

## Determinação do Fósforo Remanescente para a Avaliação da Disponibilidade de Fósforo em Solos do Estado do Acre

Paulo Guilherme Salvador Wadt<sup>1</sup>  
Lucieli Manoel da Silva<sup>2</sup>

Foto: Sérgio Shimizu



### Introdução

Dentre os 17 elementos essenciais à nutrição das plantas, o nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) são requeridos em maiores quantidades nas adubações. Em países de regiões tropicais, como o Brasil, o P é geralmente recomendado em maiores proporções nas adubações, devido aos processos de fixação desse elemento que ocorrem nos solos nessas regiões.

Quando uma fonte de P solúvel é adicionada a um solo tipicamente tropical (Figura 1), até 90% do P aplicado pode reagir na primeira hora de contato, por meio de reações químicas de adsorção ou precipitação.

O processo de passagem do P da solução do solo, onde é disponível às culturas, para a fase sólida, pelas reações de adsorção ou precipitação – usualmente denominadas de adsorção –, consiste

na passagem do P da fase lábil para a fase não lábil e denomina-se fixação de P.

A fração do P fixado estará “indisponível” para as plantas, embora, uma fração dele possa retornar à solução do solo quando sua concentração diminuir pela absorção das plantas, nos processos de solubilização e/ou dessorção de P. A capacidade de um solo em solubilizar ou dessorver o P adsorvido denomina-se capacidade tampão para P ou fator capacidade de fósforo (FCP), sendo esse processo comum em diversos solos de regiões tropicais (Figura 1).

A disponibilidade de fósforo às plantas tem sido avaliada por vários extratores químicos que quantificam o P em solução e uma fração variável do P-lábil do solo. Para cada extrator é feita uma calibração possibilitando definir o nível crítico de P extraído que corresponde a 90% da produtividade máxima.

<sup>1</sup>Engenheiro-agrônomo, D.Sc. em Solos e Nutrição Mineral de Plantas, pesquisador da Embrapa Acre, paulo@cpafac.embrapa.br

<sup>2</sup>Engenheiro-agrônomo, M.Sc. em Genética e Melhoramento de Plantas, analista da Embrapa Acre, lucielio@cpafac.embrapa.br



**Figura 1.** Exemplo de solo do Estado do Acre com elevada capacidade tampão de fosfato.

Entretanto, a disponibilidade de P do solo é dependente do FCP, o qual apresenta estreita correlação com o P remanescente (quantidade do fósforo adicionado que fica na solução de equilíbrio após determinado tempo de contato com o solo, P-rem), fazendo com que a determinação dessa fração possa ser utilizada para auxiliar na interpretação dos teores de fósforo disponível às plantas.

O nível crítico de P extraído por solução ácida de Mehlich-1 é dependente do FCP, podendo ser estimado com base no P-rem pela equação:  $NiCri P = 4,62 + 0,324731 \times (P\text{-rem}) + 0,00160568 \times (P\text{-rem})^2$  (ALVAREZ, 2000), sendo: NiCri P = nível crítico para P, em  $mg\ dm^{-3}$ ; P-rem = teor de fósforo na solução remanescente de equilíbrio com o solo, em  $mg\ dm^{-3}$ .

Wadt e Cravo (2005), com base nesse modelo, sugeriram três classes de disponibilidade de fósforo para solos do Estado do Acre:

- 1) Solos com alto FCP:  
P-rem <  $10\ mg\ dm^{-3}$ .
- 2) Solos com médio FCP:  
P-rem entre  $10\ mg\ dm^{-3}$  e  $30\ mg\ dm^{-3}$ .
- 3) Solos com baixo FCP:  
P-rem >  $30\ mg\ dm^{-3}$ .

