

Calagem e adubação fosfatada para formação de mudas de araçá-boi¹

Sheron Torres de MACEDO², Paulo César TEIXEIRA³

RESUMO

O araçá-boi (*Eugenia stipitata* McVaugh) é uma espécie frutífera cultivada em escala doméstica na região Amazônica. Entretanto, pouco se conhece sobre seu requerimento nutricional na fase de muda. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da calagem e da adubação fosfatada sobre o crescimento e nutrição de mudas de araçá-boi. O experimento foi conduzido em viveiro, com amostras de um Latossolo Amarelo distrófico, em delineamento experimental de blocos casualizados e esquema fatorial 5 x 5: cinco doses de calcário (0; 1,37; 2,83; 4,29 e 5,75 g por muda) e cinco de fósforo (0, 100, 200, 400 e 600 mg kg⁻¹ de P), com quatro repetições. Dez meses após o transplante, foram avaliados o crescimento em altura e em diâmetro, a matéria seca da parte aérea e das raízes e o acúmulo de nutrientes na parte aérea das plantas. As doses de calcário influenciaram significativamente a altura, o diâmetro, a matéria seca da parte aérea, das raízes e total das mudas. As doses de fósforo influenciaram apenas o crescimento em diâmetro a matéria seca da parte aérea e total. Houve efeito significativo das doses de calcário e de fósforo sobre o acúmulo de macro e micronutrientes na parte aérea das plantas, exceto para o Cu, influenciado apenas pelas doses de calcário. O melhor desenvolvimento das mudas de araçá-boi pode ser obtido com a aplicação de até 3,77 g de calcário e 6,21 g de superfosfato triplo por muda.

PALAVRAS-CHAVE: *Eugenia stipitata*, crescimento, matéria seca, nutrição mineral.

Lime and phosphorus for araza seedling formation

ABSTRACT

The araza (*Eugenia stipitata* McVaugh) is a fruit species cultivated in domestic scale in the Amazon region. However, little is known about their nutritional needs during the initial phase. The aim of this study was to evaluate the effect of lime and phosphorus on growth and nutrition of seedlings of araza. The experiment was conducted in greenhouse, with samples of a Yellow Oxisol dystrophic in randomized blocks and factorial scheme 5 x 5: five doses of lime (0, 1.37, 2.83, 4.29 and 5.75 g per seedling) and five doses of phosphorus (0, 100, 200, 400 and 600 mg P kg⁻¹) with four replications. Ten months after transplantation, the growth in height and diameter, shoot and root dry matter, and nutrient accumulation in the shoots were evaluated. Lime rates significantly influenced the height, diameter, and shoot, root and total dry weight. The phosphorus levels affected only the growth in diameter and dry matter in shoot and total. There was a significant effect of lime and phosphorus on the content of macro and micronutrients in the shoot, except for Cu, influenced only by limestone. The best development of araza seedlings can be obtained with application of up to 3.77 g of lime and 6.21 g of superphosphate per seedling.

KEYWORDS: *Eugenia stipitata*, growth, dry matter, mineral nutrition.

¹ Trabalho financiado com recursos do projeto "Consolidação do Sistema de Ciência, Tecnologia e Inovação para Sustentabilidade da Agricultura Familiar no Contexto do Agronegócio no Amazonas (CTIAFAM)" - Convênio FINEP/FAPEAM/FDB/Embrapa.

² Bolsista, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Amazônia Ocidental, km 29 rodovia AM 010, Manaus, AM, CEP: 69010-970 sherontm@yahoo.com.br;

³ Pesquisador A, Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, AM, CEP: 69010-970, paulo.teixeira@cmaa.embrapa.br.

INTRODUÇÃO

A maior parte da Bacia Amazônica é dominada por solos ácidos, com pH variando de 3,5 a 5,6, e com baixa fertilidade natural, representada por altos teores de alumínio trocável e baixos níveis de nutrientes (Andrade *et al.* 1997; Marques *et al.* 2010). Dentre esses, o fósforo é considerado o elemento mais limitante ao desenvolvimento vegetal (Brasil e Muraoka 1997).

Os solos ácidos, devido à presença de óxidos de ferro e de alumínio, principalmente, podem quimiossorver o P, o que afeta a resposta das plantas à aplicação de fertilizantes fosfatados. Estima-se que apenas 5% a 25% do fósforo solúvel adicionado ao solo, por meio da adubação, sejam aproveitados pela cultura que o recebeu e que 95% a 75% dele sejam fixados ao solo (Falcão e Silva 2004). Essa sorção de P depende do pH do solo porque os compostos capazes de reagir com o fosfato são bem diferentes nos solos ácidos e em solos de reação alcalina (Pereira e Faria 1998; Novais *et al.* 2007).

A acidez e a baixa disponibilidade de fósforo para as plantas estão entre as principais causas do inadequado desenvolvimento da maioria das culturas das regiões tropicais. Para corrigir a acidez do solo, pratica-se, mais comumente, a calagem, que consiste na incorporação de calcário para aumentar o pH a níveis mais adequados para o crescimento normal das plantas. Diversos trabalhos tem mostrado efeito positivo da calagem na formação de mudas de espécies florestais (Silva *et al.* 2007; Silva *et al.* 2008; Tucci *et al.* 2010). No entanto, existe uma carência de estudos com espécies frutíferas da região amazônica.

