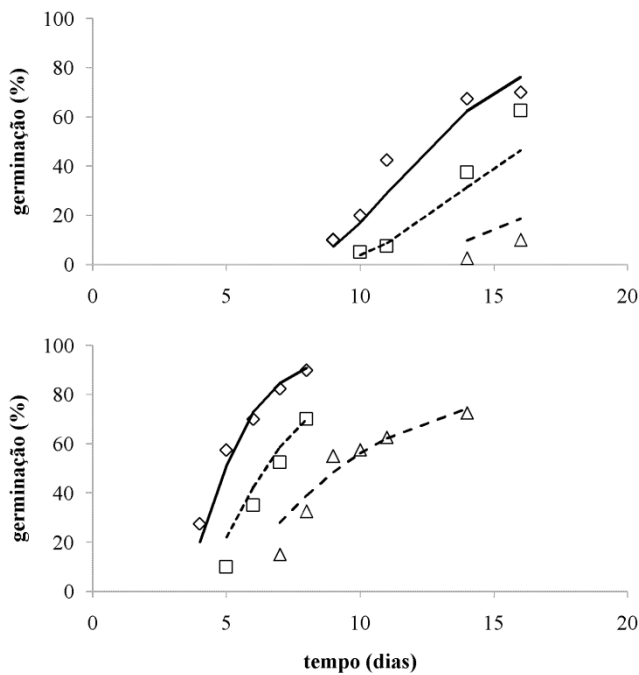
curva os dados das curvas de germinação em todas as temperaturas e potenciais de água (Bradford, 1995). Nessa curva, os valores de  $\Psi_b$  (abscissa) correspondem à expressão  $[\Psi - \theta_{HT}/((T - T_b) \cdot t_{(G)})]$ , obtida a partir da equação (3). No caso, assumiu-se um valor de  $T_b = 10,7 \text{ }^\circ\text{C}$ , que foi a média das  $T_b$  obtidas nos vários potenciais de água. Conforme técnica explicada mais detalhadamente em Cardoso (2013), diferentes valores de  $\theta_{HT}$  foram experimentados na regressão até se obter o maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ) da reta. A partir dessa reta foram definidos a média ( $\Psi_{b(50)}$ ) – equivalente ao valor de  $\Psi_b$  quando a reta intercepta o probit zero no eixo Y – e o desvio padrão ( $\sigma$ ) – equivalente à recíproca da inclinação da reta, da distribuição de  $\Psi_b$ .



**Figura 5.** Regressão da transformação probítica das porcentagens de germinação de sementes de *Astronium fraxinifolium* em diferentes temperaturas e potenciais de água, sobre os respectivos potenciais hídricos base ( $\Psi_{b(G)}$ ). O modelo é descrito pela equação:  $\text{probit}_{(G)} = \{[\Psi - 48/((T - 10,7) \cdot t_{(G)})] \cdot (-0,919)\} / 0,238$ , sendo  $\Psi$  o potencial hídrico do meio,  $T$  a temperatura de germinação e  $t_{(G)}$  o tempo (em dias) para a germinação da fração percentual ( $G$ ).

A adequação do modelo foi mostrada comparando-se a germinação observada e esperada em duas temperaturas (15 e 21  $^\circ\text{C}$ ) e três potenciais de água (0, -0,2 e -0,4MPa) (Figura 6), onde os valores esperados foram calculados a partir da equação:  $\text{probit}_{(G)} = \{[\Psi - \theta_{HT}/((T - T_b) \cdot t_{(G)})] - \Psi_{b(50)}\} / \sigma$ , com  $\theta_{HT} = 48 \text{ MPa} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$ ,  $\Psi_{b(50)} = -0,919 \text{ MPa}$  e  $\sigma = 0,238 \text{ MPa}$ .

A definição do real significado ecológico desses valores para a espécie irá depender do acúmulo de dados, lembrando que os valores aqui apresentados foram obtidos a partir de sementes de *Astronium fraxinifolium* de uma única procedência (Município de Trindade, GO). Dorneles (2010) reporta uma homogeneidade da resposta germinativa entre diferentes indivíduos de *A. fraxinifolium*, embora o grau de variabilidade da germinação dentro de coletas realizadas em anos consecutivos possa ser diferente (Aguiar *et al.*, 2001). Além disso, Leite (2002) relata a ocorrência de variedades infra-específicas em *A. fraxinifolium*, o que provavelmente pode influenciar a resposta germinativa em função de fatores como a água e a temperatura. Nesse sentido, ainda dispomos de relativamente poucos dados sobre espécies arbóreas nativas no Brasil, embora Daibes & Cardoso (dados não publicados) tenham mostrado, por exemplo, que a temperatura base pode variar dependendo da latitude de ocorrência da população de *Peltophorum dubium*.



