

Fontes, doses e extratores de fósforo em alfafa e centrosema⁽¹⁾

Adônis Moreira⁽²⁾ e Eurípedes Malavolta⁽³⁾

Resumo – O objetivo deste trabalho foi estudar o efeito de quatro fontes e quatro doses de fósforo na produção de matéria seca e nos teores de P em alfafa e centrosema, cultivadas em vasos com Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, e avaliar a disponibilidade de fósforo no solo, por três extratores. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4 x 4 x 6: quatro doses de P (0, 50, 100 e 200 mg kg⁻¹), quatro fontes de P (superfosfato triplo - SFT, termofosfato Yoorin - TY, fosfato natural da Carolina do Norte - FNCN e fosfato natural de Arad - FNA) e seis épocas de corte das plantas com intervalos de 30 dias, com três repetições. As doses de P aumentaram a produção de matéria seca total (MS) e o teor de P na MS, sendo que a alfafa apresentou maior resposta. O termofosfato Yoorin proporcionou a maior produção de MS: em seis cortes foram obtidos 50,17 e 70,89 gramas, respectivamente, com a alfafa e centrosema na dose de 200 mg kg⁻¹. Os extratores Mehlich 1, Mehlich 3 e resina apresentaram alta correlação entre si na avaliação do P disponível. Considerando a média das três doses aplicadas e de todos os cortes, a quantidade total de P absorvido obedeceu a seguinte ordem: TY > SFT > FNCN > FNA.

Termos para indexação: *Centrosema pubescens*, *Medicago sativa*, matéria seca, fosfatos, métodos de análise.

Sources, rates and extractants of phosphorus on alfalfa and centrosema

Abstract – The objective of this work was to study the effect of four rates and four sources of P on dry matter production, and of phosphorus content in alfalfa and centrosema grown in pots containing a Red-Yellow Latosol (Oxisol), and to evaluate soil phosphorus by three extractants. The treatments were completely randomized in a 4 x 4 x 6 factorial design, with three replicates. Four sources of P were used at the rates of 0, 50, 100 and 200 mg kg⁻¹, supplied as triple superphosphate (TSP), Arad rock phosphate (ARP), North Caroline rock phosphate (NCRP) and Yoorin magnesium thermophosphate (YTP), and six monthly harvests were made. The various rates of phosphorus applied increased both dry matter and P content in dry matter, alfalfa being more responsive. YTP ranked first in the total dry matter production: in six cuttings 50.17 g and 70.89 g were obtained, respectively with alfalfa and centrosema when 200 mg kg⁻¹ was used. The extractants Mehlich 1 and 3 and resin presented each other a high correlation in the evaluation of the available phosphorus. Considering the average of the three rates of application and all cuttings, total P taken up obeyed the following decreasing order: YTP > TSP > NCRP > ARP.

Index terms: *Centrosema pubescens*, *Medicago sativa*, dry matter, phosphates, analytical methods.

Introdução

⁽¹⁾ Aceito para publicação em 16 de maio de 2001.

Extraído da Dissertação de Mestrado apresentada pelo primeiro autor à Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP. Parcialmente financiado pela Fapesp.

⁽²⁾ Embrapa-Centro de Pesquisa Agroflorestal da Amazônia Ocidental, Caixa Postal 319, CEP 69011-970 Manaus, AM. Bolsista do DCR/CNPq. E-mail: adonis@cpaa.embrapa.br

⁽³⁾ Universidade de São Paulo, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Caixa Postal 96, CEP 13400-970 Piracicaba, SP. Bolsista do CNPq. E-mail: mala@cena.usp.br

No Brasil, o fósforo é o elemento cuja falta limita mais freqüentemente a produção das culturas. Cerca de 90% das análises feitas no País mostram que os teores de P disponível no solo são comumente baixos, podendo ser inferiores a 1,0 mg dm⁻³ pelo extrator Mehlich 1 (Malavolta, 1980; Goedert et al., 1985).

