

SUBSTRATO E ADUBAÇÃO FOSFATADA PARA A PRODUÇÃO DE MUDAS CLONAIS DE CACAU⁽¹⁾

José Olímpio de Souza Júnior⁽²⁾, Quirino Augusto de Camargo Carmello⁽³⁾ & George Andrade Sodré^(2, 4)

RESUMO

Para avaliar o efeito de substratos e da adubação fosfatada sobre a produção de mudas de cacauzeiro, bem como definir doses recomendáveis e nível crítico foliar de P, fez-se um experimento fatorial 5 x 5 + 1: cinco substratos (misturas de fibra de coco (FC) e Plantmax florestal estaca[®]), cinco doses de P no plantio (de 0 a 800 mg dm⁻³) e um tratamento adicional (P aplicado aos 30 dias). As parcelas iniciais e úteis continham, respectivamente, 27 estacas e 12 mudas (uma estaca/muda por tubete). A partir do 62º dia, aplicaram-se adubações semanais com N e K, e aos 120 dias, com P (20 mg dm⁻³), em todos os tratamentos. Aos 150 dias foram avaliados: diâmetro, altura, área foliar, massa de matéria seca da parte aérea e das raízes (finas e grossas), concentração e conteúdo de nutrientes na planta. A mortalidade das mudas não foi influenciada pelos tratamentos. A adubação com P em cobertura aumentou sua disponibilidade e sua absorção, mas não o crescimento das mudas. As variáveis biométricas e nutricionais responderam aos tratamentos, sendo os melhores resultados obtidos com 30 a 55 % de FC e doses de P entre 136 e 275 mg dm⁻³. O nível crítico foliar de P foi de 1,75 g kg⁻¹.

Termos de indexação: *Theobroma cacao*, nutrição, nível crítico, cultivo sem solo.

SUMMARY: POTTING MIX AND PHOSPHATE FERTILIZATION FOR PRODUCTION OF ROOTED COCOA CUTTINGS

The effect of potting mix and phosphate fertilization on the production of rooted cocoa tree cuttings was evaluated and recommended rates and critical foliar P levels were determined

⁽¹⁾ Recebido para publicação em março de 2009 e aprovado em outubro de 2010.

⁽²⁾ Departamento de Ciências Agrárias e Ambientais, Universidade Estadual de Santa Cruz – UESC. km 16, Rod. Ilhéus/Itabuna, CEP 45652-000 Ilhéus (BA). E-mail: olimpio@uesc.br

⁽³⁾ Departamento de Ciência do Solo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo – ESALQ/USP. Av. Pádua Dias 11, Cx. Postal 09, CEP 13418-900 Piracicaba (SP). E-mail: qaccarme@esalq.usp.br

⁽⁴⁾ Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira, Centro de Pesquisa do Cacau – CEPLAC/CEPEC. km 22, Rod. Ilhéus/Itabuna, CEP 45600-000 Itabuna (BA). E-mail: sodre@cepec.gov.br

based on a factorial $5 \times 5 + 1$ experiment: five potting medium (coconut fiber – CF and Plantmax® mix), five P rates at planting (0 to 800 mg dm^{-3}) and an additional P treatment (applied on the 30th day). Each plot contained 27 cuttings, of which 12 rooted cuttings were evaluated. From the 62nd day onwards, N and K fertilization was weekly applied as well as a P fertilization on the 120th day (20 mg dm^{-3}), to all treatments. The diameter, height, leaf area, shoot and root (fine and thick) dry matter, nutrient concentration and content in plants were evaluated on the 150th day. Cutting mortality was not influenced by the treatments. Phosphorus top dressing increased P assimilation and absorption, but not the growth of the rooted cuttings. The biometric and nutrition variables responded to treatments; best results were obtained with 30–55 % of CF and P rates between 136 and 275 mg dm^{-3} . The foliar critical level of P was 1.75 g kg^{-1} .

Index terms: Theobroma cacao, plant nutrition, critical level, soilless cultivation.

INTRODUÇÃO

A cacauicultura do sudeste da Bahia vem atravessando nos últimos anos uma crise de produção, que foi agravada a partir de 1989, com o surgimento e a disseminação rápida da doença vassoura-de-bruxa. O cacauieiro (*Theobroma cacao* L.) ainda é a principal cultura agrícola dessa região e representa a principal receita da economia de aproximadamente 100 municípios.

Para auxiliar a recuperação e a renovação da cacauicultura dessa região, foi criado o Instituto Biofábrica de Cacau (IBC), que tem como principal função multiplicar e distribuir materiais botânicos de cacau com potencial produtivo elevado e tolerância à vassoura-de-bruxa, selecionados pela Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC) e por produtores. Esse material tem sido usado para substituir as plantas enfermas, adensar áreas e para o plantio das novas lavouras.

As mudas de cacau, oriundas do processo atual de produção, não vêm sendo disponibilizadas aos produtores em condições consideradas ótimas com relação aos aspectos nutricionais; dentre esses problemas, destacam-se a toxidez de Fe (Marrocos & Sodré, 2004) e a necessidade de calibração de P (Souza Jr. et al., 2008). A fonte desse excesso de Fe pode ser o Plantmax® (Pmax), que juntamente com a fibra de coco (FC), na proporção volumétrica de 1:1, compõem o substrato utilizado no IBC, para a produção de mudas de cacau (Marrocos & Sodré, 2004).

