

FISIOLOGIA DA GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE *Dalbergia nigra* (Vell.) Allemão ex Benth. SOB DIFERENTES TEMPERATURAS E TEMPOS DE EXPOSIÇÃO¹

Antônio César Batista Matos², Eduardo Euclides de Lima e Borges³ e Laércio Junio da Silva⁴

RESUMO – A germinação de sementes é dependente de fatores abióticos, sendo a temperatura um dos principais, cuja influência, em condições extremas, causa danos às sementes. Este trabalho teve por objetivo investigar o efeito das diferentes temperaturas durante a germinação de *Dalbergia nigra* e suas implicações na fisiologia das sementes. Avaliaram-se o percentual de germinação, o índice de velocidade de germinação (IVG) e a integridade de membranas celulares pelo teste de condutividade elétrica de sementes em diferentes tempos de exposição às temperaturas de 5, 15, 25 (controle), 35 e 45 °C. A temperatura de 25 °C correspondeu à temperatura ideal de germinação. Em temperaturas de 5 e 45 °C, a germinação foi nula. Houve redução da germinação de sementes de *D. nigra* com o aumento do tempo de exposição das sementes às temperaturas de 5, 15, 35 e 45 °C. Diferentemente das demais temperaturas, a semipermeabilidade da membrana não é recuperada nas temperaturas de 5 e 45 °C. A condutividade elétrica é uma técnica eficiente para avaliar a qualidade fisiológica das sementes em diferentes temperaturas.

Palavras-chave: Fisiologia; Jacarandá-da-bahia; Membranas celulares.

PHYSIOLOGY OF SEED GERMINATION OF Dalbergia nigra (Vell.) Allemão ex Benth. UNDER DIFFERENT TEMPERATURES AND EXPOSURE TIMES

ABSTRACT – The seeds germination depends on abiotic factors, the temperature being one of the most important, whose influence, in extreme conditions, causes damage to the seeds. The present study aimed to investigate the effect of different temperatures during germination of *Dalbergia nigra* and its implications in the physiology of the seeds. We evaluated the percentage of germination, germination speed index (GSI) and integrity of cell membranes by electrical conductivity test of seeds at different times of exposure to temperatures of 5, 15, 25 (control), 35 and 45 °C. The temperature of 25 °C was the ideal temperature for germination. At temperatures of 5 and 45 °C germination was null. There was a reduction of germination of *D. nigra* seeds with the increase of the exposure time of the seeds at temperatures of 5, 15, 35 and 45 °C. Unlike other temperatures, the semipermeability of the membrane is not recovered at temperatures from 5 to 45 °C. Electrical conductivity is an efficient technique to evaluate the physiological quality of the seeds at different temperatures.

Keywords: Physiology; Jacarandá-da-bahia; Cell membranes.

¹ Recebido em 11.12.2013 aceito para publicação em 10.11.2014.

² Universidade Federal de Viçosa, Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Viçosa, MG - Brasil. E-mail: <batistamatos@gmail.com>.

³ Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Florestal, Viçosa, MG - Brasil. E-mail: <elborges@ufv.br>.

⁴ Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Fitotecnia, Viçosa, MG - Brasil. E-mail: <laerciojdsilva@gmail.com>.

1. INTRODUÇÃO

A demanda por mudas de espécies florestais nativas tem sido crescente pela conscientização da necessidade de proteção ambiental e de programas de recomposição ambiental (NASCIMENTO et al., 2012). Como a maioria das espécies florestais nativas é propagada via semente, é fundamental o conhecimento a respeito da sua fisiologia, sendo para cada espécie necessárias condições ambientais específicas para garantir a germinação (REGO et al., 2009). Para temperatura, por exemplo, a faixa de tolerância está relacionada com as temperaturas cardinais (mínima, ótima e máxima) que cada espécie requer para conseguir germinar. Assim, essas amplitudes térmicas determinam os limites de distribuição das espécies e são compatíveis com as suas taxas de germinação e crescimento (OROZCO-ALMANZA et al., 2003; BORGHETTI, 2005; OLIVEIRA; GARCIA, 2005). Com relação às sementes de espécies florestais, a faixa térmica adequada de germinação está frequentemente entre 20 e 30 °C (MELLO; BARBEDO, 2007; BRANCALION et al., 2010; PIMENTA et al., 2010; DOUSSEAU et al., 2013).

Variações extremas de temperaturas podem influenciar os processos fisiológicos e bioquímicos nas sementes, afetando diretamente o crescimento inicial das culturas (MARINI et al., 2012). Em condições de baixas temperaturas, a embebição de sementes poderá acontecer, porém não irá ocorrer o crescimento do embrião para a maioria das espécies, além de provocar-lhe danos ou a suas plântulas, cessando o processo de crescimento. Entretanto, sob altas temperaturas, ocorrerá embebição das sementes, porém sem o crescimento do embrião e o estabelecimento da plântula (MATHEUS; LOPES, 2009). Em nível de membranas celulares, durante a embebição de sementes ocorrem mudanças importantes que não são detectadas pelo teste de germinação (COUTINHO et al., 2007). Por isso, o mais utilizado é o teste de condutividade elétrica, através do qual é possível analisar o nível de organização das membranas celulares, quantificando os exsudatos presentes nas soluções aquosas das sementes embebidas (VIEIRA; KRZYZANOWSKI, 1999). Membranas celulares de sementes secas estão primeiramente no estado gel, que não é uma boa barreira contra o vazamento celular. Se a embebição acontecer rapidamente, a água entra antes que a membrana celular possa se organizar e passar para o estado líquido cristalino, causando danos celulares. Essa transição entre estados de gel e líquido

cristalino é dependente da temperatura (BEWLEY et al., 2013).

