

- BECKETT, P.H.T. & NAFADY, H.M. - Potassium calcium exchanges equilibria in soils: The location of non-specific (GAPON) and specific exchange sites. *J. Soil Sci.* 18(2):263-281, 1967.
- BRADFIELD, E.G. - Use of intensity and capacity measurements to assess the potassium supplying power of soils. *Soil Sci. Plant Anal.* 3(2):113-122, 1972.
- GOEDERT, W.J. & COREY, R.B. - Availability indices for soil cations by single equilibration with SrCl_2 . In: GOEDERT, W.J. Cation equilibria in soils of Rio Grande do Sul, Brazil. Thesis (Ph.D.-Soils) Soils Dep. Univ. of Wisconsin, Madison, 1973. An Arbor, Univ. Microf. Intern. (BQS 73-21154).
- MENGEL, K. & HEADER, H.E. - La disponibilidad de potássio y su efecto sobre la producción vegetal. *Revista da la Potassa; Ciencia del Suelo.* Berne. 11:1-15, 1973.
- MIELNICZUK, J.; GOEDERT, W.J.; COREY, R.B. & POWEL, R.D. - Evaluation of plant availability indices for K, Mg and Ca by equilibration with SrCl_2 . In: MIELNICZUK, J. Potassium, Calcium, Magnesium and Manganese equilibria in soils and their uptake by plants. Thesis (Ph.D.-Soils) Soils Dep. Univ. of Wisconsin, Madison, 1973. An Arbor, Univ. Microf. Intern. (BQS 74-03536).
- MIELNICZUK, J. & SELBACH, P.A. - Capacidade de suprimento de potássio de seis solos do Rio Grande do Sul. *R. bras. Ci. Solo.* 2: 1978.
- MIRANDA, E.R.; IGUE, K. & PAEZ, G. - Efeito de cultivos sucessivos na relação Q/I de potássio. Itabuna. *Rev. Theobroma* 2(4):8-15, 1972.
- MORAES, O. - Índices de disponibilidade de potássio para as plantas. Tese (M.S. - Solos) Dep. de Solos-UFRGS. Porto Alegre, 1975. (Não publicado).
- MOSS, P. - A comparison of potassium activity ratios derived from equilibration procedures and from measurements of displaced soil solution. *J. Soil Sci., Oxford* 20(2): 297-306, 1969.
- NYE, P.H. - The effect of the nutrient intensity and buffering power of a soil, and the absorbing power, size and root hairs of a root, on nutrient absorption by diffusion. *Pl. soil.* 25: 81-105, 1966.

DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO, APLICADO EM UM VERTISSOLO DO MÉDIO SÃO FRANCISCO, AVALIADA POR MÉTODOS QUÍMICOS ⁽¹⁾

J.R. PEREIRA ⁽²⁾ & C.M.B. FARIA ⁽²⁾

RESUMO

Experimentos foram conduzidos em casa-de-vegetação e laboratório com a finalidade de verificar as relações entre fósforo aplicado em um vertissolo, formas de fósforo inorgânico removido sucessivamente pelo NH_4Cl , NH_4F , NaOH e H_2SO_4 , fósforo considerado disponível, absorção pelo milho e produção de matéria seca.

Altos coeficientes de correlação foram observados entre o fósforo aplicado e as diversas frações e também entre estas frações e os valores para fósforo disponível. Os métodos de extração de fósforo: Bray I, Mehlich, Olsen e água destilada, deram alta correlação entre a absorção de fósforo e a produção de matéria seca do milho. Não houve diferença significativa entre as mesmas variáveis em prever a quantidade de fósforo absorvido e a produção de matéria seca do milho.

SUMMARY: AVAILABILITY OF APPLIED PHOSPHORUS IN A VERTISOL OF THE MEDIUM SÃO FRANCISCO BY CHEMICAL METHODS

Greenhouse and laboratory experiments were carried out to verify the relationships among the phosphorus applied to a vertisol, inorganic forms of phosphorus removed successively by NH_4Cl , NH_4F , NaOH and H_2SO_4 , soil test methods, absorption and dry matter yield of corn plants.

