

EFEITO DAS PROPRIEDADES DO SOLO NA DESORÇÃO DO FÓSFORO DISPONÍVEL EM DIFERENTES SOLOS MARANHENSES**(Effect of soil properties on the evaluation of available P in different soils of Maranhão State)****Elias Afif***

RESUMO: Conhecer como atua um extrator, que dá uma medida da quantidade de fósforo no solo disponível para a planta durante seu período de crescimento, ajuda a compreender qual pode ser melhor para um determinado solo e a planejar os experimentos de campo. Por este motivo e para obter dados que levem a um uso racional dos fertilizantes, estudou-se um grupo de solos representativos de áreas agrícolas importantes em Pinheiro, Bacabal e Balsas, com os seguintes objetivos: a) comparar e observar o comportamento e a sensibilidade dos diferentes extratores químicos para extrair uma porção de P lábil nos solos; b) avaliar o efeito das propriedades do solo na porção de P lábil extraído por um determinado extrator. Os solos selecionados apresentavam um amplo intervalo de variação nas propriedades que se consideram importantes na dinâmica do fósforo, tais como o conteúdo de argila, matéria orgânica e óxidos de ferro solúvel em oxalato. O método de Mehlich ou norte da Califórnia e o método de Bray I podem ser indicados e aplicados, em geral, para solos neutros e ácidos. Os valores do fósforo assimilável extraído pelo método da resina de troca aniônica ou pelo método de Mehlich podem elevar-se com o incremento das quantidades de argila.

PALAVRAS CHAVES: Fósforo assimilável; Análises do solo; Maranhão

SUMMARY: Understanding how an extractor that gives the amount of available phosphorus in soil affect plant development helps to manage the P fertility of soils and designing field experiments. For this reason, we studied a group of representative soils of agricultural areas in Pinheiro, Bacabal and Balsas to obtain data that leads to rational use of fertilizers. In particular: we compared and observed a) the behavior and sensibility of different chemical extractors regarding the time of extracting labile P in soils; b) the effect of soil properties in relation to portions of labile P extracted with a specific extractor. The selected soils have presented an interval of variation in properties and are considered important in phosphorus dynamics, such as the

* Prof. Dr. Visitante do Curso de Mestrado em Agroecologia - Deptº. Engª. Agrícola - UEMA.

content of clay, organic matter and soluble iron oxide in oxalate. The methods of Mehlich or North Carolina and Bray can be indicated and applied in neutral and acid soils. Similar values for soil P extracted with the methods of anionic exchange Resin and Mehlich can increase with the quantities of clay.

KEY WORDS: Availabel P; Soil analysis; Maranhão State

1 INTRODUÇÃO

Ao estimar a disponibilidade do fósforo nos solos têm-se objetivos práticos e claros: prever se os cultivos respondem aos fertilizantes, em caso afirmativo, as doses necessárias para obter rendimentos adequados. Na rotina habitual, a disponibilidade do fósforo nos solos estima-se mediante as quantidade extraídas por diferentes "extratores". Conhecer como atua um extrator, que dá uma medida da quantidade de fósforo no solo disponível para a planta durante seu período de crescimento (HOLFORD & MATTINGLY, 1979), ajuda a compreender qual pode ser melhor para um solo determinado e a planejar os experimentos de campo.

Os objetivos de um extrator são agrupar os solos para o propósito de recomendações de fertilizantes (KAMPRATH & WATSON, 1980; MATAR & SOMEL, 1987) e dar um índice da quantidade de fósforo que um solo pode oferecer (HOLFORD & MATTINGLY, 1979; KAMPRATH & WATSON, 1980). Isso permite fazer um balanço de perdas e ganhos, e tomar decisões para manter adequadamente a fertilidade.