Pesquisas a respeito dos aspectos fisiológicos e bioquímicos durante a germinação de sementes de espécies tropicais sob condições de estresses abióticos, especialmente estresse térmico, se tornam de grande relevância diante das adversidades ambientais encontradas nos ecossistemas tropicais. Além disso, as informações sobre os mecanismos envolvidos na tolerância de sementes a determinados níveis de estresse são escassas. Assim, é importante o estudo da influência de diferentes temperaturas, especialmente aquelas fora da faixa ótima de germinação, no processo germinativo, que podem resultar na perda de qualidade ou na morte das sementes. *Dalbergia nigra*, também conhecida como jacarandá-da-bahia, jacarandá-caviúna ou jacarandá-preto, é uma espécie arbórea pertencente à família Fabaceae, subfamília Faboideae. No Brasil, tem ocorrência nos estados de MG, BA, ES, RJ e SP, principalmente em áreas de fitofisionomias do Domínio Atlântico, mas também pode ser encontrada em áreas do Domínio do Cerrado. Seu *status* de conservação é considerado ocasional (CARVALHO, 2003; OLIVEIRA-FILHO, 2006). É indicada como espécie para programas de recuperação de áreas degradadas, devido à sua alta regeneração e adaptação em terrenos de baixa fertilidade, e também pelo alto potencial para o manejo florestal sustentável, principalmente pela facilidade de comercialização da madeira de alta qualidade. Devido à intensa exploração e à falta de programas de reflorestamento com a espécie, desde 1998 está listada como vulnerável na Lista Vermelha da União Internacional para Conservação da Natureza (IUCN, 2013), e com proibição do seu comércio desde a década de 1990 (CITES, 2008). Está incluída também na lista oficial das espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção (IBAMA, 2008).

Este trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade fisiológica de sementes de *Dalbergia nigra* em diferentes temperaturas e tempos de exposição.

2. MATERIAL E MÉTODOS

As sementes foram coletadas, em setembro de 2012, de matrizes localizadas dentro do *campus* da Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, MG, beneficiadas e armazenadas em câmara fria (5 °C/60% umidade relativa – UR) por 30 dias, quando se iniciaram os trabalhos.

A pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Análises de Sementes Florestais do Departamento de Engenharia Florestal da UFV.

A porcentagem de ganho de água (%) foi calculada em relação ao peso inicial das sementes de cada tratamento. Para isso, foi usado o método de estufa a 105 ± 3 °C, por 24 h (BRASIL, 2009), sendo utilizadas três repetições de 20 sementes. O cálculo foi feito na base úmida, sendo o grau de umidade expresso em porcentagem.

Antes de iniciar a embebição, as sementes foram pesadas em balança digital com precisão de 0,0001 g e, em seguida, colocadas para embeber em placa de Petri forrada com duas folhas de papel-filtro umedecidas com 4,0 mL em água destilada e mantidas sob luz constante (ATAÍDE et al., 2014), nas temperaturas de 5, 15, 25, 35 e 45 °C em BOD. As sementes foram pesadas em intervalos de 2 h durante as primeiras 12 h e, após, em intervalos de 12 h até que atingissem 50% de germinação ou até o 10º dia após o início da embebição. Antes de cada pesagem, as sementes foram secas, superficialmente, com papel absorvente e, em seguida, recolocadas em placas de Petri com papel umedecido com água destilada. Foram utilizadas cinco repetições de 20 sementes.

No teste de germinação, as sementes foram imersas em solução de Captan® 0,5%, por 3 min, e, em seguida, dispostas sobre duas folhas de papel umedecidas com 4,0 mL de água destilada, em placas de Petri, e mantidas em germinador do tipo BOD, nas temperaturas de 5, 15, 25, 35 e 45 °C, sob luz constante durante 12 dias (ATAÍDE et al., 2014). Paralelamente, foi estabelecido outro experimento de germinação para analisar o tempo de tolerância das sementes às diferentes temperaturas. Assim, as sementes foram incubadas por 24, 48, 72 e 96 h, nas temperaturas de 5 e 15 °C; e por 8, 16 e 24 h, nas temperaturas de 35 e 45 °C. Após esses períodos, foram transferidas para o germinador, a 25 °C, sob luz constante, pois essa temperatura está na faixa ideal para germinação da espécie (FERRAZ-GRANDE; TAKAKI, 2001; GUEDES et al., 2011a). Esses períodos foram considerados para a duração total do teste de germinação, que totalizaram 12 dias. Foram feitas avaliações diárias, tendo como critério de germinação a emissão de radícula. Para o cálculo do índice de velocidade de germinação (IVG), foi utilizada a fórmula proposta por Maguire (1962). Cada tratamento

(temperatura) foi constituído de cinco repetições de 20 sementes.

Para o teste de condutividade elétrica (CE), as sementes, sem danos aparentes, foram pesadas em balança eletrônica de precisão 0,0001 g e dispostas sobre duas folhas de papel umedecidas com água, em placas de Petri, e mantidas em germinador do tipo BOD nas temperaturas de 5, 15, 25, 35 e 45 °C, sob luz constante, e mantidas por 24, 72 e 120 h de embebição em cada uma das temperaturas. Em seguida, foram colocadas em copo plástico contendo 75 mL de água destilada a 25 °C, por 24 h (MARQUES et al., 2002). A CE do lixiviado foi determinada com o uso de condutivímetro MICRONAL, modelo B 330, eletrodo com constante 1,0, sendo o resultado expresso em $\text{mS cm}^{-1} \text{g}^{-1}$.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância ANOVA (SAS, 2009). O delineamento experimental para a condutividade foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial 3×5 (três tempos de embebição e cinco temperaturas). Os dados de germinação e de condutividade elétrica foram submetidos à análise de regressão. Os modelos das regressões foram escolhidos com base na lógica biológica, na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste t a 5% de probabilidade, e no coeficiente de determinação. Para o índice de velocidade de germinação, as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Os gráficos foram confeccionados, utilizando-se o software Sigmaplot 11.0.

3. RESULTADOS

As sementes de *Dalbergia nigra* foram dispersas com reduzido grau de umidade (8,86%). De acordo com as curvas de embebição de sementes de *D. nigra*, a temperatura estimulou a velocidade de absorção de água, cujo ganho de peso das sementes foi incrementado pelo aumento da temperatura, principalmente durante a fase I.

O ganho de peso na temperatura de 5 °C foi de aproximadamente 140% nas primeiras 72 h, caracterizando a fase I, porém essa temperatura, entre as testadas, foi a que proporcionou menor velocidade de absorção de água. As sementes permaneceram na fase II até o fim do período observado. Foram necessárias 36 h para caracterizar a embebição das sementes na fase I, na

temperatura de 15 °C, alcançando cerca de 125% de ganho de peso, permanecendo na fase II durante o restante do período observado. Nas temperaturas de 35 e 45 °C, foram necessárias 24 h para atingir o fim da fase I, e nessas temperaturas as sementes tiveram os maiores ganhos de peso, 140 e 180%, respectivamente. Ambas permaneceram na fase II até o fim do período observado. Observou-se o padrão trifásico de embebição à temperatura de 25 °C, sendo necessárias 24 h para a fase I, 108 h para a fase II e, após 132 h, é que as sementes atingiram a fase III. Na temperatura de 25 °C, verificou-se o percentual médio máximo de germinação (92%) durante o período de 10 dias, sendo, assim, considerada a temperatura ideal para germinação da espécie.