Com relação aos extratores, inúmeros métodos têm sido propostos para diagnosticar o grau de disponi-

bilidade do P para as plantas. Cada método apresenta maior ou menor facilidade em extrair P, motivo pelo qual a avaliação do P disponível em solos, mostrada na revisão de Raij (1991), é um assunto que tem merecido muita atenção. Atualmente, nas análises de rotina feitas no Brasil, empregam-se basicamente dois métodos: o Mehlich 1 (Mehlich, 1978), e resina trocadora de íons (Raij et al., 1986). O extrator Mehlich 1 (Carolina do Norte ou duplo ácido) é o mais empregado, à exceção do Estado de São Paulo, dada a viabilidade prática e econômica na rotina (Rossi & Fagundes, 1998).

Esses dois métodos apresentam diferentes capacidades de solubilizar P dos compostos fosfatados. O extrator Mehlich 1 extrai o P ligado ao Ca e, em menor proporção, o P ligado ao Fe e Al (Raij, 1991). Contudo, esse método tem recebido críticas, principalmente por sua capacidade de extrair P não disponível de solos que receberam fosfatos naturais, bem como pelos baixos teores obtidos em solos com elevados níveis de óxidos de ferro e alumínio (Bahia Filho et al., 1983).

O método de extração da resina trocadora de íons, saturada com NaHCO_3 , tem semelhança com a absorção de P pelas plantas, caracterizado pela transferência do P lábil para a solução do solo e daí para as raízes (Silva & Raij, 1999). Seu uso está baseado no fato de que o solo é um trocador de íons, sendo o pH da suspensão resina-solo semelhante ao pH do solo (Raij et al., 1986).

Outro método de extração que vem sendo estudado é o Mehlich 3, o qual pode ser um dos procedimentos mais apropriados para análise de solo em laboratórios, por apresentar melhor correlação entre nutriente no solo x nutriente na planta do que o extrator Mehlich 1, além de ser um extrator de multinutrientes (Tran et al., 1990).

O objetivo deste trabalho foi estudar o efeito de fontes e doses de P na produção de matéria seca e no teor e conteúdo foliar de P na alfafa e centrosema cultivadas em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, e avaliar a disponibilidade do P do solo por três extratores.

Material e Métodos

Os experimentos com alfafa e centrosema foram conduzidos no período de fevereiro a agosto de 1996, em casa

de vegetação do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (Cena/USP), localizado no Município de Piracicaba, SP.

Empregou-se o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial $4 \times 4 \times 6$, sendo quatro doses de P (0, 50, 100 e 200 mg kg^{-1}), quatro fontes de P com as seguintes características: fosfato natural da Carolina do Norte (30% de P_2O_5 , 9,3% solúvel em ácido cítrico e 5,3 solúvel em citrato + água), fosfato natural de Arad (33% de P_2O_5 , 9,9% solúvel em ácido cítrico, e 2,9% solúvel em citrato + água), termofosfato Yoorin (18% de P_2O_5 , 16,5% solúvel em ácido cítrico e 7,5% solúvel em citrato + água), e superfosfato triplo (43% de P_2O_5 , 37,9% solúvel em água, 39,0% solúvel em ácido cítrico e 41,6% solúvel em citrato + água), e seis épocas de corte, com três repetições. Todas as fontes foram moídas e aplicadas na forma de pó. O solo utilizado foi um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico com 370 g kg^{-1} de argila (franco-argilo-arenoso), coletado no Município de Nova Odessa, SP, com as seguintes características químicas: pH (Ca Cl_2 0,01 mol L^{-1}) 3,7; matéria orgânica, 20,3 g kg^{-1} ; $\text{P}_{(\text{resina})}$, 4,0 mg kg^{-1} ; $\text{P}_{(\text{Mehlich 1})}$, 6,0 mg kg^{-1} ; $\text{P}_{(\text{Mehlich 3})}$, 5,0 mg kg^{-1} ; S-SO_4^{2-} , 59 mg kg^{-1} ; K^+ , 1,0 $\text{mmol}_c \text{ kg}^{-1}$; Ca^{2+} , 3,0 $\text{mmol}_c \text{ kg}^{-1}$; Mg^{2+} , 2,0 $\text{mmol}_c \text{ kg}^{-1}$; Al^{3+} , 21,0 $\text{mmol}_c \text{ kg}^{-1}$; $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$, 96,0 $\text{mmol}_c \text{ kg}^{-1}$; V, 6,0%; fósforo orgânico, 3,9 mg kg^{-1} e capacidade máxima de adsorção de P, 715,1 mg kg^{-1} .