High correlation coefficients were observed between applied phosphorus and the several fractions and also between these fractions and the soil tests for available phosphorus. The phosphorus extraction methods: Bray I, Mehlich, Olsen and distilled water, were highly correlated with phosphorus uptake, and dry matter production of corn. There was no significant difference among the same variables in predicting the amount of absorbed phosphorus and the dry matter production of corn.

INTRODUÇÃO

Usualmente a disponibilidade de fósforo no solo para as plantas é avaliada através de extratores químicos. Para que um extrator possa ser usado com segurança é necessário que as quantidades de fósforo que ele extrai do solo, estejam relacionadas com a absorção desse elemento pelas plantas e com a produção obtida (Thomas e Peaslee, 1973; Cope e Rouse, 1973).

Os vários métodos de extração de fósforo removem diferentes quantidades, isto devido principalmente à natureza química do extrator, às características do solo e às formas em que o fósforo se encontra no solo (Bray e Kurtz, 1945; Payne e Hanna, 1965). Em consequência disso, a maioria dos métodos usados para a avaliação do fósforo disponível dão correlação para solos com idênticas propriedades mas não para aqueles com propriedades diferentes (Cho e Caldwell, 1959; Welch *et alii*, 1957).

Existe atualmente grande número de métodos para avaliação do fósforo disponível no solo. Soluções diluídas de ácidos, bases e sais ou ainda misturas destas, têm sido usadas para

⁽¹⁾ Contribuição do CPATSA/EMBRAPA, Convênio EMBRAPA/COFEVASF. Apresentado no XVI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Recebido para publicação em agosto de 1977 e aprovado em março de 1978.

⁽²⁾ Eng.ºs Agr.ºs, M.S., Centro de Pesquisas Agropecuárias do Trópico Semi-Árido, Petrolina - PE.

estimar o fósforo tanto nativo como residual, disponíveis para as plantas. Estas soluções removem frações ou partes proporcionais do fósforo inorgânico do solo, que se encontra adsorvido e principalmente combinado com ferro, alumínio e cálcio (Bray e Kurtz, 1945; Thomas e Peaslee, 1973).

Em solos calcários, poucos extratores têm-se mostrado eficientes na avaliação do fósforo disponível para as plantas. Entre os que têm dado resultados satisfatórios encontram-se as soluções extratoras de Olsen: NaHCO_3 0,5N a pH 8,5 e Bray I: HCl 0,025N + NH_4F 0,03N e água destilada (Olsen *et alii* 1954; Smith *et alii*, 1957).

Um método que remova fósforo combinado com cálcio ferro e alumínio em proporções similares ao absorvido pelas plantas, seria o melhor índice da disponibilidade de fósforo para as plantas (Chang e Jackson, 1957). A técnica de fracionamento do fósforo no solo, desenvolvido por esses pesquisadores, tem sido empregada largamente com a finalidade de correlacionar formas de fósforo no solo com métodos de extração e absorção pelas plantas (Cho e Caldwell, 1959; Susuki *et alii*, 1963).

Fósforo solúvel na forma de fosfato monocálcio, quando adicionado a solos calcários, reage com os componentes do solo dando compostos pouco solúveis e insolúveis, decrescendo assim a quantidade de fósforo assimilável pelas plantas (Beaton e Read, 1963). O cálcio trocável e o CaCO_3 livres, são os principais responsáveis por essa imobilização do fósforo em solos calcários (Fuller e McGeorge, 1950).

Este trabalho foi realizado com a finalidade de verificar: a) os efeitos de crescentes níveis de fosfato solúvel, aplicado em um vertissolo, sobre os teores de fósforo disponível no solo extraído pelas soluções de Bray I, Olsen, Mehlich e água e formas de fósforo inorgânico do solo; b) as interrelações entre parâmetros de fósforo no solo, absorção pelo milho e produção de matéria seca.

