



CRESCIMENTO DE PLANTAS EM FUNÇÃO DO TEMPO DE CONTATO DE FOSFATO COM SOLOS DA AMAZÔNIA CENTRAL

Tainah Manuela Benlolo Barbosa⁽¹⁾; José Zilton Lopes Santos⁽²⁾; Sílvio Vieira da Silva⁽³⁾; Matheus da Silva Ferreira⁽⁴⁾; Iza Maria Paiva Batista⁽⁵⁾; Ives San Diego de Amaral Saraiva⁽⁶⁾

(1,3) Doutorandos em Agronomia Tropical, Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Amazonas - UFAM, Manaus - AM, CEP 69070-000, tainahbenlolo@hotmail.com; silviovieiras@hotmail.com (2) Professor adjunto - UFAM, ziltonlopes@ufam.edu.br; (4) Engenheiro Agrônomo - UFAM, matheus3ferreira@gmail.com; (5) Doutora em Agronomia Tropical - UFAM, izajuba_paiva@yahoo.com.br; (6) Iniciação Científica/Engenharia Florestal - UFAM, sevi_san22@hotmail.com.

RESUMO: A transformação do P no solo para formas não lábeis é dependente do tipo de solo e do tempo de contato fosfato-solo. Avaliou-se o efeito do tempo de contato de P com diferentes tipos de solos da região central da Amazônia sobre o crescimento de sorgo. O experimento consistiu-se de um fatorial 5 x 11 (cinco períodos de incubação de P e onze solos), distribuídos em blocos ao acaso, com três repetições. Aos 50 dias após a semeadura, as plantas foram colhidas e MSPA, MSR e MST foram utilizadas para avaliar o crescimento das plantas. A resposta das plantas de sorgo ao fornecimento de P foi dependente do tipo de solo e do tempo de contato fosfato-solo. De modo geral, o maior crescimento das plantas estavam associados a solos com textura média e com valores de P-rem variando entre 5,0 e 20,0 mg L⁻¹ e que tiveram o maior tempo de contato com o fosfato.

Termos de indexação: Adubação fosfatada, disponibilidade de P e *Sorghum bicolor* L.

INTRODUÇÃO

Os solos de terra firme da região Amazônica são caracterizados por apresentarem restrições químicas que limitam os cultivos agrícolas. Dentre as principais limitações destacam-se: elevada acidez e deficiência generalizada de nutrientes, principalmente o fósforo (P).

Além disso, esses solos apresentam pH ácido com alumínio (Al), ferro (Fe) e manganês (Mn) em solução que contribui para a precipitação do P em formas não absorvíveis pela planta, e também, nesses solos predominam minerais do tipo 1:1 (caulinita), bem como, óxidos de ferro e alumínio, os quais contribuem para a adsorção de P, processo que acarreta a diminuição da eficiência agrônômica dos adubos fosfatados.

Vários são os fatores que influenciam a dinâmica de P no solo, com destaque para teor e tipo de argila, teor de matéria orgânica e tempo de contato do P com o solo. Em relação a este último fator, o aumento do tempo de contato solo-fosfato, causa maior solubilidade da fonte, porém

contribui para uma menor disponibilidade de P para as plantas, devido a formação de P não lábil. Sendo esse efeito mais marcante para as fontes de alta solubilidade.

Gonçalves et al. (1989), estudando o efeito do tempo de contato (300, 240, 180, 120, 60, 30, 15 e 0 dias) do fosfato, nas fontes KH₂PO₄, NH₄H₂PO₄ e NaH₂PO₄, em quatro Latossolos Vermelho-Amarelos e um Latossolo Vermelho-Escuro do cerrado, verificaram que houve decréscimo tanto do P extraível, como na produção de matéria seca do sorgo, com o aumento do tempo de contato fosfato-solo. Freitas et al. (2013) também observaram uma redução nos níveis de P extraído com o aumento do tempo de contato (15, 30, 60 e 120 dias) do P, em fosfatos de solubilidades distintas, com o solo, em três Latossolos do estado de Minas Gerais, sendo a redução mais acentuada na fonte de maior solubilidade (Superfosfato Triplo), especialmente para os solos com menores valores de P remanescente.

Apesar desse padrão de comportamento, são inexistentes informações sobre a dinâmica e labilidade de P, em função do tempo de contato fosfato-solo, em solos da Amazônia central. Diante disso, objetivou-se com o presente estudo avaliar o efeito do tempo de contato de um fosfato solúvel, em diferentes solos da região central da Amazônia, sobre o rendimento de biomassa de plantas de sorgo, cultivar BRS 330.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em casa de vegetação no Departamento de Engenharia Agrícola e Solos da Universidade Federal do Amazonas, Manaus-AM. Utilizando amostras de onze solos, coletadas na camada superficial de 0-20 cm, nos municípios Manacapuru, Presidente Figueiredo, Itacoatiara, Iranduba, Rio Preto da Eva e Manaus, no estado do Amazonas.

