

ESTAQUIA DE ÁRVORES ADULTAS DE *Paulownia fortunei* var. *mikado* A PARTIR DE BROTAÇÕES EPICÓRMICAS DE DECEPA

ROOTING CUTTINGS FROM EPICORMIC SHOOTS OF *Paulownia fortunei* var. *mikado* ADULT TREES

Carlos André Stuepp¹ Ivar Wendling² Henrique Soares Koehler³ Katia Christina Zuffellato-Ribas⁴

RESUMO

Paulownia fortunei é natural da China e destaca-se pelo crescimento acelerado e baixa densidade da madeira, associada a uma resistência natural ao ataque de agentes xilófagos. Contudo, o baixo poder germinativo das sementes dessa espécie tem incentivado sua reprodução pela propagação vegetativa. Dessa forma, este trabalho teve por objetivo avaliar o enraizamento e vigor radicial de estacas provenientes de brotações epicórmicas de árvores adultas decepadas, coletadas em diferentes estações do ano e submetidas a diferentes concentrações de ácido indolbutírico (AIB), bem como verificar a existência de possíveis barreiras anatômicas e histoquímicas à emissão de raízes adventícias. No outono/2011, primavera/2011 e verão/2012 foram confeccionadas estacas semilenhosas com 10-12 cm de comprimento e duas folhas reduzidas a uma superfície aproximada de 78,5 cm² (10 cm de diâmetro), cujas bases foram imersas por 10 segundos nos tratamentos com 0, 500, 1000, 1500 e 2000 mg L⁻¹ de AIB. O plantio foi realizado em tubetes de 110 cm³, preenchidos com vermiculita fina e casca de arroz carbonizada (1:1 em v/v) e acondicionados em casa de vegetação climatizada. Após 60 dias foram avaliadas a porcentagem de estacas enraizadas, número e comprimento de raízes/estaca, porcentagem de estacas com calos e mortalidade. Estacas coletadas de plantas matrizes decepadas no verão apresentaram os melhores resultados para enraizamento (47,5%), comprimento médio das três maiores raízes/estacas (5,65 cm) e porcentagem de estacas com calos (51,25%). Faz-se necessário o uso de AIB para o enraizamento de estacas provenientes de brotações epicórmicas de árvores decepadas de quiri (*Paulownia fortunei* var. *mikado*), sendo recomendada a concentração de 2000 mg L⁻¹. Não foram observadas barreiras anatômicas e histoquímicas à emissão de novas raízes.

Palavras-chave: revigoramento; estacas semilenhosas; auxina; anatomia.

ABSTRACT

Paulownia fortunei is a Chinese native species characterized by rapid growth and low wood density, associated with a natural resistance against xylophagous agents. Based on its low germination combined with the advantages of vegetative propagation, this work aimed to evaluate the effect of the rooting and root vigor of cuttings from epicormic shoots of mature trees coppiced near the base, collected in different seasons and under different concentrations of indolebutyric acid (IBA), as well as to check for possible anatomical and histochemical barriers to adventitious root emission. In fall/2011, spring/2011 and summer/2012 semi-hardwood cuttings were prepared with 10-12 cm and two leaves reduced to an area of about 78.5 cm²

- 1 Engenheiro Florestal, Doutorando em Produção Vegetal, Departamento de Agronomia, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Rua dos Funcionários, 1540, Caixa Postal 19061, Juvevê, CEP 81531-990, Curitiba (PR), Brasil. carlos.stuepp@ufpr.br
- 2 Engenheiro Florestal, Dr., Pesquisador da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Florestas, Estrada da Ribeira, Km 111, Jardim Cristina, Caixa Postal 319, CEP 83411-000, Colombo (PR), Brasil. ivar@cnpf.embrapa.br
- 3 Engenheiro Florestal, Dr., Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Caixa Postal 19061, CEP 80035050, Curitiba (PR), Brasil. koehler@ufpr.br
- 4 Bióloga, Dra., Departamento de Botânica, Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná, Caixa Postal 19031, CEP 81531-970, Curitiba (PR), Brasil. kazu@ufpr.br

Recebido para publicação em 2/06/2013 e aceito em 1/11/2013

(10 cm diameter). Cutting bases were dipped in IBA at concentrations of 0, 500, 1000, 1500 and 2000 mg L⁻¹. Cuttings were planted in 110 cm³ plastic tubes, filled with fine vermiculite and rice hulls (1:1 v/v), in a greenhouse. After 60 days, the percentage of rooting, number and length of roots/cutting, percentage of cuttings with callus and mortality were evaluated. Cuttings collected from stumps coppiced in summer presented the best results for rooting (47.5%), for mean length of the three longest roots/cuttings (5.65 cm) and percentage of cuttings with callus (51.25%). The use of IBA is necessary for root induction in cuttings of epicormic shoots from stumps of *Paulownia fortunei* var. *mikado* being recommended the concentration of 2000 mg L⁻¹. There were no anatomical and histochemical barriers to the emission of new roots.

Keywords: anatomy; auxin; reinvigoration; semi-hardwood cuttings.

INTRODUÇÃO

A silvicultura clonal se apresenta como base de sustentação da indústria florestal no Brasil, sendo o sucesso final do projeto florestal dependente diretamente da qualidade das mudas de determinada espécie. A propagação de espécies florestais por via seminal resulta em mudas desuniformes e sujeitas à baixa qualidade em virtude da grande variação genotípica (DIAS et al., 2012). As principais vantagens em se utilizar a propagação clonal em espécies florestais é a fixação de genótipos selecionados, evitando-se a variabilidade genética, o que proporciona inúmeros benefícios ao setor florestal, principalmente, pela formação de plantios clonais produtivos, aliada à melhoria da qualidade da madeira e derivados (BANDEIRA et al., 2007; XAVIER et al., 2013).