MATERIAL E MÉTODOS

Usou-se um vertissolo não agricultado do município de Juazeiro, Bahia. As amostras foram coletadas em uma

área de 2 ha, a 30 cm de profundidade, em dez locais diferentes, das quais fez-se depois uma amostra composta. O solo depois de seco ao ar foi passado em peneiras de 2 mm de diâmetro e mostrou ter as seguintes características: pH 8,0 (determinado em água na relação 1:1); CE_{c} 0,4 mmhos/cm; P (total) 140 ppm; P (adsorção máxima) 530 ppm; matéria orgânica 1,01% e CO_2 4,90%. Para os cátions trocáveis: cálcio, magnésio, sódio e potássio encontraram-se 27,1; 9,5; 0,34 e 0,40 me/100g respectivamente. A análise granulométrica indicou 60% de argila, 27% de limo e 13% de areia.

Os tratamentos consistiram em adicionar 0, 25, 50, 100, 150, 200, 250 e 300 ppm de fósforo em quatro repetições, com monofosfato de cálcio monoidratado. O solo, que contém os tratamentos, pesando 4,5 kg foi colocado em vaso plástico, mantendo-se o teor de umidade em torno da capacidade de campo, por seis meses. Após esse período, foi retirada uma parte do solo de cada vaso para fins de análises químicas. Na outra parte foram adicionados 150 ppm de N na forma de sulfato de amônio, plantando-se então dez sementes de milho IAC-1 por pote, deixando, após a germinação, seis plantas por vaso. No final de cinco semanas as plantas foram cortadas, secas a 70°C e moídas para fins de análises.

O fósforo nas amostras de solo foi extraído pelos extratores de Olsen: NaHCO_3 0,5N a pH 8,5, Bray I: HCl 0,025N + NH_4F 0,03N, Mehlich: HCl 0,05N + H_2SO_4 0,025N e água destilada, de acordo com metodologia descrita por Olsen e Dean (1965).

O fracionamento do fósforo no solo foi realizado usando-se sucessivamente as soluções de NH_4Cl 1N, NH_4F 0,5N, NaOH 0,1N e H_2SO_4 0,5N, de acordo com metodologia descrita por Chang e Jackson (1957), sendo que a solução de NH_4F 0,5N, foi ajustada a pH 8,2, conforme indicação de Pratt e Garber (1964).

O extrato para determinação do fósforo nas plantas foi conseguido através da digestão do material com HNO_3 e HClO_4 , de acordo com Johnson e Ulrich (1959). O fósforo nos extratos foi determinado colorimetricamente, usando-se como reativo solução ácida de molibdato de amônio, tartarato duplo de antimônio e potássio e ácido ascórbico (Watanabe e Olsen, 1965).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados do efeito da incubação de diferentes níveis de fósforo, na forma de fosfato monocálcio, por um período de seis meses, sobre as diversas formas de fósforo inorgânico e fósforo disponível no solo constam no Quadro 1.

Através dos resultados obtidos observa-se que praticamente todo o fósforo adicionado ao solo, encontrava-se no final do período de incubação solúvel e formando compostos com alumínio, ferro e cálcio, correspondendo às frações removidas pelo cloreto de amônio, fluoreto de amônio, hidróxido de sódio e ácido sulfúrico respectivamente, conforme a técnica de fracio-

Quadro 1. Concentração de fósforo no solo sob diversas formas após um período de seis meses.

P Aplicado	Fósforo disponível				H_2O	Fósforo extraído pelo:			
	Bray I	Olsen	Mehlich			NH_4Cl	NH_4F	NaOH	H_2SO_4
					ppm				
0	0,3	1,0	1,8	0,2		0,0	7,2	7,9	6,4
25	2,2	4,7	4,8	0,3		0,5	13,7	17,4	8,4
50	5,5	9,6	9,3	0,5		1,4	25,0	29,4	10,5
100	14,5	18,5	21,5	2,2		2,2	46,6	45,5	12,5
150	30,0	30,3	39,4	6,2		6,2	77,9	51,9	18,3
200	48,2	44,8	61,8	11,7		11,7	99,0	62,0	25,7
250	62,5	57,1	88,1	18,1		19,2	122,8	75,0	34,0
300	74,3	66,3	113,3	21,8		28,0	143,2	88,4	44,0

namento do fósforo, descrita por Chang e Jackson (1957). Entretanto, de acordo com Pratt e Garber (1964), e considerando solos em que foi adicionado fósforo, como no caso deste experimento, não significa que as frações extraídas pelas citadas soluções correspondam exatamente às formas de fósforo descritas por Chang e Jackson (1957), tendo em vista que o trabalho por eles desenvolvido foi realizado em solos virgens.

