

## DETERMINAÇÃO DO TEOR DE FÓSFORO EM SOLOS POR DIFERENTES EXTRATORES

Carla Rossi<sup>1</sup>

Jailson Lara Fagundes<sup>2</sup>

### INTRODUÇÃO

O fósforo é um dos nutrientes mais importantes às plantas e também um dos mais aplicados na agricultura brasileira, uma vez que sua disponibilidade nos solos em geral é muito baixa. A avaliação da disponibilidade de fósforo dos solos é um fator muito importante para recomendações adequadas de fertilizantes, sendo necessário que seja baseada em metodologia segura e eficiente que atenda os fins da análise proposta. A grande quantidade de estudos efetuados para comparar extratores químicos para fósforo sugere que, apesar dos resultados obtidos, ainda não se conseguiu obter o método mais apropriado para estimar no solo o teor de fósforo disponível às plantas.

No Brasil, na rotina dos laboratórios de análise de solos, são utilizados basicamente dois métodos de análise da disponibilidade de P em solos: o Mehlich 1 e a resina trocadora de íons. O extrator Mehlich 1 é o mais empregado, à exceção do Estado de São Paulo, com viabilidade prática, econômica na rotina e, de modo geral, boas correlações entre produção e fósforo extraído. O uso deste extrator, segundo VOLKWEISS & RAIJ (1977), baseia-se no princípio da dissolução de minerais de fósforo e/ou deslocamento do fósforo retido nas superfícies sólidas do solo para a solução, por ânions capazes de

<sup>1</sup> Pós-graduando em Solos e Nutrição de Plantas - ESALQ/USP, Caixa Postal 9, CEP 13.400-970, Piracicaba, SP; Bolsista do CNPq.

<sup>2</sup> Pós-graduando em Ciência Animal e Pastagens - ESALQ/USP, Caixa Postal 9, CEP 13.400-970, Piracicaba, SP; Bolsista da CAPES.

competir com o fósforo pelos sítios de retenção. Contudo, críticas têm sido feitas ao método, principalmente devido a sua capacidade de extrair P não disponível de solos que receberam fosfatos naturais e pelos baixos teores obtidos em solos com elevados níveis de óxidos de Fe e Al (MEHLICH, 1978; BAHIA FILHO et al., 1983). O princípio de extração de P do solo com a resina é a troca de íons entre a solução e a resina, como simulação de troca aniônica entre a solução do solo e a raiz de um vegetal, com a resina cedendo ânions em troca de fosfatos existentes na solução (RAIJ, 1978).

Outros extratores têm sido testados e introduzidos em vários países, visando à melhoria da eficiência da quantificação do P disponível. Destacam-se, neste contexto, extratores como Mehlich 2 e 3. O extrator Mehlich 2, apesar de ter sido utilizado durante certo período nos laboratórios do Departamento de Agricultura da Carolina do Norte (EUA), teve pouca aceitação e foi logo substituído pelo Mehlich 3 (MEHLICH, 1984). Atualmente, são muitos os estudos realizados em diversos países com o extrator Mehlich 3 que, além de ser considerado um extrator universal como Mehlich 1, por permitir também a determinação de outros nutrientes como K, Ca, Mg e alguns micronutrientes, é menos ácido, assim reduzindo os problemas observados com a superestimação do P disponível às plantas quando adubadas com fosfatos naturais, como comumente ocorre com o uso de Mehlich 1 (MEHLICH, 1984).

Outra metodologia, usada em menor escala, é a determinação do P remanescente, que representa o P restante em solução, após um período definido de contato com o solo. Esta metodologia é utilizada como auxiliar na determinação da capacidade tampão de solos, podendo ser considerada como uma medida indireta da capacidade máxima adsorviva de fósforo do solo (ALVAREZ V. & FONSECA, 1990; SILVA & BRAGA, 1992). Além disso, ALVAREZ V. (1995) obteve níveis críticos e classes de fertilidade de fósforo, com base nos valores de P remanescente, citando que são importantes para a interpretação dos resultados de análise do solo e que devem passar a ser utilizados em Minas Gerais para fins de recomendação de adubação.

