

ENRAIZAMENTO DE ESTACAS DE *Caesalpinia echinata* Lam. EM HIDROPONIA¹

ROOTING CUTTINGS OF *Caesalpinia echinata* Lam. IN HYDROPONIC SYSTEM

Sérgio Valiengo Valeri² Ariadne Felício Lopo de Sá³
Antonio Baldo Geraldo Martins⁴ José Carlos Barbosa⁵

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi determinar a necessidade e a concentração apropriada de ácido indolbutírico (AIB) no enraizamento de estacas de *Caesalpinia echinata* em sistema de hidroponia, para a produção de mudas. O experimento foi realizado em casa de vegetação da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da UNESP Jaboticabal, SP. O material vegetal foi constituído de 160 estacas caulinares de 11 a 12 cm de comprimento com dois pares de folhas obtidas de mudas jovens produzidas partindo de sementes. As bases das estacas foram tratadas pelo método de imersão lenta em solução de etanol a 5% durante 14 horas contendo 0, 100, 200 e 400 mg L⁻¹ de AIB e via imersão rápida em solução de etanol a 50% durante 5 segundos contendo 0, 1000, 3000 e 5000 mg L⁻¹ de AIB. As estacas permaneceram no sistema de hidroponia por 90 dias e 90 dias adicionais em sacos de polietileno contendo Plantmax® como substrato, sendo mantidas sob nebulização intermitente. Após 90 e 180 dias de enraizamento, foram avaliados a porcentagem de sobrevivência e de estacas enraizadas, o número e o comprimento de raízes adventícias. As estacas devem ser tratadas com ácido indolbutírico na concentração de 100 mg L⁻¹ por 14 horas e colocadas para enraizar em sistema de hidroponia.

Palavras-chave: pau-brasil; auxina; ácido indolbutírico; enraizamento.

ABSTRACT

This study aimed to determine the indole-3-butyric acid (IBA) requirement and proper concentration for *Caesalpinia echinata* rooting in a hydroponic system for plantlet production. The experiment was conducted in a greenhouse of the 'Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias', UNESP, in Jaboticabal, São Paulo state. The vegetal material consisted of 160 stem cuttings that were 11 to 12 cm in length with two pairs of leaves, prepared from young seedlings. The cutting bases were treated by slow immersion in 5% ethanol solution containing 0, 100, 200 and 400 mg L⁻¹ of IBA during 14 hours and by fast immersion in 50% ethanol solution containing 0, 1000, 3000 and 5000 mg L⁻¹ of IBA during 5 seconds. The cuttings were maintained in the hydroponic system for 90 days and, for additional 90 days in plastic bags containing substrate (Plantmax®) under intermittent mist. After 90 and 180 days of rooting, the percentage of cuttings that survived, the rooting percentage and the number and length of adventitious root were evaluated. Cuttings should be treated with IBA at 100 mg L⁻¹ for 14 hours and placed to root in a hydroponic system.

Keywords: Brazil wood; auxin; indole-3-butyric acid; rooting.

1. Trabalho desenvolvido com o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).
2. Engenheiro Florestal, Dr., Professor do Departamento de Produção Vegetal, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Via de Acesso Prof. Paulo D. Castellane, km 05, CEP 14884-900, Jaboticabal (SP). valeri@fcav.unesp.br
3. Bióloga, Mestranda pelo Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Via de Acesso Prof. Paulo D. Castellane, km 05, CEP 14884-900, Jaboticabal (SP). Bolsista FAPESP. ariadne_lopo@yahoo.com.br
4. Engenheiro Agrônomo, Dr., Professor do Departamento de Produção Vegetal, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Via de Acesso Prof. Paulo D. Castellane, km 05, CEP 14884-900, Jaboticabal (SP). baldo@fcav.unesp.br
5. Engenheiro Agrônomo, Dr., Professor do Departamento de Ciências Exatas, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Via de Acesso Prof. Paulo D. Castellane, km 05, CEP 14884-900, Jaboticabal (SP). jcarbosa@fcav.unesp.br

Recebido para publicação em 8/07/2009 e aceito em 19/08/2010

INTRODUÇÃO

A árvore conhecida, popularmente, como pau-brasil, *Caesalpinia echinata* Lam., ocupa o estrato médio de florestas tropicais nos estados Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia, Espírito Santo, Rio de Janeiro e São Paulo (CARVALHO, 2003). É considerada árvore nacional pela Lei n. 6607, de 7/12/1978, e desde 1992 está na lista oficial de espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção elaborada pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (BRASIL, 1978, 2007).

O principal uso da madeira de pau-brasil consistia na obtenção do pigmento brasileína empregado pelos europeus no tingimento de sedas, linhos e algodões (CARVALHO, 2003). Contudo, em meados do século XVIII, a espécie teve seu produto muito desvalorizado com a síntese dos primeiros corantes artificiais que proporcionavam a mesma cor da brasileína (REZENDE et al., 2004).