As diversas frações de fósforo inorgânico, removidas sucessivamente pelas soluções, aumentaram em função dos níveis de fósforo aplicado. Nos tratamentos correspondentes aos níveis de 25 e 50 ppm, observa-se maior quantidade de fósforo na solução de hidróxido de sódio, entretanto a partir do tratamento correspondente a 100 ppm, nota-se que os teores de fósforo na solução de fluoreto de amônio passaram a predominar, atingindo alta proporção, isto talvez devido à solubilidade de outras formas pelo fluoreto de amônio (Pratt e Garber, 1964). Na testemunha, as quantidades de fósforo ligadas ao alumínio, ferro e cálcio foram praticamente iguais, entretanto a mesma relação não foi observada nos tratamentos que receberam fósforo. Resultados obtidos por Supak, citado por Thomas e Peaslee (1973), indicaram que em um vertissolo que recebeu adubação fosfatada por vários anos, as diversas formas de fósforo foram encontradas em proporções idênticas à do solo não adubado, mostrando acentuada predominância do fósforo ligado ao cálcio sobre as outras frações.

A provável razão desse contraste é que quando o fosfato monocálcio é adicionado a solos calcários ocorre um drástico abaixamento do pH, dando condições para a solubilização do alumínio e do ferro, que reagem com o fósforo. Com o decorrer do tempo os produtos das reações iniciais reagem com o cálcio dando produtos menos solúveis de fosfato de cálcio (Thomas e Peaslee, 1973; Lindsay e Stephenson, 1959). No caso específico deste experimento, o período de incubação não deve ter sido suficiente para o estabelecimento do equilíbrio do fósforo aplicado ao solo, daí as quantidades maiores de fósforo supostamente ligadas ao alumínio e também ao ferro, em relação ao fósforo ligado ao cálcio.

A fração considerada solúvel, removida pelo cloreto de amônio, aumentou com os níveis de fósforo aplicado; entretanto, na testemunha, não foi encontrada. Isto evidencia que também os níveis de fosfato influenciaram as reações.

Coefficientes de correlação simples entre o fósforo adicionado e as quantidades removidas pelas soluções de cloreto de amônio, fluoreto de amônio, hidróxido de sódio e ácido sulfúrico foram 0,96, 0,98, 0,98 e 0,96 respectivamente.

As quantidades de fósforo, consideradas disponíveis (Quadro 1), aumentaram em função dos crescentes níveis de fósforo aplicado. Entretanto, devido à natureza das reações de cada extrator com o solo, os teores de fósforo extraídos foram bem diferentes (Thomas e Peaslee, 1973). Coeficientes de correlação entre o fósforo

adicionado e os teores obtidos pelos quatro extratores foram significativos a 1% de probabilidade. (Quadro 2).

Quadro 2. Correlação entre o fósforo extraído do solo por diversos extratores, as frações inorgânicas e o fósforo adicionado inicialmente.

Fósforo disponível	Fósforo extraído pelo:				Fósforo adicionado
	NH ₄ Cl	NH ₄ F	NaOH	H ₂ SO ₄	
	r				
Bray I	0,97	0,99	0,96	0,97	0,96
Olsen	0,96	0,99	0,97	0,96	0,97
Mehlich	0,99	0,98	0,94	0,98	0,98
H ₂ O	0,99	0,97	0,92	0,97	0,96

Através da análise do Quadro 2 observa-se que os coeficientes de correlação simples entre os valores para fósforo inorgânico, oriundo do fracionamento, e os teores extraídos pelas soluções de Bray I, Mehlich, Olsen, água e o absorvido pelo milho foram altamente significativos. Diante dessas informações não é possível inferir que formas de fósforo inorgânico foram predominantemente removidas por qualquer um dos métodos usados, para determinação do fósforo disponível (Chang e Jackson, 1958).

Os dados contidos na Figura 1 indicaram que o fósforo disponível, extraído pelos métodos em questão, relacionou-se estreitamente com a absorção desse nutriente pelo milho, não tendo sido constatado, entretanto, nenhuma diferença significativa entre os quatro métodos, em prever a quantidade de fósforo absorvido pelo milho.