A calagem também pode reduzir a fixação de P no solo. Com o aumento do pH ocorre a hidrólise de minerais, como estrogita e variscita, liberando íons fosfato na solução do solo, e há um aumento nas cargas negativas da superfície, resultando em maior repulsão eletrostática entre o fosfato e a superfície adsorvente (Haynes 1982; Sato e Comerford 2005; Souza *et al.* 2006; Camargo *et al.* 2010). Entretanto, o excesso de calagem pode causar a precipitação do P, sob a forma de fosfatos de cálcio insolúveis, diminuindo sua disponibilidade (Novais *et al.* 2007) bem como a de outros nutrientes para as plantas.

O fósforo tem grande importância no crescimento inicial das plantas por estar envolvido principalmente no processo de armazenamento e transferência de energia e seu requerimento depende, dentre outros fatores, da espécie cultivada. Estudos com fruteiras do gênero *Eugenia* mostraram que, nos primeiros meses de desenvolvimento, as doses de fósforo estimadas para produção das mudas variaram de 1,30 a 10 kg m⁻³ (Abreu *et al.* 2005; Mendonça *et al.* 2009; Souza *et al.* 2009).

O araçá-boi (*Eugenia stipitata* McVaugh, Myrtaceae) é uma espécie frutífera cultivada em escala doméstica para consumo local, originária da Amazônia peruana e distribuída por toda Amazônia ocidental (Souza *et al.* 1996). Embora o

fruto tenha sabor ácido, que limita seu consumo in natura, a polpa é muito utilizada no preparo de sucos, sorvetes, doces, cremes e geléias. O araçá-boi representa um excelente potencial econômico por crescer bem em solos de baixa fertilidade, com pH acima de 4,0, em regiões com precipitações anuais desde 2.500 mm até 4.000 mm e temperatura média ao redor de 20 °C a 26 °C; começar a produzir com dois anos de idade; e o fruto apresentar elevada porcentagem de polpa (Cavalcante 1996; Escobar e Zuluaga 1998). Entretanto, pouco se conhece sobre o requerimento nutricional desta espécie, especialmente na fase de muda.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de calcário e de fósforo e suas interações no crescimento, estado nutricional e produção de matéria seca de mudas de araçá-boi.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado no viveiro de formação de mudas do campo experimental da Embrapa Amazônia Ocidental, em Manaus, entre maio de 2009 e abril de 2010 (2°53'21,12" S; 59°58'13,05" O). O clima da região é tropical úmido, tipo Af_i, com precipitação anual média em torno de 2.250 mm e temperatura média de aproximadamente 26 °C (Vieira e Santos 1987).

Para a composição do substrato das mudas, foram utilizadas amostras de um Latossolo Amarelo distrófico, muito argiloso, coletadas no próprio campo experimental, na camada de 0-20 cm de profundidade. Uma amostra do solo foi encaminhada ao Laboratório de Análise de Solos e Plantas (LASP) da Embrapa Amazônia Ocidental, para análise granulométrica e de fertilidade, conforme metodologia da Embrapa (1997). A acidez ativa (pH) foi determinada em água na relação solo:solução 1:2,5. O Ca, o Mg e o Al trocáveis foram extraídos com solução de KCl 1 mol L⁻¹. O P, o K e os micronutrientes disponíveis foram extraídos com solução de Mehlich-1. A acidez potencial (H + Al) foi estimada com solução de acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ pH 7. O carbono orgânico foi determinado pelo método Walkley & Black e a matéria orgânica (M.O.) por meio da multiplicação do carbono pelo fator 1,724 (Primavesi *et al.* 2005). Com base nessas determinações foram calculadas a soma de bases trocáveis (S), a capacidade de troca catiônica efetiva (t), a CTC a pH 7 (T), saturação por bases (V) e a saturação por alumínio (m). O solo apresentou as seguintes características físicas e químicas iniciais: areia total = 153,70 g kg⁻¹; silte = 134,30 g kg⁻¹; argila = 712,00 g kg⁻¹; pH (H₂O) = 4,21; P = 2,0 mg dm⁻³; K = 13,0 mg dm⁻³; Ca = 0,1 mmol_c dm⁻³; Mg = 0,4 mmol_c dm⁻³; Al = 15,5 mmol_c dm⁻³; H+Al = 68,5 mmol_c dm⁻³; S = 0,9 mmol_c dm⁻³; t = 16,4 mmol_c dm⁻³; T = 69,4 mmol_c dm⁻³; V = 1,26%; m = 94,65%; matéria orgânica = 37,68 g kg⁻¹.

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com quatro repetições, com uma planta por repetição, em esquema fatorial 5 x 5, sendo cinco doses de calcário dolomítico (0; 1,37; 2,83; 4,29 e 5,75 t ha⁻¹ correspondentes a 0; 1,37; 2,83; 4,29 e 5,75 g muda⁻¹), calculados para atingir os níveis de saturação por bases atual (1,26%) e estimadas (20%, 40%, 60% e 80%); e cinco doses de fósforo (0, 100, 200, 400 e 600 mg kg⁻¹ de P), correspondentes à aplicação de 0; 0,56; 1,12; 2,2; e 3,35 g kg⁻¹ de superfosfato triplo. O cálculo das doses de calcário foi feito a partir dos dados de saturação por bases inicial e capacidade de troca catiônica a pH 7,0.