Tradicionalmente, a madeira de pau-brasil tem sido usada na manufatura de arcos de violinos desde 1775, quando o francês François Xavier Tourte inovou o arco de violino, invertendo-o de côncavo para convexo em relação ao plano da crina e empregando, pela primeira vez, a madeira de pau-brasil em sua fabricação (RYMER, 2004). Desde então, tem sido notado um acréscimo na demanda da madeira de pau-brasil para a construção de arcos de violino (ROCHA et al., 2006).

Além da pressão antrópica sobre o pau-brasil, há características intrínsecas à espécie que têm dificultado sua regeneração, entre elas, a principal é a baixa viabilidade natural das sementes. Segundo Garcia et al. (2006), a rápida perda do poder de germinação das sementes acontece em virtude da diminuição dos níveis de glicose e frutose em relação aos níveis de sacarose em um curto período de tempo.

A propagação vegetativa é usada em programas de melhoramento genético e de conservação da espécie, em razão do aumento da uniformidade do crescimento, qualidade e quantidade de madeira a ser produzida. O método de propagação por estacas é uma opção prática para atender a esses objetivos. No entanto, algumas espécies apresentam dificuldades no enraizamento desses propágulos, inclusive *Caesalpinia echinata* (ENDRES et al., 2007), o que limita o seu uso e exige

estudos específicos de rejuvenescimento, condições ambientais, substratos e outros fatores relacionados à promoção do enraizamento (TOFANELLI et al., 2002).

Diante do baixo índice de enraizamento apresentado por muitas espécies, os reguladores de crescimento vêm sendo usados há mais de 50 anos, por induzirem o aparecimento de raízes adventícias em estacas (TAIZ e ZEIGER, 2004).

O protocolo de miniestaquia é apresentado como opção interessante para a produção de mudas florestais, pois esse método possui uma velocidade maior de enraizamento e menor custo de manutenção em relação à estaquia convencional, por usar estacas de menor comprimento (SANTOS et al., 2005).

As aplicações, em baixas concentrações, de AIB variam de 0 a 500 mg L⁻¹ e, geralmente, são feitas por imersão prolongada (até 24 horas). Enquanto, soluções concentradas (500 a 10000 mg L⁻¹ ou mais) são aplicadas, tipicamente, por pouco tempo: 5 a 10 segundos. Contudo, esse último método, apesar de ser mais prático, é mais dispendioso, em função da maior quantidade de promotor de enraizamento usado (HARTMANN et al., 2002).

Visando a produção de mudas, a conservação e o aumento, qualitativo e quantitativamente, do material genético, o presente trabalho teve o objetivo de avaliar os efeitos da aplicação de diferentes concentrações e formas de aplicação de AIB em solução no enraizamento de estacas de *Caesalpinia echinata* Lam. no sistema de hidroponia.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Viveiro Experimental de Plantas Ornamentais e Florestais da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da UNESP, Campus de Jaboticabal, SP, situado a 21° 05' a 21° 20' de latitude Sul e 48° 30' de longitude Oeste.

Foram usadas 160 mudas de *Caesalpinia echinata* de origem seminal fornecidas pela Votorantim Celulose e Papel, Unidade Florestal de Luiz Antônio, SP, como fontes de propágulos vegetativos (estacas) para a instalação do experimento.

Quando as mudas estavam com, aproximadamente, um ano, foram transferidas dos sacos de polietileno de 1 L para vasos contendo 5 L de substrato constituído por três partes de solo

(Latossolo proveniente de subsolo) e uma parte de esterco. Foram adicionados à mistura: 0,333 kg de calcário dolomítico, 0,250 kg de sulfato de amônio, 1,17 kg de superfosfato simples e 0,057 kg de cloreto de potássio por m³ de substrato, com base em Aguiar et al. (1997) e Gonçalves et al. (2000). Essa adubação foi feita para que as estacas apresentassem reserva adequada de nutrientes para a fase inicial de enraizamento.

De cada uma das 160 mudas de *Caesalpinia echinata* foi coletada uma estaca da brotação apical mais nova. A base da estaca foi cortada em bisel, logo abaixo da gema, para aumentar a superfície de contato com as diferentes concentrações de AIB. As estacas foram preparadas de modo que apresentassem de 11 a 12 cm de comprimento e dois pares de folhas cortadas ao meio.

Metade das estacas teve as bases tratadas com solução de etanol a 5% nas concentrações 0, 100, 200 e 400 mg L⁻¹ de AIB por 14 horas (imersão lenta), com vinte estacas por concentração. Após o período do tratamento, as bases foram lavadas em água corrente. As outras oitenta estacas foram imersas por apenas 5 segundos (imersão rápida) em solução hidroalcoólica (50% de etanol) nas concentrações 0, 1000, 3000 e 5000 mg L⁻¹ de AIB, com vinte estacas por concentração. Todas as estacas foram colocadas em sistema hidropônico, que continha apenas água de poço não autoclavada, ao mesmo tempo, logo após receberem seus respectivos tratamentos. Periodicamente, a água das bandejas era trocada e o nível repostado.