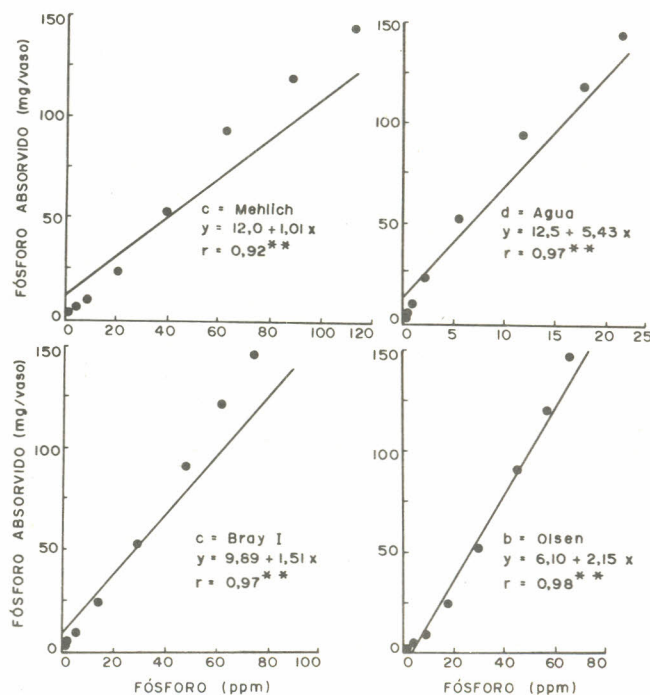


Figura 1. Relação entre o fósforo disponível no solo removido por diferentes extratores e a absorção pelo milho.

Na Figura 2 estão contidas as equações de respostas entre a produção de matéria seca e os valores dos testes para fósforo disponível. Em todos os casos as tendências são de natureza quadrática. Através das equações de regressão verifica-se que os níveis de fósforo que podem condicionar produção máxima são: 55, 52, 112 e 14 ppm, para os extratores de Bray I, Olsen, Mehlich e água respectivamente, contudo para 90% da produção máxima calculada, estes valores decresceram na mesma seqüência, para 30, 30, 86 e 6 ppm de fósforo.

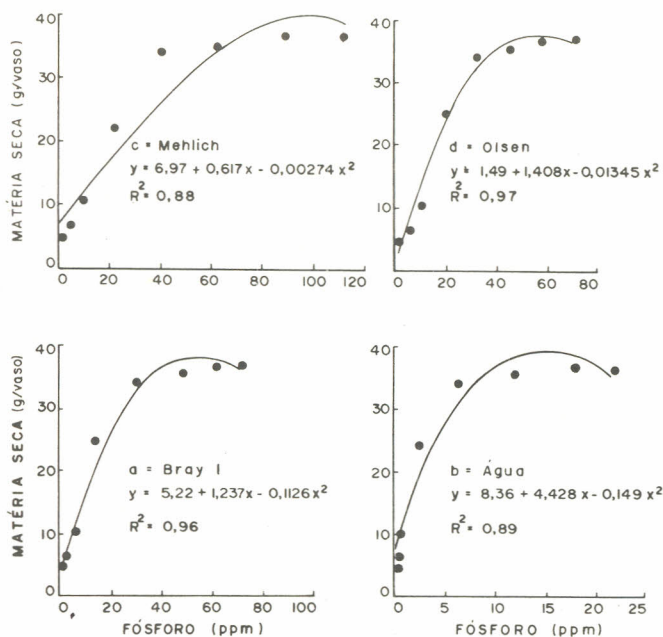


Figura 2. Relação entre o fósforo disponível no solo removido por diferentes extratores e a produção de matéria seca do milho.

O coeficiente de correlação calculado entre a absorção do fósforo como variável independente e a produção de matéria seca foi de 0,86** e a equação de regressão foi: $Y = 11,21 + 0,22X$.

Comparando a eficiência dos vários extratores em prever a quantidade de matéria seca, nota-se que não houve diferença entre os métodos de extração, contudo as soluções de Olsen e Bray I foram mais eficientes, justificando assim a razão de serem mais usadas na avaliação do fósforo disponível em solos calcários (Thomas e Peaslee, 1973).