O calcário foi misturado individualmente a 2 kg de solo seco e peneirado, conforme os tratamentos. Em seguida, o substrato foi homogeneizado e transferido para sacos de polietileno (15 cm x 25 cm), contendo furos, que foram colocados no viveiro, com umidade próxima da capacidade de campo. Após 30 dias, o superfosfato triplo foi aplicado superficialmente ao substrato de cada saco, de acordo com os tratamentos.

Por ocasião do cultivo, foi efetuada adubação complementar do substrato com 100 mg kg⁻¹ de N e 150 mg kg⁻¹ de K, tendo como fontes desses elementos (NH₄)₂SO₄ e KCl, respectivamente. Foi feita também a aplicação de micronutrientes com as seguintes doses: 3,66 mg kg⁻¹ de Mn; 1,55 mg kg⁻¹ de Fe; 1,39 mg kg⁻¹ de Cu; 0,20 mg kg⁻¹ de Mo; 4 mg kg⁻¹ de Zn e 0,82 mg kg⁻¹ de B, utilizando-se como fontes MnCl₂.4H₂O, FeCl₂.4H₂O, CuSO₄.5H₂O, Na₂MoO₄.2H₂O, ZnSO₄.7H₂O e H₃BO₃. As doses foram extrapoladas a partir de sugestões de adubação para eucalipto (Teixeira *et al.* 2008). A adubação complementar foi feita na forma de solução aquosa na dose de 10 mL por saco, dividida em duas aplicações (quatro e sete meses após a calagem).

As sementes de araçá-boi foram coletadas na região de Manaus. A semeadura foi feita em caixas de madeira, utilizando-se como substrato areia lavada e pó de serragem curtida, em casa de vegetação. As sementes pré-germinadas, com um mês de idade, foram transferidas para os sacos de polietileno contendo os tratamentos e foram mantidas em viveiro sob sombrite (60% de luminosidade), com irrigação diária por meio de aspersores aéreos.

A primeira medição de altura e diâmetro do colo (utilizando trena metálica e paquímetro) foi feita quatro meses após o transplante das sementes pré-germinadas, e a última seis meses depois. Após esta medição, as plantas foram colhidas, separadas em parte aérea e raízes. As raízes foram separadas do solo com o auxílio de uma peneira e lavadas em água corrente e em água destilada. A seguir, o material colhido foi seco em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C, por 96 horas, e pesado separadamente. A parte aérea, depois de seca, foi moída para determinação dos nutrientes, conforme metodologia descrita por Malavolta *et al.* (1997). Determinou-se o acúmulo

de nutrientes na parte aérea das mudas, multiplicando-se o teor de cada nutriente pela matéria seca da parte aérea.

Os dados foram submetidos às análises de variância e, quando constatada significância, foi realizada a regressão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resumo da análise de variância para crescimento em altura e em diâmetro, matéria seca da parte aérea, das raízes e total em função das doses de calcário e de fósforo consta na Tabela 1. Houve efeito significativo da aplicação de calcário para todas as variáveis avaliadas. No entanto, o efeito da aplicação de fósforo ao substrato foi significativo apenas para o crescimento em diâmetro e matéria seca da parte aérea e total. Não houve interação significativa entre as doses de fósforo e de calcário para todas as variáveis analisadas.

Em solos ácidos, a calagem é uma estratégia para aumentar a disponibilidade de P. Com o aumento do pH ocorre um aumento nas cargas negativas da superfície dos colóides do solo, acarretando em maior repulsão (menor adsorção) entre o fosfato e a superfície adsorvente, reduzindo a capacidade máxima de adsorção de P (Haynes 1982; Novais *et al.* 2007). Assim, o efeito não significativo da interação pode ser devido à aplicação localizada do adubo fosfatado na superfície do substrato, que reduziu o contato do P com todo o volume de solo calcareado. O efeito não significativo das doses de P para a produção de matéria seca das raízes também pode estar relacionado à aplicação localizada do fertilizante, pois, como o adubo fosfatado foi aplicado superficialmente ao substrato, não foi necessário um maior investimento em crescimento radicular pelas mudas para ter acesso a uma concentração mais alta de P e, conseqüentemente, para a absorção de P.

Pesquisas sobre o efeito da calagem na produção de mudas de espécies frutíferas da Amazônia são escassas. Em trabalhos de campo, a calagem favoreceu a produtividade do cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum* (Willd. ex Spreng.) Schum.), principalmente por melhorar a eficiência da

Tabela 1 - Resumo da análise de variância (Quadrado Médio) para crescimento em altura e em diâmetro, matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca da raiz (MSR) e matéria seca total (MST) de mudas de araçá-boi (*Eugenia stipitata*), em função da aplicação de calcário e fósforo.

| Fontes de Variação | GL | Altura | Diâmetro | MSPA | MSR | MST |
|--------------------|----|---------------------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|
| Bloco | 3 | 63,21 ^{ns} | 0,019 ^{ns} | 26,16 ^{ns} | 15,34 ^{**} | 65,67 [*] |
| Calcário (C) | 4 | 127,66 [*] | 0,158 ^{**} | 118,18 ^{**} | 40,25 ^{**} | 288,51 ^{**} |
| Fósforo (P) | 4 | 21,94 ^{ns} | 0,024 [*] | 58,65 ^{**} | 4,26 ^{ns} | 93,31 ^{**} |
| C x P | 16 | 52,68 ^{ns} | 0,009 ^{ns} | 9,18 ^{ns} | 2,60 ^{ns} | 19,63 ^{ns} |
| Resíduo | 72 | 35,80 | 0,008 | 10,61 | 3,62 | 22,29 |
| CV% | | 26,48 | 18,79 | 37,31 | 34,38 | 33,09 |