**Figura 6.** Germinação observada (símbolos) e esperada (linhas) de sementes de *Astronium fraxinifolium* às temperaturas de 15 °C (A) e 20,8 °C (B), nos potenciais de água de 0 MPa ( $\diamond$ ), -0,2 MPa ( $\square$ ) e -0,4 MPa ( $\triangle$ ).

Os valores de  $T_b$  obtidos para *A. fraxinifolium* não diferem muito, por exemplo, daqueles observados para *Myracrodruon urundeuva* (Cardoso, dados não publicados), mas são maiores do que os obtidos para sementes de *Eucalyptus grandis* (Cardoso, dados não publicados). Por outro lado, se comparado ainda com *E. grandis*, os valores de  $\Psi_{b(G)}$  obtidos no presente trabalho são relativamente baixos, sugerindo uma maior tolerância das sementes de *A. fraxinifolium* a ambientes mais secos, considerando-se que o período de dispersão de sementes (Agosto a Outubro) relatado para a espécie na região do Cerrado (Vieira *et al.* 2008; Dorneles, 2010) é acompanhado por um índice pluviométrico relativamente baixo nessas regiões. De acordo com Dorneles (2010), embora a

germinação de *A. fraxinifolium* seja relativamente rápida, a emergência é lenta, o que pode significar que os parâmetros termo-hídricos de germinação e do crescimento inicial respondam diferentemente a fatores ambientais, tal como ocorre em *Phaseolus vulgaris* (Moreau-Valancogne *et al.*, 2007), onde o alongamento do hipocótilo mostrou-se mais sensível à temperatura do que a protrusão radicular propriamente dita. Efeitos fisiológicos de fatores ambientais sobre a germinação podem ocorrer por intermédio de desvios na distribuição de  $\Psi_{b(G)}$  dentro da população, o que, em última análise, irá influenciar a sensibilidade da semente às flutuações térmicas e hídricas do meio, isto é, além do efeito *per se* das variações de  $\Psi$  e  $T$  no meio, alterações concomitantes em  $\Psi_{b(G)}$  e  $T_b$ , por exemplo, podem amplificar, em muito, o efeito ambiental (Bewley *et al.*, 2013). Embora, neste trabalho, o modelo tenha se restringido às temperaturas infra-ótimas, com algumas modificações o mesmo pode ser empregado em caso de temperaturas supra-ótimas (Alvarado & Bradford, 2002), embora as dificuldades técnicas, nesse caso, possam ser maiores, pois, dependendo da temperatura, as sementes ficam sujeitas a uma maior infestação por fungos, além dos índices relativamente baixos de germinação.

## CONCLUSÃO

Considerando-se o intervalo térmico avaliado, o modelo geral (*hydrothermal time*) respondeu por quase 70% da variação total dos tempos de germinação, recomendando-se que o



mesmo seja aplicado não só para descrever a germinação de *A. fraxinifolium* em condições variáveis de temperatura e potencial de água, como, através de variáveis como  $T_b$ ,  $\theta_{HT}$  e  $\Psi_{b(G)}$ , quantificar possível heterogeneidade fisiológica entre diferentes populações da espécie.

## AGRADECIMENTOS

O autor agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de pesquisa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, A.V.; BORTOLOZO, F.R.; MORAES, M.L.T. & SÁ, M.E. 2001. Determinação de parâmetros genéticos em população de gonçalo-alves (*Astronium fraxinifolium*) através das características fisiológicas da semente. **Scientia Florestalis** 60:89-97.

ALVARADO, V. & BRADFORD, K. 2002. A hydrothermal time model explains the cardinal temperatures for seed germination. **Plant, Cell and Environment** 25:1061-1069.

BEWLEY, J.D.; BRADFORD, K.; HILHORST, H.W.M. & NONOGAKI, H. 2013. **Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy**. New York: Springer. 392p.

BLOOMBERG, M.; SEDCOLE, J.R.; MASON, E.G. & BUCHAN, G. 2009. Hydrothermal time germination models for radiate pine (*Pinus*

Parâmetros termohídricos da germinação de sementes...  
*radiate* D. Don). **Seed Science Research** 19:171-182.