Um problema muito comum, quando do uso de diferentes fontes de P, é a escolha de extratores que estimem com certo grau de precisão o P do solo que as plantas são capazes de absorver (BARBOSA FILHO et al., 1987). Em vista dessa variação dos resultados, decorrentes, dentre outros fatores, do solo analisado e da adubação a que foi submetido, os objetivos do presente estudo são: (a) avaliação da sensibilidade dos extratores Mehlich 1, Mehlich 2, Mehlich 3 e resina trocadora de íons para determinação do teor de P extraível em três classes de solos; (b) determinação da capacidade de fixação de P (P remanescente) nos três solos e; (c) correlação entre os teores de P determinados pelos diferentes extratores e deles com o P remanescente.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido no laboratório do Departamento de Solos na Universidade Federal de Lavras (UFLA - MG), em fatorial de 4 solos  $\times$  4 métodos de extração de P disponível do solo, com delineamento inteiramente casualizado de quatro repetições. Os solos utilizados foram Latossolo Vermelho-Amarelo (LV) textura média, Podzólico Vermelho-Amarelo (PV) textura arenosa/média, coletados na camada superficial (0-20 cm) e Latossolo Roxo (LR) textura argilosa, coletado de 0-20 cm e 20-40 cm de profundidade. Os solos haviam sido cultivados anteriormente com soja e braquiária, adubados com  $P_2O_5$  na dose de  $50 \text{ mg/dm}^3$  de solo, tendo como fonte de P, fosfato natural parcialmente acidulado (FNPA) para os solos PV e LV e superfosfato simples para o LR, nas camadas 0-20 e 20-40 cm.

As amostras utilizadas no presente ensaio, coletadas após o término dos cultivos, tiveram determinações do teor de P no solo realizadas com quatro extratores diferentes: Mehlich 1 (EMBRAPA, 1979), Mehlich 2 (MEHLICH, 1978), Mehlich 3 (MEHLICH, 1984) e resina trocadora de íons (RAIJ & QUAGGIO, 1983).

Determinou-se também o P remanescente das amostras dos solos, obtido com agitação por uma hora de  $2.5 \text{ cm}^3$  de solo com 25

mL de uma solução de  $\text{CaCl}_2$  0,01 M com 50 mg/L de P, seguido da centrifugação da suspensão e filtração do sobrenadante; tomou-se 1 mL desta solução (sobrenadante), ao qual adicionaram-se 9 mL da solução sulfomolibdica e cerca de 0,5 g de ácido ascórbico. Realizou-se a leitura em fotocolorímetro (660 nm), após 15 minutos da adição dos reativos (ALVAREZ V. & FONSECA, 1990).

Os resultados de P disponível e P remanescente foram analisados através do programa estatístico SANEST, com uso do teste de Tukey a 5% para comparação de médias. Foi também realizada análise de correlação linear de Pearson para o teor de P entre os extratores utilizados e entre o teor de P remanescente e o disponível para os extratores.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

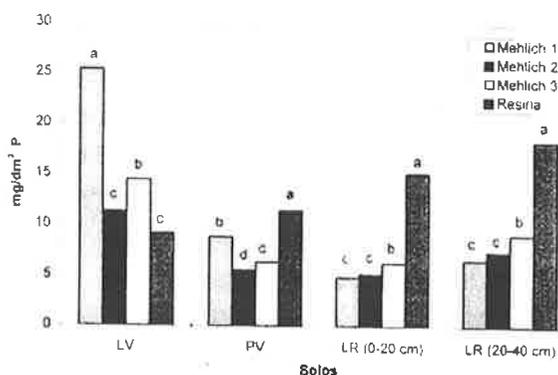
### Teor de Fósforo Disponível no Solo por Diferentes Extratores

Os resultados do teor de P disponível no solo foram submetidos a análise da variância ao nível de 5%, e os resultados apresentados na **Tabela 1** indicam que houve interação significativa entre solos e métodos de extração.

**Tabela 1.** Análise da variância e teste F para os dados de teor de P disponível no solo.

Causas da Variação	G.L.	Q.M.	F	Probabilidade
Solos	3	118,3414	293,22	0,001**
Extratores	3	119,7614	445,4	0,001**
Solos × Extratores	9	111,1661	275,44	0,001**
Resíduo	48	0,4036		
Total	63			

CV = 6,13%; \*\* significativo a 1% de probabilidade.



**Figura 1.** Teores de P extraídos por diferentes extratores em vários solos. (Dentro de cada solo, barras sobrepostas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey 5%).