O limite entre as classes de baixo e médio FCP foi determinado em  $10\ mg\ dm^{-3}$  de P-rem, de forma que as classes de disponibilidade de P em solos com alto FCP (NiCri =  $8\ mg\ dm^{-3}$ ) foram:

- 1) Baixa disponibilidade de P:  
 $NiCri P \times 0,725 < 6\ mg\ dm^{-3}$ .
- 2) Média disponibilidade de P:  
entre  $6\ mg\ dm^{-3}$  e  $12\ mg\ dm^{-3}$ .
- 3) Alta disponibilidade de P:  
 $NiCri P \times 1,50 > 12\ mg\ dm^{-3}$ .

Como limite, entre as classes de médio e alto FCP, foi determinado um valor entre  $10\ mg\ dm^{-3}$  e  $30\ mg\ dm^{-3}$  de P-rem, ficando as classes de disponibilidade de P, para solos com médio FCP (NiCri =  $16\ mg\ dm^{-3}$ ), assim definidas:

- 1) Baixa disponibilidade de P:  
 $NiCri P \times 0,725 < 10\ mg\ dm^{-3}$ .
- 2) Média disponibilidade de P:  
entre  $10\ mg\ dm^{-3}$  e  $24\ mg\ dm^{-3}$ .
- 3) Alta disponibilidade de P:  
 $NiCri P \times 1,50 > 24\ mg\ dm^{-3}$ .

Para solos com baixo FCP foi determinado o valor máximo de  $60\ mg\ dm^{-3}$  de P-rem e as classes de disponibilidade (NiCri =  $30\ mg\ dm^{-3}$ ) foram definidas em:

- 1) Baixa disponibilidade de P:  
 $NiCri P \times 0,50 < 15\ mg\ dm^{-3}$ .
- 2) Média disponibilidade de P:  
entre  $15\ mg\ dm^{-3}$  e  $45\ mg\ dm^{-3}$ .
- 3) Alta disponibilidade de P:  
 $NiCri P \times 1,50 > 45\ mg\ dm^{-3}$ .

O objetivo dos referidos autores foi estabelecer um menor número de classes de interpretação para o teor de P disponível, sem desconsiderar o FCP, que poderia ser estimado por meio do P-rem ou do teor de argila dos solos.

Entretanto, esse modelo pode superestimar as doses de fósforo recomendadas em solos

arenosos (teor de areia > 850 g kg<sup>-1</sup>) ou subestimar nos argilosos ou com altos teores de Al em formas parcialmente cristalinas, como ocorre em diversos solos do Estado do Acre. As práticas agrícolas também afetam os processos de adsorção e precipitação de P. A adsorção de P pode ser alterada pela calagem, por práticas de manejo de resíduos que afetem a matéria orgânica do solo ou pela adição de fertilizantes.

Além disso, no Estado do Acre ocorrem solos argilosos com argilas de baixa e alta atividade, com proporções variáveis de alumínio interestratificado, o que aumenta a chance de erros pelo uso do teor de argila para estimar o FCP.

Dada a implantação da rotina de determinação do teor de P-rem, no Laboratório de Solos da Embrapa Acre, desde 2009 (SILVA; WADT, 2009), optou-se por rever as classes de interpretação de P-rem, propondo-se cinco classes para a

interpretação da disponibilidade de P às plantas a partir do FCP (muito baixa, baixa, média, alta e muito alta), reduzindo a amplitude dos teores de P extraído dentro de cada uma das novas classes.

Assim, na definição das novas classes (Tabela 1) adotou-se o seguinte critério:

- 1) Solos com muito alto FCP:  
teor de P-rem ≤ 3 mg dm<sup>-3</sup>.
- 2) Solos com alto FCP:  
teor de P-rem > 3 mg dm<sup>-3</sup> e ≤ 9 mg dm<sup>-3</sup>.
- 3) Solos com médio FCP:  
teor de P-rem > 9 mg dm<sup>-3</sup> e ≤ 18 mg dm<sup>-3</sup>.
- 4) Solos com baixo FCP:  
teor de P-rem > 18 mg dm<sup>-3</sup> e ≤ 36 mg dm<sup>-3</sup>.
- 5) Solos com muito baixo FCP:  
teor de P-rem > 36 mg dm<sup>-3</sup>.