Os efeitos significativos das temperaturas na germinação de sementes de *Dalbergia nigra* podem ser observados nas Figuras 1e 3 (porcentagem de germinação) 2 e 4 (IVG), demonstrados nas curvas de regressão e testes de média. Para a temperatura de 5 °C não houve germinação durante o período de observação (Figura 1A). Porém, ao reduzir os tempos de exposição a essa temperatura, transferindo as sementes para a temperatura de 25 °C, observou-se que elas toleram a exposição à temperatura de 5 °C por até 72 h, não sendo observada germinação quando expostas por 96 h. A porcentagem média de germinação foi de 54, 46 e 26% para 24, 48 e 72 h, respectivamente. Para o IVG, observou-se o mesmo comportamento das porcentagens de germinação. Assim, diferindo estatisticamente, quanto maior o tempo de exposição das sementes à temperatura de 5 °C, menor o valor para IVG (Figura 2A).

Em relação à temperatura de 15 °C, as sementes de *D. nigra* atingiram percentual médio de 6% de germinação (Figura 1B). Nessa temperatura, as sementes toleram períodos maiores de exposição, atingindo até 69% de germinação após 96 h de exposição. Ao serem transferidas para a temperatura de 25 °C após 24, 48 e 72 h, apresentaram 91, 90 e 80% de germinação, respectivamente. Para a característica IVG, observou-se também o mesmo comportamento ocorrido para a germinação, apresentando valores menores de IVG com o aumento do tempo de exposição à temperatura de 15 °C, sendo estatisticamente diferentes entre os tempos de exposição e a condição ideal de 25 °C (Figura 2B).

Verificou-se porcentagem média de germinação de 38% na temperatura de 35 °C (Figura 3A). As porcentagens de germinação foram de 97, 93 e 84% para tempos de 8, 16 e 24 h de exposição, respectivamente. Observou-se para o IVG o mesmo comportamento ocorrido para a germinação, apresentando valores menores de IVG com o aumento do tempo de exposição à temperatura de 35 °C, sendo estatisticamente diferentes entre os tempos de exposição, mas nessas condições de curtos tempos de exposição à temperatura de 35 °C não houve diferença estatística, em comparação com a condição ideal de 25 °C (Figura 4A). Assim, tanto para germinação quanto para IVG, sob curtos períodos de tempo, observou-se incremento de ambos os parâmetros avaliados na temperatura de 35 °C.

Já na temperatura de 45 °C, não houve germinação de sementes quando incubadas por períodos iguais ou superiores a 24 h de exposição (Figura 3B). Porém, para os tempos de exposição de 8 e 16 h, ainda foram encontradas porcentagem de germinação de 58 e 6% de germinação, respectivamente. Para a característica IVG, observou-se o mesmo comportamento ocorrido para a germinação, apresentando valores menores de IVG com o aumento do tempo de exposição à temperatura de 45 °C, sendo estatisticamente diferentes entre os tempos de exposição e a condição ideal de 25 °C (Figura 4B). A deterioração de sementes inicia-se mesmo quando as sementes são expostas a curtos períodos de incubação na temperatura de 45 °C, sendo suficiente para iniciar o processo de deterioração. Para todas as condições de temperaturas testadas, quanto maior o tempo de exposição na referida temperatura, menores foram as porcentagens médias de germinação, exceto para 25 °C.

Houve interação significativa entre a temperatura e o tempo, para a condutividade elétrica (Figura 5). Foram verificados maiores valores de CE nas temperaturas de 5 e 45 °C e em períodos mais curtos da embebição.

Para a temperatura de 5 °C, foi encontrado alto valor de CE até as primeiras 24 h de embebição, o que é explicado pelo efeito da baixa temperatura na redução da semipermeabilidade das membranas. Nas temperaturas de 15, 25 e 35 °C, foram observados os menores valores de CE, indicando que nessas temperaturas ocorre maior estabilidade térmica das membranas, sendo estas mais próximas das condições ideais de germinação para a espécie. Para o fator tempo, o comportamento foi linear

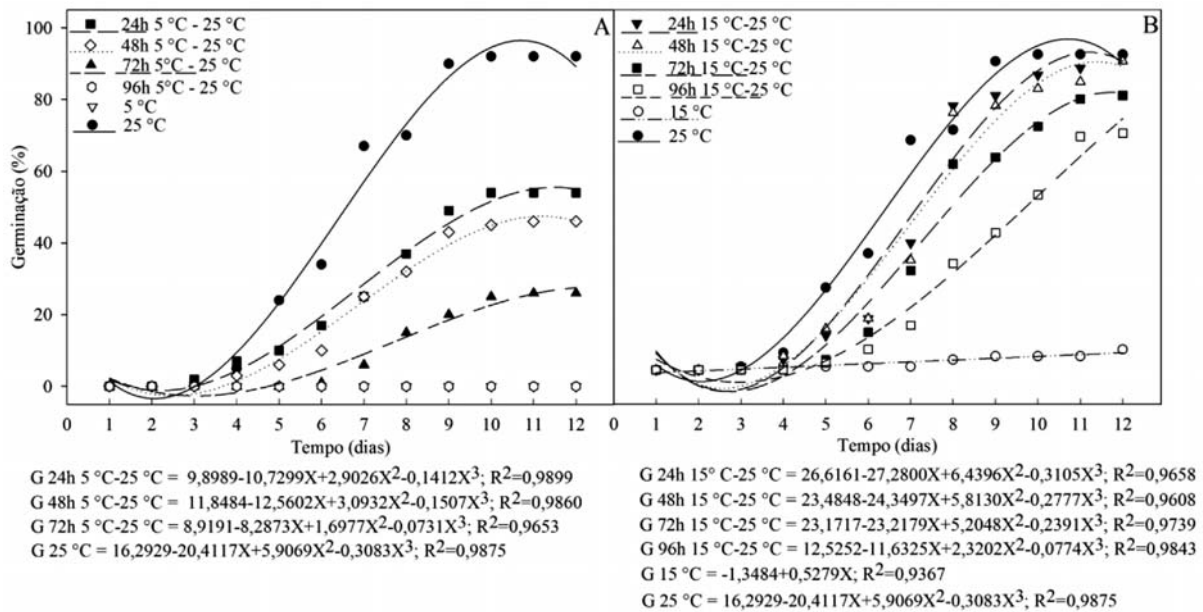


Figura 1 – Curvas de germinação de sementes de *Dalbergia nigra* submetidas às temperaturas de 5 °C (A) e 15 °C (B) por 24, 48, 72 e 96 h, sendo recondicionadas posteriormente à temperatura de 25 °C. Ajuste de regressão significativo quando $p < 0,05$.