A propagação vegetativa pode proporcionar a produção de uma grande quantidade de mudas de boa qualidade em curto espaço de tempo, no entanto, a qualidade das mudas formadas depende diretamente da capacidade de enraizamento de cada espécie, bem como da qualidade do sistema radicial formado. O processo de enraizamento adventício é naturalmente regulado pela interação de múltiplos fatores como hormônios vegetais, características genéticas, carboidratos, compostos nitrogenados, aminoácidos, estágio fisiológico e idade da planta-matriz (HUSEN; PAL, 2006; AMRI et al., 2010; HARTMANN et al., 2011). Além destes, diversas espécies apresentam um conjunto de barreiras anatômicas específicas, tais como fibras e esclerêides no floema primário do caule, formando uma espécie de anel contínuo que impede o sistema radicial de ultrapassá-lo (WHITE; LOVELL 1984; LOVELL; WHITE, 1986), embora em uma série de espécies este fato não tenha se confirmado (BORTOLINI et al., 2008).

Neste contexto, técnicas como o abate

de árvores adultas ou podas sucessivas, a fim de induzir o crescimento de brotações epicórmicas buscam aumentar a produção de propágulos e manter a juvenilidade do material vegetal (HACKETT, 1987). Tais técnicas têm sido eficientes na produção de estacas com maior potencial de enraizamento em diversas espécies do gênero *Eucalyptus* (WENDLING; XAVIER, 2001; XAVIER et al., 2013), *Ilex paraguariensis* (BITENCOURT et al., 2009; WENDLING et al., 2013), *Araucaria angustifolia* (WENDLING et al., 2009) e uma série de outras espécies (PIJUT et al., 2011).

Os reguladores vegetais, por sua vez, são compostos orgânicos que, em pequenas quantidades, promovem, inibem ou modificam qualitativamente o crescimento e desenvolvimento das plantas. São comumente utilizados para induzir a formação de raízes, principalmente, em espécies consideradas de difícil enraizamento (PASQUAL et al., 2001; HUSEN; PAL, 2006; AMRI et al., 2010). Na propagação vegetativa, o ácido indolbutírico (AIB) é o principal regulador vegetal utilizado, podendo aumentar a porcentagem de enraizamento, qualidade e velocidade de formação das raízes, principalmente, em plantas com dificuldades de enraizamento (NORDSTROM et al., 1991; AMRI et al., 2010; HARTMANN et al., 2011). Estes efeitos foram relatados em diferentes espécies (SHERER et al., 1985; BRONDANI et al., 2010; SINGH et al., 2011) e as concentrações variam entre espécies, clones, estado de maturação dos propágulos e das técnicas de propagação (WENDLING; XAVIER 2005; FERREIRA et al., 2010).

O enraizamento pode, ainda, ser influenciado pelas diferentes estações do ano em que o material vegetal é coletado, refletindo nos índices de enraizamento das estacas.

No entanto, existe certa contradição quanto à melhor estação do ano para a coleta

do material vegetativo em que, para espécies de fácil enraizamento, independe a estação do ano, enquanto para outras espécies, o período de maior enraizamento coincide com a estação de repouso ou com a estação de crescimento (ALCÂNTARA et al., 2008; BORTOLINI et al., 2008).

Pertencente à família Scrophulariaceae, *Paulownia fortunei* (Seem.) Hemsl. var. *mikado* e seus híbridos naturais ocorrem em zonas subtropicais e tropicais da China, Formosa, Vietnã e Laos, onde a temperatura máxima atinge 40°C e a mínima, em torno de 10°C (BORTHWICK et al., 1964; BONNER; BURTON, 1974; ZHU et al., 1986). Apresenta folhas caducas e um fuste cilíndrico, reto e longo, com casca rugosa e pouco espessa, folhas simples, cartáceas e pecíolo longo (LORENZI et al., 2003). Muito apreciado pelas características de sua madeira, o quiri, como é comumente conhecido, destaca-se pelo crescimento acelerado, madeira de baixa densidade, associados a uma resistência natural ao ataque de insetos xilófagos e ao apodrecimento (PRESTON, 1983).

A escassez de estudos acerca da propagação vegetativa de *Paulownia fortunei* associada ao seu rejuvenescimento/revigoramento, além do baixo poder germinativo das sementes da espécie (SALOMÃO et al., 2004) e a grande variação fenotípica resultante das mesmas, geram a necessidade de estudos mais detalhados no que diz respeito a outras vias de propagação. Assim, este trabalho teve como objetivo estudar o enraizamento de estacas caulinares de *Paulownia fortunei*, provenientes de brotações epicórmicas de plantas

matrizes decepadas, coletadas nas estações de outono e primavera/2011 e verão/2012, com a aplicação de ácido indolbutírico em diferentes concentrações, bem como verificar, por meio de análises anatômicas e histoquímicas, a possível existência de barreiras à emissão de raízes adventícias.

MATERIAL E MÉTODOS

Estaquia

Para a realização dos experimentos foram utilizadas brotações provenientes da decape de 10 árvores matrizes de *Paulownia fortunei* localizadas no município de Aurora-SC (27°23'28.57"S e 49°38'43.30"W), com altitude aproximada de 700 m. O clima da região é do tipo Cfa, caracterizado como subtropical, com temperatura média do mês mais frio inferior a 18°C (mesotérmico) e temperatura média do mês mais quente acima de 22°C, apresentando verões quentes, geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, contudo, sem estação seca definida.

