

Enraizamento de estacas de umbuzeiro potencializado pela aplicação de ácido indol-3-butírico (AIB)

Mario Leno Martins Vêras¹, Rejane Maria Nunes Mendonça², Lucimara Ferreira de Figueredo², Vandeilson Lemos Araújo², José Sebastião de Melo Filho², Walter Esfrain Pereira²

¹ Universidade Federal de Viçosa, Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia. Viçosa, MG, Brasil. E-mail: mario.deus1992@bol.com.br (ORCID: 0000-0001-5968-4564)

² Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Fitotecnia. Areia, PB, Brasil. E-mail: rejaneufpb@yahoo.com.br (ORCID: 0000-0002-2594-6607); lucimara.ufpb@gmail.com (ORCID: 0000-0002-4372-9884); vandeilsonleamos@hotmail.com (ORCID: 0000-0001-6641-9814); sebastiaoepb@yahoo.com.br (ORCID: 0000-0003-3005-2795); walterufpb@yahoo.com.br (ORCID: 0000-0003-1085-0191)

RESUMO: O umbuzeiro é uma espécie do gênero *Spondias* de grande expressão na região semiárida, uma vez que está presente em todo o nordeste brasileiro. Contudo, a falta de um protocolo de propagação é uma das barreiras para o cultivo comercial desta espécie. Neste sentido, objetivou-se avaliar o efeito do tratamento na planta matriz com zinco na promoção do enraizamento de estacas de umbuzeiro tratadas com ácido indolbutírico (AIB). Foi adotado o delineamento inteiramente casualizado com nove tratamentos em níveis pré-determinados pela matriz "Composto Central de Box" referente às concentrações de zinco (0; 5,8; 20; 34,2 e 40 mg L⁻¹) e combinações com as concentrações de AIB (0; 872,35; 3000; 5127,65 e 6000 mg L⁻¹) e quatro repetições. Cada unidade experimental foi constituída por 12 estacas. O tratamento de plantas matrizes com zinco não afeta o desenvolvimento de raízes e parte aérea de estacas de umbuzeiro. O ácido indolbutírico promove melhor desenvolvimento e enraizamento de estacas de umbuzeiro na concentração de 6000 mg L⁻¹. No entanto, há menor crescimento da parte aérea das estacas com a utilização deste regulador vegetal.

Palavras-chave: enraizamento; reguladores vegetais; *Spondias tuberosa* Arr. Cam.; zinco

Rooting of cuttings of umbuzeiro enhanced by the application of indole-3-butyric acid (IBA)

ABSTRACT: The umbu tree is a species of the genus *Spondias* of big expression in the semiarid region, since it is present in all the Brazilian northeast. However, the lack of a propagation protocol is one of the barriers to commercial cultivation of this species. In this sense, the objective of this study was to evaluate the effect of the treatment in the matrix plant with zinc in the promotion of rooting of umbu tree cuttings treated with indolebutyric acid (IBA). It was adopted a completely randomized design with nine treatments at levels determined by the matrix "Central Box Compound" for zinc concentrations (0, 5.8, 20, 34.2 and 40 mg L⁻¹) and combinations with concentrations of AIB (0; 872.35; 3000, 5127.65 and 6000 mg L⁻¹) and four replicates. Each experimental unit consisted of 12 stakes. Treatment of matrix plants with zinc does not affect the development of roots and shoots of umbu tree cuttings. Indolbutyric acid promotes better development and rooting of umbu tree cuttings at the concentration of 6000 mg L⁻¹. However, there is less growth of the aerial part of the cuttings with the use of this vegetal regulator.

Key words: rooting; plant regulators; *Spondias tuberosa* Arr. Cam.; zinc

Introdução

O umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arr. Cam.) é uma planta do Semiárido Brasileiro, conhecida popularmente como imbuzeiro. A espécie ocorre desde o estado do Piauí até o Norte de Minas Gerais. Seus frutos são comercializados em feiras livres, gerando emprego e renda para diversas famílias; são muito utilizados na fabricação de polpa ou consumo *in natura* (Mertens et al., 2017).

Uma das dificuldades no cultivo do umbuzeiro, bem como de diversas frutíferas nativas do semiárido é a obtenção de mudas com boa qualidade, uma vez que os protocolos de propagação dessas espécies são muito incipientes. Como a maioria das espécies são propagadas de forma sexuada, as plantas apresentam produção tardia, assim, a propagação vegetativa é uma alternativa para antecipar o período reprodutivo (Dutra et al., 2012).

Dentre os métodos de propagação mais utilizados para o umbuzeiro, destaca-se a estaquia (Rios et al., 2012; Paula et al., 2007; Dutra et al., 2012), a qual proporciona plantas mais homogêneas e produção precoce. Contudo, a utilização da estaquia depende da capacidade de formação de raízes adventícias de cada espécie e/ou cultivar, da qualidade do sistema radicial formado e do desenvolvimento posterior da planta propagada na área de produção. Vários fatores influenciam o enraizamento, dentre eles os fatores endógenos como condição hormonal e nutricional da planta matriz e concentração interna de auxina, além das condições ambientais em que as mudas são submetidas durante o período de enraizamento (Denaxa et al., 2012).

Em virtude da dificuldade de enraizamento, tem-se utilizado reguladores vegetais com o intuito de solucionar esse problema, bem como proporcionar a formação de raízes de qualidade. O enraizamento de estacas é influenciado por reguladores vegetais do grupo das auxinas, embora esta não seja a única substância envolvida (Balestri et al., 2012). A auxina é um regulador vegetal com efeito direto sobre o desenvolvimento das raízes, no entanto, não é a única substância envolvida neste processo (Balestri et al., 2012; Denaxa et al., 2012).

Na literatura, poucos trabalhos têm evidenciado um bom percentual de enraizamento de umbuzeiro e de outras espécies do gênero *Spondias*. Paula et al. (2007) verificaram baixo percentual de enraizamento de estacas lenhosas e herbáceas de umbuzeiro sendo que 33,3% de estacas herbáceas enraizaram com a aplicação de 500 mg L⁻¹ de AIB. Da mesma forma, Rios et al. (2012) trabalhando com estacas de umbuzeiro de 20 cm, tratadas com 6000 mg L⁻¹ de AIB e plantadas em março observaram 33,3% de enraizamento.