A **Figura 1** apresenta os teores de fósforo disponíveis determinados pelos extratores. Observa-se que, com exceção do LV, a resina extraiu mais fósforo do que os demais extratores, corroborando resultados citados na literatura (RAIJ *et al.*, 1984; BARBOSA FILHO *et al.*, 1987; CORRÊA & HAAG, 1993). O fato de a resina extrair mais P está associado com o próprio princípio do método, ou seja, transferência de P lábil do solo para a resina, por troca iônica, sem exercer influência destrutiva no solo, como ocorre com muitos extratores químicos (RAIJ *et al.*, 1986). CORRÊA & HAAG (1993) citam que em solos brasileiros continuamente adubados com fontes solúveis, a reserva de P lábil está, principalmente, na forma de fosfatos de Fe e Al, que são mais removidos pelo método da resina.

Em função da adubação com fosfato parcialmente acidulado no LV, o extrator Mehlich 1, pelo seu caráter ácido, solubilizou fosfato de Ca, dissolvendo resíduos de fosfatos naturais indisponíveis às plantas, como pode ser visto pelos valores elevados de P extraído, que superestimam a disponibilidade de P às plantas. Este resultado concorda com os encontrados por BARBOSA FILHO *et al.* (1987), FARIA & ALBUQUERQUE (1989), FAGERIA *et al.* (1991), os

quais verificaram que o Mehlich 1 extraiu mais P das amostras de solos tratados com FNPA em relação a uma fonte solúvel, mostrando que esse extrator dissolve minerais de apatita não tratados com ácido durante o processo de obtenção do FNPA, e que permaneceu sem reação no solo, superestimando a disponibilidade deste elemento no solo.

Entretanto, apesar de o PV ter recebido fosfato natural parcialmente acidulado, não se observou o mesmo comportamento ocorrido no LV. Uma provável explicação para tal resultado é que, em virtude dos cultivos anteriores e do período de tempo decorrido entre a aplicação inicial do fertilizante fosfatado e a determinação do teor de P disponível no solo (aproximadamente 5 meses) podem ter ocorrido reações no solo, que propiciaram a dissolução do P aplicado e a conseqüente absorção pelas plantas.

Considerando-se somente os extratores propostos por Mehlich, observa-se que no LR que recebeu fosfato prontamente solúvel (superfosfato simples) em amostras obtidas em duas profundidades, houve tendência de o extrator Mehlich 3 ser superior ao Mehlich 2 e este ao Mehlich 1. Este aumento está relacionado com os componentes químicos do extrator Mehlich 3, que possui fluoreto e EDTA, que aumentam seu poder complexante, facilitando a extração de P ligado ao Fe e Al, comumente encontrado nos solos tropicais, especialmente nos latossolos (SIMS, 1989; CABALCETA, 1995). Outros autores (MEHLICH, 1984; TRAN *et al.*, 1990), comparando Mehlich 3 e Mehlich 2, também observaram que o Mehlich 3 extraiu em média 20 a 30% mais P do solo. De modo semelhante, TRAN *et al.* (1990) e COX & TAYLOR (1993), comparando as quantidades de P extraídas com Mehlich 1 e 3, observaram maiores extrações com Mehlich 3.

Os valores de coeficientes de correlação de soluções extratoras podem ser utilizados para comparar o comportamento de uma solução com relação a outra, e relacioná-los com características dos próprios extratores e ou às propriedades dos solos e adubos fosfatados aplicados (CABALCETA, 1995).

Na **Tabela 2** são apresentados os coeficientes de correlação entre P extraído pelos métodos utilizados. Verificou-se correlação negativa entre os extratores ácidos e a resina, o que impossibilita, de maneira geral, o estabelecimento de um fator para conversão de resultados obtidos por um dos métodos para o outro.

**Tabela 2.** Coeficientes de correlação (r) entre o P extraído dos solos pelos diferentes extratores utilizados.

Extratores	Resina	Mehlich 3	Mehlich 2
Mehlich 1	-0,77*	0,92*	0,91*
Mehlich 2	-0,48ns	0,99*	
Mehlich 3	-0,47ns		

ns. \* não significativo e significativo a 5%, respectivamente.