^{ns}: não-significativo a 5% de probabilidade; * e **: significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo Teste de F.

adubação potássica (Ayres e Alfaia 2007). Em fase de muda, espécies florestais respondem positivamente à correção da acidez do solo. Silva *et al.* (2007), ao testarem o efeito de doses crescentes de corretivo sobre o crescimento de mudas de mogno (*Swietenia macrophylla* King), observaram que a calagem influenciou positivamente o diâmetro e a matéria seca da raiz, da parte aérea e total. Silva *et al.* (2008) e Tucci *et al.* (2010) também verificaram efeito significativo da aplicação de calcário sobre o crescimento de mudas de sumaúma (*Ceiba pentandra* L.) e de pau-de-balsa (*Ochroma lagopus* Sw.), respectivamente.

Espécies do gênero *Eugenia* respondem de forma diferenciada à adubação fosfatada. Abreu *et al.* (2005), pesquisando o efeito de quatro doses de superfosfato simples e dois substratos na formação de mudas de pitangueira (*Eugenia uniflora* L.), verificaram efeito significativo na altura e na matéria seca das raízes em função dos incrementos de P no solo. Mendonça *et al.* (2009) avaliaram a resposta de mudas de cerejeira-do-mato (*Eugenia involucrata* DC.) submetidas a doses crescentes de superfosfato simples em vasos de 0,5 L e constataram efeito significativo dos tratamentos para todas as características, exceto comprimento e matéria seca de raiz. Semelhantemente, Souza *et al.* (2009), ao analisarem o efeito da adubação nitrogenada e fosfatada na cultura da uvaia (*Eugenia uvalha* Camb.), observaram resultados significativos para a variável altura de mudas em relação às doses de fósforo que, no entanto, não foi significativo para matéria seca da parte aérea e das raízes. Para mudas de goiabeira (*Psidium guajava* L.), também pertencente à família Myrtaceae, o incremento nas doses de fósforo promoveu aumento da produção de matéria seca pelas raízes e parte aérea, além de maior comprimento total de ramos, maior número de folhas e maior área foliar total por planta (Corrêa *et al.* 2003).

Em geral, o crescimento e a produção de matéria seca apresentaram resposta quadrática à calagem e à adubação fosfatada (Tabela 2). Apesar dos baixos coeficientes de determinação (R^2), evidenciando que pouco da variação observada pode ser explicada pelos parâmetros, as doses estimadas de calcário que proporcionam maior crescimento

em altura (25,31 cm) e em diâmetro (0,60 cm) foram 1,59 e 3,56 g de calcário por muda, respectivamente. Quanto à matéria seca, os valores máximos estimados para parte aérea (12,68 g planta⁻¹), raízes (6,79 g planta⁻¹) e total (19,88 g planta⁻¹) poderiam ser atingidos com as doses de 3,37; 3,77 e 3,5 g de calcário por muda, respectivamente. Com relação às doses de fósforo, os valores máximos estimados para o maior crescimento em diâmetro e maior produção de matéria seca da parte aérea e total foram 474,6 mg kg⁻¹, 558,7 mg kg⁻¹ e 545,1 mg kg⁻¹ de P, respectivamente, que correspondem à aplicação de 5,27; 6,21 e 6,06 g de superfosfato triplo por muda.

A aplicação de doses crescentes de calcário pode ter reduzido a absorção de micronutrientes, pelo efeito inibidor do Ca²⁺ e do Mg²⁺ (Quaggio 2000; Sousa *et al.* 2007), refletindo em respostas positivas até a dose máxima estimada, a partir da qual houve efeito depressivo. Prado *et al.* (2004) observaram resultado semelhante na altura, diâmetro e matéria seca da parte aérea e das raízes de mudas de maracujazeiro (*Passiflora edulis* Sims.) em função do aumento de doses de calcário, em que a máxima produção estimada esteve associada a uma saturação por bases de 56%. Neste estudo, para o araçá-boi, a produção de matéria seca total das mudas máxima estimada, aos 10 meses de idade, seria alcançada com uma saturação por bases em torno de 52%.

Altas doses de fósforo no substrato também podem afetar a disponibilidade de outros nutrientes e, conseqüentemente, prejudicar o desenvolvimento vegetal. Por exemplo, os fosfatos tendem a reduzir a solubilidade do zinco, pela formação de fosfatos de zinco no solo, e induzir a deficiência de ferro, pela redução de sua mobilidade na planta (Raij 1991; Dechen e Nachtigal 2006). Mudas de maracujazeiro também apresentaram resposta quadrática a diferentes doses de superfosfato triplo, sendo recomendada a dose de 450 mg de P dm⁻³ para promover o melhor desenvolvimento e estado nutricional das plantas (Prado *et al.* 2005). Neves *et al.* (2008) obtiveram respostas semelhantes em mudas de umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arruda) cultivadas sob seis doses de fósforo, sendo a dose de 281 mg dm⁻³ de P indicada para a produção de mudas nas condições estudadas.