Figure 1 – Germination curves of *Dalbergia nigra* seeds exposed to temperatures of 5 °C (A) and 15 °C (B) for 24, 48, 72 and 96 hours, and subsequently reconditioned at 25 °C. Adjustment of the significant regression when $p < 0.05$.

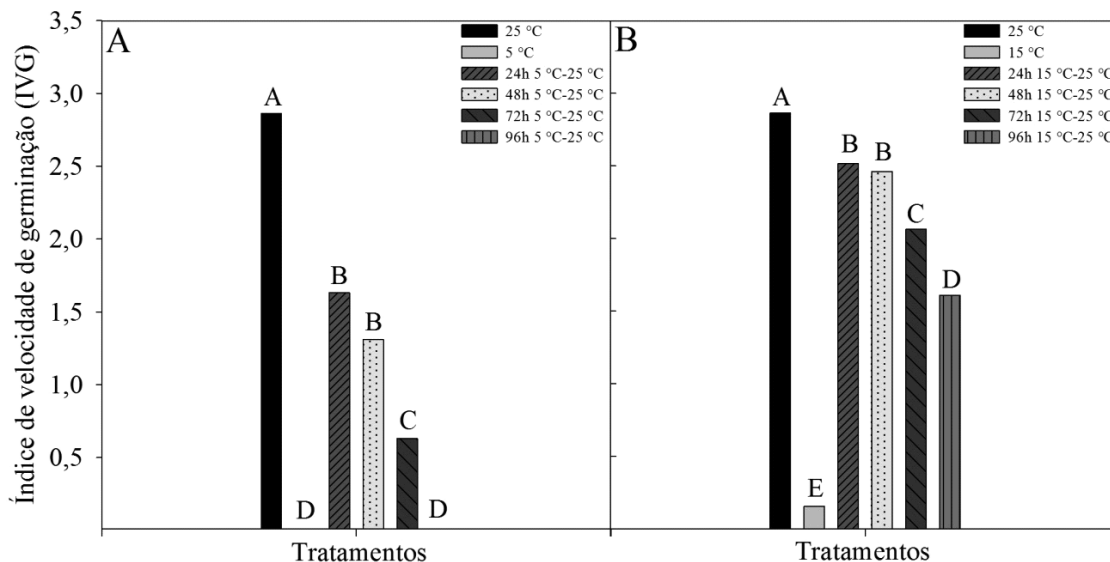


Figura 2 Índice de velocidade de germinação (IVG) de sementes de *Dalbergia nigra* submetidas às temperaturas de 5 °C (A) e 15 °C (B) por 24, 48, 72 e 96 h, sendo recondicionadas posteriormente à temperatura de 25 °C. Médias acompanhadas de letras iguais não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott.

Figure 2 – Germination speed index (GSI) of *Dalbergia nigra* seeds exposed to temperatures of 5 °C (A) and 15 °C (B) for 24, 48, 72 and 96 hours, and subsequently reconditioned at 25 °C.

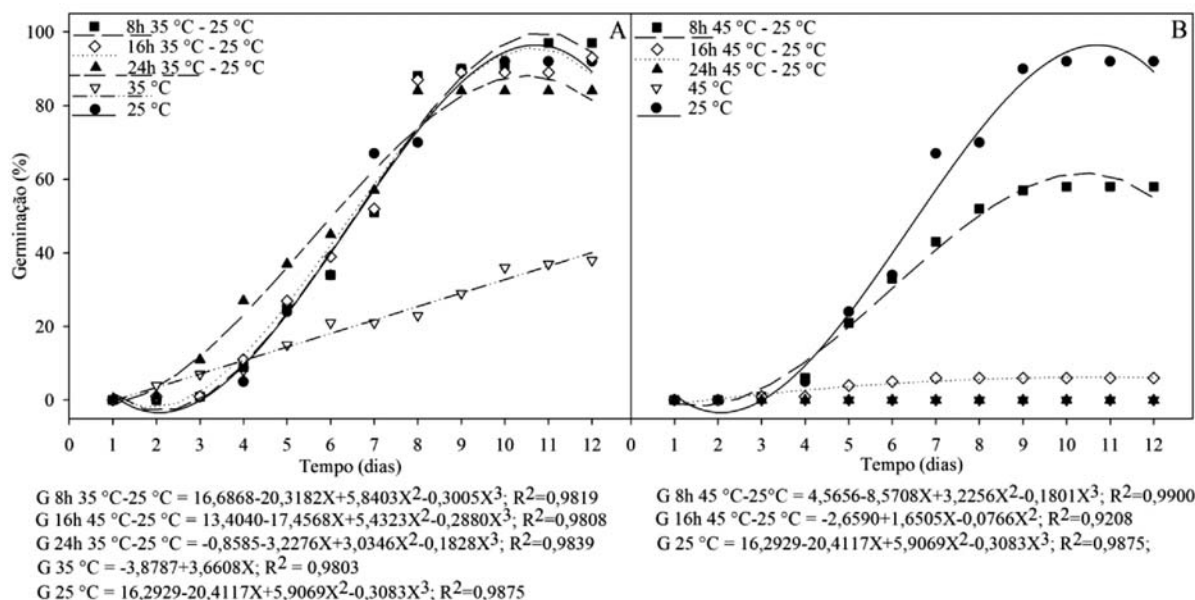


Figura 3 – Curvas de germinação de sementes de *Dalbergia nigra* submetidas às temperaturas de 35 °C (A) e 45 °C (B) por 8, 16 e 24 h, sendo recondicionadas posteriormente à temperatura de 25 °C. Ajuste de regressão significativo quando $p < 0,05$.

Figure 3 – Germination curves of *Dalbergia nigra* seeds exposed to temperatures of 35 °C (A) and 45 °C (B) for 8, 16, and 24 hours, and subsequently reconditioned at 25 °C. Adjustment of the significant regression when $p < 0.05$.