Melhores valores de correlação foram obtidos entre os extratores ácidos, principalmente entre Mehlich 3 e 2. SIMS (1989) encontrou elevada correlação entre teores de P disponíveis extraídos por Mehlich 3 e 2, para 400 solos, mas estes coeficientes foram muito menores quando os valores de P muito elevados (fora da faixa de interpretação) foram excluídos. GASCHO *et al.* (1990), COX & TAYLOR (1993) e CABALCETA (1995) observaram que os extratores Mehlich 1 e Mehlich 3 se correlacionaram linearmente, considerando-se grupos de solos com características variadas, com valores de  $r^2$  entre 0,80 e 0,95.

Existe variação muito grande nos métodos de extração de fósforo em uso nas diferentes regiões do mundo, o que não deixa de ser um reflexo da complexidade do comportamento do elemento no solo, bem como da falta de concordância sobre qual seria o método mais adequado (RAIJ, 1991). Contudo, RAIJ (1994), cita que, especialmente o Mehlich 3, parece ser boa alternativa como um extrator universal para nutrientes do solo, apesar de existirem dificuldades em comparar extratores de solo, devido à falta de

aceitação de métodos de referência e da não padronização dos extratores mais comumente utilizados.

### Fósforo Remanescente

Na Tabela 3 é apresentada a quantidade de P remanescente na solução de equilíbrio para os solos estudados, após a adição de solução  $\text{CaCl}_2$  0,01 M com 50 mg/L de P. Observa-se que as amostras de LR apresentaram menores valores de P remanescente, enquanto que no LV e no PV, os valores foram superiores.

**Tabela 3.** Teores de P remanescente em solução para os diferentes solos estudados.

Solos	P remanescente (mg/L P)
LV	37,20 a
PV	34,10 a
LR (0-20 cm)	16,20 b
LR (20-40 cm)	15,12 b

Os menores valores de P remanescente observados no LR podem ser justificados pela maior capacidade de adsorção neste tipo de solo, devido ao maior teor de argila e maiores quantidades de óxidos de Fe e Al, os quais, segundo RAIJ (1991), são responsáveis pela elevada capacidade de fixação de P nesta classe de solo. Conforme ALVAREZ V. & FONSECA (1991), o P remanescente pode ser utilizado como indicativo indireto da adsorção de P nos solos, fato comprovado por SILVA & BRAGA (1992), que, trabalhando com diferentes solos, observaram correlação significativa entre P remanescente e adsorção de fósforo; à medida que diminuíram os valores de P remanescentes em solução, aumentou a capacidade máxima de adsorção de fósforo.

SILVA (1990), trabalhando com várias amostragens de LV e LE, verificou diferença entre teores de P remanescentes, de 12,5 para

um LE muito argiloso até 64,51 mg/L, para LV arenoso, refletindo diferenças de acordo com as classes texturais, com menores quantidades de P remanescente em solução quanto mais argiloso for o solo. Já TUCCI (1991) encontrou valores de 22,2 a 48,9 mg/L de P remanescente em diferentes solos estudados, sendo que para PVa e PVm observou valores de 37,1 e 42,4, semelhantes ao verificado no presente trabalho para a mesma classe de solo.

A Tabela 4 apresenta os valores dos coeficientes de correlação entre o P remanescente e o teor de P extraído dos solos pelos extratores. O maior coeficiente foi verificado entre o P remanescente e o P extraído com a resina; o valor negativo indica que quanto menor o P remanescente, ou seja, quanto mais P estiver fixado aos óxidos e hidróxidos de Fe e Al, menores serão os valores de P disponível obtido com a resina. Os coeficientes de correlação verificados em relação aos outros métodos foram baixos, e não significativos para Mehlich 2 e 3.

**Tabela 4.** Coeficientes de correlação entre o P remanescente (r) e o P extraído dos solos pelos diferentes extratores utilizados.

Extratores	Valor r
Resina	-0,94*
Mehlich 1	0,76*
Mehlich 2	0,52ns
Mehlich 3	0,49ns

ns, \* não significativo e significativo a 5%, respectivamente.

## CONCLUSÕES

1. A resina extraiu mais fósforo disponível dos solos estudados, com exceção do LV, no qual o extrator Mehlich 1 apresentou teores mais elevados.