Tabela 2 - Equações de regressão para altura (cm), diâmetro (cm), matéria seca (g planta⁻¹) da parte aérea (MSPA), das raízes (MSR) e total (MST) de mudas de araçá-boi (*Eugenia stipitata*) em função das doses de calcário (C), em g muda⁻¹, e de fósforo (P), em mg kg⁻¹, aplicadas no substrato; máximo valor estimado ($\hat{y}_{\text{máx}}$), e dose de calcário [C ($\hat{y}_{\text{máx}}$)] e de fósforo [P ($\hat{y}_{\text{máx}}$)] para obtenção de $\hat{y}_{\text{máx}}$.

| Variáveis | Equações | R ² | $\hat{y}_{\text{máx}}$ | C ($\hat{y}_{\text{máx}}$) | P ($\hat{y}_{\text{máx}}$) |
|-----------|---|----------------|------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Altura | $\hat{y} = 19,52 + 9,20^{**}\sqrt{C} - 3,65^{**}C$ | 0,12 | 25,31 | 1,59 | - |
| Diâmetro | $\hat{y} = 0,304 + 0,118^{**}C - 0,017^{**}C^2 + 0,000354^{**}P - 0,00000037^{ns}P^2$ | 0,42 | 0,60 | 3,56 | 474,6 |
| MSPA | $\hat{y} = 3,00 + 3,45^{**}C - 0,51^{**}C^2 + 0,014^{**}P - 0,0000124^{ns}P^2$ | 0,37 | 12,68 | 3,37 | 558,7 |
| MSR | $\hat{y} = 3,23 + 1,89^{**}C - 0,25^{**}C^2$ | 0,30 | 6,79 | 3,77 | - |
| MST | $\hat{y} = 5,62 + 5,34^{**}C - 0,76^{**}C^2 + 0,018^{**}P - 0,0000165^{ns}P^2$ | 0,38 | 19,88 | 3,50 | 545,1 |

^{ns}: não-significativo a 5% de probabilidade; * e **: significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.

Houve efeito significativo das doses de calcário e das doses de fósforo sobre o acúmulo de macro e micronutrientes, exceto para o cobre (Tabelas 3 e 4). A interação entre as doses de fósforo e de calcário não foi significativa para acúmulo de nutrientes na parte aérea das plantas, semelhantemente, ao que ocorreu para matéria seca.

Em trabalhos realizados com espécies florestais também foram observadas respostas diferenciadas à aplicação de calcário sobre o conteúdo de nutrientes. Em mudas de mogno, a adição de corretivo ao substrato influenciou positivamente a absorção de N, P, K, Ca, Mg e Mn, porém teve efeito negativo sobre o conteúdo de Fe; para o Cu e o Zn não houve efeito significativo (Silva *et al.* 2007). Semelhantemente, os conteúdos de nutrientes na parte aérea de mudas de sumaúma foram superiores nos tratamentos com calagem em comparação à ausência de calagem, exceto para o Cu, que resultou em efeito negativo, e para o Fe e Zn, cuja absorção não foi influenciada (Silva *et al.* 2008).

De acordo com a análise de regressão (Tabela 5), as doses de calcário que proporcionam maior acúmulo de macronutrientes variam de 3,22 a 4,10 g por muda. Para os micronutrientes, no geral, as doses máximas de calcário estimadas foram inferiores às obtidas para os macronutrientes, variando de 0,65 a 3,46 g por muda. As doses de fósforo estimadas para um maior acúmulo de macronutrientes variaram de 425,32 a 547,48 mg kg⁻¹, correspondendo às doses de 4,73 a 6,08 g de superfosfato triplo por muda. As doses de fósforo estimadas que proporcionaram maior acúmulo de micronutrientes variaram de 422,63 a 492,23 mg kg⁻¹, correspondendo às doses de 4,70 a 5,47 g de superfosfato triplo por muda.

De modo geral, o acúmulo de nutrientes na parte aérea das plantas apresentou resposta quadrática às doses de calcário e de superfosfato. O acúmulo de P, por exemplo, aumentou nas doses menores de calcário e reduziu sob a aplicação de doses maiores. Acredita-se que no primeiro caso, houve a liberação do P adsorvido à superfície dos óxidos de ferro e alumínio, que se tornaram mais solúveis com o aumento do pH da solução do solo (Quaggio 2000). Entretanto, a retenção de fósforo no solo pode ocorrer mesmo quando se substitui a precipitação do P pelo Al³⁺ do solo ácido pela sua adsorção pelo hidróxido de alumínio recém-formado pela calagem (Haynes 1984; Novais *et al.* 2007), refletindo em menor absorção do nutriente pelas plantas. Neves *et al.* (2004), estudando o acúmulo de macronutrientes na produção de mudas de andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.) sob influência de doses de fósforo, também observaram resposta quadrática no conteúdo de macronutrientes.