Foram utilizados vasos de barro com cinco litros de capacidade, impermeabilizados internamente com neutrol. Cada leguminosa foi mantida em bancadas distintas. A acidez do solo foi corrigida 30 dias antes do plantio, visando elevar o índice de saturação por bases ao valor de 70% para alfafa e 50% para centrosema. Para isto, foi empregado calcário dolomítico com as seguintes características: 40% de CaO; 15% de MgO; PN 108% e PRNT 86%. Com exceção do P e do N, a adubação com os demais nutrientes, em mg kg^{-1} de solo, foi de: K, 50; S, 50; B, 0,5; Cu, 1,5; Fe, 5,0; Mn, 3,0; e Zn, 5,0, conforme Malavolta (1980) para experimentos conduzidos em condições de casa de vegetação. No segundo e quarto cortes, foram efetuadas as adubações de manutenção com K_2SO_4 (50 mg kg^{-1} de K), e no terceiro, com micronutrientes (B, Cu, Mn e Zn), na mesma dose do plantio. Os vasos foram irrigados diariamente, para manter 80% do valor total de poros (VTP).

Após a determinação do poder germinativo das sementes escarificadas, foi feita a inoculação dos fungos *Rhizobium meliloti* (alfafa) e *Rhizobium centrosema* (centrosema) e um tratamento com solução contendo cobalto (0,1 mg L^{-1}) e molibdênio (0,1 mg L^{-1}). Posterior-

mente ao plantio de dez sementes, foram selecionadas cinco plantas uniformes por vaso.

Após cada corte (30 dias), determinou-se a produção de matéria seca, teor e o conteúdo de P na parte aérea das plantas, procedimentos esses descritos por Malavolta et al. (1997). No solo, o P disponível foi obtido mediante o uso dos extratores Mehlich 1 (Mehlich, 1978), Mehlich 3 (Mehlich, 1984) e resina trocadora de íons (Raij et al., 1986). Antes do plantio e após cada corte, foi retirada uma amostra de solo de cada vaso com microtrado, e juntadas as repetições.

Os resultados, quando necessários, foram submetidos à análise de variância (teste F), teste de comparação de contraste entre médias (Tukey 5%), regressão e correlação, conforme as metodologias descritas por Pimentel-Gomes (1990).

Resultados e Discussão

A alfafa e a centrosema responderam significativamente ($p \leq 0,05$) à adubação fosfatada, sendo a produção muito reduzida na ausência de P, o que evidencia a importância desse nutriente para o desenvolvimento das duas leguminosas forrageiras (Tabelas 1 e 2).

As leguminosas apresentaram tendência de estabilização nas doses mais elevadas, fato mais acentuado na centrosema. O mesmo foi observado por Crespo & Curbelo (1990) e Mesa & Hernández (1996),

que, nas condições de Cuba, obtiveram incremento pouco significativo na produção de matéria seca (MS) nas doses mais elevadas de P. Na alfafa, tal comportamento é semelhante aos observados por Nielson & Owens (1964) e James et al. (1995). Esse aumento na produção de MS ocorreu, possivelmente, em virtude do papel do P na síntese de proteína; sua presença se reflete no maior crescimento da planta (Marschner, 1995).

O menor incremento na produção na alfafa e centrosema, a partir da dose 50 mg kg^{-1} , pode estar relacionado ao nível de suficiência de P das duas leguminosas, alcançado desde esta dose (Tabela 3). Os teores tidos como adequados em alfafa e centrosema situam-se na faixa de $3,0 \pm 0,8 \text{ g kg}^{-1}$ e $2,1 \pm 0,9 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente (Werner & Mattos, 1972; Fontes et al., 1993).

O superfosfato triplo (SFT) e o termofosfato Yoorin (TY) proporcionaram uma diminuição mais acentuada na produção de matéria seca (MS) depois do quarto corte das leguminosas do que os fosfatos naturais (Tabela 2). Segundo Yost et al. (1982), a alta solubilidade em água acarreta maior absorção nos primeiros cortes, e maior fixação no solo, nos demais.