As plantas matrizes possuíam aproximadamente 20 anos de idade e diâmetro a altura do peito (dap) de 60-80 cm, sendo a decape realizada a aproximadamente 2 m do solo (Figura 1-A), com o objetivo de intensificar a produção de brotações epicórmicas ao longo do tronco. Esse procedimento foi realizado em janeiro/2011 e as coletas foram realizadas no outono (abril)/2011, primavera (outubro)/2011 e verão (janeiro)/2012. Com este procedimento, a coleta de brotações

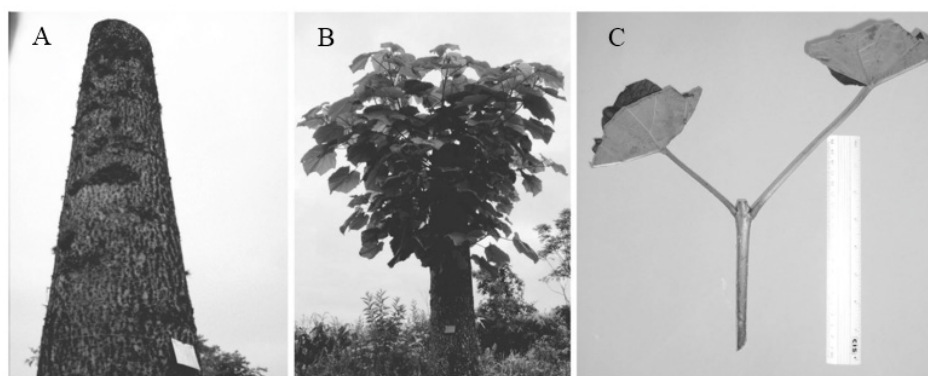


FIGURA 1: A. Decape de plantas matrizes de *Paulownia fortunei* var. *mikado* a 2,0 m do solo; B. Brotações epicórmicas produzidas 3 meses após a decape; C. Estaca semilenhosa.

FIGURE 1: A. Stump of stock plants of *Paulownia fortunei* var. *mikado* at the height of 2.0 m; B. Epicormic shoots 3 months after coppicing; C. Semi-hardwood cutting.

epicórmicas em cada estação promovia a poda para rejuvenescimento na coleta da estação seguinte. Não foi realizada coleta no inverno (julho)/2011, devido à ausência de brotações nas plantas-matrizes.

Após a coleta no campo, os ramos foram umedecidos, acondicionados em sacos plásticos e transportados para ambiente coberto, a partir dos quais foram preparadas estacas caulinares semilenhosas com cerca de 10 a 12 cm de comprimento, com corte em bisel na base e corte reto acima da última gema apical, mantendo-se duas folhas reduzidas a uma superfície aproximada de 78,5 cm² (10 cm de diâmetro) no terço superior da estaca (Figura 1-C).

Durante o processo de preparo, as estacas foram mantidas em balde com água, a fim de evitar desidratação e, depois de confeccionadas, foram envoltas em papel umedecido e acondicionadas em caixas de isopor com gelo, sendo transportadas até o Laboratório de Propagação de Espécies Florestais da Embrapa Florestas (Colombo-PR). Posteriormente, as estacas foram desinfestadas com solução de hipoclorito de sódio a 0,5% por 10 minutos (ação bactericida) e lavadas em água corrente por 10 minutos. Em seguida, as bases das estacas foram tratadas com Benlate® 0,1% por 10 minutos (ação fungicida). Na sequência, procedeu-se o tratamento das bases das estacas com o AIB (Merck), conforme os seguintes tratamentos (T) em solução hidroalcoólica 50%, por 10 segundos de imersão: T1: 0 mg L⁻¹ AIB (testemunha); T2: 500 mg L⁻¹ AIB; T3: 1000 mg L⁻¹ AIB; T4: 1500 mg L⁻¹ AIB; T5: 2000 mg L⁻¹ AIB.

As estacas foram plantadas em tubetes de polipropileno com capacidade de 110 cm³, preenchidos com vermiculita de granulometria média e casca de arroz carbonizada (1:1, em v/v) e acondicionadas em casa de vegetação climatizada com nebulização intermitente (temperatura de 24°C ± 2°C e umidade relativa do ar superior a 80%). As médias das temperaturas máximas, médias e mínimas da casa de vegetação no decorrer do experimento estão apresentadas na Figura 2.

Transcorridos 60 dias da instalação dos experimentos foram avaliadas a porcentagem de enraizamento (estacas vivas que apresentavam raízes de, pelo menos, 2 mm de comprimento), o número de raízes/estaca, o comprimento das três maiores raízes/estaca (cm), a porcentagem de estacas com calos (estacas vivas, sem raízes, com formação de massa celular indiferenciada na base) e a porcentagem de estacas mortas.

Os experimentos foram implantados em delineamento inteiramente casualizado, com arranjo fatorial 3 x 5 (3 estações do ano x 5 concentrações de AIB), com quatro repetições contendo 20 estacas por unidade experimental. As variâncias dos tratamentos foram testadas quanto à homogeneidade pelo teste de Bartlett. As variáveis que apresentaram diferenças significativas pelo teste de F tiveram suas médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Análises anatômicas

Nas estações do outono e primavera/2011 e verão/2012, antes da instalação dos experimentos de estaquia, foram coletadas amostras de cerca de 3 cm da base das estacas, as quais foram fixadas em FAA70 por 24 horas (JOHANSEN, 1940) e, posteriormente, conservadas em álcool etílico a 70% (v/v) até o início das atividades de confecção dos blocos e análises anatômicas, realizadas no Laboratório de Anatomia Vegetal -Departamento de Botânica (UFPR, Curitiba-PR).

O material previamente armazenado em álcool etílico a 70% (v/v) foi seccionado em fragmentos de 1,0 cm e incluído em blocos com PEG (polietilenoglicol 1500). Estes blocos foram fixados em tutores de madeira e mantidos em geladeira por 24 h para uma boa fixação dos mesmos. Posteriormente, os blocos foram seccionados em micrótomo de rotação (Olympus CUT 4055) e laminados com uma espessura de 15 µm (KRAUS; ARDUIN, 1997).