As estacas foram inseridas em perfurações nas placas de poliestireno expandido (isopor) com, aproximadamente, 70 cm x 30 cm x 14 cm, no espaçamento de 7,0 cm x 7,4 cm. As placas foram acondicionadas em bandeja de plástico contendo, em torno de, 31 L de água de poço artesiano, de modo que 3,0 cm da base das estacas ficassem imersas. A água foi oxigenada pelo sistema de compressor com o auxílio de uma mangueira fina de plástico com pedra porosa na extremidade submersa.

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 2 x 4, em que os níveis do primeiro fator correspondiam às formas de imersão de AIB lenta e rápida e os do segundo fator, às concentrações de AIB em cada forma de aplicação, totalizando oito tratamentos, com cinco repetições e quatro estacas por parcela.

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, sob tela, com 50% de redução de luz solar. As estacas foram mantidas sob nebulização

durante 10 minutos em intervalos de 45 minutos. À noite, a nebulização era interrompida.

Foi adicionada solução nutritiva, contendo macro e micronutrientes de Hoagland e Arnon (1950) e solução de Fe-EDTA com base em Furlani (1995), aos 75 e aos 83 dias após a instalação do experimento para corrigir possíveis deficiências de nutrientes, pois ao longo do tempo as plantas passaram a apresentar amarelecimento generalizado das folhas, típico de deficiência de nitrogênio. Foram usadas concentrações mínimas de solução, discriminadas em sequência, para evitar desequilíbrio nutricional e elevação da condutividade elétrica resultante de altas concentrações de nutrientes na solução. As doses de nutrientes aplicadas por litro de água na bandeja de enraizamento foram 1,063.10⁻¹ µg de KH₂PO₄; 7,74 µg de MgSO₄.7H₂O; 463 µg de Ca(NO₃)₂; 198 µg de KNO₃; 1,0 µg de Fe-EDTA e 5,91.10⁻³ µg de micronutrientes (contendo H₃BO₃; MnCl₂.4H₂O; ZnCl₂; CuCl₂; e H₂MoO₄.H₂O).

Após 90 dias em sistema hidropônico, todas as estacas, independentemente de terem enraizado ou não, foram plantadas em sacos de plástico de 1 L, com substrato Plantmax® (composição média: 60% de casca de pinus, 15% de vermiculita granulometria fina e 15% granulometria superfina, e 10% de húmus). Em cada recipiente foram adicionados 130 mg de Osmocote Plus® (adubo de liberação lenta à base de NPK 15-09-12 com 1,0% Mg; 2,3% S; 0,012% B; 0,05% Cu; 0,45% Fe; 0,06% Mn; 0,02% Mo; 0,05% Zn). As plantas foram mantidas no mesmo ambiente que estavam no sistema de hidroponia por 90 dias adicionais.

Avaliaram-se a porcentagem de sobrevivência (SOB) e de enraizamento (ENR), número de raízes adventícias (NR) e comprimento médio de raízes adventícias, em cm, (CR) das estacas aos 90 dias de enraizamento em hidroponia e aos 180 dias de enraizamento, incluindo 90 dias em hidroponia e 90 dias adicionais em substrato. Nas avaliações foram contadas e mensuradas apenas as raízes adventícias emitidas a partir da base das estacas sem considerar suas ramificações.

Para se obter homogeneidade de variância, os dados de porcentagem de enraizamento foram transformados em Log [(ENR/100) + 5] e os de número e de comprimento de raízes adventícias pela equação Log (x + 5), em que x é o valor observado de NR e CR. Para realizar as análises estatísticas, foram considerados os dois fatores: formas de aplicação e concentrações de AIB dentro de cada forma de aplicação, em esquema hierárquico. Os

efeitos das concentrações dentro de cada forma de aplicação foram estudados por análise de regressão polinomial. Mesmo quando o valor de F da análise de variância para efeito de tratamentos (quatro doses crescentes de AIB) foi não significativo, realizou-se a análise de regressão por polinômios ortogonais. Foi usado o programa ESTAT desenvolvido pelo Departamento de Ciências Exatas da FCAV/UNESP, Campus de Jaboticabal, SP.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A porcentagem de sobrevivência de estacas de *Caesalpinia echinata* foi de 96,25% aos 90 dias de enraizamento no sistema de hidroponia (Tabela 1). Após as estacas permanecerem por 90 dias adicionais em substrato, ou seja, aos 180 dias de enraizamento, não houve efeito dos tratamentos na sobrevivência das plantas e a média obtida foi cerca de 80%. Esses valores de sobrevivência observados foram relativamente altos, em comparação à taxa média de sobrevivência de 65% aos 120 dias de estaquia em substrato para a mesma espécie (ENDRES et al., 2007). O aumento das

concentrações de AIB aplicadas, via imersão lenta, diminuiu linearmente os valores de sobrevivência cuja variação é explicada pela equação de regressão apresentada na Figura 1.