A solubilidade dos micronutrientes é muito dependente do pH do solo. Em geral, a aumento do pH diminui a disponibilidade dos micronutrientes (Sousa *et al.* 2007) pelo

Tabela 3 - Resumo da análise de variância (Quadrado Médio) para acúmulo de macronutrientes em mudas de araçá-boi (*Eugenia stipitata*), em função da aplicação de calcário e de fósforo.

| Fontes de Variação | GL | N | P | K | Ca | Mg |
|--------------------|----|-----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|---------------------|
| Bloco | 3 | 1030,63 ^{ns} | 27,35 ^{ns} | 890,78 ^{ns} | 1699,67* | 18,98 ^{ns} |
| Calcário (C) | 4 | 4725,20** | 127,52** | 3009,12** | 8251,25** | 406,22** |
| Fósforo (P) | 4 | 3604,89** | 174,01** | 3207,60** | 6934,25** | 42,70** |
| C x P | 16 | 559,99 ^{ns} | 16,61 ^{ns} | 558,17 ^{ns} | 828,85 ^{ns} | 9,88 ^{ns} |
| Resíduo | 72 | 648,24 | 13,72 | 595,71 | 559,29 | 8,44 |
| CV% | | 32,63 | 37,08 | 40,82 | 39,82 | 32,72 |

^{ns}: não-significativo a 5% de probabilidade; * e **: significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo Teste de F.

Tabela 4 - Resumo da análise de variância (Quadrado Médio) para acúmulo de micronutrientes em mudas de araçá-boi (*Eugenia stipitata*), em função da aplicação de calcário e de fósforo.

| Fontes de Variação | GL | Cu | Fe | Mn | Zn |
|--------------------|----|----------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Bloco | 3 | 653,46 ^{ns} | 1126014,0** | 9821,92 ^{ns} | 3824,58 ^{ns} |
| Calcário (C) | 4 | 1774,62** | 1545162,0** | 48010,93** | 10764,63** |
| Fósforo (P) | 4 | 478,44 ^{ns} | 991056,6** | 24408,33** | 14243,58** |
| C x P | 16 | 326,70 ^{ns} | 268374,2 ^{ns} | 5210,94 ^{ns} | 1751,09 ^{ns} |
| Resíduo | 72 | 481,18 | 163447,9 | 5590,84 | 2288,34 |
| CV% | | 44,13 | 32,39 | 82,99 | 39,13 |

^{ns}: não-significativo a 5% de probabilidade; * e **: significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo Teste de F.

aumento da retenção no complexo coloidal ou redução da solubilidade das suas fontes (Quaggio 2000). Possivelmente, as menores doses de calcário aplicadas não foram suficientes para alterar o pH do solo, ao contrário das doses mais altas, que podem ter reduzido a disponibilidade do Cu, Fe, Mn e Zn e, conseqüentemente, sua absorção pelas plantas.

O acúmulo de nutrientes em mudas de araçá-boi em resposta à adubação fosfatada sugere que é uma espécie relativamente exigente na fase de mudas. Em mudas de goiabeira (*Psidium guajava* L.), doses de 70 a 135 mg de P dm⁻³ de solo foram suficientes para o crescimento adequado da parte aérea e do sistema radicular (Corrêa *et al.* 2003). Para o araçá-boi, as doses estimadas para máximo crescimento e produção de biomassa variaram entre 474,6 e 558,7 mg kg⁻¹ de P (Tabela 2) e para acúmulo de nutrientes variaram de 422,63 a 550,4 mg kg⁻¹ de P (Tabela 5).

Tabela 5 - Equações de regressão para o acúmulo de macronutrientes (mg planta⁻¹) e micronutrientes (μg planta⁻¹) de mudas de araçá-boi (*Eugenia stipitata*), em função das doses de calcário (C), em g muda⁻¹, e de fósforo (P), mg kg⁻¹, aplicadas no substrato; máximo valor estimado (\hat{y}_{\max}), e dose de calcário [C (\hat{y}_{\max})] e de fósforo [P (\hat{y}_{\max})] para obtenção de \hat{y}_{\max} .

| Variáveis | Equações | R ² | \hat{y}_{\max} | C (\hat{y}_{\max}) | P (\hat{y}_{\max}) |
|-----------|---|----------------|------------------|---------------------------|---------------------------|
| N | $\hat{y} = 37,51 + 22,51^{**}C - 3,313^{**}C^2 + 0,1095^{**}P - 0,00009^{ns}P^2$ | 0,33 | 105,72 | 3,40 | 547,48 |
| P | $\hat{y} = 2,21 + 3,67^{**}C - 0,551^{**}C^2 + 0,0291^{**}P - 0,0000304^{*}P^2$ | 0,44 | 15,26 | 3,33 | 477,84 |
| K | $\hat{y} = 25,20 + 18,07^{**}C - 2,81^{**}C^2 + 0,125^{**}P - 0,00012^{*}P^2$ | 0,29 | 84,16 | 3,22 | 479,43 |
| Ca | $\hat{y} = 3,28 + 28,33^{**}C - 4,032^{**}C^2 + 0,1592^{**}P - 0,00014^{*}P^2$ | 0,48 | 96,86 | 3,51 | 550,41 |
| Mg | $\hat{y} = -0,2289 + 5,392^{**}C - 0,6573^{**}C^2 + 0,0144^{**}P - 0,000017^{*}P^2$ | 0,65 | 13,89 | 4,10 | 425,32 |
| Cu | $\hat{y} = 36,57 + 14,56^{**}C - 2,3083^{**}C^2$ | 0,14 | 59,53 | 3,15 | - |
| Fe | $\hat{y} = 490,88 + 397,40^{**}C - 57,48^{**}C^2 + 2,6466^{**}P - 0,00313^{**}P^2$ | 0,33 | 1736,98 | 3,46 | 422,63 |
| Mn | $\hat{y} = 78,059 + 5,245^{ns}C - 4,0078^{*}C^2 + 0,358^{**}P - 0,00041^{*}P^2$ | 0,28 | 157,85 | 0,65 | 436,21 |
| Zn | $\hat{y} = 72,655 + 27,159^{**}C - 5,160^{**}C^2 + 0,2467^{**}P - 0,000251^{*}P^2$ | 0,28 | 169,10 | 2,63 | 492,23 |

^{ns}: não-significativo a 5% de probabilidade; * e **: significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.