Conforme foram confeccionados os cortes em forma de fita, estes foram submergidos em placas de Petri com água destilada, para dissolução do PEG, sendo submetidos a testes histoquímicos com lugol, para identificação de grãos de amido, cloreto férrico para identificação de compostos fenólicos e sudan III para identificação de lipídios. Alguns cortes foram submetidos, ainda, à dupla coloração com safrablau (5 mL de solução aquosa de safranina 1% - 95 mL de solução aquosa de azul de Astra 1%) para identificação de celulose e lignina (KRAUS; ARDUIN, 1997).

Após estes procedimentos foram confeccionadas lâminas semipermanentes com a utilização de gelatina glicerínada e, posterior, vedação com esmalte incolor. Em seguida, as lâminas foram analisadas e documentadas através de fotomicrografias em fotomicroscópio

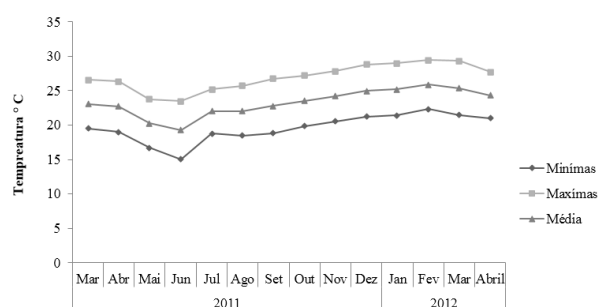


FIGURA 2: Médias das temperaturas máximas, médias e mínimas da casa de vegetação, entre os meses de março/2011 a abril/2012.

FIGURE 2: Average of maximum, medium and minimum temperatures inside the greenhouse between April/2012 and March/2011.

Zeiss com câmera digital Sony Cyber-shot P72 acoplada, realizadas no Laboratório de Ficologia - Departamento de Botânica (UFPR, Curitiba-PR).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os melhores percentuais de enraizamento de estacas de *Paulownia fortunei* foram observados no verão (30%) e na primavera (29%), diferindo estatisticamente do outono. As concentrações de AIB de 2000 mg L⁻¹ com 36,20% de estacas enraizadas e 1500 mg L⁻¹, com 34,60% de estacas

enraizadas não diferiram entre si e foram superiores às demais concentrações estudadas (Tabela 1).

De acordo com Taiz e Zeiger (2009), há uma maior síntese de auxinas nos meristemas apicais, bem como em gemas e folhas jovens. Desta forma, considerando o efeito positivo das auxinas no processo de enraizamento, a primavera e o verão são, teoricamente, as melhores épocas para produção deste grupo hormonal, visto as plantas matrizes terem produzido brotações vigorosas e crescimento intenso, em virtude do fotoperíodo e temperatura em que se encontravam, culminando com maior enraizamento quando comparadas ao material coletado no outono.

Trabalhando com estacas semilenhosas de *Sapium glandulatum*, Ferreira et al. (2001) observaram superioridade no enraizamento no verão em comparação às estações de dormência da espécie (outono e inverno). Os autores verificaram também maior quantidade de substâncias estimuladoras do enraizamento como açúcares redutores e não redutores, bem como açúcares totais, associando os menores índices de enraizamento nas estações mais frias ao menor vigor das brotações, bem como aos altos teores de substâncias inibidoras de enraizamento, comuns na fase de dormência.

A sacarose aplicada em combinação com AIB, ou de forma isolada pode influenciar na indução de brotações ou mesmo, incrementar a formação de brotos (OVONO et al., 2009) com maior viabilidade de enraizamento (BHARDWAJ; MISHRA, 2005; STENVALL et al., 2009), o que evidencia a

TABELA 1: Porcentagem de enraizamento de estacas de *Paulownia fortunei*, coletadas no outono e primavera/2011 e verão/2012, submetidas a tratamentos com diferentes concentrações de ácido indolbutírico (AIB).

TABLE 1: Rooting percentage of *Paulownia fortunei* cuttings, collected in autumn and spring/2011 and summer/2012, submitted to treatments with different concentrations of indolebutyric acid (IBA).

[AIB] mg L ⁻¹	[Estações do ano]			Médias	
	Outono/2011	Primavera/2011	Verão/2012		
0	8,75	16,25	17,50	14,17	c
500	10,00	20,00	23,75	17,92	c
1000	20,00	33,75	27,50	27,08	b
1500	31,25	38,75	33,75	34,58	a b
2000	25,00	36,25	47,50	36,25	a
Médias	19,00 B	29,00 A	30,00 A		

Coefficiente de variação = 27,94%

Em que: Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

importância desta substância no metabolismo das plantas (PAVLINOVA et al., 2002; YANG et al., 2004). Além disso, há indicações de que o acúmulo de carboidratos nos tecidos vegetais tem correlação com a capacidade de enraizamento (STENVALL et al., 2009), enfatizando a importância de seus níveis endógenos no sucesso da clonagem de genótipos selecionados (WENDLING et al., 2013).

Os resultados do presente estudo mostram o efeito positivo da aplicação de diferentes concentrações de AIB sobre o enraizamento em estacas provenientes de brotações epicórmicas de *Paulownia fortunei*, com tendência de aumento com a elevação das concentrações. Isso sugere que as concentrações de auxinas endógenas não foram suficientes para a indução do enraizamento de estacas de *Paulownia fortunei*, embora estas sejam provenientes de material rejuvenescido. Trabalhando com *Prunus subhirtella*, Osterc et al. (2009) verificaram que estacas provenientes de plantas previamente rejuvenescidas apresentavam quantidades de AIA superiores quando comparadas a estacas de plantas adultas da mesma espécie.