É comum o uso de fertilizantes fosfatados em adubação pré-plantio em substratos (Williams & Nelson, 1996; Bataglia & Furlani, 2004), porém as doses recomendadas são bastante variáveis. Para produção de mudas de espécies florestais, como *Eucalyptus* e *Pinus*, em tubetes, os manuais nacionais recomendam doses de P que variam de 130 mg dm^{-3} (Gonçalves et al., 1997) a 655 mg dm^{-3} (Barros & Novais, 1999).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a sobrevivência, o crescimento e a nutrição de mudas de cacauieiro cultivadas em substratos formados por misturas de fibra de coco e Plantmax® e adubadas com superfosfato

triplo. Avaliou-se também o efeito da época de fertilização fosfatada, bem como foi determinado o substrato mais eficiente e econômico, as doses recomendáveis e o nível crítico foliar de P.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em julho de 2005, em viveiro de produção de mudas, com as laterais e o teto de tela plástica preta com 50 % de sombreamento, no Instituto Biofábrica de Cacau (IBC), em Ilhéus, Bahia.

Foi utilizado um fatorial $5 \times 5 + 1$ (cinco substratos, cinco doses de P no plantio e um tratamento adicional), em delineamento de blocos ao acaso, com três repetições. Os substratos utilizados foram cinco proporções (20:80; 35:65; 50:50; 65:35 e 80:20 %, em volume) dos substratos fibra de coco (FC) e Plantmax florestal estaca® (Pmax – substrato comercial, composto de casca de pínus compostada, vermiculita expandida, carvão granulado e turfa).

As doses de P no plantio foram: 0; 100; 200; 400 e 800 mg dm^{-3} , na forma de superfosfato triplo (SFT) moído, aplicado e homogeneizado em um volume de substrato equivalente ao do tubete. No tratamento adicional utilizou-se o substrato com 50 % de FC e 50 % de Pmax, e 200 mg dm^{-3} de P aplicado em cobertura aos 30 dias após o estaqueamento.

Os substratos originais foram peneirados, em malha de 5 mm, e caracterizados química e fisicamente (Quadros 1 e 2). Foram determinados pH, condutividade eletrolítica (CE) e teor de nutrientes, pelo método extrato em H_2O 1:1,5 v/v (Sonneveld et al., 1974), CTC e densidade (Brasil, 2006) e curva de retenção de água (De Bood & Verdonck, 1972). Em amostra seca ao ar e peneirada (2,0 mm), determinaram-se também os teores disponíveis por métodos de solo, de acordo com Embrapa (1999): resina de troca iônica (P); $\text{KCl } 1,0 \text{ mol L}^{-1}$ (Ca, Mg e Al); Mehlich-1 (K); $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, 500 mg L^{-1} de P (S-SO_4^{2-}); DTPA (Cu, Fe, Mn e Zn) e CaCl_2 $1,25 \text{ g L}^{-1}$ a quente (B). Para a análise dos teores totais, procedeu-se à moagem da amostra, seguida por digestão nítrico-perclórica, de acordo com Embrapa (1999).

Quadro 1. Teores de nutrientes solúveis, disponíveis e totais dos substratos fibra de coco (FC) e Plantmax florestal estaca® (Pmax)

Substrato	P	S	K	Ca	Mg	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	Teor solúvel ⁽¹⁾									
	mg L ⁻¹									
Pmax	1,5	161	91	115	51	0,07	0,04	0,10	1,19	0,04
FC	7,9	2	288	1	4	0,19	0,01	0,02	0,03	0,01
	Teor disponível ⁽²⁾									
	— mg dm ⁻³ —		— mmol _c dm ⁻³ —			— mg dm ⁻³ —				
Pmax	203	868	17	129	65	1,2	0,7	98	38	5,0
FC	16	5	29	3	10	0,8	0,1	1	2	1,0
	Teor total ⁽³⁾									
	— g kg ⁻¹ —				— mg kg ⁻¹ —					
Pmax	1,6	5,7	4,2	7,0	12,7	8	21	1462	5	207
FC	0,4	0,5	13,4	0,8	1,6	24	2	657	35	48

⁽¹⁾ Teor solúvel: extrato de H₂O 1:1,5 v/v (Sonneveld et al., 1974). ⁽²⁾ Teor disponível: P (resina de troca iônica); S-SO₄⁻² (Ca(H₂PO₄)₂, 500 mg L⁻¹ de P); K (Mehlich-1), Ca e Mg (KCl 1,0 mol L⁻¹); Cu, Fe, Mn e Zn (DTPA) e B (H₂O em CaCl₂ 1,25 g L⁻¹ a quente), de acordo com Embrapa (1999). ⁽³⁾ Teor total: digestão nítrico-perclórica, de acordo com Embrapa (1999).

Quadro 2. Análises⁽¹⁾ física e química dos substratos fibra de coco (FC) e Plantmax florestal estaca® (Pmax)

Substrato	pH	CE	CTC	DS	PT	EA	AFD	AT	AD
		dS m ⁻¹	mmol _c dm ⁻³	kg dm ⁻³			— m ³ m ⁻³ —		
Pmax	5,2	1,1	289	0,45	0,63	0,04	0,18	0,08	0,27
FC	5,6	0,8	34	0,06	0,75	0,12	0,33	0,06	0,39

⁽¹⁾ Métodos: pH e CE (condutividade eletrolítica), Sonneveld et al. (1974); CTC e DS (densidade de material seco), BRASIL (2006); PT (porosidade total), EA (espaço de aeração), AFD (água facilmente disponível), AT (água de tamponamento) e AD (água disponível), obtidos pela curva de retenção de água, de acordo com De Bood & Verdonck (1972).

No extrato H₂O 1:1,5 v/v, os elementos foram dosados por espectrometria de emissão atômica (ICP-OES). Nos demais extratos, os elementos foram assim dosados: colorimetria (P e B); turbidimetria (S); fotometria de chama (K); e espectrometria de absorção atômica (Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn).