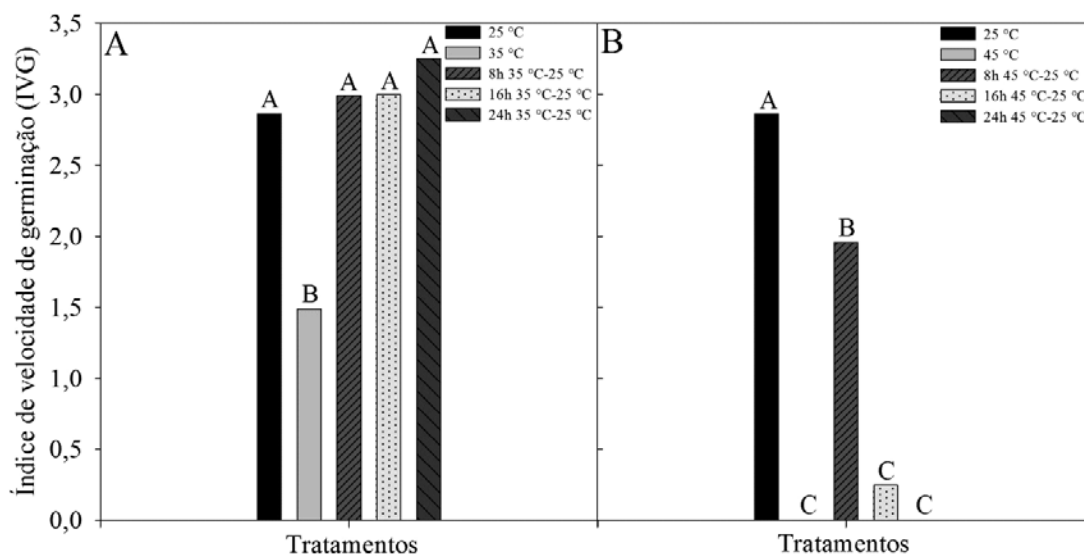


Figura 4 – Índice de velocidade de germinação (IVG) de sementes de *Dalbergia nigra* submetidas às temperaturas de 35 °C (A) e 45 °C (B) por 8, 16 e 24 h, sendo recondicionadas posteriormente à temperatura de 25 °C. Médias acompanhadas de letras iguais não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott.

Figure 4 – Germination speed index (GSI) of *Dalbergia nigra* seeds exposed to temperatures of 35 °C (A) and 45 °C (B) for 8, 16, and 24 hours, and subsequently reconditioned at 25 °C. Means followed by the same letter do not differ from each other, at a 5% probability, by Scott-Knott test.

negativo, indicando que, ao prolongar o tempo de exposição, independentemente da temperatura, observaram-se os menores valores de CE.

Em todas as temperaturas houve correlação negativa, mas somente a 35 °C ela foi significativa em nível de 1%. Na temperatura de 25 °C, foram encontrados os menores valores.

4. DISCUSSÃO

Trabalhando com sementes de *D. nigra*, também da região de Viçosa, MG, Ataíde et al. (2013) encontraram valores similares de teores de água em dois lotes de sementes (7,92% e 8,98%), aos encontrados neste trabalho (8,86%). Esse baixo grau de umidade em sementes ortodoxas, como no caso do jacarandá-da-bahia (AGUIAR et al., 2010), permite mantê-las viáveis por longo período de tempo.

De acordo com as curvas de embebição, a temperatura estimulou a velocidade de absorção de

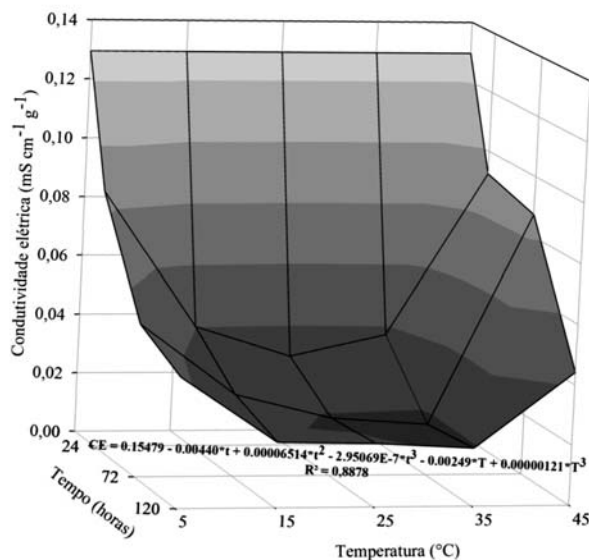


Figura 5 – Condutividade elétrica de sementes de *Dalbergia nigra* submetidas às temperaturas de 5, 15, 25, 35 e 45 °C por diferentes tempos de exposição. CE: condutividade elétrica ($\text{mS cm}^{-1} \text{g}^{-1}$), t: tempo de embebição (horas) e T: temperatura (°C). Ajuste de regressão significativo quando $p < 0,05$.

Figure 5 – Electrical conductivity of *Dalbergia nigra* seeds exposed to temperatures of 5, 15, 25, 35 and 45 °C for different exposure times. EC: electrical conductivity ($\text{mS cm}^{-1} \text{g}^{-1}$), t: time of imbibition (h) and T: temperature (°C). Adjustment of the significant regression when $p < 0.05$.

água, principalmente durante a fase I. Ataíde et al. (2014), trabalhando com sementes de *D. nigra*, encontraram resultados similares para as curvas de embebição. Concluíram que a fase I teve 24 h de duração, a fase II teve 108 h e após 132 h é que as sementes atingiram a fase III, quando incubadas na temperatura de 25 °C. De acordo com Bewley et al. (2013), sob condições ideais de suprimento hídrico, a absorção de água pelas sementes apresenta padrão trifásico. A embebição na fase I é considerada como processo físico essencial para reativação do metabolismo pela semente. O aumento da temperatura torna a água mais fluida e com maior energia cinética, facilitando a sua movimentação do meio externo para as sementes, com conseqüente aumento da embebição e da velocidade das reações do metabolismo (BEWLEY et al., 2013). Estudos realizados por Bello et al. (2004) e Khazaei e Mohammadi (2009), da cinética de absorção de água de sementes, demonstraram que a absorção de água aumenta com a elevação da temperatura. Altas temperaturas podem permitir a embebição das sementes, porém não garantem a expansão do embrião e o estabelecimento da plântula (MATHEUS; LOPES, 2009). A embebição em baixas temperaturas resulta em danos irreparáveis às membranas e lixiviação de solutos (CASTRO et al., 2005). A porcentagem média de germinação decresceu continuamente com a permanência das sementes à baixa temperatura (5 °C). Resultados semelhantes foram observados por Leme e Lopes (2012) em sementes de *Ceiba speciosa*.