O tratamento da base das estacas com AIB por imersão lenta promoveu maiores valores de porcentagem de enraizamento de estacas e de número de raízes adventícias emitidas por estaca do que a imersão rápida aos 90 dias de enraizamento em hidroponia. Nessa idade, não houve efeito da forma de aplicação do AIB no comprimento das raízes (Tabela 1). Essa não significância se deve em parte ao coeficiente de variação observado, de 17,39%, sendo que os demais valores de coeficiente foram inferiores a 10%. O coeficiente de variação de 14,8% indicou uma boa precisão experimental para a característica de miniestacas de *Eucalyptus grandis* (WENDLING et al., 2003). Na propagação vegetativa de *Tibouchina sellowiana*, em que foram testadas as concentrações de 0, 1500 e 3000 mg L⁻¹ de AIB, o coeficiente de variação para a variável comprimento médio de raízes foi de 15,63% no verão e de 116,33% no inverno (BORTOLINI et al., 2008).

TABELA 1: Médias e resumo das análises de variância dos dados de sobrevivência (SOB), enraizamento (ENR), número de raízes adventícias (NR) e comprimento médio de raízes adventícias (CR) de estacas de *Caesalpinia echinata* aos 90 dias de enraizamento em hidroponia, em função das formas de aplicação e concentrações de ácido indolbutírico [AIB].

TABLE 1: Averages and variance analysis summary of data of survival (SOB), rooting (ENR), adventitious root number (NR) and average length of adventitious root (CR) of *Caesalpinia echinata* cuttings at 90 rooting days under hydroponic system in function of indole-3-butyric acid [IBA] applications methods and concentrations.

Causas de variação	Médias dos dados originais			
	SOB (%)	ENR (%)	NR	CR (cm)
Imersão Lenta	96,25 ⁽¹⁾	39,0a	1,22a	2,71 ⁽¹⁾
Imersão Rápida		16,0b	0,40b	
	Teste F			
	SOB ⁽²⁾	ENR ⁽³⁾	NR ⁽⁴⁾	CR ⁽⁴⁾
Formas de Imersão	0,80 ^{ns}	6,65*	7,08*	4,08 ^{ns}
[AIB]/Imersão Lenta	2,13 ^{ns}	1,99 ^{ns}	1,32 ^{ns}	2,32 ^{ns}
[AIB]/Imersão Rápida	0,53 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,19 ^{ns}
Coeficiente variação (%)	9,18	3,07	9,10	17,39

Em que: Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P > 0,05$). ⁽¹⁾ Média geral da característica; ⁽²⁾ $x/100$; ⁽³⁾ $\text{Log} [(x/100) + 5]$; ⁽⁴⁾ $\text{Log} (x + 5)$, onde x é o valor observado para a realização das análises de variância e cálculos do coeficiente de variação. ^{ns} - Não significativo ($P > 0,05$) e * - Significativos ($P < 0,05$) com base no Teste F.

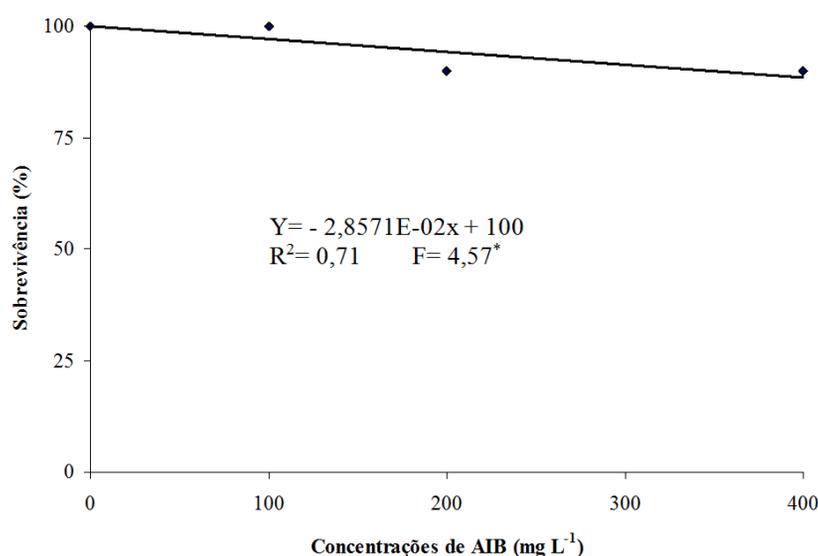


FIGURA 1: Porcentagem de sobrevivência de estacas de *Caesalpinia echinata* Lam. em função das concentrações de ácido indolbutírico (AIB) aos 90 dias de enraizamento em hidroponia após o tratamento em imersão lenta. Valores de F e R² obtidos a partir dos dados de sobrevivência transformados em (SOB/100), onde SOB é o valor observado de sobrevivência de estacas.