As maiores produções de matéria seca da alfafa e da centrosema, na soma dos seis cortes, foram obtidas com o termofosfato Yoorin (Tabelas 1 e 2). Di-

Tabela 1. Produção de matéria seca total (g por vaso) da alfafa e da centrosema de acordo com as doses e fontes de fósforo⁽¹⁾.

| Dose de P (mg kg^{-1}) | FNCN | FNA | TY | SFT |
|--------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Alfafa | | | | |
| 0 | 12,36 | 12,36 | 12,36 | 12,36 |
| 50 | 29,23bc | 27,62c | 33,53a | 32,38ab |
| 100 | 35,28b | 35,97b | 42,67a | 34,58b |
| 200 | 40,56c | 38,56d | 50,17a | 46,07b |
| Teste F | 318,111** | 586,407** | 238,062** | 438,168** |
| Centrosema | | | | |
| 0 | 26,64 | 26,64 | 26,64 | 26,64 |
| 50 | 56,78bc | 65,73a | 61,45ab | 52,95c |
| 100 | 56,77b | 59,31b | 66,64a | 61,89ab |
| 200 | 64,01b | 57,11c | 70,89a | 65,82ab |
| Teste F | 189,309** | 153,147** | 292,683** | 230,721** |

⁽¹⁾Dentro de cada dose, médias seguidas por letras distintas, em cada linha, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; os dados são médias de seis cortes e de três repetições; FNCN: fosfato natural da Carolina do Norte; FNA: fosfato natural de Arad; TY: termofosfato Yoorin; SFT: superfosfato triplo; os coeficientes de variação para alfafa e centrosema foram, respectivamente, 14,73 e 13,58%. **Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

versos trabalhos têm evidenciado bons resultados apresentados pelos termofosfatos, os quais demonstram ser tão eficientes quanto os fertilizantes solúveis em água (Goedert & Lobato, 1984; Casanova, 1995; Moreira et al., 1997). Tal resultado tem sido atribuído, segundo Castro (1991), aos efeitos nutricionais e corretivos dos silicatos de Ca e Mg presentes nestes materiais, e neste caso o aumento da produção de matéria seca não seria atribuída apenas à disponibilidade de P nestes produtos.

Por não apresentarem solubilidade em água e apresentarem baixa solubilidade em ácido cítrico, os resultados menos expressivos na produção de matéria

seca nos primeiros cortes foram obtidos com os fosfatos naturais (Tabela 2). As produções aumentaram nos cortes subsequentes, sendo similares ao superfosfato triplo e termofosfato Yoorin a partir do quarto corte, e superiores a estes, porém não-significativos, no sexto corte na centrosema.

Na alfafa, a partir do quarto corte as produções foram semelhantes com todas as fontes, situação que permaneceu até o sexto corte (Tabela 2). Contudo, a produção acumulada foi superior nas fontes mais solúveis, apesar de a produção obtida com os fosfatos naturais ter aumentado com o tempo, ou seja, a menor produção comparativa inicial ter sido

Tabela 2. Produção de matéria seca (mg kg⁻¹) da parte aérea de alfafa e centrosema nas seis épocas de corte em razão das fontes e doses de P (50, 100 e 200 mg kg⁻¹)⁽¹⁾.