De acordo com Hartmann et al. (2011), quando se faz a aplicação de reguladores vegetais, ocorre aumento de sua concentração na estaca e, como reflexo, há efeito de estímulo à indução radicial. Esse estímulo vai até um ponto máximo, a partir do qual se torna inibitório. No presente trabalho não foi possível verificar este limite, no qual seria possível observar redução nos índices de enraizamento deste material, uma vez que o maior resultado foi verificado na maior concentração de

AIB aplicada (Figura 3).

Outro fator que pode ter influenciado positivamente a indução do sistema radicial em *Paulownia fortunei* diz respeito às maiores temperaturas apresentadas em casa de vegetação nas estações do verão e primavera em comparação ao outono. Para Corrêa e Fett-Neto (2004), a temperatura pode influenciar o enraizamento, atuando, sobretudo na absorção de nutrientes e no metabolismo, especialmente em regiões de clima subtropical. Algumas pesquisas evidenciam que a divisão celular é favorecida com o aumento da temperatura e, conseqüentemente, auxilia na formação de raízes e produção de brotos (NIENOW et al., 2010; SOUZA et al., 2013).

Os melhores resultados para o número de raízes/estaca em estacas de *Paulownia fortunei* foram observados na primavera (7,30) e no outono (4,09), diferindo estatisticamente do verão (Tabela 2). Estes resultados mostram que, apesar do verão ter apresentado média de enraizamento superior às demais estações, o número de raízes/estaca apresentou resultados inferiores, quando comparada à primavera e outono.

A concentração de 2000 mg L⁻¹ de AIB, com 6,59 raízes/estaca, apresentou-se superior às concentrações de 1000 e 1500 mg L⁻¹, com 5,72 e 5,28 raízes/estaca, respectivamente, diferindo significativamente das concentrações de 500 e 0 mg L⁻¹ de AIB, com 3,30 e 2,72 raízes/estaca (Tabela 2). Desta forma, para número de raízes/estacas de *Paulownia fortunei* notou-se incremento positivo referente ao aumento nas concentrações

TABELA 2: Efeito de diferentes concentrações de ácido indolbutírico (AIB) e estações do ano no número de raízes/estaca de *Paulownia fortunei* (Seem.) Hemsl. var. *mikado*.

TABLE 2: Effect of different concentrations of indolebutyric acid (IBA) and seasons of the year on the number of roots/cutting of *Paulownia fortunei* (Seem.) Hemsl. var. *mikado*.

[AIB]	[Estações do ano]			Médias	
mg L ⁻¹	Outono/2011	Primavera/2011	Verão/2012		
Número de raízes/estaca					
0	3,37	3,29	1,48	2,72	b
500	3,25	4,75	1,91	3,30	b
1000	4,58	10,03	2,56	5,72	a b
1500	4,34	8,46	3,05	5,28	a b
2000	4,88	9,37	4,91	6,59	a
Médias	4,09 A	7,30 A	2,78 B		

Coeficiente de variação = 58,86%

Em que: Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

de AIB aplicadas nas estacas, estando de acordo com resultados encontrados para enraizamento, nos quais também foi verificado incremento positivo, conforme as concentrações de AIB foram aumentadas.

Para o comprimento médio das três maiores raízes/estaca, o melhor resultado foi verificado no verão, com 4,81 cm/estaca, diferindo significativamente das demais estações estudadas (Tabela 3). Não houve diferença significativa entre as médias das diferentes concentrações de AIB aplicadas, sendo que o tratamento com 500 mg L⁻¹ de AIB, apresentou média de 4,05 cm/estaca. Estes resultados mostram concordância com os obtidos para o enraizamento, nos quais o verão e a primavera foram superiores ao outono.

Para a porcentagem de estacas com calos, as concentrações de 0 e 500 mg L⁻¹ de AIB, com 37,50% e 37,08%, respectivamente, apresentaram valores superiores às de 1000 mg L⁻¹ (32,08%) e 1500 mg L⁻¹ (27,92%), diferindo significativamente apenas da concentração de 2000 mg L⁻¹, com 21,67% de estacas com calos. Esta redução dos percentuais de estacas com calos com o aumento nas concentrações de AIB (Figura 3) pode estar atrelada ao fato de que concentrações abaixo de um nível crítico tendem a não serem eficazes, levando a uma maior formação de calos e, por outro lado, concentrações mais próximas ao ideal tendem a ampliar a formação de raízes e diminuir esta formação de calos (SMARSI et al., 2008). No

entanto, isso não significa que as concentrações de AIB, se ampliadas, resultarão em menores índices de formação de calos e maiores índices de formação de raízes, pois concentrações supraótimas podem gerar impedimentos à emissão de raízes por causarem fitotoxidade à estaca, podendo ocorrer necrose da base ou até de toda a estaca (ONO; RODRIGUES, 1996).

O maior índice de estacas mortas foi verificado na estação do outono, com 44,25% de mortalidade, diferindo estatisticamente das demais estações estudadas (Tabela 4). Não houve diferença significativa entre as médias das diferentes concentrações de AIB aplicadas, sendo que os tratamentos com 0 e 2000 mg L⁻¹ de AIB, apresentaram média de 35,42% de estacas mortas.

Um dos fatores que pode explicar a alta mortalidade é o estresse do transporte e preparo das estacas, levando à oxidação da base. Essa oxidação pode ser influenciada pelo genótipo, ou seja, algumas espécies apresentam-se mais suscetíveis, o que pode dificultar o processo de rizogênese das estacas (TEIXEIRA, 2001). A oxidação é influenciada, principalmente, por compostos fenólicos muitas vezes prejudiciais ao processo de enraizamento; porém, essenciais às funções fisiológicas das plantas, visto o importante papel de regular a oxidação do AIA (ácido indolacético) (HARTMANN et al., 2011).