A seleção dos locais foi feita procurando abranger ampla faixa de solos que já vem sendo explorados com fins agrícolas na região. A coleta foi efetuada em único ponto sob vegetação nativa



(floresta ombrófila aberta), onde os solos estavam mais preservados e que mantinham suas características físicas e químicas originais.

As amostras de solo foram preparadas, obtendo a terra fina seca ao ar (TFSA) e submetidas às análises químicas e granulométricas (**Tabela 1**). As amostras receberam uma mistura de $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$, p.a. na relação estequiométrica de 4:1, objetivando elevar a saturação por bases (V%) a 60%. Em seguida o solo foi incubado por um período de 30 dias em vasos de polietileno com capacidade de $2,5 \text{ dm}^3$ e a umidade mantida em 60% do volume total de poros, por meio de pesagens diárias dos vasos e adição de água deionizada.

O experimento obedeceu à disposição de delineamento em blocos casualizados com três repetições. Os tratamentos constituíram-se de um fatorial 5×11 , combinando cinco períodos de incubação P (120; 60; 30; 15 e 0 dias) e onze tipos de solos [Manacapuru 1 (S1); Manacapuru 2 (S2); Presidente Figueiredo 1 (S3); Presidente Figueiredo 2 (S4); Itacoatiara (S5); Iranduba 1 (S6); Iranduba 2 (S7); Rio Preto da Eva (S8); Manaus1 (S9); Manaus 2 (S10) e Manaus 3 (S11)].

As doses de P foram definidas de acordo com valor do fósforo remanescente (P-rem) de cada solo (**Tabela 1**), conforme Alvarez V. & Fonseca (1990). Dessa forma os solos S1 e S4 receberam 455 mg dm^{-3} de P; S2 e S11 receberam $385,0 \text{ mg dm}^{-3}$ de P; S3, S5, S7, S8 e S10 receberam $320,0 \text{ mg dm}^{-3}$. Enquanto que os solos S6 e S9 receberam $185 \text{ mg de P dm}^{-3}$ de solo, aplicado, em todos os solos, na forma de solução, utilizando as fontes fosfato de potássio (KH_2PO_4) e Fosfato de Amônio Dibásico [$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$]. Após aplicação do P, os solos foram incubados com umidade em torno de 60% do volume total de poros, os períodos foram iniciados em diferentes épocas, para que, em um mesmo e último dia, os diferentes períodos de equilíbrio P-solo fossem satisfeitos.

Após 48 horas da última incubação (zero dia), foi feita a semeadura de 10 sementes por vaso, de sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench], cultivar BRS 330. Aos treze dias após a semeadura, realizou-se o desbaste, deixando apenas 4 plantas por vaso, época em que foi feita uma adubação básica com macro e micronutrientes adaptada de Allen et al. (1976) e Malavolta (1980) em todas as unidades experimentais. Fornecendo 300 mg de N ; 377 mg de K ; 59 mg de S ; 5 mg de Zn ; $1,5 \text{ mg de Cu}$; $3,6 \text{ mg de Mn}$; $0,8 \text{ mg de B}$ e $0,15 \text{ mg de Mo}$ por dm^3 de solo, aplicados na forma de solução. O fornecimento de N e K foi dividido em três aplicações, sendo a primeira realizada aos 13, a segunda aos 26 e a terceira aos 35 dias após a semeadura. No caso dos solos que receberam N e/ou K no momento da

aplicação do P nas fontes [(KH_2PO_4) e $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$], não foi feita o fornecimento de um e/ou ambos em cobertura, quando as doses de 300 mg de N ou 377 mg de K já tinham sido satisfeitas.

Cinquenta dias após a semeadura, as plantas foram colhidas, separando-as em parte aérea (folhas + caule) e raízes, posteriormente as partes foram lavadas em água destilada e secas a 70°C , em estufa de circulação forçada de ar, até massa constante.