Alguns autores sugerem que o tratamento de plantas matriz pode ser uma alternativa de aumentar o enraizamento, já que outros fatores endógenos como o estado nutricional da planta matriz influenciam na capacidade de uma estaca enraizar. Os nutrientes minerais apresentam um papel importante para o metabolismo da planta, pois atuam como constituintes de estruturas orgânicas, ativando

reações enzimáticas, ou como portadores de carga e osmorreguladores (Cunha et al., 2009; Li et al., 2009).

Dentre os elementos minerais mais importantes para a formação de raízes adventícias, destaca-se o zinco, uma vez que este participa na via de síntese do aminoácido, *triptofano*, que é o precursor da auxina. Contudo, há poucos estudos com aplicação de zinco em plantas matrizes visando o enraizamento das estacas, o que demonstra a importância desse tipo de estudo.

A aplicação de zinco nas plantas matrizes antes da coleta das estacas pode aumentar o percentual de enraizamento (Nicoloso et al., 1999), no entanto, em *Spondias* não há trabalhos evidenciando o efeito do tratamento de planta matriz, especialmente com zinco.

Em *Spondias*, especificamente para o umbuzeiro, a falta de conhecimento sobre o efeito de tratamentos de plantas matrizes tem acarretado a obtenção de baixos percentuais de enraizamento. Neste sentido, objetivou-se avaliar o efeito do tratamento da planta matriz com zinco na promoção do enraizamento de estacas de umbuzeiro tratadas com ácido indolbutírico.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido no período de junho a outubro de 2016, no Viveiro de Fruticultura, pertencente à Universidade Federal da Paraíba, no município de Areia-PB, situada nas coordenadas geográficas 6°51'47" e 7°02'04" latitude Sul e longitude Oeste 35°34'13" e 35°48'28" do meridiano de Greenwich. Foram selecionados ramos lenhosos de plantas de umbuzeiro, provenientes do município de Pocinhos-PB. As plantas matrizes de umbuzeiro foram obtidas de propagação semínifera, com idade de 40 a 60 anos. Foram utilizadas duas plantas por tratamento.

No experimento, foi adotado o delineamento inteiramente casualizado, com nove tratamentos e quatro repetições. Cada unidade experimental foi constituída por 12 estacas, em arranjo experimental com níveis pré-determinados para os fatores, pela matriz "Composto Central de Box". Os tratamentos consistiram nas concentrações e combinações que estão especificadas na Tabela 1.

O tratamento com zinco foi feito com o produto comercial Maxizinc[®], aplicado via pulverização nas plantas matrizes sete dias antes da retirada dos ramos. As concentrações de zinco correspondentes aos tratamentos (0; 5,8; 20; 34,2 e 40 mg L⁻¹) foram diluídas conforme a indicação comercial do produto de 1000g de zinco L⁻¹, encontrando-se a partir da mesma a concentração específica para cada tratamento. O zinco foi diluído dentro de um pulverizador costal e aplicado na copa das plantas de umbuzeiro com volume aproximado de 4 L planta⁻¹.

O período de coleta dos ramos após a aplicação do zinco foi determinado conforme Nicoloso et al. (1999). Sete dias após a aplicação do zinco, foram coletados ramos de umbuzeiro com 3 a 4 mm de diâmetro e aproximadamente 30 cm de comprimento. Estes foram acondicionados em papel

Tabela 1. Níveis e concentrações de Zinco (Zn) e ácido indolbutírico (AIB) empregados no experimento de umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arr. Cam.), conforme a matriz “Composto Central de Box”, Areia - PB.

	Tratamentos/combinções								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Níveis de Zinco	-1	+1	-1	+1	+ α	- α	0	0	0
Níveis de AIB	-1	-1	+1	+1	0	0	+ α	- α	0
Concent. de Zinco (mg L ⁻¹)	5,8	20	5,8	20	40	0	34,2	34,2	34,2
Concentr. de AIB (mg L ⁻¹)	872,35	872,35	5127,65	5127,65	3000	3000	6000	0	3000

Número de tratamentos = $2^k + 2k + 1$, em que k = número de fatores \therefore NT = $2^2 + 2.2 + 1 = 9$; $\alpha = \sqrt{k}$

umedecido, colocados em sacos plásticos e transportados para o Viveiro de Fruticultura na Universidade Federal da Paraíba, município de Areia-PB. Os ramos foram levados para a câmara de nebulização, onde foi realizado o corte das estacas em 20 cm, com a parte superior cortada reta e a basal cortada em bisel.

A solução hidroalcoólica do AIB foi preparada pela pesagem de 872,35 mg L⁻¹ de AIB e dissolvidos em 50 mL de álcool 96°. Após totalmente dissolvido, completou-se o volume final de 1 L, com água destilada, obtendo-se então a concentração de 872,35 mg L⁻¹ de AIB.

Os tratamentos consistiram das concentrações de zinco (0; 5,8; 20; 34,2 e 40 mg L⁻¹) e combinações com as concentrações de AIB (0; 872,35; 3000; 5127,65 e 6000 mg L⁻¹). As concentrações de zinco foram adotadas conforme outros trabalhos com a aplicação de zinco (Nicoloso et al., 1999) e as concentrações de AIB foram adotadas de acordo com o trabalho de Souza et al. (2007) com adaptações no tempo de imersão das estacas na solução de AIB.

Após o término do preparo, as estacas foram agrupadas, por repetição e tiveram 1,0 cm da base colocada na solução de AIB por 5 segundos, conforme o tratamento. Posteriormente, realizou-se o plantio em tubetes com diâmetro interno de 26 mm e diâmetro externo de 33 mm e volume de 55 cm³, preenchidos com substrato formado de areia e composto orgânico, na proporção 1:1 (v/v); as estacas foram colocadas sob sombrite a 50% de luz e em estufa sob nebulização com duração de 10 segundos e intervalos de 15 minutos.

Aos 120 dias após a instalação do experimento, foram avaliados: o percentual de estacas brotadas, o comprimento das brotações, o diâmetro das brotações, o percentual de estacas enraizadas, o percentual de estacas vivas com e sem calo, o percentual de estacas mortas (estacas que se encontravam com tecidos necrosados), o número de raízes por estaca, o comprimento das raízes, a massa seca das raízes, folha e a massa seca total.

Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo Teste F ($p < 0,05$). Para as variáveis com efeito da interação significativa foram ajustadas a superfície de resposta, e caso contrário foi feito a análise de regressão polinomial. Utilizou-se o teste de Dunnett a 5% de significância para comparar a concentração de 40 mg L⁻¹ de zinco com os demais tratamentos e comparar a concentração de 6000 mg L⁻¹ de AIB com os demais tratamentos. As análises foram realizadas com o software estatístico SAS® (Cody, 2015).

Resultados e Discussão

Não houve efeito significativo para a interação zinco x AIB. Da mesma forma não foi observado efeito significativo do fator zinco isolado, para o qual, as médias de percentual de estacas brotadas, número de brotações, comprimento e diâmetro de brotações de estacas de umbuzeiro foram 21,57% (Figura 1A), 2,83 brotações (Figura 1C), 3,23 cm (Figura 1E) e 2,17 mm (Figura 1G), respectivamente.

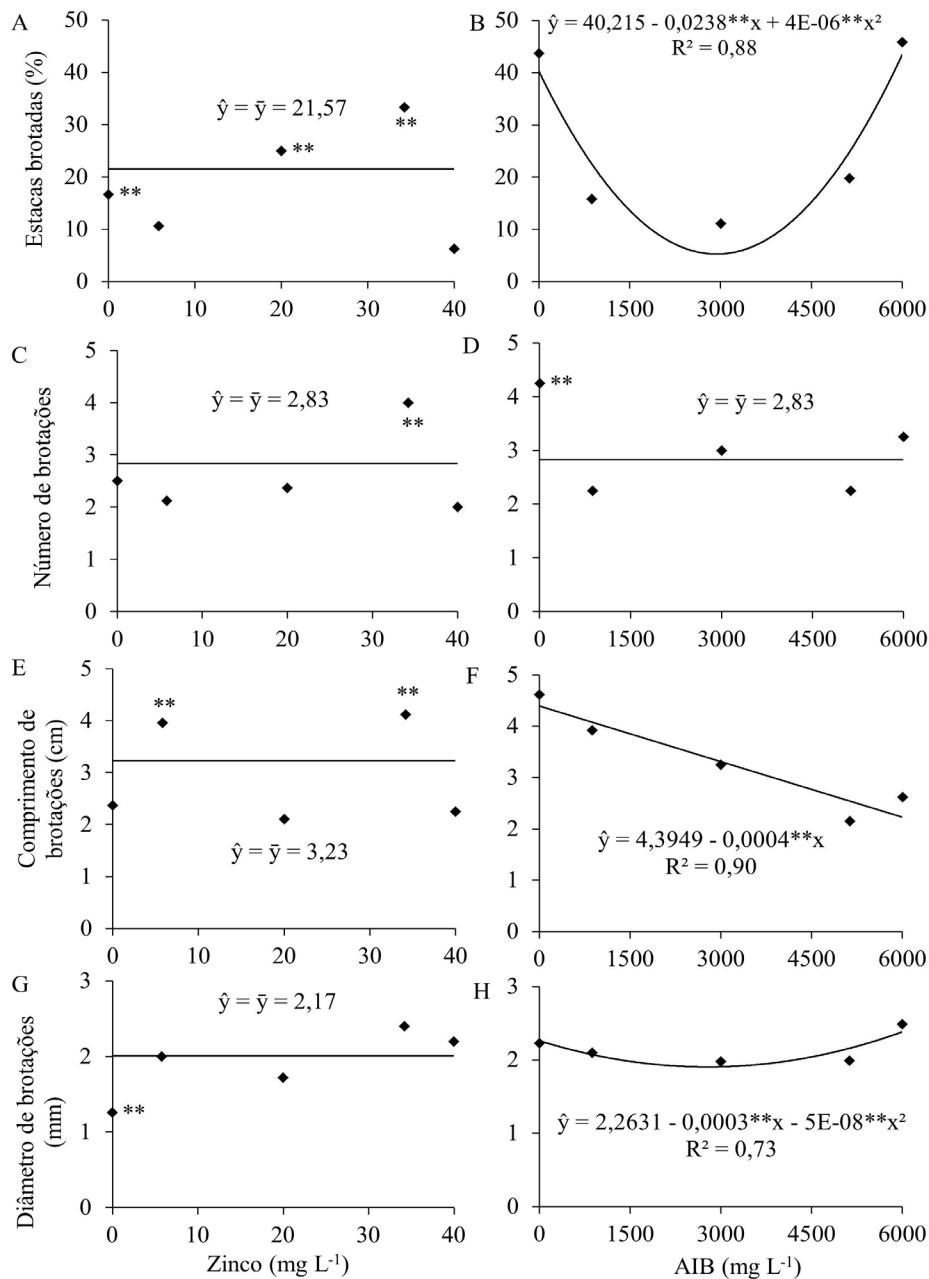
Isso foi ocasionado, possivelmente, devido à baixa concentração de zinco que foi aplicada, aliada à época de aplicação. Além disso, outros fatores podem ter ocasionado essa não significância, tais como: condição nutricional da planta matriz, presença de inibidores da auxina, como a citocinina, tipo de estaca utilizada e época de coleta do material (Denaxa et al., 2012). Por outro lado, umas das formas de solucionar esse problema é deixar que as estacas passem mais tempo no leito de enraizamento, já que o material das estacas coletadas é lenhoso, com alto conteúdo de lignina, tornado difícil o movimento da auxina para a formação de brotações.

A aplicação de AIB aumentou o percentual de estacas brotadas quando comparadas às estacas do tratamento controle, verificando-se que a concentração de 2975 mg L⁻¹ apresentou o ponto mínimo de 4,81% de estacas brotadas, em que a maior concentração estudada (6000 mg L⁻¹), proporcionou o maior percentual de estacas brotadas (45,83%) (Figura 1B).