CONCLUSÕES

A adição de calcário e fósforo ao substrato influenciou fortemente o crescimento, a produção de matéria seca e o acúmulo de nutrientes nas mudas de araçá-boi.

O melhor desenvolvimento das mudas pode ser obtido com a aplicação de até 3,77 g de calcário dolomítico e 6,21 g de superfosfato triplo por planta.

Doses mais altas de calcário e fósforo podem reduzir a absorção de alguns nutrientes, comprometendo o desenvolvimento das mudas de araçá-boi.

AGRADECIMENTOS

Ao projeto “Consolidação do Sistema de Ciência, Tecnologia e Inovação para Sustentabilidade da Agricultura Familiar no Contexto do Agronegócio no Amazonas (CTIAFAM)” - Convênio FINEP/FAPEAM/FDB/Embrapa - pelo apoio financeiro e concessão da bolsa de pesquisa. À Embrapa Amazônia Ocidental e seus funcionários, pelo apoio logístico e pela infraestrutura.

BIBLIOGRAFIA CITADA

Abreu, N.A.A.; Mendonça, V.; Ferreira, B.G.; Teixeira, G.A.; Souza, H.A.; Ramos, J.D. 2005. Crescimento de mudas de pitangueira (*Eugenia uniflora* L.) em substratos com utilização de superfosfato simples. *Ciência e Agrotecnologia*, 29(6): 1117-1124.

Andrade, H.; Schaefer, C.E.G.R.; Demattê, J.L.I.; Andrade, F.V. 1997. Pedogeomorfologia e micropedologia de uma sequência Latossolo - Areia Quartzosa Hidromórfica sobre rochas cristalinas do Estado do Amazonas. *Geonomos*, 5(1): 55-66.

Ayres, M.I.C.; Alfaia, S.S. 2007. Calagem e adubação potássica na produção do cupuaçuzeiro em sistemas agroflorestais da Amazônia Ocidental. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 42(7): 957-963.

Brasil, E.C.; Muraoka, T. 1997. Extratores de fósforo em solos da Amazônia tratados com fertilizantes fosfatados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 21:599-606.

Camargo, M.S.; Barbosa, D.S.; Resende, R.H.; Korndörfer, G.H.; Pereira, H.S. 2010. Fósforo em solos de Cerrado submetidos à calagem. *Bioscience Journal*, 26(2):187-194.

Cavalcante, P.B. 1996. *Frutas comestíveis da Amazônia*. 6. ed. CNPq/ Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém, Pará. 279 pp.

Corrêa, M.C.M.; Prado, R.M.; Natale, W.; Pereira, L.; Barsosa, J.C. 2003. Resposta de mudas de goiabeira a doses e modos de aplicação de fertilizante fosfatado. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 25(1): 164-169.

Dechen, A.R.; Nachtigall, G. R. 2006. Micronutrientes, p. 327-354. In: Fernandes, M. S. *Nutrição mineral de plantas*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo SBSCS/UFV, Viçosa, Minas Gerais.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. 1997. *Manual de métodos de análises de solo*. 2.ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento. 212 pp.

Escobar A., C.J.; Zuluaga P., J.J. 1998. *El cultivo del araza (Eugenia stipitata Mc Vaugh)*. Corpoica, Florencia-Cagueta. 11 pp.

Falcão, N.P.S.; Silva, J.R.A. 2004. Características de adsorção de fósforo em alguns solos da Amazônia Central. *Acta Amazonica*, 34(3): 337-342.

Haynes, R.J. 1982. Effects of liming on phosphate availability in acid soils. *Plant and Soil*, 68: 289-308.

Haynes, R.J. 1984. Lime and phosphate in the soil-plant system. *Advances in Agronomy*, 37: 249-315.

Malavolta, E.; Vitti, G.C.; Oliveira, S.A. 1997. *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. 2.ed. Potafos, Piracicaba, São Paulo. 319 pp.

Marques, J.D.O.; Teixeira, W.G.; Reis, A.M.; Cruz Junior, O.F.; Batista, S.M.; Afonso, M.A.C.B. 2010. Atributos químicos, físico-hídricos e mineralogia da fração argila em solos do Baixo Amazonas: Serra de Parintins. *Acta Amazonica*, 40(1):1-12.