Os extratores devem ajustar-se a determinados critérios. Em primeiro lugar deverá simular o sistema radicular das plantas ao extrair uma quantidade de fósforo que está relacionada diretamente com o fósforo lábil. Ao mesmo tempo, a quantidade de fósforo extraído deve estar correlacionada inversamente com a capacidade tampão do fosfato no solo. Em segundo lugar, o fósforo extraído deveria estar correlacionado com parâmetros de crescimento das plantas, como a

porcentagem de rendimento máximo ou o fósforo absorvido pela planta (FITTS & NELSON, 1956 apud KAMPRATH & WATSON, 1980). Em terceiro lugar, o nutriente extraído deveria ser medido com maior exatidão e rapidez.

Em termos gerais, as condições anteriores não se cumprem. Isso é devido a uma questão conceitual básica de como as plantas respondem, pelo menos, a dois fatores: quantidade e intensidade e o extrator só dá um valor de disponibilidade. Isto explica que não existe um extrator universal, sendo que cada extrator é adequado somente a um determinado grupo de solos, para os que integram de forma aceitável os fatores de disponibilidade de fósforo para a planta.

Os extratores são de quatro tipos:

1. Ácidos fortes a baixas concentrações (HCl , HNO_3 , H_2SO_4). As concentrações variam de 0.002 N a 0.075 N e de pH 2 a 3. Atualmente são pouco usados.
2. Ácidos Fortes diluídos e um íon complexo. Em geral este íon é o flúor (F^-), que forma complexos muito estáveis com o Al, e desta maneira, libera o fósforo dos fosfatos de alumínio. Também o F^- é capaz de precipitar o Ca e portanto, o fósforo presente no fosfato de Cálcio é extraído por estas soluções. Geralmente usa-se o NH_4F . Entre eles são: Bray I (HCl 0.025 N + NH_4F 0.03 N) e Bray II (HCl 0.1 N + NH_4F 0.03 N).
3. Ácidos fracos diluídos. Os mais comuns são: o ácido cítrico a 1%, e o extrator de Egner (lactado de Ca 0.02 N + HCl 0.02 N) e o de Morgan (ácido acético 0.54 N + NaOAc 0.7 N (pH 4.8). Os ânions formam complexos com cátions polivalentes liberando fosfato, podendo substituir o fosfato adsorvido e impedir sua reabsorção.

4. Dissoluções alcalinas tamponadas com HCO_3^- . Os dois mais utilizados são o de Olsen e o de Cowell (NaHCO_3 0.5 M, $\text{pH} = 8.5$), o primeiro com uma relação solo: solução de 1:20 e o segundo de 1:100, com tempos respectivos de 0.5 e 16 horas. Neste caso os íons bicarbonato substituem o fosfato adsorvido e o Na reduz a atividade de Ca em dissolução (OLSEN et al., 1954). Além do mais, o tamponamento a pH alto faz com que se dissolvam parte dos fosfatos de Fe e Al (Estes íons precipitam como hidróxidos). De todos os métodos anteriores, os de Bray e de Olsen tem sido os mais estudados e aplicados. O primeiro se usa para solos ácidos e neutros e o segundo para solos calcários e neutros.

De acordo com o que foi mencionado anteriormente, os objetivos deste trabalho foram: a) comparar e observar o comportamento e a sensibilidade de quatro extratores químicos de P lábil nos solos; b) avaliar o efeito das propriedades do solo na porção de P lábil extraído por um determinado extrator.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Solos utilizados e pré-tratamento das amostras

Foram selecionados oito solos maranhenses representativos de áreas agrícolas importantes como: Pinheiro, Bacabal e Balsas. Estes solos classificaram-se de forma predominante como Plintossolo, Podzólico e Latossolo vermelho amarelo, respectivamente (EMBRAPA, 1986) (TAB. 1). As amostras foram tomadas a 0 - 20 cm de profundidade aproximadamente (camada arável), em nenhum caso havia sido corrigido com fosfato anteriormente.

As amostras secaram ao ar livre e à temperatura ambiente, foram destorroadas, trituradas suavemente e peneiradas em crivo de malha circular de 2 mm para separar os elementos mais grossos.

2.2 Propriedades físicas, químicas e mineralógicas

Entre as propriedades físicas foram determinadas a umidade higroscópica (as amostras foram postas para secar em estufa a 110 °C durante 24 h, a textura foi avaliada segundo o método da pipeta (EMBRAPA, 1979).