A parcela inicial foi formada por uma bandeja com 27 tubetes com 288 cm³ de substrato e uma estaca de cacauero do clone PH 16 por tubete. Utilizaram-se estacas apicais semi-herbáceas, de ramos plagiotrópicos, com aproximadamente 18 cm de comprimento, contendo três folhas, com 1/2 a 2/3 do limbo foliar remanescente. A base das estacas foi tratada com 6 g kg⁻¹ de ácido indolbitírico (AIB) em talco; sendo a profundidade de estaqueamento em torno de 6 cm.

A partir do 62º dia foram feitas adubações semanais com 40 e 20 mg dm⁻³ de N e de K, respectivamente, na forma de ureia e cloreto de potássio, num total de 10 adubações. Aos 120 dias, fez-se uma adubação complementar, para todos os tratamentos, com 20 mg dm⁻³ de P, na forma de fosfato monoamônico. Os fertilizantes foram aplicados na forma líquida, sendo utilizados 2,0 mL da solução por tubete.

O controle fitossanitário, no total de nove aplicações durante os 150 dias de cultivo, seguiu o adotado

no sistema de produção do IBC, com a utilização de fungicidas, acaricidas e inseticidas, à base de mancozeb, óxido cuproso, endosulfan e methamidophos, com, respectivamente, oito, duas, três e duas aplicações.

A irrigação também foi semelhante à adotada pelo IBC: nebulização intermitente automática. O sistema funcionou das 6 às 18 h, sendo desligado nos períodos com chuva. Utilizaram-se bicos com vazão teórica de 40 L h⁻¹ e área irrigada de 4 m² por bico. Nos primeiros 60 dias, a irrigação foi efetuada a cada 5 min; posteriormente, o número de irrigações foi gradativamente reduzido, até alcançar três irrigações diárias. O tempo de irrigação foi ajustado de acordo com a fase de desenvolvimento das mudas e as condições climáticas.

A sobrevivência das estacas/mudas foi avaliada aos 90, 120 e 150 dias. A parcela útil foi mantida com 12 mudas, sendo as demais plantas identificadas e mantidas como sobressalentes para possível reposição na parcela útil, se necessário.

Aos 150 dias, avaliaram-se: diâmetro da haste principal, com auxílio de paquímetro digital, tomando duas medidas perpendiculares entre si e à distância de aproximadamente 1 cm do ponto de brotamento; e

altura da haste principal, medida com régua. A parte aérea das plantas foi colhida (apenas os ramos emitidos), sendo separada em: folha diagnóstica (terceira folha do primeiro lançamento maduro), demais folhas e caule. A área foliar foi medida com auxílio de medidor de área foliar.

O material vegetal da parte aérea (folhas e caule) foi lavado com rápida imersão em: água corrente, solução de detergente neutro 1 g L^{-1} , água corrente, solução de HCl 30 mL L^{-1} e, finalmente, com duas lavagens com água destilada. Quanto à folha diagnóstica, após a solução de detergente, fez-se a lavagem mecânica, esfregando-se levemente a superfície da folha com chumaço de algodão embebido com a solução de detergente. Optou-se por essa lavagem vigorosa devido ao uso de agrotóxicos que continham nutrientes.

O sistema radicular foi lavado e, após seco, removeu-se o substrato que ainda permanecia aderido às raízes, as quais foram visualmente separadas em raízes finas e grossas; o limite médio para separação desses dois grupos foi em torno de 0,4 mm de diâmetro.

Todas as amostras vegetais foram secas em estufa com circulação forçada de ar a $65 \text{ }^\circ\text{C}$, por 3 dias; em seguida, foram pesadas para se obter: massa de matéria seca da parte aérea (MSPA), que foi a soma das matérias secas das folhas e do caule; massa de matéria seca das raízes finas (MSRF), das raízes grossas (MSRG) e das raízes total (MSRT = MSRF + MSRG); e massa de matéria seca da planta (MSPL = MSPA + MSRT). Posteriormente, as amostras de folhas e caule foram moídas e analisadas quimicamente, de acordo com Embrapa (1999).

Os resultados foram submetidos à análise de variância, sendo os fatores quantitativos, doses de P e proporções de FC no substrato, submetidos à análise de regressão, com coeficientes linear, quadrático ou raiz-quadrático e interação. Foram aceitos os modelos que apresentaram todos os coeficientes significativos a até 10 %, pelo teste F, e o maior coeficiente de determinação ajustado.

As doses recomendáveis de P e os níveis críticos na folha foram calculados para obter 99 % da produção máxima da MSPA, em combinações distintas de FC:Pmax, sendo identificado o custo mínimo entre as combinações dos insumos: substratos (fibra de coco e Plantmax florestal estaca®) e fertilizante fosfatado.

O tratamento adicional, P aplicado em cobertura aos 30 dias, foi analisado por contraste com o tratamento que recebeu a mesma dose de P no plantio, sendo os contrastes considerados significativos a até 5 % pelo teste F.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise química evidenciou que o Plantmax florestal estaca® (Pmax) é um substrato com maiores

teores de elementos solúveis, disponíveis e totais que os da fibra de coco (FC), exceto para K (Quadro 1), sendo um substrato com maior CTC (Quadro 2). Ambos os substratos possuem valores adequados de CE e de pH (Quadro 2), de acordo com classificação proposta por Baumgarten (2002).

No quadro 1, chamam a atenção os teores altos de Fe total e disponível no Pmax, fato também constatado por Marrocos & Sodré (2004), que também apontam correla o estreita entre as formas totais e solúveis de Fe em substratos utilizados na produ o de mudas de cacau, com conseqüente surgimento de problemas de toxidez desse elemento nas plantas.