Após a secagem das plantas foi determinada: massa seca da parte aérea (folhas + caule) (MSPA), massa seca de raiz (MSR) e calculado a matéria seca total (MST) ($\text{MST} = \text{MSPA} + \text{MSR}$). As variáveis dependentes foram: MSPA, MSR, MST. A normalidade dos dados foi testada usando o teste de Shapiro-Wilk ($P > 0,05$) antes da análise estatística das variáveis dependentes. Então o teste de Tukey ($P < 0,05$) foi usado para comparar o efeito dos diferentes solos e dos diferentes tempos de contato, utilizando-se o software estatístico SISVAR 5.3 2010.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização granulométrica e química dos solos

Quanto à granulometria dos solos, verifica-se que os teores de argila variaram entre 19,0 a 82,0%, com média de 46,7% (**Tabela 1**). Os solos S3, S6 e S9 enquadraram na classe textura média (15 a 36% de argila), os solos S2, S5, S7 e S10 textura argilosa (36 a 60% de argila) e S1, S4, S8 e S11 textura muito argilosa ($> 60\%$ de argila), sendo a maioria dos solos agrupados na classe textura argilosa ou muito argilosa. Falcão & Silva (2004) estudaram diferentes solos provenientes da região central da Amazônia e verificaram um gradiente textural variando 13,4 e $52,2 \text{ dag kg}^{-1}$ de argila. Comparativamente ao presente estudo, foram verificados valores entre 19 e 82 dag kg^{-1} (argilosa a muito argilosa).

Em relação aos atributos químicos, os valores de P-rem variaram entre 5,47 e $26,57 \text{ mg L}^{-1}$, com média de $16,05 \text{ mg L}^{-1}$. De acordo com esses resultados, os solos S1 e S4 ($0 - 10 \text{ mg L}^{-1}$) foram classificados como muito alto potencial de adsorção de P e os solos S2, S3, S5, S7, S8, S10 e S11 ($10 - 20 \text{ mg L}^{-1}$) classificados com potencial médio de adsorção de P (Wadt & Silva, 2011). Souza et al. (2006) avaliando Latossolos de Minas Gerais, observaram que aqueles solos que possuíam P-rem entre 8,3 e $26,8 \text{ mg L}^{-1}$ apresentavam CMAP variando de 1274,98 a $306,32 \text{ (mg kg}^{-1})$.

Os valores de pH em água variaram entre 3,9 a 4,7 e maioria dos solos apresentaram valores de pH muito baixo, sendo classificados como acidez muito elevada e elevada (CFSEMG, 1999). Os baixos valores de pH desses solos são



consequência do material de origem com baixos teores de cátions de caráter básico, devido a remoção de cátions básicos do complexo de troca e consequente acúmulo de cátions de natureza ácida como H e Al, processo comum em regiões com elevadas taxas de precipitação pluvial e temperatura.

No que se refere às concentrações de P disponível (extrator Melich 1), os teores de P variaram de 1,42 a 5,8 mg dm⁻³ (**Tabela 1**), com a maioria os solos avaliados classificados nas faixas baixa ou muita baixa disponibilidade, com exceção do solo 9, que apresentou teores médios (CFSEMG, 1999).

Efeito do tipo de solo no crescimento das plantas

De modo geral, os maiores valores de MSPA foram observados nos solos S1, S3, S5, S7, S9 e S10, embora não diferenciando significativamente entre si. Comportamentos semelhantes foram observados para as características MSR e MST, principalmente para os solos S3 e S7 (**Tabela 2**). Por outro lado, verifica-se que os menores valores de MSPA, MSR e MST foram encontradas nas plantas cultivadas no solo 11 (**Tabela 2**).

De modo geral, a produção de MSPA foi pouco afetada pelo fornecimento de P. Por outro lado, com o fornecimento de doses crescentes de P, notou-se uma diminuição na produção de MSR. No entanto, quando relaciona o particionamento de matéria seca entre raiz e parte aérea, é interessante observar que não há uma estreita relação entre produção de matéria seca da raiz e dose de P recebida. Uma vez que há solos que receberam maiores doses de P e proporcionaram tanto baixos quanto altos ganhos de MSR. Apesar disso, os solos que receberam as menores doses de P (S6 e S9) proporcionaram os maiores ganhos de MSR.

Segundo dados da literatura, os solos de textura média, como S3, S6 e S9 possuem maior potencial em disponibilizar P para as plantas. Porém, no presente estudo esse comportamento não ficou nítido, provavelmente em função de haver outro atributo preponderante sobre o mesmo, uma vez que, os maiores valores para esta variável foram obtidos em solos de diferentes classes texturais: S3 e S9 (média), S5 e S7 (argilosa) e S1 e S10 (muito argilosa). Falcão e Silva (2004) estudando solos da Amazônia Central verificaram que a capacidade máxima de adsorção correlacionou-se positivamente com o teor de argila e o alumínio trocável.