**Tabela 1.** Classes de interpretação da disponibilidade de fósforo extraído com solução de Mehlich-1, em mg dm<sup>-3</sup>, em função do fator capacidade de fósforo (FCP) estimado pelo teor P-rem, em mg dm<sup>-3</sup>.

FCP	P Mehlich-1					
	P-rem	Muito baixa	Baixa	Média	Boa	Muito boa
	-----mg dm <sup>-3</sup> -----					
Muito alto	P-rem ≤ 3	P < 3	3 ≤ P < 4	4 ≤ P < 6	6 ≤ P < 8	P ≥ 8
Alto	3 < P-rem ≤ 9	P < 4	4 ≤ P < 6	6 ≤ P < 8	8 ≤ P < 12	P ≥ 12
Médio	9 < P-rem ≤ 18	P < 5	5 ≤ P < 8	8 ≤ P < 11	11 ≤ P < 16	P ≥ 16
Baixo	18 < P-rem ≤ 36	P < 9	9 ≤ P < 13	13 ≤ P < 18	18 ≤ P < 28	P ≥ 28
Muito baixo	P-rem > 36	P < 15	15 ≤ P < 22	22 ≤ P < 30	30 ≤ P < 45	P ≥ 45

Os teores de NiCri P foram calculados pela equação proposta por Alvarez et al. (2000) para os valores limites de 3 mg dm<sup>-3</sup>, 9 mg dm<sup>-3</sup>, 18 mg dm<sup>-3</sup>, 36 mg dm<sup>-3</sup> e 60 mg dm<sup>-3</sup>, correspondendo a 6 mg dm<sup>-3</sup>, 8 mg dm<sup>-3</sup>, 11 mg dm<sup>-3</sup>, 18 mg dm<sup>-3</sup> e 30 mg dm<sup>-3</sup> de P-rem, sendo as classes de disponibilidade assim definidas: muito baixa

(menor que 0,500 x NiCri P), baixa (de 0,500 a 0,725 x NiCri P), média (de 0,725 a 1,000 x NiCri P), boa (de 1,000 a 1,500 x NiCri P) e muito boa (acima de 1,500 x NiCri P), resultando em 25 classes de disponibilidade de fósforo extraído por Mehlich-1 (Tabela 1) que correspondem às mesmas classes propostas por Alvarez et al. (2000).

Para a leitura dessa tabela, primeiro deve-se localizar a faixa de interpretação para o FCP em função do teor de P-rem indicado na análise de solos; a seguir, procura-se o teor de P extraído pelo Mehlich-1, obtendo-se a classe de disponibilidade de P correspondente ao solo em análise.

A dose de P a ser aplicada deve ser obtida nas tabelas de adubação (WADT; CRAVO, 2005), fazendo-se uma correção, conforme especificado

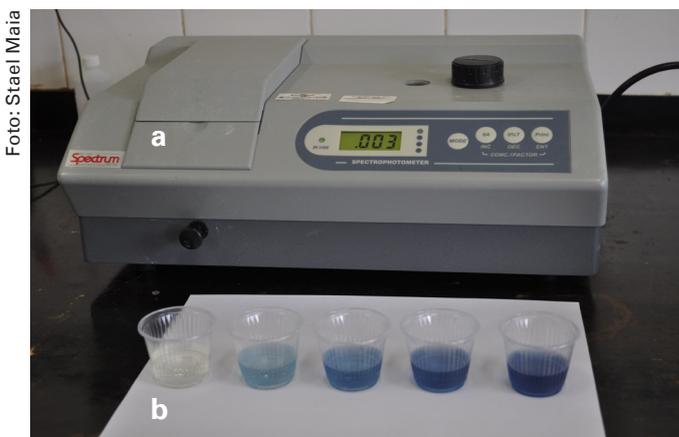
na Tabela 2. Assim, se a disponibilidade de P na tabela atual for muito baixa, deve-se multiplicar a quantidade de  $P_2O_5$  indicada na tabela antiga no nível de baixa disponibilidade por 1,20 (aumento de 20% na adubação recomendada). Se a disponibilidade de P na tabela atual for muito boa, multiplica-se a quantidade de  $P_2O_5$  indicada na tabela antiga por 0,83 (redução de 20% na adubação atualmente recomendada). Nos demais casos, deve-se usar a quantidade de  $P_2O_5$  indicada nas classes correspondentes.