2. Os valores do coeficiente de correlação entre os extratores ácidos e a resina foram baixos; contudo, entre os extratores Mehlich 1, 2 e 3, esses foram elevados (0,91 e 0,99).

3. As amostras de solo LR apresentaram menores valores de fósforo remanescente, o que indica a grande capacidade de adsorção de P neste tipo de solo.

4. Os teores de P remanescente correlacionaram-se negativamente com os do P extraído pela resina, com coeficiente de correlação significativo e elevado.

## RESUMO

Foi desenvolvido um estudo no laboratório do Departamento de Solos na Universidade Federal de Lavras (UFLA - MG), cujos objetivos foram a avaliação da sensibilidade de diferentes extratores de P em alguns solos, e também a determinação do teor de P remanescente neles. Os tratamentos eram quatro solos: Latossolo Roxo (0-20 cm e 20-40 cm de profundidade), Podzólico Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho-Amarelo (0-20 cm) - e quatro extratores de P: Mehlich 1, Mehlich 2, Mehlich 3 e resina trocadora de íons. Os resultados obtidos foram: a) a resina extraiu mais fósforo disponível dos solos estudados, com exceção do LV, no qual o extrator Mehlich 1 apresentou teor mais elevado; b) os coeficientes de correlação entre os teores de P relativos aos extratores ácidos e a resina foram baixos; c) o solo LR apresentou os menores valores de P remanescente; d) os teores de P remanescente se correlacionaram negativamente com o P extraído pela resina, com coeficiente de correlação significativo e elevado.

**Palavras-chave:** Fósforo, extratores, solos, resina, Mehlich, fósforo remanescente.

## SUMMARY

Surface (0-20 cm) samples from three soils "Latossolo Roxo-LR (Oxisol), Podzólico Vermelho-Amarelo-PV (Ultisol) and Latossolo Vermelho-Amarelo-LV (Oxisol)" and one subsurface sample (20-40 cm) from the "Latossolo Roxo" were utilized in a study to evaluate the efficiency of chemical phosphorus extractants (anion exchange resin and Mehlich 1, 2 and 3) and to determine the equilibrium P. The conclusions were: resin method extracted more P available from the soils except for PV, where Mehlich 1 gave higher value; the correlation coefficients between values corresponding to the acid extractors and the resin were low; LR soil had lower value of equilibrium P; correlation coefficient between equilibrium P and P extracted by resin had a high negative value.

**Key words:** Phosphorus, extractants, soils, Mehlich, resin, equilibrium phosphorus.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ V. V.H. & D.M. da FONSECA, 1990. Definição de Doses de Fósforo para Determinação da Capacidade Máxima de Adsorção de Fosfatos e para Ensaios em Casa de Vegetação. *Rev. Bras. Ciência do Solo*, **14**(1): 49-55.
- ALVAREZ, V., 1995. Correlação e Calibração de Métodos de Análise de Solos. In: ALVAREZ, V., V.H.; L.E.F. FONTES & M.P.F. FONTES (ed.). **O Solo nos Grandes Domínios Morfoclimáticos do Brasil e o Desenvolvimento Sustentado**. Viçosa, UFV/SBCS/DCS. p.615-646.
- BAHIA FILHO, A.F.C.; J.M. BRAGA; A.C. RIBEIRO; R.F. NOVAES, 1983. Sensibilidade de Extratores Químicos à Capacidade Tampão de Fósforo. *Rev. Bras. Ciência do Solo*, **7**(2): 243-249.
- BARBOSA FILHO, M.P.; T. KINJO & T. MURAOKA, 1987. Relações entre Fósforo "Extraível", Frações Inorgânicas de