Quanto ao P-rem, apesar dos solos S1 e S4 apresentarem os menores valores, sendo classificados como alto potencial de retenção de P, não influenciaram de forma negativa a produção de MSPA do sorgo. Por outro lado, os solos S6 e S9, com maiores valores de P-rem,

ainda assim, não proporcionaram os melhores resultados.

No que se refere ao pH, mesmo os valores iniciais sendo baixos e muito baixos, entre 3,9 e 4,7, a calagem prévia proporcionou a elevação da acidez ativa da seguinte forma: solos de textura média, atingiram pH = 6,6; textura argilosa pH = 6,3; e textura muito argilosa pH = 6,8 (dados não apresentados). De acordo com esses resultados, a elevação do pH proporcionou uma condição em que não há precipitação de P com Fe ou Al e adsorção de P, mas, acima de 6,5 pode haver precipitação de P com Ca. Considerando tais resultados, há indício de que outros fatores possam ter influenciado na resposta da planta à adubação fosfatada.

Desta forma, embora não tenham sido verificados estudos com a cultivar BR-330, trabalhos demonstram que o sorgo possui baixa exigência em P (Rosolem & Malavolta, 1981). Por outro lado, Cessa et al. (2011) avaliando o crescimento do sorgo, cultivar BR-304, em um Latossolo Vermelho Distroférico muito argiloso, de acidez muito elevada e baixo P-disponível, em função da aplicação de doses de P (0, 160, 280, 420 e 560 mg dm⁻³), verificaram que a máxima produção de matéria seca foi obtida com a dose 298,94 mg dm⁻³ de P.

Efeito do tempo de contato fosfato - solo e crescimento das plantas

O tempo de incubação do P com o solo afetou significativamente ($P \leq 0,05$) as variáveis de crescimento do sorgo, exceto a MSR (**Tabela 3**). Os maiores valores de MSPA e MST foram observados quando o P ficou mais tempo em contato com o solo, 60 e 120 dias. Enquanto que os períodos de incubações 30, 15 e 0 dias não diferenciaram significativamente entre si (**Tabela 3**).

Os maiores valores de MSPA e MST nos maiores tempo de contato (60 e 120 dias), possivelmente está relacionado à necessidade de um maior tempo de contato para que ocorra equilíbrio entre a fonte de P adicionada e o solo. Apesar de esses solos apresentarem os minerais caulinita e óxidos de Fe, especialmente goethita (Falção & Silva, 2004).

De modo geral, os solos de terra firme da Amazônia tendem a adsorver menos P comparados com solos de outras regiões do Brasil, com valores que na maioria das vezes não atingem 1000 mg dm⁻³. Além disso, deve ser considerado que o P é retido com menor energia na superfície dos minerais à medida que a superfície de adsorção torna saturada, o que pode acontecer com o aumento do período de incubação do P com o solo.

Segundo Freitas et al. (2013) o efeito do tempo de incubação de P está relacionado com a



solubilidade da fonte de P e as propriedades do solo que traduzem em maior ou menor capacidade de adsorção de P, de modo que, fontes com maior solubilidade em contato com o solo com baixo P-rem por maior tempo pode proporcionar a redução da recuperação do P em solução. Barbosa et al. (2015) avaliando o comportamento das fontes Termofosfato Magnésiano Yoorin, Fosfato Reativo Arad, Superfosfato Triplo, Fosfato de Araxá e Ácido Fosfórico em um Latossolo Amarelo Distrófico textura argilosa, e médio P-rem, na região de Manaus-AM, verificaram que após a incubação por 30 dias de 250 mg dm⁻³ de P, a taxa de recuperação de P resina foi de 58,24; 53,84; 44,23; 37,76 e 9,43% para as fontes Termofosfato Magnésiano Yoorin, Fosfato Reativo Arad, Superfosfato Triplo, Fosfato de Araxá e Ácido Fosfórico, respectivamente.

Considerando que o processo de adsorção envolve a atuação de vários fatores, haverá, portanto, diferenças entre solos quanto ao tamponamento de P, condicionando o manejo da adubação fosfatada nos solos da região Amazônica.

CONCLUSÕES

A resposta das plantas de sorgo ao fornecimento de P foi dependente do tipo de solo e do tempo de contato fosfato-solo.

De modo geral, o maior crescimento das plantas estavam associados a solos com textura média e com valores de P-rem variando entre 5,0 e 20,0 mg L⁻¹ e que tiveram o maior tempo de contato com o fosfato.

REFERÊNCIAS

ALLEN, S. E. et al. Greenhouse techniques for soil-plant-fertilizer research. Muscle Shoals: National Fertilizer Development Center, 1976.55p.