As concentrações de AIB influenciaram negativamente o comprimento de brotações de estacas de umbuzeiro. O aumento das concentrações de AIB promoveu diminuição do crescimento das brotações (Figura 1F), ocorrendo decréscimos de 43,06% nas estacas tratadas com 6000 mg L⁻¹ de AIB, em comparação com aquelas sem tratamento de AIB. Observou-se ainda que o maior valor de diâmetro das brotações foi encontrado nas estacas tratadas com 6000 mg L⁻¹ de AIB, correspondendo ao valor de 2,49 mm (Figura 1H).

No presente trabalho, a redução no crescimento das brotações pode ter influenciado no enraizamento, pois embora as brotações sejam fonte de auxina e forneçam carboidratos, seu surgimento antes de as estacas enraizarem, pode acarretar na redução do percentual de enraizamento, uma vez que as brotações funcionam como um dreno fisiológico (Hartman et al., 2011; Peña et al., 2015; Vêras et al., 2017).

Alguns trabalhos evidenciaram o efeito positivo da aplicação de AIB na formação de brotações de outras



** Diferença significativa entre a concentração de 6000 mg L⁻¹ de AIB conforme o teste de Dunnett em até 5% de probabilidade.

Figura 1. Efeito de concentrações de zinco e AIB sobre o percentual de estacas brotadas (A e B), número de brotações (C e D), comprimento de brotações (E e F) e diâmetro de brotações (G e H) de estacas de umbuzeiro.

espécies de *Spondias*, como observado por Tosta et al. (2012) em umbu-cajazeira (*Spondias* sp.), ao constatarem um aumento no número de brotações com o incremento nas concentrações de AIB, (em média, até 3500 mg L⁻¹), obtendo valor máximo de 2,9 brotos por estaca. Resultados semelhantes foram observados por Gomes et al. (2005), ao estudarem a influência do AIB sobre o número de brotações de estacas e o diâmetro das brotações de umbu-cajazeira (*Spondias* sp.), e verificaram que o uso do AIB proporcionou aumento significativo para estas variáveis.

Os resultados obtidos no presente trabalho concordam com os obtidos por Rios et al. (2012), que não obtiveram efeitos significativos para o número de brotações por

estacas de umbuzeiro, obtendo 1,01 brotações. Resultado este inferior ao encontrado neste estudo, no qual foram encontradas 2,83 brotações. Comparando os resultados, é possível inferir que o número de brotações de estacas de umbuzeiro não responde à aplicação de tratamento de planta matriz com zinco e ácido indolbutírico nas estacas.

Em relação ao comprimento de brotações, os resultados corroboram com os apresentados por Tosta et al. (2012) que constatarem um aumento no comprimento das brotações de cajaneira após a aplicação de 3.045 mg L⁻¹ de AIB, superior ao apresentado no presente ensaio. Gomes et al. (2005) também verificaram que a utilização de AIB aumentou o comprimento das brotações em estacas de umbu-cajazeira.

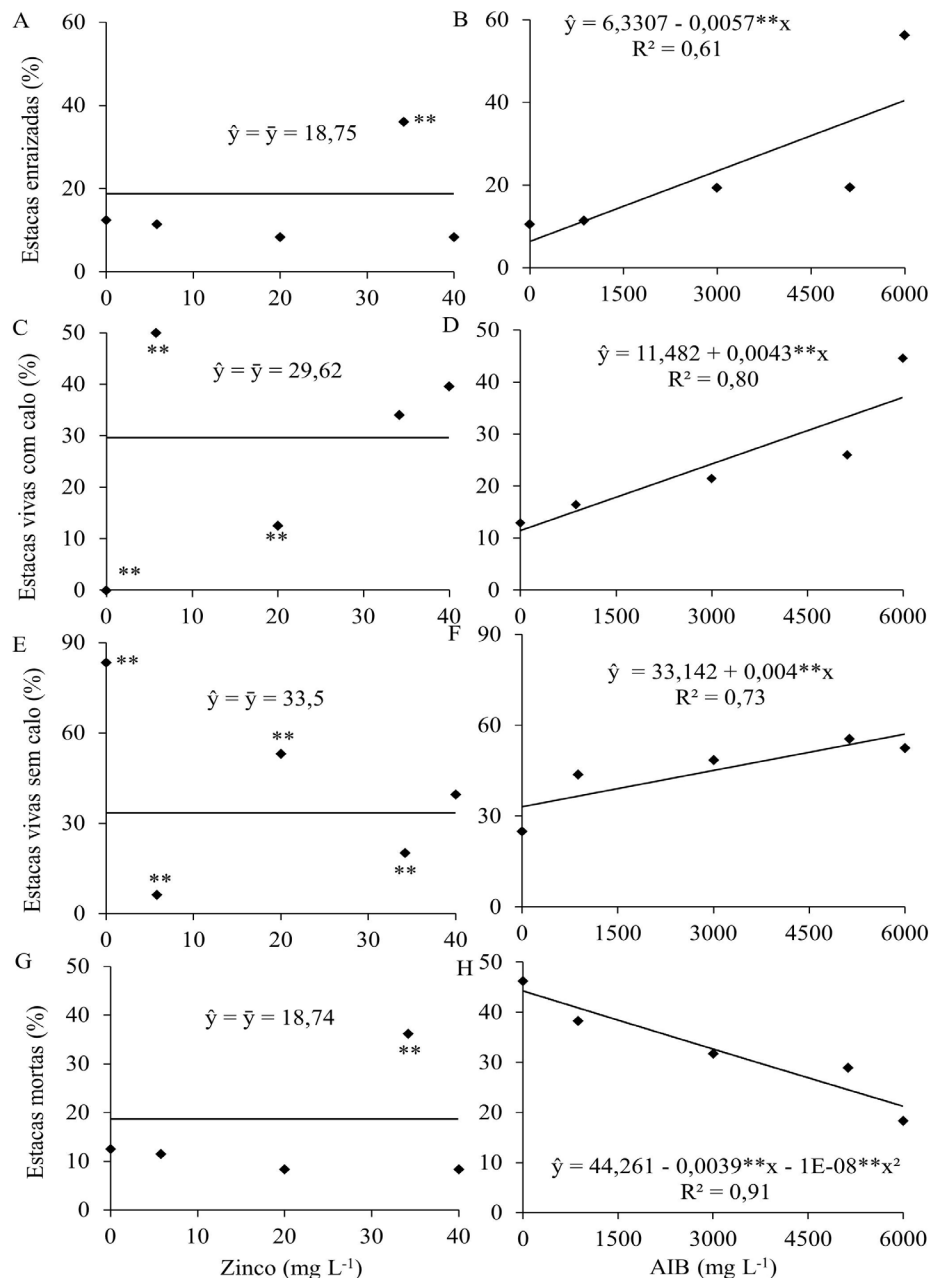
Os autores observaram que a concentração de 6000 mg L⁻¹ proporcionou o máximo valor obtido (2 cm), o qual é inferior ao obtido no presente trabalho.