Nos tratamentos correspondentes a 0, 25 e 50 ppm de fósforo, as plantas mostraram nítido sintoma de deficiência desse elemento, ou seja, folhas arroxeadas. Tal sintoma, entretanto, não foi observado no tratamento correspondente a 100 ppm de fósforo apesar de a produção relativa de matéria seca deste tratamento ter sido de apenas 70%.

LITERATURA CITADA

- BEATON, J.B. & READ, D.W.L. - Effects of temperature and moisture on phosphorus uptake from a calcareous Saskatchewan soil treated with several pelleted sources of phosphorus. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 27:61-64, 1963.
- BRAY, R.H. & KURTZ, L.T. - Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.*, 59:39-45, 1945.
- CHANG, S.C. & JACKSON, M.L. - Fractionation of soil phosphorus. *Soil Sci.*, 84:133-134, 1957.
- CHANG, S.C. & JACKSON, M.L. - Soil phosphorus fractions in some representative soils. *Jour. Soil Sci.*, 9: 109-118, 1958.
- CHO, C.M. & CALDWELL, A.C. - Forms of phosphorus and fixation in soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 23: 458-460, 1959.
- COPE JR., J.T. & ROUSE, R.D. - Interpretation of soil test results. In: Walsh, L.M. & Beaton, J.D., ed. *Soil testing and plant analysis*. Madison, Wisc., USA. *Soil Sci. Soc. Amer. Inc.*, 1973. p. 35-54.
- FULLER, W.H. & McGEORGE, W.T. - Phosphate in calcareous Arizona soils: I. Solubilities of native phosphate and fixation of added phosphates. *Soil Sci.*, 70:441-460, 1950.
- JOHNSON, C.M. & ULRICH, H. - Analytical methods for use in plant analysis. *Cal. Agric. Exp. Sta. Bull.* 766, 1959.
- LINDSAY, W.L. & STEPHENSON, A.F. - Nature of the reactions of monocalcium phosphate monohydrate in soils: II. Dissolution and precipitation reactions involving iron, aluminium, manganese and calcium. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 23:18-24, 1959.
- OLSEN, S.R.; WATANABE, F.S.; COSPER, A.R.; LARSON, W.E. & NELSON, L.B. - Residual phosphorus availability in long-time rotations on calcareous soils. *Soil Sci.*, 78:141-151, 1954.
- OLSEN, S.R. & DEAN, L.A. - Phosphorus. In: Black, C.H. ed., *Methods of soils analysis*. Part 2, Madison, Wisc., USA, *Amer. Soc. Agronomy, Inc.*, 1965. p.1035-1058.
- PAYNE, H. & HANNA, W.J. - Correlations among soil phosphorus fractions, extractable phosphorus and plant content of phosphorus. *Jour. Agric. Food. Chem.*, 13:322-326, 1965.
- PRATT, P.F. & GARBER, M.J. - Correlations of phosphorus availability by chemical tests with inorganic phosphorus fractions. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 28:23-26, 1964.
- SMITH, F.W.; ELLIS, B.G. & GRAVA, J. - Use of acid-fluoride solutions for the extraction of available phosphorus in calcareous soils and in soils to which rock phosphate has been added. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 21:400-404, 1957.
- SUSUKI, A.; LAWTON, K. & DOLL, E.C. - Phosphorus uptake and soil tests as related to forms of phosphorus in same Michigan soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 27:401-403, 1963.
- THOMAS, G.W. & PEASLEE, D.E. - Testing soils for phosphorus. In: Walsh, L.M. & Beaton, J.D., ed. *Soil testing and plant analysis*. Madison, Wisc., USA. *Soil Sci. Soc. Amer. Inc.*, 1973. p.115-132.
- WATANABE, F.S. & OLSEN, S.R. - Test of an ascorbic acid for determining phosphorus in water and NaHCO_3 extracts from soil. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 29:677-678, 1965.
- WELCH, L.P.; ENSMINGER, L.E. & WILSON, C.H. - The correlation of soil phosphorus with the yield of ladino clover. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 21:618-620, 1957.