| Fontes de fósforo | Alfafa | | | Centrosema | | |
|------------------------------|--------|--------|--------|------------|---------|---------|
| | 50 | 100 | 200 | 50 | 100 | 200 |
| Primeiro corte | | | | | | |
| Fosfato da Carolina do Norte | 4,06b | 4,63ab | 4,93ab | 9,29b | 10,19b | 12,44b |
| Fosfato de Arad | 4,23ab | 4,82ab | 4,24b | 10,80ab | 11,00b | 12,84b |
| Termofosfato Yoorin | 5,79a | 5,90a | 6,48a | 12,09a | 13,62a | 18,47a |
| Superfosfato triplo | 5,17ab | 4,08b | 6,44a | 12,31a | 11,63ab | 13,46b |
| Segundo corte | | | | | | |
| Fosfato da Carolina do Norte | 3,47b | 5,92b | 7,85b | 11,13b | 13,58a | 13,02b |
| Fosfato de Arad | 4,60b | 6,22b | 7,55b | 12,50ab | 13,29a | 14,19ab |
| Termofosfato Yoorin | 7,53a | 10,00a | 11,13a | 14,78a | 15,51a | 16,22a |
| Superfosfato triplo | 6,59a | 5,90b | 9,03b | 13,58ab | 13,65a | 14,76ab |
| Terceiro corte | | | | | | |
| Fosfato da Carolina do Norte | 5,54a | 6,26b | 6,66bc | 11,44ab | 10,32b | 11,38ab |
| Fosfato de Arad | 5,10a | 6,60ab | 5,70c | 12,63a | 10,20b | 9,08b |
| Termofosfato Yoorin | 5,77a | 7,97a | 9,07a | 13,32a | 13,20a | 13,41a |
| Superfosfato triplo | 5,84a | 6,29b | 7,53ab | 9,45b | 12,69ab | 11,52ab |
| Quarto corte | | | | | | |
| Fosfato da Carolina do Norte | 6,82a | 7,36b | 8,71b | 12,51a | 11,28a | 14,45a |
| Fosfato de Arad | 4,96b | 7,82b | 8,63b | 13,47a | 12,27a | 10,48c |
| Termofosfato Yoorin | 7,32a | 9,86a | 10,93a | 11,33ab | 12,23a | 11,92bc |
| Superfosfato triplo | 7,43a | 8,68ab | 10,44a | 8,92b | 12,81a | 13,93ab |
| Quinto corte | | | | | | |
| Fosfato da Carolina do Norte | 5,16a | 6,42a | 5,94a | 6,30b | 6,41a | 7,46a |
| Fosfato de Arad | 4,94a | 5,54a | 6,69a | 11,16a | 7,16a | 5,95a |
| Termofosfato Yoorin | 4,30a | 5,24a | 7,30a | 6,35b | 7,55a | 7,36a |
| Superfosfato triplo | 4,51a | 4,83a | 6,87a | 4,97b | 6,43a | 7,35a |
| Sexto corte | | | | | | |
| Fosfato da Carolina do Norte | 4,18a | 4,69a | 6,47a | 6,11a | 4,99a | 5,26a |
| Fosfato de Arad | 3,79a | 4,97a | 5,75a | 5,17ab | 5,39a | 4,57a |
| Termofosfato Yoorin | 2,82a | 3,70a | 5,26a | 3,58b | 4,53a | 3,51a |
| Superfosfato triplo | 2,84a | 4,80a | 5,76a | 3,72ab | 4,68a | 4,80a |

⁽¹⁾Médias seguidas por letras distintas, em cada coluna dentro de cada corte, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; os dados são médias de três repetições.

obtida com as fontes menos solúveis não foi compensada com o decorrer do tempo, resultado este mais evidente na alfafa. Estes resultados confirmam as observações de Yost et al. (1982), Goedert (1983) e León et al. (1986), os quais postularam que, mesmo apresentando maior efeito residual, os fosfatos naturais reativos, ou não, resultam em produção acumulada inferior aos fosfatos solúveis.

Os teores de P no solo e a matéria seca da parte aérea aumentaram linearmente em razão das doses de P, nas quatro fontes utilizadas (Tabela 3), nas duas leguminosas. Verifica-se que na alfafa houve uma relação linear significativa entre o teor e a matéria seca (Figura 1). Na centrosema, devido principalmente ao efeito de diluição (Marschner, 1995), o maior teor de P não refletiu diretamente na produção, apesar de ter acumulado mais P na MS do que a alfafa. Comparando os resultados obtidos com plantas cultivadas em outras condições edafoclimáticas, com exceção da testemunha na alfafa, os teores encontrados na parte aérea estão de acordo com os citados na literatura em relação à alfafa e centrosema bem supridas de P (Werner & Mattos, 1972; Fontes et al., 1993).