- Mendonça, V.; Leite, G.A.; Medeiros, P.V.Q.; Medeiros, L.F.; Caldas, A.V.C. 2009. Crescimento inicial de mudas de cerejeira-domato (*Eugenia involucrata* DC) em substrato enriquecido com superfosfato simples. *Caatinga*, 22(2): 81-86.
- Neves, O.S.C.; Benedito, D.S.; Machado, R.V.; Carvalho, J.G. 2004. Crescimento, produção de matéria seca e acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S na parte aérea de mudas de andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.) cultivadas em solo de várzea, em função de diferentes doses de fósforo. *Revista Árvore*, 28(3): 343-349.
- Neves, O.S.C.; Carvalho, J.G.; Oliveira, E.V.; Neves, V.B.F. 2008. Crescimento, nutrição mineral e nível crítico foliar de P em mudas de umbuzeiro, em função da adubação fosfatada. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 30(3): 801-805.
- Novais, R.F.; Smyth, T.J.; Nunes, F.N. 2007. Fósforo, p. 471-550. In: Novais, R.F.; Alvarez V., V.H.; Barros, N.F.; Fontes, R.L.F.; Cantarutti, R.B.; Neves, J.C.L. *Fertilidade do solo*. SBCS, Viçosa, Minas Gerais.
- Pereira, J.R.; Faria, C.M.B. 1998. Sorção de fósforo em alguns solos do semi-árido do Nordeste Brasileiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 33: 1179-1184.
- Prado, R.M.; Natale, W.; Corrêa, M.C.M.; Braghirolli, L.F. 2004. Efeitos da aplicação de calcário no desenvolvimento, no estado nutricional e na produção de matéria seca de mudas de maracujazeiro. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 26(1): 145-149.
- Prado, R.M.; Vale, D.W.; Romualdo, L.M. 2005. Fósforo na nutrição e produção de mudas de maracujazeiro. *Acta Scientiarum Agronomy*, 27(3): 493-498.
- Primavesi, A.C.; Andrade, A.G.; Alves, B.J.R.; Rosso, C.; Batista, E.M.; Prates, H.T.; Ortiz, F.R.; Mello, J.; Ferraz, M.R.; Linhares, N.W.; Machado, P.L.O.A.; Moeller, R.; Alves, R.C.S.; Silva, W.M. Métodos de análise de solo, p. 67-130. In: Nogueira, A.R.A.; Souza, G.B. (Eds.). 2005. *Manual de Laboratório: Solo, água, nutrição vegetal, nutrição animal e alimentos*. Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos, São Paulo.
- Quaggio, J. 2000. *Acidez e calagem em solos tropicais*. Instituto Agronomico, Campinas, São Paulo. 111 pp.
- Raij, B. van. 1991. *Fertilidade do solo e adubação*. Ceres; Potafos, Piracicaba. 343 pp.
- Sato, S.; Comerford, N.B. 2005. Influence of soil pH on inorganic phosphorus sorption and desorption in a humid Brazilian Ultisol. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29: 685-694.
- Silva, A.R.M.; Tucci, C.A.F.; Lima, H.N.; Figueiredo, A.F. 2007. Doses crescentes de corretivo na formação de mudas de mogno (*Swietenia macrophylla* King). *Acta Amazonica*, 37(2): 195-200.
- Silva, A.R.M.; Tucci, C.A.F.; Lima, H.N.; Souza, P.A.; Venturin, N. 2008. Efeitos de doses crescentes de calcário na produção de mudas de sumaúma (*Ceiba pentandra* L. Gaertn). *Floresta*, 38(2): 295-302.
- Sousa, D.M.G.; Miranda, L.N.; Oliveira, S.A. 2007. Acidez do solo e sua correção, p. 205-274. In: Novais, R.F.; Alvarez V., V.H.; Barros, N.F.; Fontes, R.L.F.; Cantarutti, R.B.; Neves, J.C.L. *Fertilidade do solo*. SBCS, Viçosa, Minas Gerais.
- Souza, A.G.C.; Sousa, N.R.; Silva, S.E.L.; Nunes, C.D.M.; Canto, A.C.; Cruz, L.A.A. 1996. *Fruteiras da Amazônia*. Embrapa-SPI, Brasília, Distrito Federal; Embrapa-CPAA, Manaus, Amazonas. 204 pp.
- Souza, H.A.; Gurgel, R.L.S.; Teixeira, G.A.; Cavallari, L.L.; Rodrigues, H.C. A.; Mendonça, V. 2009. Adubação nitrogenada e fosfatada no desenvolvimento de mudas de uvaia. *Bioscience Journal*, 25(1): 99-103.
- Souza, R.F.; Faquin, V.; Torres, P.R.F.; Baliza, D.P. 2006. Calagem e adubação orgânica: influência na adsorção de fósforo em solos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 30:975-983.
- Teixeira, P.C.; Gonçalves, J.L.M.; Arthur Júnior, J.C.; Dezordi, C. 2008. *Eucalyptus* sp. seedling response to potassium fertilization and soil water. *Ciência Florestal*, 18(1): 47-63.
- Tucci, C.A.F.; Lima, H.N.; Gama, A.S.; Costa, H.S.; Souza, P.A. 2010. Efeitos de doses crescentes de calcário em solo Latossolo Amarelo na produção de mudas de pau-de-balsa (*Ochroma lagopus* sw., bombacaceae). *Acta Amazonica*, 40(3): 543-548.
- Vieira, L.S.; Santos, P.C.T.C. 1987. *Amazônia: seus solos e outros recursos naturais*. Agronômica Ceres, São Paulo. 416 pp.

Recebido em: 28/02/2011

Aceito em: 24/05/2011