FIGURE 1: *Caesalpinia echinata* Lam. cuttings survival percentage related to the indole-3-butyric acid - AIB concentrations after hydroponic system rooting slow immersion treatment. F and R² values were obtained from transformed survival data (SOB/100), where SOB is the observed value of cuttings survival.

No presente trabalho, as equações de terceiro grau explicam as variações de porcentagem de enraizamento de estacas e comprimento de raízes adventícias (Figuras 2 e 3). Geralmente, os resultados de doses crescentes de reguladores de crescimento geram equações de segundo grau (TAIZ e ZEIGER, 2004). As equações de terceiro grau obtidas no presente trabalho foram as que melhor se ajustaram às médias dessas características, nitidamente superiores na concentração de 100 mg L⁻¹ e semelhantes nas de 200 e 400 mg L⁻¹ de AIB.

O maior valor de porcentagem de enraizamento de estacas (65%) aos 90 dias foi estimado na concentração de 84,40 mg L⁻¹ de AIB. Entre as diferentes doses aplicadas, esse valor se aproxima mais da dose de 100 mg L⁻¹ de AIB (Figura 2). Tchoundjeu et al. (2002), estudando a propagação de *Prunus africana* por estaquia, observaram que a aplicação de 100 mg L⁻¹ de AIB resultou em maior índice de enraizamento.

As características de enraizamento de estacas de espécies florestais apresentam uma variação intraespecífica resultante do material genético, procedência, morfologia de caules e atividade fisiológica (DICK et al., 1996).

A taxa de abscisão foliar foi baixa, o que deve

ter favorecido o enraizamento das estacas do presente trabalho, pois as folhas são importantes no processo de enraizamento por estarem correlacionadas à translocação de carboidratos em direção à base das estacas e à produção de auxina (PACHECO e FRANCO, 2008; TCHOUNDJEU et al., 2002).

Apesar de o número de raízes adventícias ter sido três vezes maior com a aplicação do AIB por imersão lenta do que por imersão rápida (Tabela 1), em ambas as formas de aplicação, não houve diferença significativa entre as doses de AIB aos 90 dias de enraizamento.

O comprimento máximo de raízes (6,15 cm) foi estimado com a dose de 90,63 mg L⁻¹ de AIB, próximo da dose de 100 mg L⁻¹ de AIB aplicada (Figura 3).

Verificou-se que a forma de aplicação de AIB via imersão rápida não influenciou as características analisadas aos 90 dias de enraizamento, mesmo com o estudo de regressão. Efeito semelhante foi observado no enraizamento de estacas das cultivares Magnolia e Topsail (*Vitis rotundifolia*). As estacas de ambas as cultivares não responderam ao uso de AIB em altas concentrações (1000, 2500, 5000 e 10000 mg kg⁻¹), não ocorrendo diferenças entre as variáveis analisadas (BIASI e BOSZCZOWSKI, 2005).

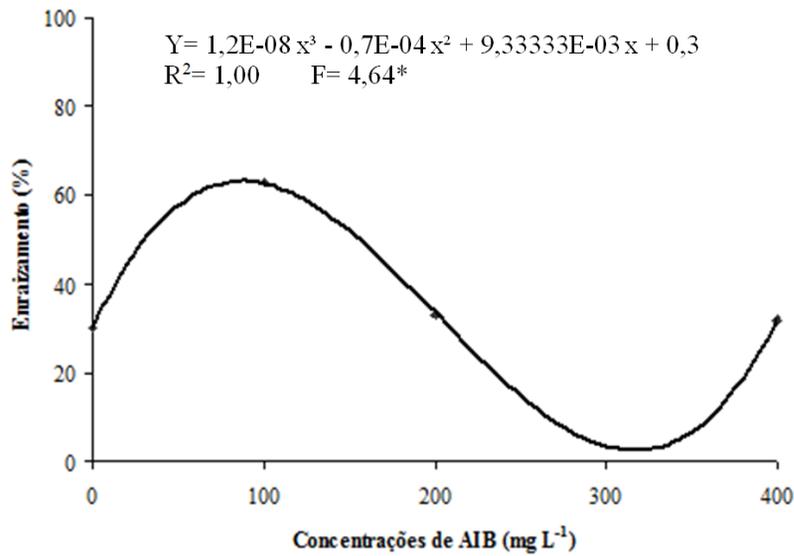


FIGURA 2: Enraizamento de estacas de *Caesalpinia echinata* Lam em função das concentrações de ácido indolbutírico (AIB) aos 90 dias de enraizamento em hidroponia após o tratamento em imersão lenta. Valores de F e R^2 obtidos a partir dos dados de enraizamento transformados em $\text{Log} \left[\frac{\text{ENR}}{100} + 5 \right]$, onde ENR é o valor observado de porcentagem de estacas enraizadas.