O maior percentual de estacas brotadas, comprimento e diâmetro de brotações podem ser explicados em virtude do efeito indutivo de crescimento e alongamento celular que o ácido indolbutírico (fonte de auxina) proporciona, contribuindo para a formação e crescimento de brotações (Hartmman et al., 2011).

Entretanto, um dos aspectos negativos da formação de brotações é a redução que pode ocasionar no enraizamento, quando as reservas da estaca são utilizadas para este fim, em detrimento do enraizamento. Porém, quando há tempo

suficiente para que as estacas possam produzir auxinas nas brotações e enviar para a base da estaca, num movimento basípeto, estas podem enraizar, já que as brotações são fontes de auxina (Fachinello et al., 2005; Hartmman et al., 2011; Peña et al., 2015).

O percentual de estacas enraizadas, de estacas vivas com e sem calo e estacas mortas não foi influenciado pelas concentrações de zinco, observando-se os valores médios de 18,75% (Figura 2A), 29,62% (Figura 2C), 33,5% (Figura 2E) e 18,74% (Figura 2G), respectivamente. Apesar de não haver diferença significativa, ao aplicar o teste de Dunnett para os percentuais de estacas enraizadas, de estacas vivas com calos, estacas vivas sem calos e de estacas



** Diferença significativa entre a concentração de 6000 mg L⁻¹ de AIB conforme o teste de Dunnett em até 5% de probabilidade.

Figura 2. Efeito de concentrações de zinco e AIB sobre o percentual de estacas enraizadas (A e B), estacas vivas com calo (C e D), estacas vivas sem calo (E e F) e estacas mortas (G e H) de estacas de umbuzeiro.

mortas, comparando a maior concentração com as demais, observou-se que a concentração de 40 mg L⁻¹ de zinco diferiu das demais, obtendo-se nesta concentração os percentuais de 8,33; 39,58; 39,58 e 8,33%, respectivamente. Isso mostra que o zinco pode ser utilizado para reduzir a mortalidade das estacas, que embora não tenham enraizado, apresentaram percentuais de estacas vivas com calo e sem calo bem maiores que nas maiores concentrações.

Há evidências que a aplicação de zinco nas plantas matrizes antes da coleta das estacas pode aumentar o percentual de enraizamento devido à ação do triptofano, precursor da auxina, no entanto, em *Spondias* não há trabalhos evidenciando o efeito do tratamento de planta matriz. Contudo, como observado no presente trabalho, em outras espécies florestais como o *Platanus acerifolia* Ait., Nicoloso et al. (1999) apontam que não houve efeito do zinco no enraizamento de estacas.

Quanto ao efeito das concentrações de AIB, observou-se que o percentual de estacas enraizadas, de estacas vivas com e sem calo foram influenciados estatisticamente, de forma que apresentaram aumento conforme se incrementou as concentrações de AIB.

Os percentuais máximos de 56,3% (Figura 2B) e 44,58% (Figura 2D) para o percentual de estacas enraizadas e de estacas vivas com calo, respectivamente, foram obtidos nas estacas tratadas com 6000 mg L⁻¹ de AIB e para o percentual de estacas vivas sem calo 55,58% (Figura 2F) sob tratamento com 5127,65 mg L⁻¹ de AIB.

O percentual de estacas mortas foi influenciado pelas concentrações de AIB, apresentando efeito linear e à medida que se aumentou as concentrações, ocorreu decréscimos na ordem de 39,63% por incremento unitário das concentração de AIB, atingindo o ponto mínimo (36,61%) com a concentração estimada de 1950 mg L⁻¹, o que demonstra que o tratamento com ácido indolbutírico influencia positivamente na sobrevivência de estacas de umbuzeiro (Figura 2H).

Esses resultados podem ser explicados pelo efeito benéfico que a auxina apresenta para as plantas, desde desenvolvimento de brotações, enraizamento adventício até o alongamento celular, desenvolvimento do tecido meristemático e o controle do metabolismo vegetal. O que pode ter ocasionado os maiores valores com a utilização da maior concentração de AIB é a maior regulação de genes que ajustam o equilíbrio entre auxina e citocinina. O enraizamento de estacas ocorre quando o conteúdo de auxina é maior que o de citocinina, promovendo maior divisão celular, e conseqüentemente, proporcionando maior enraizamento (Fachinello et al., 2005; Hartmman et al., 2011; Muller & Leyser, 2011; Peña et al., 2015).

Além disso, outros fatores podem ter influenciado no alto percentual de enraizamento. Dentre eles o período de coleta do material vegetativo, uma vez que a estação do ano afeta nas reservas nutricionais e no balanço hormonal das plantas (Botin & Carvalho, 2015). Além do balanço hormonal, a condição fisiológica da planta matriz, a capacidade genética

de enraizamento a idade da planta ou das estacas, o tipo de estaca, a época de coleta, a sanidade da planta e a possibilidade de oxidação de compostos fenólicos podem ter afetado o enraizamento de estacas de umbuzeiro (Fachinello et al., 2005).

Assim como observado por Rios et al. (2012), que obtiveram maior percentagem de enraizamento (30%) com a concentração de 6000 mg L⁻¹ de AIB em estacas coletadas em março e setembro no município de Juazeiro-BA, no presente trabalho o maior percentual de enraizamento (56,3%) foi observado na mesma concentração. Resultado, este, superior ao obtido por Rios et al. (2012). A partir da comparação destes resultados, é possível concluir que estacas de umbuzeiro respondem à aplicação de ácido indolbutírico, apresentando um incremento no percentual de estacas enraizadas com o aumento de AIB fornecido.