Em relação às propriedades químicas, foram feitas as seguintes determinações: pH em CaCl_2 0.001 M (solo: solução 1:1), condutividade elétrica (extrato 1:1), seguida pelo manual de método de análise do solo "SNLC" (EMBRAPA, 1979). O carbono orgânico foi determinado por oxidação com $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 1 N, segundo o método de WALKLEY & BLACK (1934). A matéria orgânica calculou-se a partir do carbono orgânico. Para a determinação das bases trocáveis, se tomou de 1 a 4 g de solo (dependendo do teor de argila) e foram tratadas com 30 ml de NH_4OAc 1N a pH 7.0; repetiu-se o tratamento por três vezes, recolhendo a solução para determinar, Na^+ , K^+ e Mg^{++} , por emissão ou absorção atômica. Em seguida, para determinar a capacidade de troca catiônica, se lavou com álcool isopropílico várias vezes para eliminar o resto de NH_4OAc e, por último, com NaCl 1N a pH 7.0. Finalmente foi tomada uma alíquota do último tratamento e destilou-se em aparato de "Hoskins". O NH_4 destilado foi colocado em uma solução de ácido bórico com uma mistura indicadora verde de bromocresol e vermelho de metila e etanol, sendo titulado com ácido sulfúrico 0.01N.

A determinação de algumas propriedades mineralógicas, neste trabalho, foi indispensável, tal como, o ferro extraível em oxalato amônico ácido, segundo o método de SCHWERTMANN (1964), após descarbonatar as amostras com tampão ácido acético-acetato sódico a pH 4.7. Este método tem sido utilizado para estimar os óxidos de Fe pobremente cristalinos (SCHWERTMANN, 1964; MCKEAGUE, 1967).

2.3 Determinação do fósforo disponível

O fósforo lábil foi determinado pelo método da resina de troca aniônica, descrito por SIBBESEN (1977, 1978), no qual agitando-se 2 g de solo com 2.20 g de resina Dowex 1*8 em forma de cloro. Posteriormente lavou-se com HCl 0.5 M. O fósforo lábil é conhecido como a fração do fósforo facilmente disponível para as plantas a curto prazo, inclui as formas mais disponíveis do fosfato adsorvido na superfície dos diferentes minerais, assim como as formas mais solúveis dos fosfatos de cálcio, os fosfatos de ferro e alumínio e a parte facilmente mineralizável do fósforo orgânico (MATTINGLY, 1975). Na prática, o fósforo disponível no curso de uma colheita se considera que se assemelha ao fósforo extraído por agitação, com uma resina de intercâmbio aniônica, durante 24 h.

Também foi determinado o fósforo disponível com dissoluções alcalinas tamponadas com HCO_3^- (NaHCO_3 0.5M, pH 8.5), pelo método de Olsen (OLSEN et al., 1954). Analisou-se também o fósforo disponível pelo método de Mehlich ou Carolina do Norte (THOMAS & PEASLEE apud WALSH & BEATON, 1973) Bray I, seguido pelo manual de métodos de análise de solo "SNLC" (EMBRAPA, 1979).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Propriedades gerais

Algumas propriedades físicas, químicas e mineralógicas dos solos estudados se apresentam na (TAB. I).

TABELA 1 - Propriedades gerais dos solos estudados

Nº	Localidade	Classificação	pH (1:1)	C.E. S m ⁻¹	Textura		
					Areia	Silte	Argila
					g kg ⁻¹		
1	Pinheiro	Plintossolo	4,40	0,10	228	535	237
2	Pinheiro	Plintossolo	4,30	0,08	228	535	237
3	Bacabal	Podzólico	4,90	0,06	768	62	170
4	Pinheiro	Plintossolo	4,40	0,07	228	535	237
5	Bacabal	Podzólico	5,10	0,06	440	240	320
6	Bacabal	Podzólico	5,30	0,16	490	220	290
7	Balsas	Latossolo V.A	4,20	0,09	300	140	560
8	Balsas	Latossolo V.A	4,40	0,12	260	140	600