Paulownia fortunei apresenta folhas particularmente grandes quando jovem, as quais

TABELA 3: Comprimento médio das três maiores raízes em estacas de *Paulownia fortunei*, coletadas no outono e primavera/2011 e verão/2012, submetidas a tratamentos com diferentes concentrações de ácido indolbutírico (AIB).

TABLE 3: Average length of the three longest roots in cuttings of *Paulownia fortunei*, collected in autumn and spring/2011 and summer/2012, submitted to treatments with different concentrations of indolebutyric acid (IBA).

[AIB]	[Estações do ano]			Médias
mg L ⁻¹	Outono/2011	Primavera/2011	Verão/2012	
Comprimento médio de raízes/estaca				
0	2,17	3,34	4,20	3,24 a
500	3,14	3,84	5,16	4,05 a
1000	2,98	2,63	5,65	3,75 a
1500	3,14	3,07	4,90	3,70 a
2000	3,06	3,26	4,13	3,48 a
Médias	2,89 B	3,23 B	4,81 A	

Coefficiente de variação = 46,36%

Em que: Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

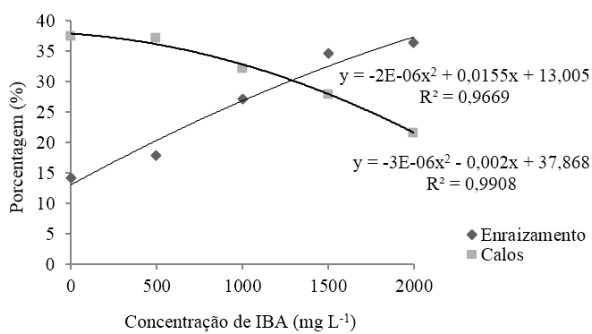


FIGURA 3: Porcentagens de enraizamento e de formação de calos em estacas de *Paulownia fortunei*, com a aplicação de diferentes concentrações de ácido indolbutírico.

FIGURE 3: Percentage of rooting and callus formation in cuttings of *Paulownia fortunei*, with different concentrations of indolebutyric acid (IBA).

tiveram seu tamanho reduzido no momento da preparação das estacas para efeitos de padronização (Figura 1-C). Mesmo assim, houve certa sobreposição das folhas em casa de vegetação, definida popularmente como “efeito guarda-chuva”, limitando a passagem de água para as partes mais próximas à base das estacas, gerando estresse hídrico nestas áreas e podendo levar à mortalidade das mesmas.

Análises anatômicas

Verificou-se a existência de diferenças anatômicas entre as estacas, porém, não foram observadas barreiras anatômicas ao seu enraizamento em nenhuma das estações estudadas. O caule encontrava-se em crescimento secundário nas três estações, com epiderme unisseriada, com instalação de felogênio na camada subepidérmica

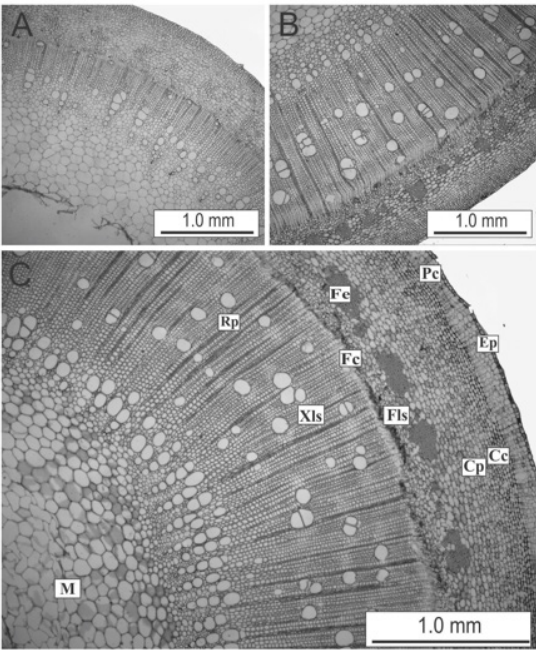


FIGURA 4: Secções transversais de estacas caulinares semilenhosas provenientes de brotações epicórmicas de decepas de *Paulownia fortunei*. A. Vista geral do corte na estação do outono; B. Vista geral do corte na estação da primavera; C. Vista geral do corte na estação do verão: Epiderme (Ep), parênquima cortical (Pc), células colenquimáticas (Cc), células parenquimáticas (Cp), feixes de esclerênquima (Fe), floema secundário (Fls), faixa cambial (Fc), raios parenquimáticos (Rp), xilema secundário (Xls) e medula (M).

FIGURE 4: Cross sections of semihardwood cuttings, of epicormic shoots from stumps of *Paulownia fortunei*. A. General view of the section in the autumn; B. General view of the section in the spring; C. General view of the section in the summer: Epidermis (Ep), cortical parenchyma (Pc), collenchyma cells (Cc), parenchyma cells (Cp), bundles of sclerenchyma (Fe), secondary phloem (Fls), cambium (Fc), ray parenchyma (Rp), secondary xylem (xls) and medulla (M).

TABELA 4: Porcentagem de mortalidade em estacas de *Paulownia fortunei*, coletadas no outono e primavera/2011 e verão/2012, submetidas a tratamentos com diferentes concentrações de ácido indolbutírico (AIB).

TABLE 4: Percentage of mortality in cuttings of *Paulownia fortunei*, collected in autumn and spring/2011 and summer/2012, submitted to treatments with different concentrations of indolebutyric acid (IBA).