Houve uma relação significativa entre o teor de P no tecido e a produção de matéria seca da alfafa (Figura 1). No caso da centrosema, a tendência é quadrática e não-significativa (Figura 2). Como reportado anteriormente, a matéria seca dessa leguminosa cresceu menos nas doses superiores a 50 mg kg⁻¹, enquanto na alfafa este aumento na produção foi mais expressivo. Isto, por sua vez, indica níveis interiores de P mais baixos na centrosema do que na alfafa (Tabela 3 e Figuras 1 e 2).

Os extratores Mehlich 1, Mehlich 3 e resina foram eficientes na avaliação do P disponível, conforme pode ser observado pela significância dos coeficientes angulares e os altos coeficientes de determinação (Figura 3 e Tabela 4).

Estes resultados confirmam as correlações feitas por Stefanutti et al. (1994) e Moreira et al. (1997) entre os métodos da resina e Mehlich 1, por Gascho et al. (1990) entre os extratores Mehlich 1 e Mehlich 3, e por Moreira et al. (1997) entre os métodos da resina e Mehlich 3, como métodos de avaliação do P disponível, enquadrando-se satisfatoriamente nas condições do estudo da fertilidade do solo.

Tabela 3. Regressões entre as doses e os teores e a quantidade de P na matéria seca da parte aérea da alfafa e da centrosema, em quatro fontes de fertilizantes fosfatados⁽¹⁾.

| Fontes de fósforo | Teor (g kg ⁻¹) | Quantidade (mg por vaso) |
|------------------------------|---|--|
| | | Alfafa |
| Fosfato da Carolina do Norte | Y = 2,000 + 0,004**X R ² = 0,75 | Y = 5,179 + 0,106**X R ² = 0,95 |
| Fosfato de Arad | Y = 1,946 + 0,005**X R ² = 0,87 | Y = 5,573 + 0,071**X R ² = 0,88 |
| Termofosfato Yoorin | Y = 1,961 + 0,006**X R ² = 0,88 | Y = 6,085 + 0,068**X R ² = 0,85 |
| Superfosfato triplo | Y = 2,033 + 0,007**X R ² = 0,84 | Y = 5,668 + 0,101**X R ² = 0,95 |
| | | Centrosema |
| Fosfato da Carolina do Norte | Y = 1,477 + 0,005**X R ² = 0,81 | Y = 8,783 + 0,084**X R ² = 0,86 |
| Fosfato de Arad | Y = 1,380 + 0,004**X R ² = 0,92 | Y = 9,153 + 0,075**X R ² = 0,79 |
| Termofosfato Yoorin | Y = 1,450 + 0,006**X R ² = 0,89 | Y = 10,015 + 0,109**X R ² = 0,84 |
| Superfosfato triplo | Y = 1,443 + 0,005**X R ² = 0,87 | Y = 8,727 + 0,097**X R ² = 0,88 |

⁽¹⁾Os dados são médias de seis cortes e três repetições. **Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