TABELA 1 - Continuação

Bases extraíveis										
Nº	M.O.	Fe _e	CTC	Na	K	Ca+Mg	P- P-Resina	P-Mehlich	P-Bray I	P - Olsen
		g kg ⁻¹			cmol _c kg ⁻¹				mg kg ⁻¹	
1	21	11,00	7,48	0,03	0,05	2,00	2,50	2,79	2,85	5,33
2	20	7,70	7,79	0,03	0,06	1,80	2,72	2,82	2,91	4,40
3	24	3,30	10,12	0,05	0,07	2,30	4,01	3,92	3,88	4,80
4	21	6,70	8,09	0,04	0,05	1,40	3,21	2,91	1,94	3,82
5	29	13,20	5,33	0,06	0,07	2,10	3,30	2,91	1,94	3,27
6	17	9,50	3,07	0,08	0,09	2,00	4,10	3,82	3,88	5,02
7	59	14,00	10,11	0,06	0,05	1,50	3,98	3,88	2,91	4,01
8	56	11,10	15,63	0,08	0,05	1,70	4,51	3,82	3,88	4,50

A textura variou de arenosa a argilosa, com o teor de argila de 170 a 600g kg⁻¹ (média = 331.37 g kg⁻¹). A matéria orgânica oscilou de 17 a 59 g kg⁻¹ de acordo com os conteúdos que normalmente apresentam os solos cultivados e não cultivados dessa área. O pH em

torno de 4.5 e a condutividade elétrica bastante baixa, o que indica que esses solos não tem problemas de salinidade. A capacidade de troca catiônica variou dependendo da porcentagem de argila presente nestes solos. O conteúdo de óxido de ferro amorfo (pobremente cristalino) apresentou intervalo de variação de 3.30 a 14 g kg⁻¹ (média = 9.56 g kg⁻¹).

Os valores do fósforo extraído pelo método da resina variaram de 2.50 a 4.51 mg kg⁻¹ (média = 3.54 mg kg⁻¹), o fósforo extraído pelo método de Melych entre 2.79 e 3.92 mg kg⁻¹ (média = 3.35 mg kg⁻¹), enquanto que o de Bray I foi de 1.94 a 3.88 mg kg⁻¹ (média = 3.02 mg kg⁻¹) e os valores de Olsen estiveram entre 3.27 e 5.33 mg kg⁻¹ (média = 4.39 mg kg⁻¹).

Na matriz de correlação entre as propriedades físico-químicas dos solos estudados (TAB. 3), foram observadas correlações significativas entre a argila e CTC (0,56**), argila e MO (0,94**) e conteúdo de Fe_o e argila (0,68***) e conteúdo de Fe_o e MO (0,54*).

TABELA 3 - Matriz de Correlação⁽¹⁾ entre as Propriedades Básicas dos Solos Estudados

	CE	CTC	MO	pH	Fe _o
Argila	0,32	0,56**	0,94***	-0,35	0,68***
CE		0,70***	0,06	0,24	0,25
CTC			0,45*	0,03	-0,03
MO				-0,45*	0,54*
pH					-0,13

⁽¹⁾ P<0.05 para r = 0.44* ; P<0.01 para r = 0.56** ; P<0.001 para r = 0.68***

3.2 Relação entre os métodos de extração do fósforo e algumas propriedades dos solos estudados

Foram verificadas correlações positivas e altamente significativas entre os diferentes métodos de extração do fósforo. A melhor correlação foi observada entre o método de Resina de troca aniônica e o método de Mehlich ($r = 0.92^{***}$) como mostra a (FIG. 1), existindo também boas correlações entre os métodos de Bray I e Mehlich ($r = 0.77^{***}$) e o método de Olsen ($r = 0.70^{***}$), da mesma forma entre o método de Resina e o método de Bray I ($r = 0.63^{**}$).