[AIB]	[Estações do ano]			Médias
mg L ⁻¹	Outono	Primavera	Verão	
Porcentagem de mortalidade				
0	51,25	33,75	21,25	35,42 a
500	43,75	40,00	18,75	34,17 a
1000	36,25	33,75	23,75	31,25 a
1500	37,50	32,50	12,50	27,50 a
2000	52,50	38,75	15,00	35,42 a
Médias	44,25 A	33,75 B	18,25 C	

Coefficiente de variação = 26,42%

Em que: Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

apenas em estacas coletadas no verão (Figuras 4-A a C). O córtex é composto externamente por 7 a 9 camadas de colênquima e internamente por 12 camadas de parênquima. Ainda na região cortical são identificados feixes de fibras dispostos em um anel descontínuo, apresentando maior espessamento de parede nas estações da primavera e verão. No outono, estes feixes de fibras encontram-se ainda em início de espessamento, com pouca ou nenhuma lignificação (Figura 4-A).

O floema secundário é contínuo, formado por elementos de tubo crivado, células companheiras e parênquima, apresentando-se em uma faixa estreita. O câmbio vascular apresenta-se bastante ativo, com uma faixa larga de células em diferenciação. Foi registrada maior atividade celular no verão e na primavera em relação ao outono, representado pela maior quantidade de camadas de células em diferenciação. No xilema secundário pode-se verificar a existência de raios parenquimáticos, com 2, 3 ou 4 fileiras de células, além da presença de vasos em sua maioria isolados ou em agrupamentos radiais, fibras e parênquima paratraqueal (Figura 4-C).

A medula é composta por parênquima, o qual sofre lise com o passar do tempo, formando uma fistula ou lacuna (Figura 4-C). Não foram evidenciados presença de grãos de amido, compostos fenólicos e lipídios, respectivamente, nas estacas nas diferentes épocas de coleta.

CONCLUSÕES

Estacas coletadas no verão e primavera são as mais indicadas para o enraizamento;

O uso de AIB foi eficiente para a indução de raízes, sendo recomendada a concentração de 2000 mg L⁻¹;

Não foram observadas barreiras anatômicas ao enraizamento de estacas provenientes de brotações epicórmicas de de cepa de *Paulownia fortunei* em nenhuma das estações estudadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCÂNTARA, G. B. et al. Efeitos do ácido indolilbutírico (AIB) e da coleta de brotações em diferentes estações do ano no enraizamento de miniestacas de *Pinus taeda* L. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 36, p. 151-156, 2008.
- AMRI, E. et al. "Vegetative propagation of African Blackwood (*Dalbergia melanoxylon* Guill. & Perr.): effects of age of donor plant, IBA treatment and cutting position on rooting ability of stem cuttings". **New Forests**, EUA, v. 39, n. 2, p. 183-194, 2010.
- BANDEIRA, F. S. et al. Aclimatização ex vitro de plantas propagadas pela enxertia in vitro de clones de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 5, 2007.
- BHARDWAJ, D. R.; MISHRA, V. K. Vegetative

- propagation of *Ulmus villosa*: effects of plant growth regulators, collection time, type of donor and position of shoot on adventitious root formation in stem cuttings. **New Forests**, EUA, v. 29, n. 2, p. 105-116, 2005.
- BITENCOURT, J. et al. Enraizamento de estacas de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hill.) provenientes de brotações rejuvenescidas. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v. 11, p. 277-281, 2009.
- BONNER, F. T.; BURTON, J. D. *Paulownia tomentosa* (Thunb.) Sieb. & Suec., Royal *paulownia*. In: SCHOPMEYER, C. S. (Coord). **Seeds of Woody plants in the United States**. Washington: USDA-Forest Service, p. 572-573, 1974.
- BORTHWICK, H. A.; TOOLE, E. H.; TOOLE, V. K. Phytochrome control of *Paulownia* seed germination. **Israel Journal of Botany**, Jerusalem, v. 13, p. 122-133, 1964.
- 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, 2008.
- BRONDANI, G. E. et al. Aplicação de AIB para o enraizamento de miniestacas de *Eucalyptus benthamii* Maiden & Cambage x *Eucalyptus dunnii* Maiden. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 32, n. 4, p. 667-674, 2010.
- CORRÊA, L. R.; FETT-NETO, A. G. Effects of temperature on adventitious root development in microcuttings of *Eucalyptus saligna* Smith and *Eucalyptus globulus* Labill. **Journal of Thermal Biology**, v. 29, n. 6, p. 315-324, 2004.
- DIAS, P. C. et al. Estaquia e miniestaquia de espécies florestais lenhosas do Brasil. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 32, n. 72, p. 453-462, 2012.
- FERREIRA, B. G. A. et al. Enraizamento de *Sapium glandulatum* (Vell.) Pax. pela aplicação de ácido indol butírico e ácido bórico. **Leandra**, v. 16, p. 11-16, 2001.
- FERREIRA, B. G. A. et al. Miniestaquia de *Sapium glandulatum* (Vell.) Pax com o uso de ácido indol butírico e ácido naftaleno acético. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, p. 19-31, 2010.
- HACKETT, W. P. Donor plant maturation and adventitious root formation. In: DAVIES, T. D.; HAISSIG, B. E.; SANKHLA, N. **Adventitious root formation in cuttings. Advances in Plant Sciences Series**, v. 2. Portland: Dioscorides Press, p. 11-28, 1987.
- HARTMANN, H. T. et al. **Hartmann and Kester's PLANT PROPAGATION: principles and practices**. 8. ed. Boston: Prentice Hall, 2011. 915 p.
- HUSEN, A.; PAL, M. Variation in shoot anatomy and rooting behaviour of stem cuttings in relation to age of donor plants in teak (*Tectona grandis* Linn. f.). **New Forests**, EUA, v. 31, n. 1, p. 57-73, 2006.
- JOHANSEN, D. A. **Plant Microtechnique**. New York: McGraw-Hill, 1940. 523 p.
- KRAUS, J. E.; ARDUIN, M. **Manual básico de métodos em morfologia vegetal**. Rio de Janeiro: Ed. da Universidade Rural, 1997.
- LORENZI, H., Árvores Exóticas no Brasil - Madeiras, ornamentais e aromáticas. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2003, 382 p.
- LOVELL, J.; WHITE, P. H. Anatomical changes during adventitious root formation. In: JACKSON, M. B. **New root formation in plants and cuttings**. Dordrecht: Martinus Nijhoff Publishers, p. 111-140, 1986.
- NIENOW, A. A. et al. Enraizamento de estacas de quaresmeira em duas épocas e concentrações de ácido indolbutírico. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 16, n. 1-4, p. 139-142, 2010.
- NORDSTROM, A. C.; JACOBS, F. A. ELIASSON, L. Effect of exogenous indole-3-acetic acid and indole-3-butyric acid on internal levels of the respective auxins and their conjugation with aspartic acid during adventitious root formation in pea cuttings. **Plant Physiology**, v. 96, p. 856-861, 1991.
- ONO, E. O.; RODRIGUES, J. D. **Aspectos da fisiologia do enraizamento de estacas caulinares**. Jaboticabal: FUNEP, 1996. 83 p.
- OSTERC, G.; STEFANCIC, M.; STAMPAR, F. Juvenile stockplant material enhances root development through higher endogenous auxin level. **Acta Physiologiae Plantarum**, Alemanha, v. 31, p. 899-903, 2009.
- OVONO, P. O.; KEVERS, C.; DOMMES, J. Effects of reducing sugar concentration on in vitro tuber formation and sprouting in yam (*Dioscorea cayenensis*-*D. rotundata* complex). **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, Holanda, v. 99, n. 1, p. 55-59, 2009.
- PAIVA, H. N.; GOMES, J. M. **Propagação vegetativa de espécies florestais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1993. 40 p.
- PASQUAL, M. et al. **Fruticultura Comercial: propagação de plantas frutíferas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 137 p.
- PAVLINOVA, O. A. et al. Sucrose phosphate