Comparando-se os resultados na temperatura de 15 °C com a da literatura, ficam claras as variações nos comportamentos, dependendo da espécie. Socolowski e Takaki (2004) e Simão e Takaki (2008) não observaram germinação de sementes de *Jacaranda mimosifolia* e *Tibouchina mutabilis*, respectivamente, em temperaturas abaixo de 15 °C, enquanto Matheus e Lopes (2009) e Lemes e Lopes (2012) encontraram resultados semelhantes com sementes de *Erythrina variegata* e *Ceiba speciosa* em temperaturas abaixo de 12 e de 5 °C, respectivamente.

Observou-se que o IVG e a porcentagem de germinação tiveram o mesmo comportamento, reduzindo-se com o aumento do tempo de exposição à temperatura de 35 °C, o que indica o efeito deletério na qualidade fisiológica das sementes. Na temperatura de 45 °C, as sementes perderam a viabilidade, já que a germinação foi nula quando as sementes foram incubadas por períodos

iguais ou superiores a 24 h de exposição. Resultados similares também foram encontrados por Corbineau et al. (2002), que verificaram que o aumento do tempo de exposição de sementes de *Helianthus annuus* à temperatura de 45 °C diminui a porcentagem de germinação.

Os efeitos significativos das temperaturas na germinação de sementes de *Dalbergia nigra* podem ser observados na temperatura de 25 °C, na qual o percentual médio máximo de germinação foi de 92% durante o período de 10 dias, sendo, assim, considerada a temperatura ideal para germinação da espécie. Resultado esse que confirma o experimento de Guedes et al. (2011a).

Em todas as condições de temperaturas testadas, quanto maiores os tempos de exposição às altas temperaturas, menores as porcentagens médias de germinação encontradas. Guedes et al. (2011b), trabalhando com sementes de *Dalbergia nigra* submetidas ao envelhecimento acelerado nas temperaturas de 41 e 45 °C, observaram redução na viabilidade e no vigor das sementes após 72 h de envelhecimento. Em condições de estresses abióticos como altas temperaturas, tem-se a produção de espécies reativas de oxigênio (EROs). As EROs são formas reduzidas do oxigênio molecular, extremamente reativas e que podem causar danos oxidativos a diversos componentes celulares, incluindo cloroplastos, mitocôndrias, membrana plasmática, peroxissomos, parede celular e apoplasto. Esses incluem o ânion superóxido (O_2^-), peróxido de hidrogênio (H_2O_2), radical hidroxila (OH \cdot) e o oxigênio “singleto” (O) (MITTLER, 2002). Assim, esses radicais livres podem atacar o sistema de membranas celulares, desestruturando-o mais ainda, indicado pelo aumento dos lipídios na temperatura de 45 °C, levando à redução gradativa da viabilidade das sementes. Estudando o efeito da temperatura e do tempo de exposição em tratamentos de choque térmico em sementes de *Cajanus cajan*, Rao et al. (2002) encontraram resultados semelhantes aos deste trabalho, em que o aumento da temperatura e do tempo de exposição afetaram negativamente a germinação. Trabalhando com sementes de *Pinus caribaea*, *P. elliotti* e *P. taeda*, Almeida et al. (2005) observaram que a germinação média das sementes diminuiu com o aumento da intensidade do calor e do tempo de exposição. O processo de germinação é complexo e envolve diferentes rotas metabólicas e enzimas, que são estimuladas diferentemente por diferentes temperaturas. A atividade da alfa-galactosidase

estudada em sementes de *Platymiscium pubescens* por Borges et al. (2004) foi mais estimulada pela temperatura de 55 °C, tanto no eixo embrionário quanto nos cotilédones. Entretanto, em sementes de *Dalbergia nigra*, Carrijo et al. (2011) verificaram que a temperatura de 50 °C foi mais estimulante para a mesma enzima nos cotilédones, enquanto a do eixo embrionário se situou na faixa de 50-60 °C.

O teste de condutividade elétrica (CE) baseia-se na permeabilidade das membranas celulares, ou seja, durante a perda da viabilidade de sementes ocorre aumento dos exsudatos de células de sementes embebidas em água, devido à perda da integridade dessas membranas. Os valores de CE serão menores quanto maior for a qualidade fisiológica das sementes.

No teste de condutividade elétrica, na temperatura de 5 °C, encontrou-se alto valor de CE até as primeiras 24 h de embebição, o que pode ser explicado pelo efeito da baixa temperatura na redução da semipermeabilidade das membranas, resultado da presença de ácidos graxos saturados, o que caracteriza o estado gel. Quando as sementes são embebidas, a entrada de água ocorre antes de haver a transição das membranas para o estado líquido cristalino, ocasionando o extravasamento de solutos celulares. Yin et al. (2009), estudando danos por baixa temperatura em eixos embrionários de sementes de soja, concluíram que quanto mais baixa a temperatura de embebição das sementes, maior a liberação de lipídios das células nas primeiras horas de embebição. Wang et al. (2012), estudando sementes de soja sob condições de alta temperatura e umidade, encontraram resultados semelhantes. Com o aumento do tempo de exposição a essa condição, houve incremento da condutividade elétrica, enquanto nas sementes sem estresse a condutividade elétrica se manteve constante ao longo do tempo. Sob alta temperatura, a semipermeabilidade é perdida pela incapacidade de recuperação das funções das membranas pela incompleta desorganização da bicamada lipoproteica (CORBINEAU et al., 2002; RAO et al., 2002). Flores (2011) também observou valores altos de CE durante as primeiras horas de embebição de sementes de *Melanoxylon brauna* em temperaturas extremas (5 e 45 °C). Nas temperaturas de 15, 25 e 35 °C, foram observados os menores valores de CE, indicando que nessas temperaturas ocorre maior estabilidade térmica das membranas celulares, sendo estas mais próximas das condições ideais de germinação para a espécie.