FIGURE 2: *Caesalpinia echinata* Lam. cuttings rooting related to the indole-3-butyric acid - AIB concentrations after hydroponic system rooting slow immersion treatment. F and R^2 values were obtained from transformed rooting data $\left\{ \text{Log} \left[\frac{\text{ENR}}{100} + 5 \right] \right\}$, where ENR is the observed value percentage of rooted cuttings.

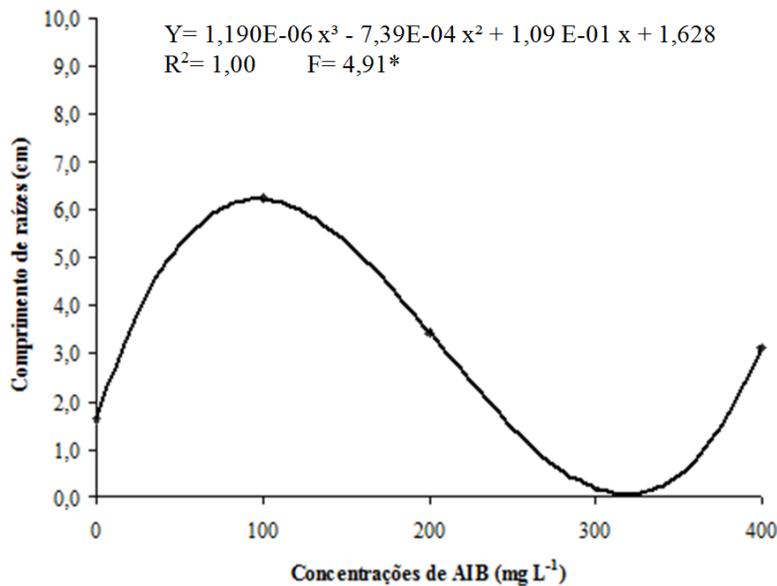


FIGURA 3: Comprimento de raízes adventícias de estacas de *Caesalpinia echinata* Lam. em função das concentrações de ácido indolbutírico (AIB) aos 90 dias de enraizamento em hidroponia após o tratamento em imersão lenta. Valores de F e R^2 obtidos a partir dos dados de comprimento transformados em $\text{Log} (CR + 5)$, onde CR é o valor observado de comprimento médio de raízes adventícias de estaca em centímetros.

FIGURE 3: *Caesalpinia echinata* Lam. cuttings adventitious root length related to indole-3-butyric acid - AIB concentrations at 90 days after the slow immersion treatment. F and R^2 values were obtained from transformed length data $[\text{Log} (CR + 5)]$, where CR is the cutting root average length observed value, in centimeters.

Aos 180 dias de enraizamento, não houve efeito das formas de aplicação de AIB para sobrevivência (78,5%), enraizamento (51%), do número (2,64) e comprimento das raízes adventícias (4,28 cm), cujos valores apresentados entre parênteses se referem às médias gerais do experimento. Nessa idade, a única variável estudada que sofreu influência da aplicação de AIB foi o número de raízes adventícias por estaca via imersão rápida. Com base na equação de regressão quadrática que explica essa variação (Figura 4), estima-se que o maior número de raízes por estaca (4,2) é obtido com a aplicação de 3030 mg L⁻¹ de AIB. Esses resultados mostram que AIB estimulou significativamente a emissão de raízes e não o seu desenvolvimento (MAYER et al., 2002; SARZI e PIVETTA, 2005). A aplicação exógena do regulador vegetal AIB estimula a iniciação de raízes na propagação vegetativa, mas pode comprometer seu desenvolvimento em concentrações elevadas (HARTMANN et al., 2002). O número de raízes de miniestacas de *Grevillea robusta*, provenientes da primeira coleta de brotação de mudas, também apresentou efeito quadrático em função das concentrações de AIB aplicadas via imersão rápida, sendo que a concentração de 2000 mg L⁻¹

de AIB promoveu o maior número de raízes de, aproximadamente, 3,5 (SOUZA JUNIOR et al., 2008).

Os resultados obtidos mostram que a aplicação de AIB via imersão lenta beneficiou mais o enraizamento de estacas de *Caesalpinia echinata* do que via imersão rápida aos 90 dias em hidroponia e que após mais 90 dias em substrato, não houve mais diferença entre as formas de imersão.

A resposta tardia de altas concentrações de AIB aplicadas via imersão rápida no enraizamento de estacas de *Caesalpinia echinata* (Figura 4), possivelmente, se deve ao fato de que essas doses foram superiores ao que seria uma concentração ótima de auxina durante o período de enraizamento de 90 dias no sistema de hidroponia. Nesse período, pode ter ocorrido ligação covalente do regulador vegetal com unidades de glicose e amido cuja forma covalentemente ligada é considerada inativa (TAIZ e ZEIGER, 2004). Com a continuidade do período de enraizamento em substrato por mais 90 dias, ocorreu variações nas condições de substrato, do ambiente e da fisiologia da planta que podem ter estimulado o metabolismo da auxina conjugada, tornando-a ativa.