O Pmax apresentou baixo espaço de aera o (macroporos) e densidade mais elevada; por sua vez, a FC mostrou ser um substrato pouco denso, mais poroso, com maior espaço de aera o e com maior capacidade de armazenamento de água disponível (Quadro 2), evidenciando ter bons atributos físicos (Abad et al., 2005).

A mortalidade média das mudas aos 90, 120 e 150 dias foi de 30, 35 e 36 %, respectivamente, valores superiores aos encontrados por Faria & Sacramento (2003) para três clones de cacau tratados com doses de AIB. Essa mortalidade elevada pode estar associada ao período inicial de cultivo (julho e agosto), em que foram observadas precipita es pluviais frequentes e temperaturas mais baixas. A sobrevivência das mudas não foi alterada pelos substratos, pelas doses ou épocas de aduba o com P.

A adi o de P aumentou todas as variáveis biométricas avaliadas até o ponto de produ o máxima, visto que foram observados efeitos linear e quadrático ou raiz-quadrático significativos do P (Figura 1a,b,c,e,f), exceto para a MSRF, em que o P apresentou apenas efeito linear negativo (Figura 1a), ou seja, o fertilizante fosfatado reduziu a produ o de raízes finas, fato também constatado por Mackay & Barber (1985) para densidade de raízes finas em plantas de milho. O fornecimento de P favoreceu mais o desenvolvimento da parte aérea que o sistema radicular e, entre as raízes, mais as grossas que as finas (Figura 1d).

A percentagem de FC no substrato gerou pontos de máxima produ o para MSPA, MSPL, diâmetro, altura e área foliar (Figura 1b, c, e, f) e não alterou a MSRF; entretanto, o aumento de FC no substrato incrementou a MSRG e, conseqüentemente, a MSRT (Figura 1a). Intera es significativas entre dose de P e percentagem de FC foram observadas para MSRT, MSPA, MSPL e área foliar (Figura 1a,b,f), evidenciando que o efeito de P depende do substrato utilizado.

As equa es de regressão selecionadas para altura e área foliar, apesar de significativas, tiveram coeficientes de determina o baixos (Figura 1e,f), indicando preditividade baixa desses modelos.

As produ es máximas para MSPA e diâmetro foram alcançadas com substrato com 43 % de FC e