- synthase, sucrose synthase, and invertase in sugar beet leaves. **Russian Journal of Plant Physiology**, Russian, v. 49, n. 1, p. 68-73, 2002.
- PIJUT, P. M.; WOWSTE, K. E.; MICHLER, C. H. Promotion of adventitious root formation of difficult-to-root hardwood tree species. **Horticultural Reviews**, v. 38, p. 213-251, 2011.
- PRESTON, D. J. Paulownia: miracle tree or passing fancy? **American forests**, v. 89, n. 5, p. 15-20, 1983.
- SALOMÃO, A. N.; SANTOS, I. R. I.; SKORUPA, L. A. **Efeitos de diferentes tratamentos sobre a germinação de *Paulownia fortunei* (Seem.) Hemsl. var. *mikado*. (Scrophulariaceae)**. Brasília: Embrapa, Junho, 2004. (CIRCULAR TÉCNICA, n. 30)
- SHERER, V. K. et al. Growth regulating activity of various chemical compounds of grapevine rootstock cuttings. **Vinogradarstvo i Vinodelie**, Russian, v. 28, p. 12-15, 1985.
- SINGH, K. K; RAWAT, J. M. S.; TOMAR, Y. K. Influence of IBA on rooting potential of torch glory *Bougainvillea glabra* during winter season. **Journal of Horticultural Science & Ornamental Plants**, v. 3, n. 2, p. 162-165, 2011.
- SMARSI, R. C. et al. Concentrações de ácido indolbutírico e tipos de substrato na propagação vegetativa de lichia. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, n. 1, 2008.
- SOUZA, C. C. et al. Padrões de miniestacas e sazonalidade na produção de mudas clonais de *Eucalyptus grandis* Hill X *E. urophylla* S. T. Black. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 37, n. 1, 2013.
- STENVALL, N.; PIISILÄ, M.; PULKKINEN, P. Seasonal fluctuation of root carbohydrates in hybrid aspen clones and its relationship to the sprouting efficiency of root cuttings. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 39, n. 8, p. 1531-1537, 2009.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819 p.
- TEIXEIRA, J. B. **Limitações ao processo de cultivo in vitro de espécies lenhosas**. Brasília: Embrapa-Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2001.
- WENDLING, I.; XAVIER, A. Gradiente de maturação e rejuvenescimento aplicado em espécies florestais. **Floresta e Ambiente**, v. 8, n. 1, p. 187-194, 2001.
- WENDLING, I.; XAVIER, A. Influência do ácido indolbutírico e da miniestaquia seriada no enraizamento e vigor de miniestacas de clones de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 6, p. 921-930, 2005.
- WENDLING, I. et al. Indução de brotações epicórmicas ortótropicas para a propagação vegetativa de árvores adultas de *Araucaria angustifolia*. **Agronomía Costarricense**, Costa Rica, v. 33, n. 2, p. 309-319, 2009.
- WENDLING, I. et al. Vegetative propagation of adult *Ilex paraguariensis* trees through epicormic shoots. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 35, n. 1, p. 117-125, 2013.
- WHITE, J.; LOVELL, P. H. Anatomical changes which occur in cuttings of *Agathis australis* (D. Don) Lindl 2. The initiation of root primordia and early root development. **Annals of Botany**, v. 54, p. 633-645, 1984.
- XAVIER, A.; WENDLING, I.; SILVA, R. L.. **Silvicultura clonal: princípios e técnicas**. 2. ed., Viçosa: Ed. UFV. 2013. 279 p.
- YANG, J. et al. Activities of fructan and sucrose-metabolizing enzymes in wheat stems subjected to water stress during grain filling. **Planta**, v. 220, n. 2, p. 331-343, 2004.
- ZHU, Z. H.; LU, X. Y.; XIONG, Y. G. **Paulownia in china: Cultivation and utilization**. Singapore: Asia Network for Biological Science: International Development Research Centre, 1986. Disponível em: <<http://www.idrc.ca/library/document/071235/071235c.htm>> Acesso em: 17/03/2012.