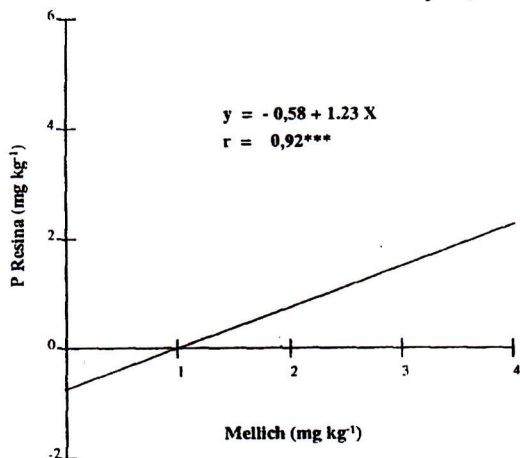


FIGURA 1 - Relação entre P extraído pelo método da Resina e o P extraído pelo Mellich

No presente trabalho observaram-se correlações negativas e não significativas entre o Fe_0 (ferro amorfo, pobremente cristalino) e o fósforo disponível extraído pelos métodos de Mehlich, Olsen e Bray I, também foi encontrada correlação positiva não significativa entre o Fe_0 e o fósforo extraído pelo método de resina de troca aniônica. Por outro lado, a correlação entre o fósforo extraído pelo método de resina e o conteúdo de argila resultou positiva ($r = 0.58^{**}$), como também o fósforo extraído pelo método de Mehlich e o conteúdo de argi-

la ($r = 0.47^*$) (FIG. 2). Por último o conteúdo de argila apresentou correlação negativa e não significativa com o fósforo extraído por Olsen e uma correlação positiva mas não significativa com o fósforo Bray I.

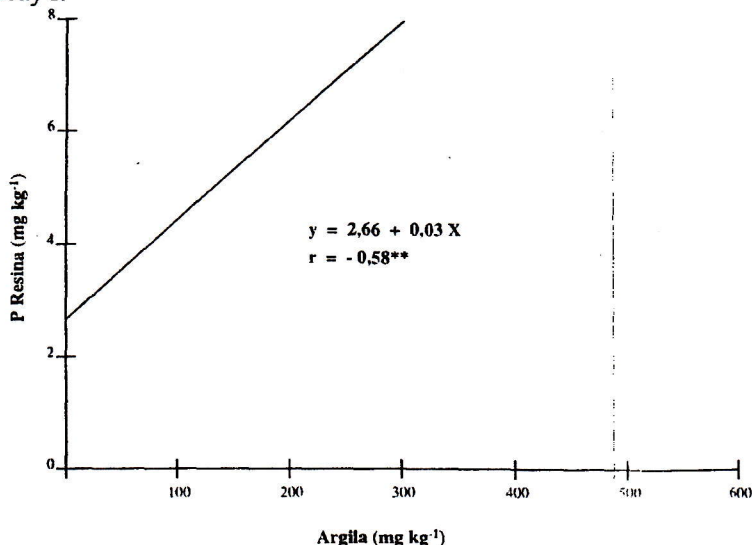


FIGURA 2 - Relação entre P extraído pelo método da Resina e o teor de argila.

Os resultados anteriores mostram que os métodos de extração do fósforo assimilável, que foram altamente correlacionados com o fósforo lábil extraído pelo método da Resina de troca aniônica, tais como: o método de Mehlich e o método de Bray I, são indicados para os solos estudados e em geral para solos neutros e ácidos, havendo uma boa correlação entre ambos. Por outro lado, apesar da boa correlação encontrada entre o método de Olsen e Bray I, o primeiro não necessariamente é indicado e aplicado em solos neutros e ácidos. Porém o método de Olsen, como já se sabe, é mais amplamente utilizado em solos neutros e alcalinos, já que os extratores à base de NaHCO_3 são os que têm demonstrado melhor correlação com o fosfato lábil nos solos calcários, e às vezes, inversamente correlacionados

com a capacidade tampão do solo, quando comparado com outros extratores (BOWMAN et al., 1978; HOLFORD, 1980). Além disto, estes extratores têm dado melhores correlações com o fosfato absorvido pela planta e com o rendimento relativo (HOLFORD, 1980), estando o extrator de Olsen melhor correlacionado com o rendimento relativo que o método de Colwell (HOLFORD, 1980).