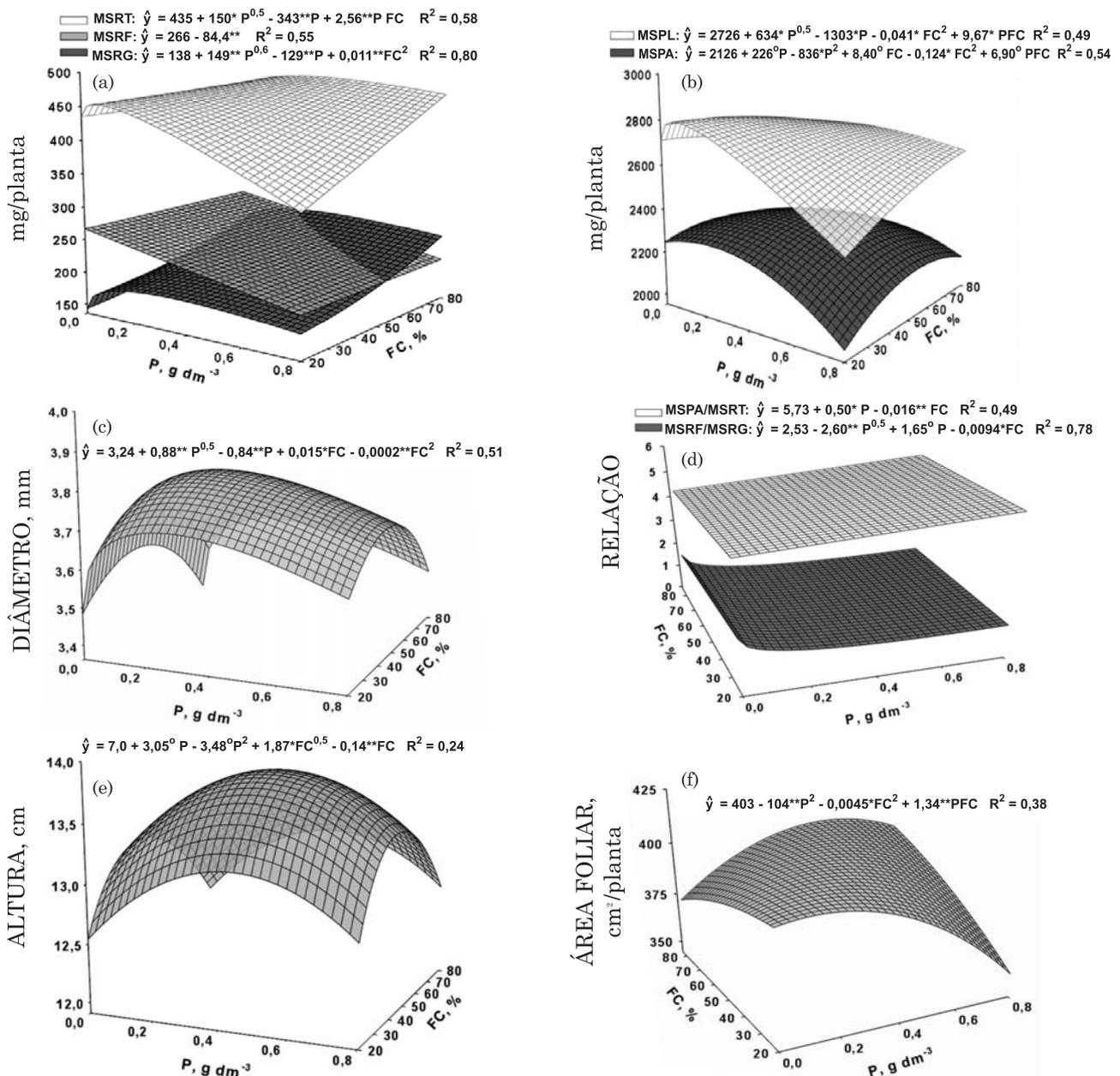


Figura 1. Variáveis biométricas de mudas de cacauero, clone PH 16, aos 150 dias, em função da dose de P e da percentagem de fibra de coco (FC) no substrato: (a) massa de matéria seca das raízes grossas – MSRG, raízes finas – MSRF e raízes totais – MSRT; (b) matéria seca da parte aérea – MSPA e da planta – MSPL; (c) diâmetro; (d) relação MSRF / MSRG e MSPA / MSRT; (e) altura; e (f) área foliar. ^o, ^{*} e ^{**}: significativo a 10, 5 e 1 % pelo teste F, respectivamente.

311 mg dm⁻³ de P e 45 % de FC e 274 mg dm⁻³ de P, respectivamente. Considerando incrementos de 5 % de cada substrato original na mistura FC:Pmax, pode-se obter 99 % da produção máxima da MSPA para substrato com teor de FC variando de 30 a 55 % (Quadro 3).

As doses recomendáveis de P variaram de 136 a 275 mg dm⁻³ e foram menores para os substratos com proporções de FC:Pmax intermediárias (Quadro 3). A dose de 136 mg dm⁻³ é semelhante à fertilização de

base, de 130 mg dm⁻³ de P, recomendada por Gonçalves et al. (1997) para a produção de mudas de eucalipto em substrato. Nesse contexto, quando se considera o custo dos insumos, a combinação mais econômica seria para um substrato com 55 % de FC e 45 % de Pmax, adubado com 275 mg dm⁻³ de P (Quadro 3).

Para cada mistura FC:Pmax foi determinado o nível crítico foliar (Quadro 3), a partir da substituição da dose recomendável e do respectivo teor de FC no substrato na equação da concentração de P na folha

Quadro 3. Doses recomendáveis de P (DRP) para obter 99 % da produção máxima da matéria seca da parte aérea e níveis críticos (NC) de P na folha, de acordo com a percentagem de fibra de coco (FC) e Plantmax® (Pmax) no substrato, com respectivo custo⁽¹⁾ do substrato adubado com P – Clone PH 16, aos 150 dias

FC:Pmax	DRP	Custo ⁽¹⁾	NC na folha
%, v/v	g m ⁻³	R\$ m ⁻³	g kg ⁻¹
30:70	173	170	1,77
35:65	137	163	1,75
40:60	136	156	1,74
45:55	156	149	1,73
50:50	198	142	1,74
55:45	275	136	1,76

⁽¹⁾ Custo dos insumos colocados no Instituto Biofábrica de Cacau, Ilhéus-BA; preços tomados em junho de 2010: Plantmax florestal estaca® – R\$ 210,00 por m³; fibra de coco – R\$ 73,50 por m³; e superfosfato triplo (190 g kg⁻¹ de P) – R\$ 500,00 por tonelada.

diagnóstica (Figura 2a). Como a variação do nível crítico foliar foi pequena (Quadro 3), pode-se considerar uma concentração média de 1,75 g kg⁻¹ de P, valor que é semelhante a 1,8 g kg⁻¹, sugerido por Raij et al. (1997), mas inferior a 2,0 g kg⁻¹, indicado por Malavolta (2006) como adequado para cacauzeiros adultos.

De modo geral, observa-se que os modelos para a concentração dos nutrientes na folha diagnóstica (primeiro ramo emitido), em função da dose de SFT e da percentagem de FC no substrato, foram mais bem ajustados que aqueles para conteúdo na parte aérea (Figuras 2 e 3), exceto para Ca e Mg, sugerindo que os fatores em estudo influenciaram mais a absorção de nutrientes do que a conversão destes em matéria seca e, conseqüentemente, em quantidade total de nutrientes acumulada pela planta.

O modelo que apresentou o melhor ajuste, R² = 0,90, foi o da concentração de P na folha (Figura 2a), nutriente que é uma das variáveis independentes deste trabalho. Contudo, os modelos da concentração de outros nutrientes também mostraram bons ajustes, em especial Zn, N, K, S e Mn (Figura 2), indicando