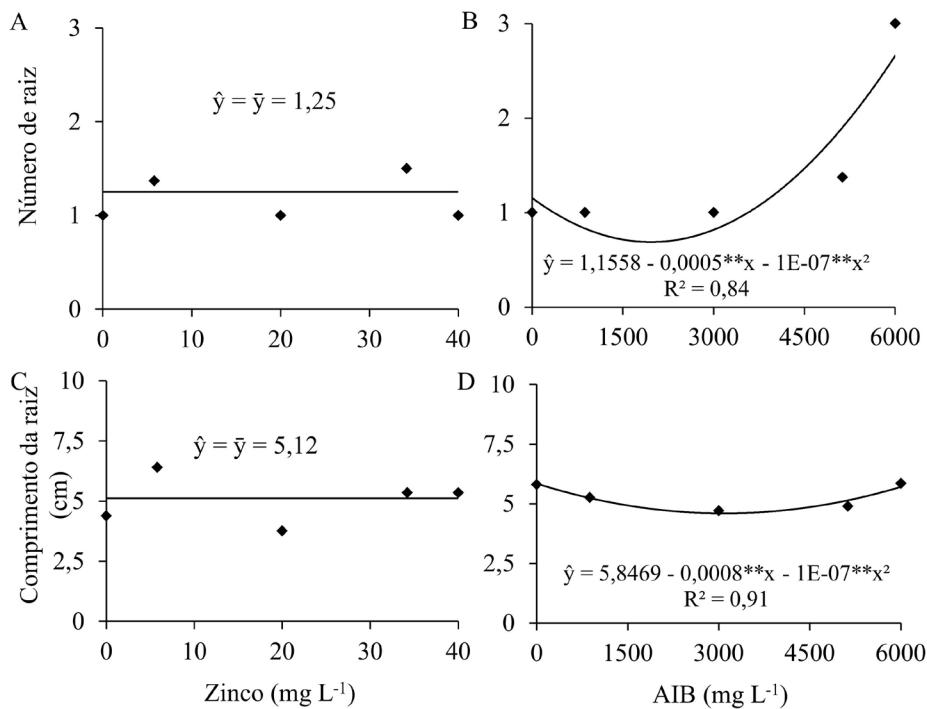
Em outros trabalhos realizados com umbuzeiro (Paula et al., 2007) e umbu-cajazeira (Tosta et al., 2012) também foi verificado que o percentual de enraizamento das estacas foi maior com as maiores concentrações de AIB. Paula et al. (2007) constataram 33,3% de enraizamento com a aplicação de AIB 500 mg L⁻¹ em estacas lenhosas e herbáceas de umbuzeiro. Valor inferior ao observado no presente trabalho.

Em umbu-cajazeira (*Spondias* sp.), Tosta et al. (2012) constataram que o incremento das concentrações de AIB proporcionou um aumento no percentual de estacas enraizadas de umbu-cajazeira, em que a concentração máxima de 6000 mg L⁻¹ promoveu o maior enraizamento (85%). Os resultados obtidos no presente trabalho são inferiores aos obtidos por Tosta et. al (2012), o que pode ser explicado devido serem espécies diferentes, mas mostra que as *Spondias* apresentam essa variabilidade nos resultados.

Os maiores percentuais de enraizamento de estacas de umbuzeiro com a maior concentração de AIB utilizada pode ser atribuído ao efeito que a auxina proporciona, aumentando a concentração de açúcares na parte aérea e radicial, influenciando na multiplicação e alongamento celular, e em consequência disso estimulando o enraizamento adventício (Fachinello et al., 2005; Muller & Leyser, 2011; Hartmman et al., 2011; Peña et al., 2015).

Alguns estudos apontam que o enraizamento adventício é caracterizado por uma forte redução na atividade das enzimas peroxidases (POD), aumentando a fase de iniciação e diminuindo gradualmente a fase de expressão. Essas enzimas atuam como catalisadores na degradação do AIA (podendo estar ligado as primeiras divisões celulares antes da organização e crescimento dos primórdios radiciais) e, este, age como repressor e indutor de peroxidases específicas. Assim, no presente trabalho, observou-se que os maiores percentuais de enraizamento de estacas de umbuzeiro podem ser atribuídos as maiores quantidades de AIB aplicadas que podem ter reduzido a atividade da peroxidase (Prado et al., 2015).

Não houve efeito significativo para o número e comprimento da raiz quando relacionada às concentrações de zinco, apresentando valores médios de 1,25 (Figura 3A) e 5,12 cm (Figura 1C), respectivamente.



** Diferença significativa entre a concentração de 6000 mg L⁻¹ de AIB conforme o teste de Dunnett em até 5% de probabilidade.

Figura 3. Efeito de concentrações de zinco e AIB sobre o número de raiz (A e B) e comprimento da raiz (C e D) de estacas de umbuzeiro.

Observa-se, resposta significativa para o número de raízes e comprimento da raiz das estacas de umbuzeiro quando se aplicou as concentrações de AIB, obtendo-se valores máximos de (3 e 5,86 cm), com a concentração máxima (6000 mg L⁻¹ de AIB). Os menores valores para número de raízes e comprimento da raiz foram observados nas estacas tratadas com 2500 e 4000 mg L⁻¹ de AIB, obtendo-se nestas concentrações os valores de 0,71 (Figura 3A) e 1,04 cm (Figura 3B), respectivamente. Houve incremento no número e comprimento da raiz, na ordem de 33,33% e 99,14%, respectivamente, nas estacas tratadas com 6000 mg L⁻¹ de AIB em comparação às que não receberam aplicação de AIB.

Tais resultados positivos são indicativos da eficiência do AIB para o incremento no volume e comprimento de raízes, sendo assim, o tratamento com AIB proporciona às estacas condições de enraizarem e formar estacas de alta qualidade, uma vez que, para o estabelecimento das mudas em campo bem como o desenvolvimento adequado das plantas é preciso que o sistema radicial seja de boa qualidade (Silva et al., 2012). Além disso, além de aumentar o percentual de enraizamento, o AIB induz a formação de primórdios radiciais em virtude de acelerar o metabolismo da planta.

Um sistema radicial de boa qualidade possibilita uma melhoria no processo de absorção de água e nutrientes nos estágios iniciais de desenvolvimento. Para a produção de mudas em grande escala, a emissão radicial em maior número e comprimento é de extrema relevância, já que esses parâmetros são essenciais no sucesso da implantação das áreas a campo (Carvalho Júnior et al., 2009).