ALVAREZ, V. H. & FONSECA, D. M. Definição de doses de fósforo para determinação da capacidade máxima de adsorção de fosfatos e para ensaios em casa de vegetação. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 14: 49-55, 1990.

BARBOSA, T. M. B. et al. Phosphorus Sources: Effects on Growth and Phosphorus Fractions of Curauá (*Ananas erectifolius* L. B. Smith). Communications in Soil Science and Plant Analysis, 46: 1200- 1211, 2015.

CESSA, R. M. A. et al. Absorção de fósforo e crescimento do Sorgo em função de aplicação de silício e fósforo em Latossolo Vermelho distroférrico. Revista de Ciências Agrárias, 34: 135-142, 2011.

Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5.ed., Lavras, 1999. 359p.

FALCÃO, N. P. S. & SILVA, J. R. A. Características de adsorção de fósforo em alguns solos da Amazônia Central. Acta Amazônica, 34: 337-342, 2004.

FREITAS, I. et al. Phosphorus extracted by ion exchange resins and mehlich-1 from oxisols (Latosols) treated with different phosphorus rates and sources for varied soil-source contact periods. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 37: 667-677, 2013.

GONÇALVES, J. L. M et al. Cinética de transformação de fósforo-lábil em não lábil, em solos de cerrado. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 13:13-24, 1989.

MALAVOLTA, E. Elementos da nutrição mineral de plantas. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251p.

ROSOLEM, C. A. & MALAVOLTA, E. Exigências Nutricionais do sorgo sacarino. Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, vol.38 no.1, Piracicaba, 1981.

SOUZA, R. F. et al. Calagem e adubação orgânica: influência na adsorção de fósforo em solos. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 30: 975-983, 2006.

WADT, P. G. S. & SILVA, L. M. Determinação do fósforo remanescente para a avaliação da disponibilidade de fósforo em solos do Estado do Acre. Rio Branco: Embrapa Acre, 2011. 5 p. (Embrapa Acre. Comunicado técnico, 178).

Tabela 1. Atributos químicos e granulométricos dos solos estudados.

Características	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11
pH (H ₂ O)	4,7	4,4	4,4	4,1	4,2	4,1	4,0	4,1	4,2	3,9	4,4
P (mg dm ⁻³) (M)	5,81	3,21	1,42	2,00	1,42	2,30	2,60	2,60	45,30	2,91	1,71
P-rem (mg L ⁻¹)	5,47	12,53	18,88	5,79	17,11	22,22	17,11	17,71	26,57	15,49	17,71
M.O(dag kg ⁻¹)	3,28	2,61	1,18	2,11	1,87	2,48	2,48	1,64	2,74	1,87	1,64
Argila (dag kg ⁻¹)	62	36	22	74	36	22	39	67	19	55	82

S1 e S2 = Manacapuru; S3 e S4 = Presidente Figueiredo; S5 = Itacoatiara; S6 = Iranduba; S7 = Iranduba; S8 = Rio Preto da Eva; S9, S10 e S11 = Manaus/ M: Mehlich-1.

Tabela 2. Produção de matéria seca de plantas de sorgo, em função do tipo de solo, aos 50 dias, em casa de vegetação.

SOLO	MSPA	MSR	MST
	g planta		
1	36,00 abcd	5,94 cd	41,94 bcd
2	32,51 cd	6,48 bcd	38,99 cd
3	36,13 abcd	7,03 abc	43,16 abcd
4	32,93 cd	5,71 cd	38,63 cd
5	38,48 ab	6,53 bcd	45,01 ab
6	35,38 bcd	8,35 a	43,73 abc
7	37,09 abc	6,85 abcd	43,94 abc
8	32,31 d	5,39 de	37,70 d
9	36,37 abcd	7,64 ab	44,01 abc
10	40,40 a	7,11 abc	47,52 a
11	26,16 e	4,02 e	30,18 e
CV (%)	11,29	20,41	11,22

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem significativamente (p<0,05) pelo teste de Tukey.

Tabela 3. Produção de matéria seca de plantas de sorgo durante 50 dias em casa de vegetação, em função do tempo de contato fosfato - solo

Tempo de contato	MSPA	MSR	MST
	g planta		
0	33,92 bc	6,36 a	40,28 bc
15	33,41 c	6,06 a	39,47 c
30	33,90 bc	6,20 a	40,10 c
60	36,80 a	6,80 a	43,60 a
120	36,40 ab	6,88 a	43,28 ab
CV (%)	11,29	20,41	11,22

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem significativamente (p<0,05) pelo teste de Tukey.