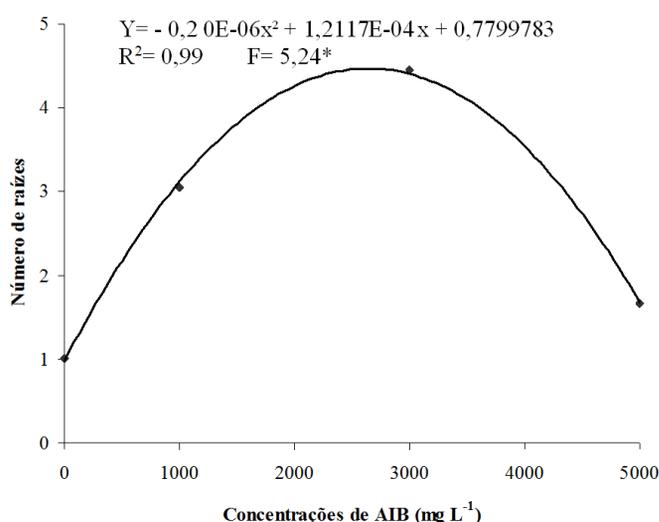


FIGURA 4: Número de raízes adventícias de estacas de *Caesalpinia echinata* Lam. em função das concentrações de ácido indolbutírico (AIB) após 90 dias de enraizamento em hidroponia mais 90 dias em substrato (Plantmax®), após o tratamento via imersão rápida. Valores de F e R² obtidos a partir dos dados de número de raízes adventícias transformados em Log (NR + 5), onde NR é o valor observado de número de raízes adventícias.

FIGURE 4: *Caesalpinia echinata* Lam. cuttings adventitious root number related to the indole-3-butyric acid - AIB concentrations at 90 rooting days under hydroponic system plus 90 days under Plantmax® substrate after treatment via fast immersion. F and R² values were obtained from transformed adventitious root number data [Log (NR + 5)], where NR is the adventitious root observed number value.

O maior índice de enraizamento de estacas de *Caesalpinia echinata* relatado na literatura, foi de, aproximadamente, 16% aos 120 dias de estaquia em substrato sólido, obtida com o uso do AIB ou do ácido naftalenoacético (ANA), ambos na concentração de 2500 mg L⁻¹, apesar da sobrevivência ter sido de até 70%. Como nesse período de 120 dias, a maioria das estacas ainda não tinha desenvolvido calos, esses propágulos deveriam ter permanecido por mais tempo sob nebulização, a fim de induzir o enraizamento (ENDRES et al., 2007).

Caesalpinia echinata apresenta crescimento lento e irregular, com máxima produtividade estimada em 1,35 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ (CARVALHO, 2003). Essas características estão associadas a fatores fisiológicos que podem também influenciar no tempo de emissão de raízes (ENDRES et al., 2007).

O presente trabalho mostra que o tratamento das estacas com AIB em solução resultou em considerável enraizamento de estacas de *Caesalpinia echinata* (Figura 5).



FIGURA 5: Estaca de *Caesalpinia echinata* tratada com ácido indolbutírico (AIB) na concentração de 100 mg L⁻¹ por 14 horas, imersão lenta, após 90 dias em sistema de hidroponia e 90 dias adicionais em substrato Plantmax®.

FIGURE 5: *Caesalpinia echinata* cutting treated with indole-3-butyric acid (IBA) at 100 mg L⁻¹ for 14 hours, slow immersion, after 90 days in hydroponic system more 90 days in Plantmax® substrate.

Os melhores resultados de enraizamento observados na literatura, para essa espécie, foram obtidos com o uso dos reguladores de crescimento AIB ou ANA aplicados em solução e não na forma de pó. Uma das justificativas para isso é que a solução age mais efetivamente no enraizamento, enquanto o pó pode apresentar variações na quantidade de auxina e ser menos solúvel, o que pode resultar em aderência à base da estaca e prejuízos na uniformidade do enraizamento (ENDRES et al., 2007).

As variações das características de enraizamento observadas entre as estacas, em especial no que se refere ao comprimento de raízes, devem-se, em parte, à variação genética existente, em decorrência de terem sido coletadas de plantas matrizes distintas de origem seminal. O potencial genético do vegetal é tido como o fator mais intimamente relacionado com o desenvolvimento de raízes (TAIZ e ZEIGER, 2004).

O enraizamento de estacas também é influenciado por fatores endógenos que não podem ser controlados, como o balanço hormonal, entre outros (FACHINELLO et al., 1995; SOUZA JUNIOR et al., 2008; TAIZ e ZEIGER, 2004).

A evolução das técnicas para maximização do enraizamento das espécies lenhosas e os fundamentos biológicos e fisiológicos da formação de raízes adventícias ainda são pouco conhecidos (ALFENAS et al., 2004).