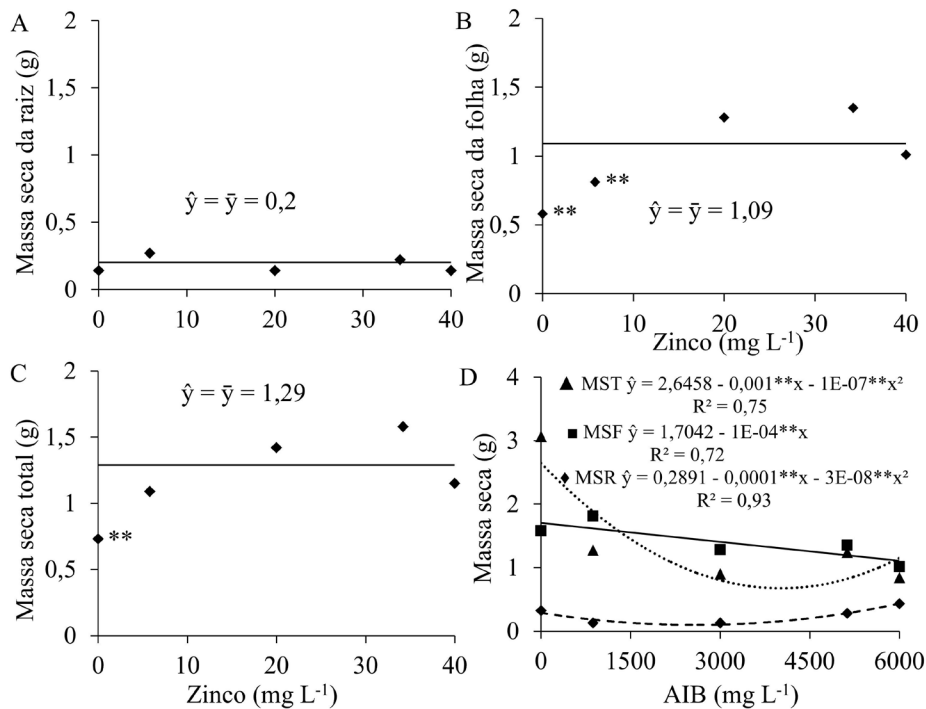
Como observado no referido trabalho, Rios et al. (2012) avaliando estacas de umbuzeiro, também constataram que

o maior número de raízes por estacas (1,39) ocorreu na concentração de 6000 mg L⁻¹. Tosta et al. (2012) também verificaram que o maior número de raízes por estaca de umbu-cajazeira (2,8 unidades por estaca) foi observado na concentração máxima de 8545 mg L⁻¹ de AIB. Esses resultados são inferiores aos verificados no presente trabalho, que apresentou três raízes por estaca na maior concentração de AIB (6000 mg L⁻¹).

A massa seca da raiz (Figura 4A), a massa seca da folha (Figura 4B) e a massa seca total (Figura 4C) também não apresentam efeito significativo quando submetida a concentrações de zinco, apresentando valores médios de 0,2 g, 1,09 g e 1,29 g, respectivamente.

Em relação aos efeitos do ácido indolbutírico, observou-se que a massa seca da raiz aumentou de forma quadrática, com maiores valores para massa seca da raiz nas estacas tratadas com 6000 mg L⁻¹ de AIB (0,43 g). Assim como para massa seca de folha, a massa seca total diminuiu em função do aumento das concentrações de AIB, sendo o decréscimo de massa seca da folha linear e o de massa seca da folha quadrático, mostrando que o ácido indolbutírico afeta negativamente a produção de massa seca de folhas de estacas de umbuzeiro (Figura 4D).

O maior acúmulo de massa seca nas raízes nas estacas de umbuzeiro pode ter ocorrido em virtude da rápida formação e desenvolvimento das raízes e em consequência ocorreu aumento da absorção água e sais minerais (Souza et al., 2015). Em estacas de umbu-cajazeira, Tosta et al. (2012) verificaram que o uso de AIB na concentração de 7775,9 mg L⁻¹ proporcionou o maior acúmulo da massa seca do sistema radicial das estacas de umbu-cajazeira (45,9 mg



** Diferença significativa entre a concentração de 6000 mg L⁻¹ de AIB conforme o teste de Dunnett em até 5% de probabilidade.

Figura 4. Efeito de concentrações de zinco sobre a massa seca da raiz (A), folha (B) e total (C) e de ácido indolbutírico sobre a massa seca (D) de estacas de umbuzeiro.

planta⁻¹). Resultados semelhantes foram obtidos por Peña et al. (2012), em que a concentração de 8000 mg L⁻¹ de AIB promoveu maior acúmulo de massa seca de raízes em estacas de mirtilo.

Conclusões

O tratamento de plantas matrizes com zinco não afeta o desenvolvimento de raízes e parte aérea de estacas de umbuzeiro.

O ácido indolbutírico promove melhor desenvolvimento e enraizamento de estacas de umbuzeiro na concentração de 6000 mg L⁻¹. No entanto, há menor crescimento da parte aérea das estacas com a utilização deste regulador vegetal.