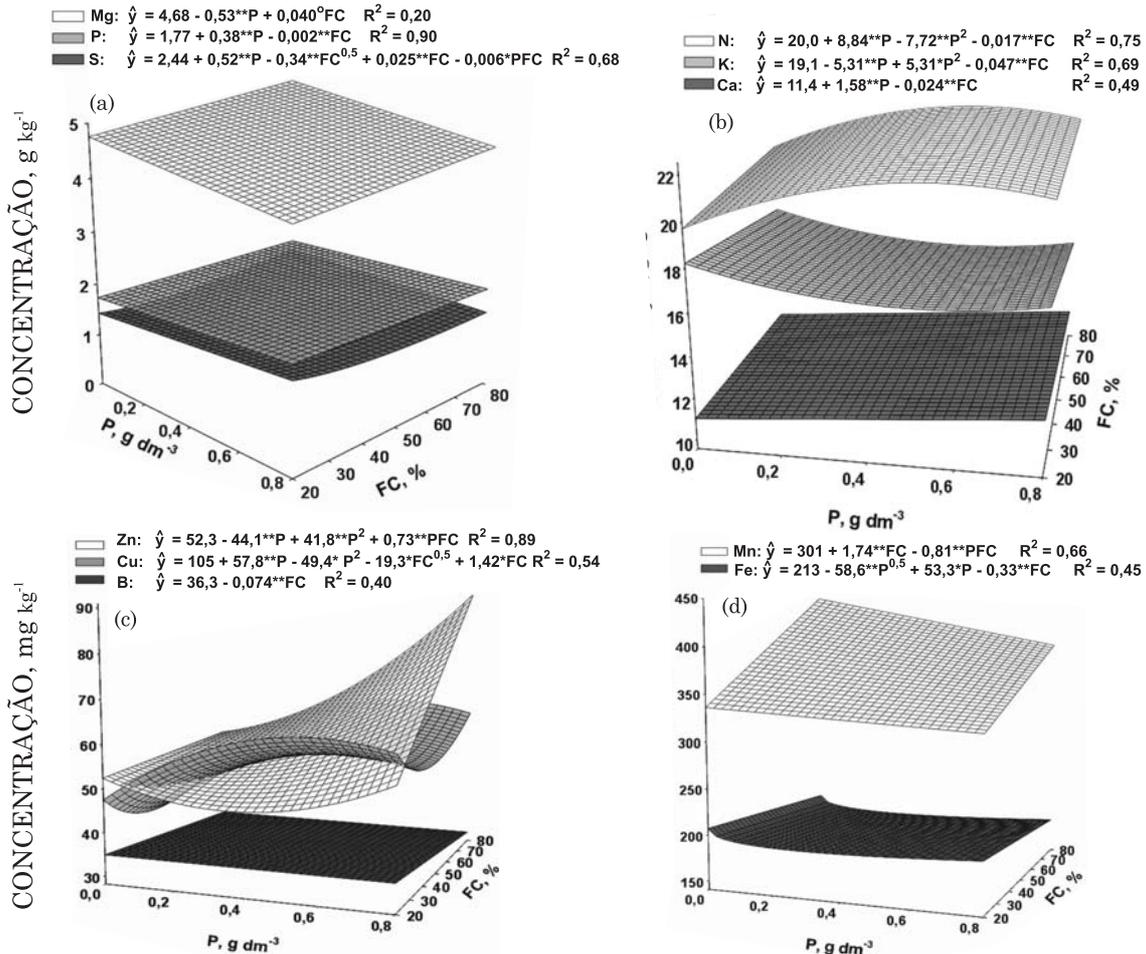


Figura 2. Concentração de nutrientes na folha diagnóstica de mudas de cacauzeiro, clone PH 16, aos 150 dias, em função da dose de P e da percentagem de fibra de coco (FC) no substrato: (a) Mg, P e S; (b) N, K e Ca; (c) Zn, Cu e B; e (d) Mn e Fe. °, * e **: significativo a 10, 5 e 1 % pelo teste F, respectivamente.

que os fatores em estudo explicaram, com boa confiabilidade, a absorção desses nutrientes.

Os modelos para as concentrações de nutrientes na folha diagnóstica (Figura 2) e de seus respectivos conteúdos na parte aérea das mudas (Figura 3) apresentam comportamento semelhante para a maioria dos nutrientes, exceto para S, Ca, Zn e Fe.

A adubação com superfosfato triplo (SFT) aumentou as concentrações de S e de Ca na folha (Figura 2a,b), provavelmente porque o fertilizante utilizado continha 2,0 % de S e 16,4 % de Ca, favorecendo sua absorção e armazenamento na folha diagnóstica; por outro lado, reduziu o acúmulo total desses nutrientes na parte aérea da planta (Figura 3a,b), possivelmente porque as doses maiores de SFT restringiram o crescimento da parte aérea (Figura 1b). Todavia, deve-se considerar que a adição de P favorece a lixiviação de S e a precipitação de Ca, o que diminuiria o acúmulo total desses nutrientes ao final dos 150 dias de cultivo.

A adubação com SFT aumentou linearmente o conteúdo de Zn na parte aérea (Figura 3c), possivelmente devido ao fornecimento de Zn pelo próprio fertilizante, que continha 0,04 % de Zn. Contudo, sua concentração na folha foi inicialmente reduzida, talvez em razão do efeito de diluição; posteriormente, aumentou e tornou-se mais expressivo com o aumento de FC no substrato, devido à interação significativa entre P e FC, o que pode ter elevado a concentração desse nutriente na folha (Figura 2c), por causa do menor crescimento da parte aérea das plantas nos substratos muito ricos em FC (Figura 1b).

A concentração de Fe na folha diagnóstica foi maior nos extremos das doses de P (Figura 2d), possivelmente devido ao efeito de concentração, visto que, nessa situação, a produção de MSPA foi menor (Figura 1b). Por sua vez, a variação no conteúdo de Fe na parte aérea foi expressiva, apresentando comportamento tipicamente quadrático para P e FC (Figura 3d), semelhante à produção de MSPA