- Fósforo e Crescimento do Arroz em Função de Fontes de Fósforo, Calagem e Tempo de Incubação. **Rev. Bras. Ciência do Solo**, **11**(2): 147-55.
- CABALCETA, G., 1995. Correlación de Soluciones Extratoras de Fósforo em Suelos de Costa Rica. **Agron Costarricense**, **19**(1): 29-38.
- CORRÊA, L. de A.; H.P. HAAG, 1993. Disponibilidade de Fósforo pelos Extratores de Mehlich 1 e Resina em Latossolo Vermelho Amarelo, Álico Cultivado com Três Gramíneas Forrageiras. **Scientia Agricola**, **50**(2): 287-94.
- COX, A. & R.W. TAYLOR, 1993. Comparison of Extractants for Determination of Available P, K, and Ca in Some Grenada Soils. **Tropical Agriculture**, **70**(1): 22-26.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. 1979. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. Rio de Janeiro.
- FAGERIA, N.K.; V.C. BALIGAR & R.J. WRIGHT, 1991. Influence of Phosphate Rock Sources and Rates on Rice and Common Bean Production in an Oxisol. **Plant and Soil**, **134**(1): 137-144.
- FARIA, C.M.B. de & S.G. de ALBUQUERQUE, 1989. Fosfato Parcialmente Solubilizado em Pastagem de Capim-Búfel no Submédio São Francisco. **Rev. Bras. Ciência do Solo**, **13**(3): 393-397.
- GASCHO, G.J.; T.P. GAINES & C.O. PLANK, 1990. Comparison of Extractants for Testing Coastal Plain Soils. **Comm. Soil Sci. Anal.**, **21**(13-16): 1051-1077.
- MEHLICH, A., 1978. New Extractant for Soil Test Evaluation of Phosphorus, Potassium, Magnesium, Calcium, Sodium, Manganese and Zinc. **Comm. Soil Sci. Plant Anal.**, **9**: 455-476.
- MEHLICH, A., 1984. Mehlich 3 Soil Test Extractant: A Modification of Mehlich 2 Extractant. **Comm. Soil Sci. Plant Anal.**, **15**: 1409-1416.
- RAIJ, B. van, 1978. Seleção de Métodos de Laboratório para Avaliar a Disponibilidade de Fósforo em Solos. **Rev. Bras. Ciência do Solo**, **2**(1): 1-9.

- RAIJ, B. van, 1991. **Fertilidade do Solo e Adubação**. São Paulo, Agronômica Ceres/POTAFOS. 343p.
- RAIJ, B. van, 1994. New Diagnostic Techniques, Universal Soil Extractants. **Comm. Soil Sci. Plant Anal.**, 25(7-8): 799-816.
- RAIJ, B. van, & J.A. QUAGGIO, 1983. **Métodos de Análise do Solo para Fins de Fertilidade**. Campinas, IAC. 31p. (Boletim, 18).
- RAIJ, B. van; C.T. FEITOSA & N.M. da SILVA, 1984. Comparação de Quatro Extratores de Fósforo nos Solos. **Bragantia**, 43(1): 17-29.
- RAIJ, B. van; J.A. QUAGGIO & N.M. da SILVA, 1986. Extraction of Phosphorus, Potassium, Calcium and Magnesium from Soil by an Ion-Exchange Resin Procedure. **Comm. Soil Sci. Plant Anal.**, 17(5): 547-566.
- SILVA, J.T.A., 1990. Relações entre Características do Solo que Refletem a Capacidade-Tampão de Fósforo e o Nível Cítrico para Sorgo, em Dez Latossolos de Minas Gerais, em Casa de Vegetação. Viçosa. 87p. (Mestrado - Universidade Federal de Viçosa).
- SILVA, J.T.A. & J.M. BRAGA, 1992. Sugestões de Adubação, Considerando Fósforo Disponível e Índices Físicos e Químicos que Refletem o Fator Capacidade, em Casa de Vegetação. **Rev. Ceres**, Viçosa, 39(224): 342-264.
- SIMS, J.T., 1989. Comparison of Mehlich 1 and Mehlich 3 Extractants for P, K, Ca, Mg, Cu and Zn in Atlantic Coastal Plain Soils. **Comm. Soil Sci. Plant Anal.**, 20: 1707-1726.
- TRAN, T.; M. GIROU; J. GUILBEAUT; P. AUDESS, 1990. Evaluation of Mehlich-III Extractant to Estimate the Available P in Quebec Soils. **Comm. Soil Sci. Plant Anal.**, 21(1): 1-28.
- TUCCI, C.A.F., 1991. Disponibilidade de Fósforo em Solos da Amazônia. Viçosa. 142p. (Doutorado - UFV).
- VOLKWEISS, S.J. & B. van RAIJ, 1977. Retenção e Disponibilidade de Fósforo em Solos. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO: BASES PARA A UTILIZAÇÃO AGROPECUÁRIA, 4., Brasília, 1976. São Paulo, EDUSP. p.317-332.