Literatura Citada

- Balestri, E.; Vallerini, F.; Castelli, A.; Lardicci, C. Application of plant growth regulators, a simple technique for improving the establishment success of plant cuttings in coastal dune restoration. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 99, p. 74-84, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2011.12.017>.
- Botin, A. A.; Carvalho, A. N. D. R. É. A. Reguladores de crescimento na produção de mudas florestais. *Revista de Ciências Agroambientais*, v. 13, n. 1, p. 83-96, 2015. http://www.unemat.br/revistas/rcaa/docs/vol13-1/10_artigo_rcaa_v13n1a2015.pdf. 09 Mar. 2017.
- Carvalho Júnior, W.G.O.; Melo, M.T.P.; Martins, E.R. Comprimento da estaca no desenvolvimento de mudas de alecrim pimenta. *Ciência Rural*, v. 39, n. 7, p. 2199-2202, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0103-847820090005000152>.
- Cody, R. An introduction to SAS University Edition. Cary: SAS Institute, 2015. 366p.
- Cunha, A. C. M. M.; Paiva, H. N.; Xavier, A.; Otoni, W. C. Papel da nutrição mineral na formação de raízes adventícias em plantas lenhosas. *Pesquisa Florestal Brasileira*, n. 58, p. 35-47, 2009. <https://doi.org/10.4336/2009.pfb.58.35>.
- Denaxa, N. K.; Vemmos, S. N.; Roussos, P. A. The role of endogenous carbohydrates and seasonal variation in rooting ability of cuttings of an easy and a hard to root olive cultivars (*Olea europea* L.). *Scientia Horticulturae*, v. 143, p. 19-28, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.05.026>.
- Dutra, T. R.; Massad, M. D.; Sarmiento, M. F. Q.; Oliveira, J. C. D. Indolebutyric acid and substrates on *Spondias tuberosa* layering. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 42, n. 4, p. 424-429, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1983-40632012000400010>.
- Fachinello, J. C.; Hoffmann, A.; Nachtigal, J. C. (Eds). Propagação de plantas frutíferas. Brasília: Embrapa Informações Tecnológicas, 2005. 221 p.
- Gomes, W. A.; Estrela, M. A.; Mendonça, R. M. N.; Silva, S. M.; Souza, A. P.; Alves, R. E. Enraizamento de estacas de umbu-cajazeira (*Spondias* spp.). *Proceedings of the Interamerican Society for Tropical Horticulture*, v. 47, n. 1, p. 231-233, 2005.
- Hartmann, H. T.; Kester, D. E.; Davies, F. T.; E Geneve, R. Plant propagation: principles and practices. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2011. 915 p.
- Li, S. W.; Xue, L.; Xu, S.; Feng, H.; An, L. Mediators, genes and signaling in adventitious rooting. *The Botanical Review*, v. 75, n. 2, p. 230-247, 2009. <https://doi.org/10.1007/s12229-009-9029-9>.
- Mertens, J.; Germer, J.; Siqueira Filho, J. A.; Sauerborn, J. *Spondias tuberosa* Arruda (Anacardiaceae), a threatened tree of the Brazilian Caatinga?. *Brazilian Journal of Biology*, v.77, n. 3, p.542-552, 2017. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.18715>.

- Muller, D.; Leyser, O. Auxin, cytokinin and the control of shoot branching. *Annals of Botany*, v. 107, n. 7, p.1203–1212, 2011. <https://doi.org/10.1093/aob/mcr069>.
- Nicoloso, F. T.; Lazzari, M.; Fortunato, R. P. Propagação vegetativa de *Platanus acerifolia* Ait: (II) Efeito da aplicação de zinco, boro e ácido indolbutírico no enraizamento de estacas. *Ciência Rural*, v. 29, n. 3, p. 487-492, 1999. <https://doi.org/10.1590/S0103-84781999000300018>.
- Paula, L. A.; Boliani, A. C.; Souza Corrêa, L.; Celoto, M. I. B. Efeito do ácido indolbutírico e raizon no enraizamento de estacas herbáceas e lenhosas de umbuzeiro. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 29, n. 3, p. 411-414, 2007. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v29i3.468>.
- Peña, M. L. P.; Gubert, C.; Tagliani, M. C.; Bueno, P. M. C.; Biasi, L. A. Doses e formas de aplicação do ácido indolbutírico na propagação por estaquia dos mirtilheiros cvs. Flórida e Clímax. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 33, n. 1, p. 57-64, 2012. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33n1p57>.
- Peña, M. L.; Zanette, F.; Biasi, L. A. Miniestaquia a partir de minicepas originadas por enxertia de pitangueira adulta. *Comunicata Scientiae*, v. 6, n. 3, p. 297-306, 2015. <https://doi.org/10.14295/CS.v6i3.817>.
- Prado, D. Z.; Dionizio, R. C.; Vianello, F.; Baratella, D.; Costa, S. M.; Lima, G. P. P. Quercetin and indole 3-butyric acid (IBA) as rooting inducers in *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*. *Australian Journal of Crop Science*, v. 9, n. 11, p. 1057-1063, 2015. http://www.cropj.com/prado_9_11_2015_1057_1063.pdf. 09 Jun. 2017.
- Rios, S. E. M. C.; Pereira, L.S.; Santos, T.C.; Souza, V.G.R. Doses de ácido indolbutírico comprimento e época de coleta de estacas na propagação de umbuzeiro. *Revista Caatinga*, v. 25, n. 1, p. 52-57, 2011. <https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/caatinga/article/view/2113>. 09 Mar. 2017.
- Silva, R. C.; Antunes, M. C.; Roveda, L. F.; Carvalho, T. C.; Biasi, L. A. Enraizamento de estacas de *Melaleuca alternifolia* submetidas a diferentes reguladores vegetais. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 33, n. 5, 1643-1652, 2012. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33n5p1643>.
- Souza, E. P. Propagação da cajazeira e do umbuzeiro por meio de estaquia, alporquia e enxertia. *Areia: Universidade Federal da Paraíba*, 2007. 82p. Dissertação Mestrado.
- Souza, R. R.; Cavalcante, M. Z. B.; Lima, M. P. D.; Alixandre, T. F.; Nascimento, R. T. Propagação vegetativa de hibisco com diferentes tipos de estacas e doses de ácido indolbutírico. *Comunicata Scientiae*, v. 6, n. 3, p. 291-296, 2015. <https://doi.org/10.14295/CS.v6i3.679>.
- Tosta, M. da S.; Oliveira, C. V. F. de; Freitas, R. M. O. de; Porto, V. C. N.; Nogueira, N. W.; Tosta, P. de A. F. Ácido indolbutírico na propagação vegetativa de umbu-cajazeira (*Spondias* sp.). *Semina: Ciências Agrárias*, v. 33, n. 6, supl. 1, p. 2727-2740, 2012. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33Supl1p2727>.
- Véras, M. L. M.; Mendonça, R. M. N.; Ramires, C. M. C.; Silva, S. D. M.; Pereira, W. E. Effect of ethephon and indolebutyric acid on yellow mombin propagation via cutting. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 47, n. 4, p. 416-423, 2017. <https://doi.org/10.1590/1983-40632017v4749515>.