Para os maiores tempos de embebição, independente da temperatura, foram encontrados os menores valores de CE. Esses resultados indicam que ao longo do tempo de embebição ocorre a organização das membranas celulares, capaz de reduzir a perda de constituintes celulares, sendo limitadas tais recuperações em temperaturas extremas. As correlações negativas entre condutividade elétrica e germinação evidenciam as alterações que acontecem nas sementes durante o período de embebição, bem como a sinalização do processo de deterioração. É possível que na temperatura de 25 °C a correlação esteja relacionada com a recomposição das membranas celulares durante o período de hidratação, com a passagem da fase gel para a líquida, que resulta na redução da liberação de exsudatos, conforme constatado nos resultados de CE. A ocorrência de exsudatos em fases avançadas de hidratação nessa temperatura pode ser pelas diferentes composições de ácidos graxos dos fosfolípidios nas diferentes membranas que compõem as diferentes células do embrião e dos cotilédones. Além disso, há a movimentação dessas substâncias do interior das sementes para o ambiente, cujo fluxo é reduzido pelas camadas de células que envolvem o embrião.

5. CONCLUSÕES

A temperatura de 25 °C corresponde à temperatura ideal de germinação de sementes de *D. nigra*.

A germinação é nula quando as sementes de *D. nigra* são incubadas nas temperaturas de 5 ou 45 °C por 12 dias.

Há redução da germinação de sementes de *D. nigra* com o aumento do tempo de exposição das sementes nas temperaturas de 5, 15, 35 e 45 °C.

A semipermeabilidade das membranas celulares de sementes de *D. nigra* não é recuperada nas temperaturas de 5 e 45 °C.

A condutividade elétrica é uma técnica eficiente para avaliar a qualidade fisiológica das sementes de *D. nigra* em diferentes temperaturas.

6. REFERÊNCIAS

AGUIAR, F. F. A.; TAVARES, A. R.; KANASHIRO, S.; LUZ, P.; SANTOS JUNIOR, N. A. Germinação de sementes de *Dalbergia nigra* (Vell.) Allemão ex Benth. (Fabaceae-Papilionoideae) no

armazenamento. **Ciência e Tecnologia**, v.34, p.1624-1629, 2010.

ALMEIDA, F. A. C.; RODRIGUES, J. P.; ALMEIDA, S. A.; GOUVEIA, J. P. G.; SANTOS, N. R. Efeito da temperatura sobre a germinação de três espécies de *Pinus* cultivadas no Brasil. **Revista Árvore**, v.29, n.5, p.757-765, 2005.

ATAÍDE, G. M.; BORGES, E. E. L.; FLORES, A. V.; CASTRO, R. V. O. Avaliação preliminar da embebição de sementes de jacarandá-da-bahia. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v.34, n.78, p.133-139, 2014.

ATAÍDE, G. M.; BORGES, E. E. L.; GONCALVES, J. F. C.; GUIMARAES, V. M.; FLORES, A. V.; BICALHO, E. M. Alterations in seed reserves of *Dalbergia nigra* ((Vell.) Fr All. ex Benth.) during hydration. **Journal of Seed Science**, v.35, n.1, p.56-63, 2013.

BELLO, M.; TOLABA, M. P.; SUAREZ, C. Factors affecting water uptake of rice grain during soaking. **Lebensm.-Wiss. u.-Technol.**, v.37, p.811-816, 2004.

BEWLEY, J. D.; BRADFORD, K. J.; HILHORST, H. W. M.; NONOGAKI, H. **Seeds: physiology of development, germination and dormancy**. 3 ed. New York: Springer, 2013. 392p.

BORGES, E. E. L.; REZENDE, S. T.; BORGES, R. C. G.; PEREZ, S. C. J. G. A. Caracterização de α -galactosidase em embrião e cotilédones de sementes de *Platymenia pubescens* Micheli, var. *pubescens* (tamboril-da-mata). **Revista Brasileira de Sementes**, v.26, n.2, p.82-90, 2004.

BORGHETTI, F. Temperaturas extremas e a germinação de sementes. In: NOGUEIRA, R. J. M. C.; ARAÚJO, E. L.; WILLADINO, L. G.; CAVALCANTE, U. M. T. (Ed.) **Estresses ambientais: Danos e benefícios em plantas**. Recife: UFPE, 2005. p.207-218.

BRANCALION, P. H. S.; NOVEMBRE, A. D. L. C.; RODRIGUES, R. R. Temperatura ótima de germinação de sementes de espécies arbóreas brasileiras. **Revista Brasileira de Sementes**, v.32, n.4, p.15-21, 2010.

- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: SDA/ACS, 2009. 399p.
- CARRIJO, L. C.; BORGES, E. E. L.; REZENDE, S. T.; PONTES, C. A.; SILVA, A. G.; LOPES, M. R. Avaliação da concentração de proteínas e da atividade de α -galactosidase nos cotilédones e no eixo embrionário de sementes de *Dalbergia nigra* durante a germinação. **Acta Amazônica**, v.41, n.4, p.465-470, 2011.
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 2003. 1039p.
- CASTRO, R. D.; BRADFORD, K. J.; HILHORST, H. W. M. Embebição e reativação do metabolismo. In: FERREIRA, A. G.; BORGHETTI, F. (Org.). **Germinação: do básico ao aplicado**. Porto Alegre: Artmed, 2005. p.149-162.
- CITES. **CITES: Appendix I, II and III to the Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora**. Washington: US Fish and Wildlife Service, 2008.
- CORBINEAU, F.; GAY-MATHIEU, C.; VINEL, D.; CÔME, D. Decrease in sunflower (*Helianthus annuus*) seed viability caused by high temperature as related to energy metabolism, membrane damage and lipid composition. **Physiologia Plantarum**, v.116, p.489-496, 2002.
- COUTINHO, W. M.; SILVA-MANN, R.; VIEIRA, M. G. G. C.; MACHADO, C. F.; MACHADO, J. C. Qualidade sanitária e fisiológica de sementes de milho submetidas a termoterapia e condicionamento fisiológico. **Fitopatologia Brasileira**, v.32, n.6, p.458-464, 2007.
- DOUSSEAU, S.; ALVARENGA, A. A.; ARANTES, L. O.; CHAVES, I. S.; AVELINO, E. V. Technology of *Qualea grandiflora* Mart. (Vochysiaceae) seeds. **Cerne**, v.19, n.1, p.93-101, 2013.
- FERRAZ-GRANDE, F. G. A.; TAKAKI, M. Temperature dependent seed germination of *Dalbergia nigra* Allem (Leguminosae). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.44, p.401-404, 2001.
- FLORES, A. V. **Germinação de sementes de *Melanoxylon brauna* (Schott) sob diferentes temperaturas: aspectos morfofisiológicos e enzimáticos**. 2011. 66p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2011.
- GUEDES, R. S.; ALVES, E. U.; GONÇALVES, E. P.; FRANÇA, P. R. C.; MOURA, M. F.; SANTOS, S. S. Germinação de sementes de *Dalbergia nigra* (Vell.) Fr. All. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v.33, n.4, p.445-450, 2011a.
- GUEDES, R. S.; ALVES, E. U.; OLIVEIRA, L. S. B.; ANDRADE, L. A.; GONÇALVES, E. P.; MELO, P. A. R. F. Envelhecimento acelerado na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de *Dalbergia nigra* (Vell.) Fr. All. **Semina: Ciências Agrárias**, v.32, n.2, p.443-450, 2011b.
- IBAMA/MMA – Instrução Normativa nº 6, de 23 de setembro de 2008. **Lista Oficial da Flora Brasileira ameaçada de extinção**. 2008.
- IUCN. **The IUCN Red List of Threatened Species**. 2013. Version 2013.1. In: www.iucnredlist.org
- KHAZAEI, J.; MOHAMMADI, N. Effect of temperature on hydration kinetics of sesame seeds (*Sesamum indicum* L.). **Journal of Food Engineering**, v.91, p.542-552, 2009.
- LEMES, E. Q.; LOPES, J. C. Temperaturas cardinais para germinação de sementes e desenvolvimento de plântulas de Paineira. **Scientia Forestalis**, v.40, n.94, p.179-186, 2012.
- MAGUIRE, J. D. Speed of germination-aid in selection aid evolution for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v.2, n.1, p.176-177, 1962.
- MARQUES, M. A.; PAULA, R. C.; RODRIGUES, T. J. D. Adequação do teste de condutividade elétrica para determinar a qualidade fisiológica de sementes de jacarandá-da-bahia (*Dalbergia nigra* (VELL) Fr. All. Ex Benth). **Revista Brasileira de Sementes**, v.24, n.1, p.271-278, 2002.

- MARINI, P. M.; MORAES, C. L.; MARINI, N.; MORAES, D. M.; AMARANTE, L. Alterações fisiológicas e bioquímicas em sementes de arroz submetidas ao estresse térmico. **Revista Ciência Agronômica**, v.43, n.4, p.722-730, 2012.
- MATHEUS, M. T.; LOPES, J. C. Temperaturas cardinais para a germinação de sementes de *Erythrina variegata* L. **Revista Brasileira de Sementes**, v.31, n.3, p.115-122, 2009.
- MELLO, J. I. O.; BARBEDO, C. J. Temperatura, luz e substrato para a germinação de sementes de pau-brasil *Caesalpinia echinata* Lam., Leguminosae-Caesalpinioideae. **Revista Árvore**, v.31, n.4, p.645-655, 2007.
- MITTLER, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. **Trends Plant Science**, v.7, p.405-410, 2002.
- NASCIMENTO, D. F.; LELES, P. S. S.; OLIVEIRA NETO, S. N.; MOREIRA, R. T. S.; ALONSO, J. M. Crescimento inicial de seis espécies florestais em diferentes espaçamentos. **Cerne**, v.18, p.159-165, 2012.
- OLIVEIRA-FILHO, A. T. **Catálogo das árvores nativas de Minas Gerais - Mapeamento e inventário da flora nativa e dos reflorestamentos de Minas Gerais**. Lavras: UFLA, 2006. v.1. 423p.
- OLIVEIRA, P. G.; GARCIA, Q. S.. Efeitos da luz e da temperatura na germinação de sementes de *Syngonanthus elegantulus*, *S. elegans* e *S. venustus* (Eriocaulaceae). **Acta Botanica Brasilica**, v.19, n.3, p.627-633, 2005.
- OROZCO-ALMANZA, M. S.; LEON-GARCIA, L. P.; GREYER, R.; GARCIA-MOYA, E. Germination of four species of the genus *Mimosa* (Leguminosae) in a semi-arid zone of Central Mexico. **Journal of Arid Environments**, v.55, n.1, p.75-92, 2003.
- PIMENTA, R. S.; LUZ, P. B.; PIVETTA, K. F. L.; CASTRO, A.; PIZETTA, P. U. C. Efeito da maturação e temperatura na germinação de sementes de *Phoenix canariensis* hort. ex Chabaud – Arecaceae. **Revista Árvore**, v.34, n.1, p.31-38, 2010.
- RAO, K. V. M.; SRIEDEV, V.; SATYANARAYANA, N. V. Heat shock induced lipid changes and solute leakage in germinating seeds of pigeonpea. **Biologia Plantarum**, v.45, n.1, p.71-76, 2002.
- REGO, S. S.; NOGUEIRA, A. C.; KUNIYOSHI, Y. S.; SANTOS, Á. F. Germinação de sementes de *Blepharocalyx salicifolius* (H.B.K.) Berg. em diferentes substratos e condições de temperaturas, luz e umidade. **Revista Brasileira de Sementes**, v.31, n.2, p.212-220, 2009.
- SAS. **SAS Programming 9.3**. Software. Cary: SAS, 2009.
- SIMÃO, E.; TAKAKI, M. Effect of light and temperature on seed germination in *Tibouchina mutabilis* (Vell.) Cogn. (Melastomataceae). **Biota Neotropica**, v.8, n.1, p.63-68, 2008.
- SOCOLOWSKI, F.; TAKAKI, M. Germination of *Jacaranda mimosifolia* (D. Don - Bignoniaceae) seeds: effects of light, temperature and water stress. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.47, n.5, p.785-792, 2004.
- VIEIRA, R. D.; KRZYZANOWSKI, F. C. Teste de condutividade elétrica. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Brasília: Abrates, 1999. p.1-26.
- WANG, L.; MA, H.; SONG, L.; SHU, Y.; GU, W. Comparative proteomics analysis reveals the mechanism of pre-harvest seed deterioration of soybean under high temperature and humidity stress. **Journal of Proteomics**, v.75, p.2109-2127, 2012.
- YIN, G.; SUN, H.; XIN, X.; QIN, G.; LIANG, Z.; JING, X. Mitochondrial Damage in the Soybean Seed Axis During Imbibition at Chilling Temperatures. **Plant Cell Physiology**, v.50, p.1305-1318, 2009.