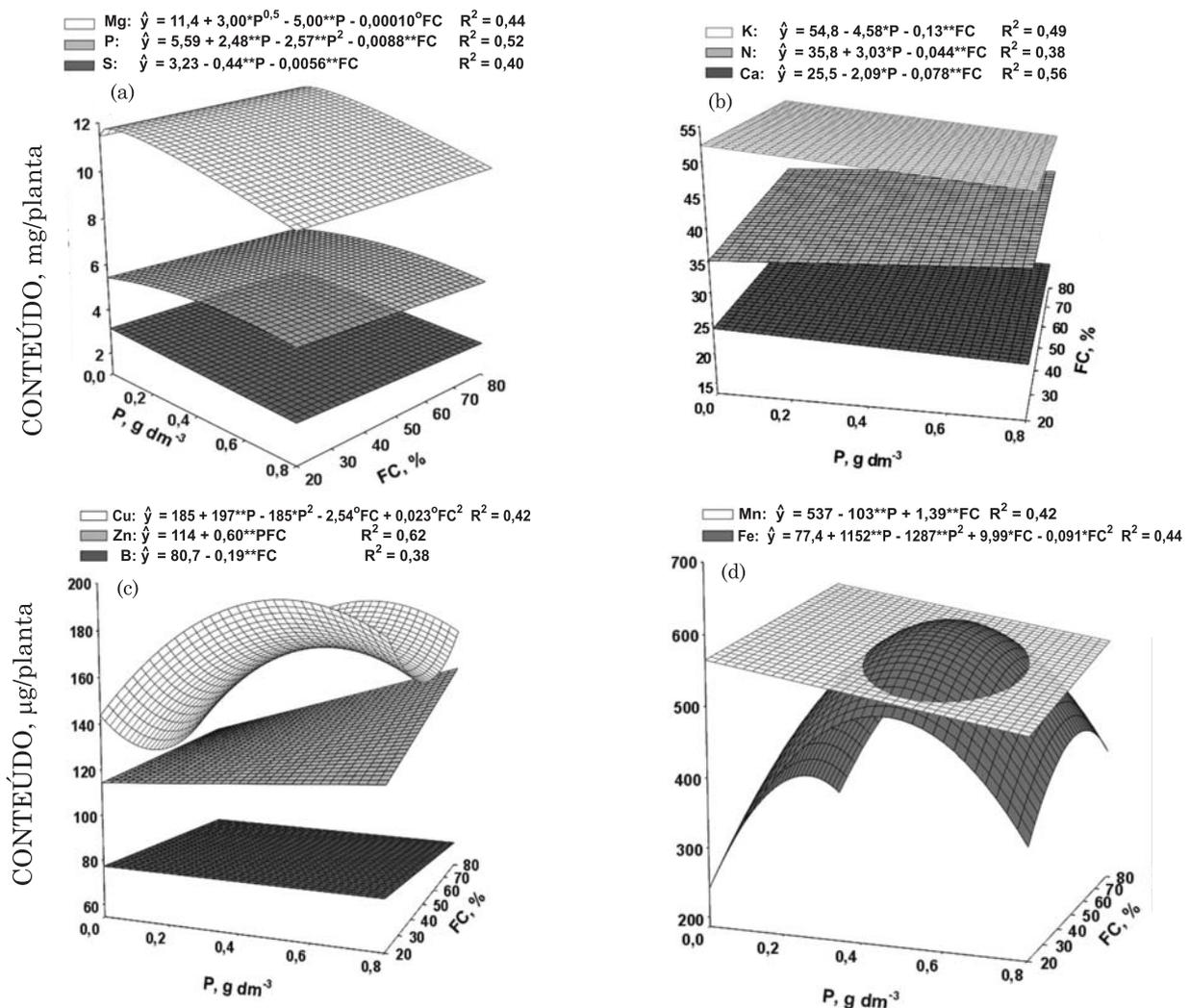


Figura 3. Conteúdo de nutrientes na parte aérea de mudas de cacau, clone PH 16, aos 150 dias, em função da dose de P e da percentagem de fibra de coco (FC) no substrato: (a) Mg, P e S; (b) K, N e Ca; (c) Cu, Zn e B; e (d) Mn e Fe. °, * e **: significativo a 10, 5 e 1 % pelo teste F, respectivamente.

(Figura 1b), porém com amplitude de variação bem superior. Esse comportamento pode ser devido tanto à produção de MSPA quanto à variação da concentração de Fe nos demais compartimentos da planta, em especial nas demais folhas, cuja amplitude foi de 150 a 910 mg kg⁻¹ de Fe. Ao comparar esse limite superior com valores sugeridos como normais por Raij et al. (1997) e Malavolta (2006), pode-se concluir que esse nutriente deve estar em concentração tóxica – fato também constatado por Marrocos & Sodré (2004).

A adubação com SFT, além de aumentar a absorção de P (Figuras 2a e 3a), aumentou também a concentração e o conteúdo de N e Cu na planta (Figuras 2b, 2c, 3b e 3c), mas diminuiu a absorção de Mg, K e Mn (Figuras 2a,b,d e 3a,b,d). O aumento das doses de SFT favorece a lixiviação de Mg e K (Souza Jr. et al., 2008) e, provavelmente, esse foi o principal fator para justificar o menor acúmulo desses nutrientes na planta; contudo, não se pode esquecer que existe inibição competitiva do Ca, presente no SFT, com o Mg e o K (Malavolta, 2006). Para o Mn, há inibição não competitiva com o P (Malavolta, 2006), o que explicaria seu menor acúmulo na planta.

De modo geral, o aumento da proporção de FC no substrato reduziu a concentração e o conteúdo de nutrientes na planta (Figuras 2 e 3), exceto para os micronutrientes catiônicos. A disponibilidade natural pequena da maioria dos nutrientes e a CTC baixa da FC (Quadro 1) favoreceram o suprimento menor de nutrientes às plantas e a perda maior por lixiviação.