Analisando o efeito das propriedades do solo nos diferentes métodos de extração de fósforo, verificou-se que o método da resina de troca aniônica, assim como o método de Mehlich são bastante sensíveis ao conteúdo de argila, por isso, esses extratores podem apresentar uma tendência a superestimar o fósforo disponível em solos ricos em argila. Desta forma, os valores do fósforo assimilável extraído por estes métodos podem elevar-se com o incremento das quantidades de superfícies adsorventes puras, como a argila.

4 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos pode-se concluir que:

- a) os métodos de extração do fósforo assimilável, que estão altamente correlacionados com o fósforo lábil extraído pelo método da Resina de troca aniônica, tais como: o método de Mehlich e o método de Bray I, são indicados para os solos estudados e em geral para solos neutros e ácidos;
- b) o método da Resina de troca aniônica, assim como o método de Mehlich são bastante sensíveis ao conteúdo de argila, por isso, esses extratores podem apresentar uma tendência a superestimar o fósforo disponível em solos ricos em argila.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

BOWMAN, R.A., OLSEN, S.R., WATANABE, F.S. Greenhouse evaluation of residual phosphate by four phosphorus methods in neutral and calcareous soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, U.S., n. 42, p. 451-454, 1978.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. *Levantamento exploratório reconhecimento de solos do Estado do Maranhão*. Rio de Janeiro, 1986. (Boletim de Pesquisa, 35).

_____. *Manual de métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro, 1979

HOLFORD, I.C.R. Effects of phosphate buffer capacity on critical levels and relationships between soil test and labile phosphate in wheatgrowing soils. *Aust. J. Soil Res.*, U.S., n. 18, p. 405-414, 1980.

_____, MATTINGLY, G.E.G. Phosphate adsorption and availability plant of phosphate. *Plant Soil.*, U.S., n. 44, p. 377-389. 1979.

KAMPRATH, E.J., WATSON, M.E. Conventional soil and tissue test for assessing the phosphorus status of soils. *Am. Soc. Agron.*, Madison. Wis., p.333-359, 1980.

MATAR, A., SOMEL, K. The economic and biological relevance of soil test calibration in assessing crop response to fertilizer in the rainfed areas of West Asia and North Africa. *ICARDA.*, S.R., p. 23-25, 1987.

MATTINGLY, G.E.G. Labile phosphate in soils. *Soil Sci.*, U.S., n. 119, p. 369-375, 1975.

MCKEAGUE, J.A. An evaluation of 0.1 M pyrophosphate and pyrophosphate-dithionite in comparison with oxalate as extractants of the accumulation products in podzols and some other soils. *Can. J. Soil. Sci.*, n. 47, p. 95-99, 1967.

OLSEN, S.R., COLE, C.V., WATANABE, F.S., DEAN, L.A.
Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. U.S. Gov. Washington DC, USA, 1954.
(USDA Circular 939).

SCHWERTMANN, U. Differenzierung der Eisenoxyde des Bodens durch Extraction mit Ammoniumoxalat-Lösung. *Pflanzenernähr, Z. Bodenkd.*, n.105, p. 192-202, 1964.

SIBBESEN, E. An investigation of the anion-exchange Resin method for soil phosphate extraction. *Plant Soil*, U.S., n. 50, p. 305-321, 1978.

_____. A simple ion-exchange procedure for extracting plant-available element from soil. *Plant Soil*, U.S., n. 46, p. 665-669, 1977.

THOMAS, G.W., PEASLLE, D.E. Testing soil for phosphorus. In: WALSH, L.M., BEATON, J.D. (Ed.). *Soil Testing and Plant analysis*, nd edition, *Soil Sci. Soc. Am.*, Madison, Wisc., U.S., p.115-132, 1973.

WALKLEY, A., BLACK, I.A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.*, U.S., n. 37, p. 29-38, 1934.