BRADFORD, K. 1995. Water relations in seed germination. In: J. Kigel & G. Galili, G. (Eds.). **Seed Development and Germination**. New York: Marcel Dekker, Inc. p. 351-396.

BRAGA, L.L.; RODRIGUES, P.M.S.; NUNES, Y.R.F. & VELOSO, M.D.M. 2014. Effects of pre-germination treatments and storage on germination of *Astronium fraxinifolium* Schott (Anacardiaceae) diaspores. **Ciência Florestal** 24:391-399.

CARDOSO, V.J.M. 2008. Germinação. In: G.B. Kerbauy (ed.) **Fisiologia Vegetal**, 2ª. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. p.384-408.

CARDOSO, V.J.M. 2010. An adapted thermal-gradient block for the germination of photoblastic seeds. **Brazilian Archives of Biology and Technology** 53:1267-1277.

CARDOSO, V.J.M. 2013. Os modelos hydrotime e hydrothermal time na análise da germinação em função da temperatura e potencial de água. **Oecologia Australis** 17:347-357.

DORNELES, M.C. 2010. **Padrões de germinação dos diásporos e emergência das plântulas de espécies arbóreas do Cerrado, Vale do Rio Araguari, MG**. Tese, Doutorado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Minas Gerais. 126p.

- FINCH-SAVAGE, W.E. 2004. The use of population based threshold models to describe and predict the effects of seedbed environment on germination and seedling emergence of crops. *In*: R.L. Benech-Arnold & R.A. Sanchez (Eds). **Handbook of seed physiology: applications to agriculture**. New York: The Haworth Reference Press. p.51-95.
- FINNEY, D.J. 1952. **Probit Analysis: a Statistical Treatment of the Sigmoid Response Curve**. 2<sup>a</sup> ed. Cambridge: University Press. 318p.
- GUMMERSON, R.J. 1986. The effect of constant temperatures and osmotic potentials on the germination of sugar beet. **Journal of Experimental Botany** 37:729-741.
- JONES, H.G. 2014. **Plants and Microclimate: a Quantitative Approach to Environmental Plant Physiology**. 3<sup>a</sup> ed. Cambridge: Cambridge University Press. 407p.
- LABOURIAU, L.G. 1978. Seed germination as a thermobiological problem. **Radiation and Environmental Biophysics** 15:345-366.
- LABOURIAU, L.G. 1983. **A Germinação das Sementes**. Washington: Secretaria Geral da OEA. 174p.
- LARSEN, S.U. & BIBBY, B.M. 2005. Differences in thermal time requirement for germination of three turfgrass species. **Crop Science** 45:2030-2037.
- LEITE, E.J. 2002. State-of-knowledge on *Astronium fraxinifolium* Schott (Anacardiaceae) for genetic conservation in Brazil. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics** 5(1):63-77.
- MOREAU-VALANCOGNE, P.; COSTE, F; DÜRR, C. & CROZAT, Y. 2007. Effects of bean seed production conditions on germination and hypocotyl elongation responses to temperature and water potential. *In*: S.W. Adkins; S.E. Ashmore & S.C. Navie (Eds.). **Seeds: Biology, Development and Ecology**. Cambridge: CAB International. p.333-341.
- PHARTYAL, S.S.; THAPLIYAL, R.C.; NAYAL, J.S.; RAWAT, M.M.S. & JOSHI, G. 2003. The influences of temperatures on seed germination rate in Himalayan elm (*Ulmus wallichiana*). **Seed Science and Technology** 31:83-93.
- RAWLINS, J.K.; ROUNDY, B.A.; DAVIS, S.M. & EGGET, D. 2012. Predicting germination in semi-arid wildland seedbeds. I. Thermal germination models. **Environmental and Experimental Botany** 76:60-67.
- SOUZA, F.B.C.; MENGARDA, L.H.G.; SPADETO C. & LOPES, J.C. 2012. Substratos e temperaturas na germinação de sementes de gonçalo-alves (*Astronium concinnum* Schott). **Revista Tropica: Ciências Agrárias e Biológicas** 6: 76-86.

VIEIRA, V.V.F.; LIMA, D.L.M.; SEVILHA, A.C. & SALOMÃO, A.N. 2008. Germinação de espécies arbóreas de floresta estacional decidual do vale do Rio Paranã em Goiás após três tipos de armazenamento por até 15 meses. **Biota Neotropica** 8:89-97.