A FC é mais pobre em Fe (Quadro 1) e seu aumento da composição do substrato favoreceu a redução da concentração desse nutriente na folha, porém a magnitude dessa variação no modelo foi discreta (Figura 2d). No entanto, o seu conteúdo na planta apresentou efeito quadrático e variação ampla (Figura 3d), sugerindo que apenas a alteração do substrato não seria suficiente para eliminar possíveis problemas de toxidez de Fe. Fatores como pH e condições de oxirredução são determinantes na disponibilidade desse nutriente (Lindsay, 1979). Esses fatores podem auxiliar no entendimento da variação ampla da concentração e do conteúdo de Fe na planta, em especial porque o tubete é pequeno e a perfeita homogeneização dos substratos é difícil de ser conseguida, além de a lâmina de água efetiva que chega a cada tubete poder variar, o que influencia as condições de oxirredução.

A concentração e o conteúdo de Zn e de Mn na planta foram maiores com o aumento de FC no substrato (Figuras 2c,d, 3c,d), apesar de a FC ser mais pobre nesses nutrientes (Quadro 1). Esse resultado pode ser devido à menor disponibilidade de P nos substratos ricos em FC, que favoreceu a absorção de Zn e Mn pelas plantas, devido à inibição da absorção desses últimos nutrientes pelo P (Malavolta, 2006). Não se pode esquecer de que houve oito aplicações de mancozeb, fungicida/acaricida que contém Zn e Mn, o que pode ter influenciado na absorção desses

nutrientes, e de que a disponibilidade de Mn depende das condições de oxirredução e pH do substrato (Lindsay, 1979) e sua absorção é inibida pelo Fe (Malavolta, 2006).

A época de adubação foi analisada por contraste; a aplicação de P em cobertura, aos 30 dias após o estaqueamento, em relação à adubação no preparo do substrato, não resultou em alteração significativa das variáveis de crescimento e nutricionais, exceto porque aumentou a concentração de P e reduziu a de Zn na folha diagnóstica e aumentou o conteúdo de N na parte aérea da muda.

CONCLUSÕES

1. A sobrevivência das mudas não foi alterada por substratos, doses ou épocas de aplicação de P.
2. A adição de P em cobertura, apesar de aumentar seu teor na folha, não resultou em incremento das variáveis de crescimento da muda de cacau.
3. As variáveis biométricas e nutricionais responderam à aplicação de P e à composição do substrato.
4. As proporções melhores de fibra de coco no substrato variaram de 30 a 55 %, em volume, e as doses recomendáveis de P no plantio variaram de acordo com o substrato, sendo o nível crítico foliar de 1,75 g kg⁻¹ de P.

LITERATURA CITADA

- ABAD, M.; FONTES, F.; CARRIÓN, C. & NOGUERA, V. Physical properties of various coconut coir dusts compared to peat. *HortScience*, 40:2138-2144, 2005.
- BARROS, N.F. & NOVAIS, R.F. Eucalipto. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H., eds. Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª aproximação. Viçosa, MG, Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p.303-305.
- BATAGLIA, O.C. & FURLANI, P.R. Nutrição mineral e adubação para cultivos em substratos com atividade química. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE SUBSTRATO PARA PLANTAS, 4., 2004, Viçosa, MG. Anais... Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2004. p.106-125.
- BAUMGARTEN, A. Methods of chemical and physical evaluation of substrates for plants. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE SUBSTRATO PARA PLANTAS, 3., Campinas, 2002. Anais...Campinas, Instituto Agronômico, 2002. p.7-15.
- BRASIL. Instrução Normativa n.46, de 12 de setembro de 2006. Métodos analíticos oficiais para análises de substratos para plantas e condicionadores de solo. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Poder Executivo. Brasília, 14 de set. 2006. n.177, seção 1. p.2-3.

- De BOODT, M. & VERDONCK, O. The physical properties of the substrates in horticulture. *Acta Hortic.*, 26:37-44, 1972.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília, 1999. 370p.
- FARIA, J.C. & SACRAMENTO, C.K. Enraizamento e crescimento de estacas herbáceas do cacauzeiro (clones CEPEC 42, TSH 516 e TSH 1188) em função da aplicação do ácido indolbutílico (AIB). *R. Bras. Frutic.*, 25:192-194, 2003.
- GONÇALVES, J.L.M.; RAIJ, B.van & GONÇALVES, J.C. Florestais. In: RAIJ, B.van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C., eds. Recomendação de adubação e calagem para o estado de São Paulo. 2.ed. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 1997. p.247-259. (Boletim Técnico, 100)
- LINDSAY, W.L. Chemical equilibria in soils. New York, John Wiley & Sons, 1979. 449p.
- MACKAY, A.D. & BARBER, S.A. Effect of soil moisture and phosphate level on root hair growth of corn roots. *Plant Soil*, 86:321-331, 1985.
- MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo, Ceres, 2006. 631p.
- MARROCOS, P.C. & SODRÉ, G.A. Sistema de produção de mudas de cacauzeiros. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE SUBSTRATO PARA PLANTAS, 4., Viçosa. MG, 2004. Anais... Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2004. p.283-311.
- RAIJ, B.van; CANTARELLA, H. & QUAGGIO, J.A. Estimulantes. In: RAIJ, B.van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C., eds. Recomendação de adubação e calagem para o estado de São Paulo. 2.ed. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 1997. p.93-95. (Boletim Técnico, 100)
- SONNEVELD, C.; van der ENDE, J. & van DIJK, P.A. Analysis of growing media by means of a 1:1½ volume extract. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 5:183-202, 1974.
- SOUZA JR., J.O.; CARMELLO, Q.A.C. & FARIA, J.C. Características químicas do lixiviado na fase de enraizamento de estacas de cacau em substratos adubados com fósforo. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:1573-1581, 2008.
- WILLIAMS, K.A. & NELSON, P.V. Modifying a soilless root medium with aluminum influences phosphorus retention and Chrysanthemum growth. *HortScience*, 31:381-384, 1996.