**Tabela 2.** Correção da dose de  $P_2O_5$  indicada nas tabelas de recomendação de P com base na interpretação da disponibilidade do nutriente no solo.

Classe de disponibilidade de P		Fator de correção
Tabela atual	Tabela antiga	
Muito baixa	Baixa	1,20
Baixa	Baixa	1,00
Média	Média	1,00
Boa	Alta	1,00
Muito boa	Alta	0,83

Para utilizar a nova tabela de interpretação, o P-rem deve ser determinado pela seguinte rotina laboratorial:

Adicionar em amostras TFSA uma solução de equilíbrio de  $0,01 \text{ mol L}^{-1}$  de  $CaCl_2$ , contendo  $60 \text{ mg L}^{-1}$  de P (utilizar o  $KH_2PO_4$  como fonte de P), na relação solo:solução 1:10 (ALVAREZ et al., 2000). A seguir, agitar as amostras por 30 minutos a 150 rpm, deixando-as em repouso o pernoite, cerca de 16 horas (Figura 2). No dia seguinte, é determinado o teor de P na solução pelo método de colorimétrico (Figura 3a e 3b).



**Figura 3.** Espectrofotômetro UV/Visível utilizado para leitura colorimétrica do P na solução (a) e extratos de amostras de solos com variados teores de P na solução (b).



**Figura 2.** Extratos prontos para a dosagem dos teores de P-rem, após 16 horas de descanso.

## Referências

ALVAREZ, V. H. V.; NOVAIS, R. F.; DIAS, L. E.; OLIVEIRA, J. A. Determinação e uso do fósforo remanescente. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 25, n. 1, p. 27-32, jan./mar. 2000.

SILVA, L. M.; WADT, P. G. S. **Laboratório de Solos da Embrapa Acre**: Labsolos. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2009. 1 Folder.

WADT, P. G. S.; CRAVO, M. S. Interpretação de resultados de análises de solos. In: WADT, P. G. S. (Ed.). **Manejo do solo e recomendação de adubação para o Estado do Acre**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2005. p. 245-252.

### Comunicado Técnico, 178

Ministério da  
Agricultura, Pecuária  
e Abastecimento



Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:  
**Embrapa Acre**  
**Endereço:** Rodovia BR 364, km 14, sentido Rio Branco/Porto Velho, Caixa Postal 321, Rio Branco, AC, CEP 69908-970  
**Fone:** (68) 3212-3200  
**Fax:** (68) 3212-3284  
<http://www.cpafac.embrapa.br>  
[sac@cpafac.embrapa.br](mailto:sac@cpafac.embrapa.br)  
**1ª edição**  
1ª impressão (2011): 200 exemplares

### Comitê de publicações

**Presidente:** *Maria de Jesus Barbosa Cavalcante*  
**Secretária-Executiva:** *Suely Moreira de Melo*  
**Membros:** *Andréa Raposo, Elias Melo de Miranda, Ernestino de Souza Gomes Guarino, Maykel Franklin Lima Sales, Romeu de Carvalho Andrade Neto, Tadário Kamel de Oliveira, Tatiana de Campos, Uilson Fernando Matter, Virgínia de Souza Álvares*

### Expediente

**Supervisão editorial:** *Claudia C. Sena/Suely M. Melo*  
**Revisão de texto:** *Claudia C. Sena/Suely M. Melo*  
**Normalização bibliográfica:** *Riquelma de Sousa de Jesus*  
**Tratamento das ilustrações:** *Bruno Imbroisi*  
**Editoração eletrônica:** *Bruno Imbroisi*