CONCLUSÕES

As estacas provenientes de mudas de *Caesalpinia echinata* devem ser tratadas com ácido indolbutírico, na concentração de 100 mg L⁻¹ por 14 horas, e colocadas para enraizar em sistema de hidroponia.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) Processo 07/54474-2, pela bolsa de iniciação científica concedida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, F. F. A. et al. Influência da adubação no crescimento de mudas de pau-brasil (*Caesalpinia echinata* Lam.). **Revista Brasileira de Horticultura Ornamental**, Campinas, v. 3, n. 2, p. 42-49, 1997.
ALFENAS, A. C. et al. **Clonagem e doenças do**

eucalipto. Viçosa: Ed. UFV, 2004. 442 p.

BIASI, L. A.; BOSZCZOWSKI, B. Propagação por estacas semilenhosas de *Vitis rotundifolia* cvs. Magnolia e Topsail. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 11, n. 4, p. 405-407, out./dez. 2005.

BORTOLINI, M. F. et al. *Tibouchina sellowiana* (Cham.) Cogn.: enraizamento, anatomia e análises bioquímicas nas quatro estações do ano. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 2, p. 159-171, abr./jun. 2008.

BRASIL. IBAMA. Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Portaria 37-N, de 03 de abril de 1992. **Lista oficial de espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção**. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br>> Acesso em: 4 jan. de 2007.

BRASIL. Lei 6.607 de 07 de dezembro de 1978. Declara pau-brasil árvore nacional. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, dez. 1978.

CARVALHO, P. E. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília: Embrapa Informações Tecnológicas, 2003. p. 719-725.

DICK, J. P. et al. Provenance variation in rooting ability of *Calliandra calothyrsus*. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 87, p. 175-184, 1996.

ENDRES, L. et al. Enraizamento de estacas de Pau-Brasil (*Caesalpinia echinata* Lam.) tratadas com ácido indol butírico e ácido naftaleno acético. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 3, p. 886-889, maio/jun. 2007.

FACHINELLO, J. C. et al. **Propagação de plantas frutíferas de clima temperado**. 2. ed. Pelotas: Ufpel, 1995. 178 p.

FURLANI, P. R. **Cultivo da alface pela técnica de hidroponia - NFT**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1995. 18 p. (Documentos IAC, 55).

GARCIA, I. S. et al. Changes in soluble carbohydrates during storage of *Caesalpinia echinata* Lam. (brazilwood) seeds, an endangered leguminous tree from the brazilian atlantic forest. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 66, n. 2B, p. 29-41, maio 2006.

GONÇALVES, J. L. M. et al. Produção de mudas de espécies nativas: substrato, nutrição, sombreamento e fertilização. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 309-350.

HARTMANN, H. T. et al. **Plant propagation: principles and practices**. 7th. ed. New Jersey:

- Prentice Hall, 2002. 880 p.
- HOAGLAND, D.; ARNON, D. I. **The water culture method for growing plants without soil**. Riverside: California Agriculture Experimental, 1950. 347 p.
- MAYER, N. A. et al. Efeito do comprimento de estacas herbáceas de dois clones de umezeiro (*Prunus mume* Sieb & Zucc.) no enraizamento adventício. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 500-504, ago. 2002.
- PACHECO, J. P.; FRANCO, E. T. H. Substratos e estacas com e sem folhas no enraizamento de *Luehea divaricata* Mart. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 7, p. 1900-1906, out. 2008.
- REZENDE, C. M. et al. Constituintes químicos voláteis das flores e folhas do pau-brasil (*Caesalpinia echinata*, Lam). **Química Nova** [on line], São Paulo, v. 27, n. 3, p. 414-416, 2004.
- ROCHA, Y. T. et al. Pau-brasil: conhecer para conservar. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 38, n. 226, p. 22-29, maio 2006.
- RYMER, R. Saving the music tree. **Smithsonian**, Washington, v. 35, n. 1, p. 52-63, 2004.
- SANTOS, A. P. et al. Efeito da estaquia, miniestaquia, microestaquia e micropropagação no desempenho silvicultural de clones de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 68, n. 1, p. 29-38, ago. 2005.
- SARZI, I.; PIVETTA, K. F. L. Efeito das estações do ano e do ácido indolbutírico no enraizamento de estacas de variedades de miniroseira (*Rosa* spp.). **Científica**, Jaboticabal, v. 33, n. 1, p. 62-68, 2005.
- SOUZAJUNIOR, L. et al. Miniestaquia de *Grevillea robusta* A. Cunn. a partir de propágulos juvenis. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 4, p. 455-460, out./dez. 2008.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.
- TCHOUNDJEU, Z. et al. Vegetative propagation of *Prunus africana*: effects of rooting medium, auxin concentrations and leaf area. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 54, n. 3, p. 183-192, 2002.
- TOFANELLI, M. B. D. et al. Efeito do ácido indolbutírico no enraizamento de estacas de ramos semilenhosos de pessegueiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 7, p. 939-944, jul. 2002.
- WENDLING, I. et al. Influência da miniestaquia seriada no vigor de minicepas de clones de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 611-618, set./out. 2003.