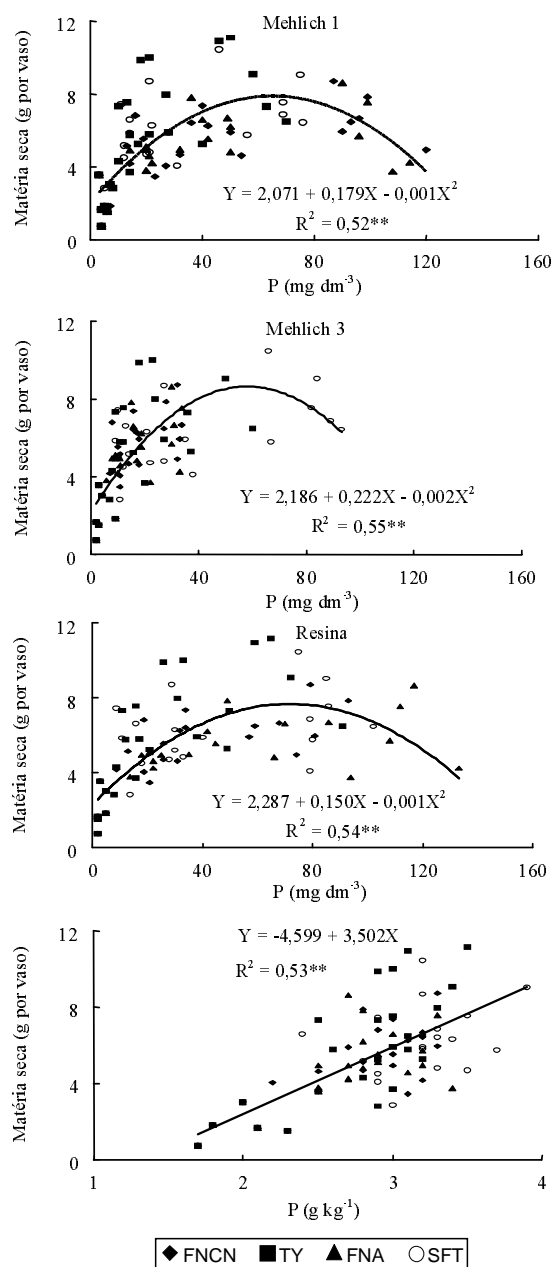


Figura 1. Regressões e coeficientes de determinação entre a produção de matéria seca e os teores de P extraídos pelos extratores Mehlich 1, Mehlich 3 e resina trocadora de íons e entre a produção de matéria seca e o teor foliar de P, em alfafa, em quatro fontes de P (FNCN: fosfato natural da Carolina do Norte; FNA: fosfato natural de Arad; TY: termofosfato Yoorin; SFT: superfosfato triplo). **Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

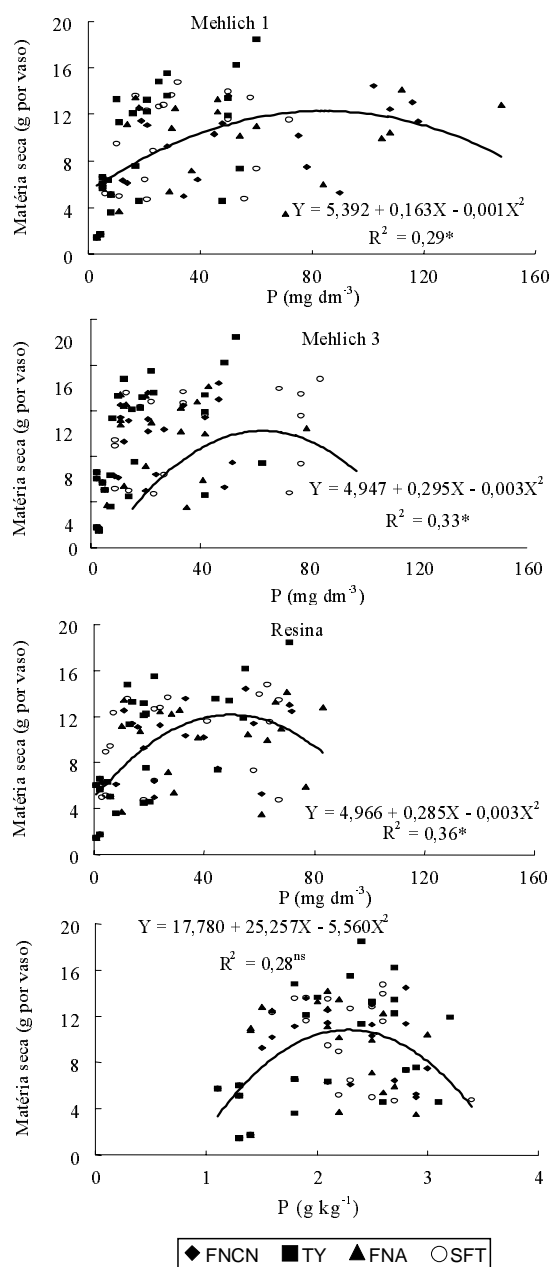


Figura 2. Regressões e coeficientes de determinação entre a produção de matéria seca e os teores de P extraídos pelos extratores Mehlich 1, Mehlich 3 e resina trocadora de íons e entre a produção de matéria seca e o teor foliar de P, em centrosema, em quatro fontes de P (FNCN: fosfato natural da Carolina do Norte; FNA: fosfato natural de Arad; TY: termofosfato Yoorin; SFT: superfosfato triplo). ^{ns}Não-significativo. * e **Significativos a 5% e a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

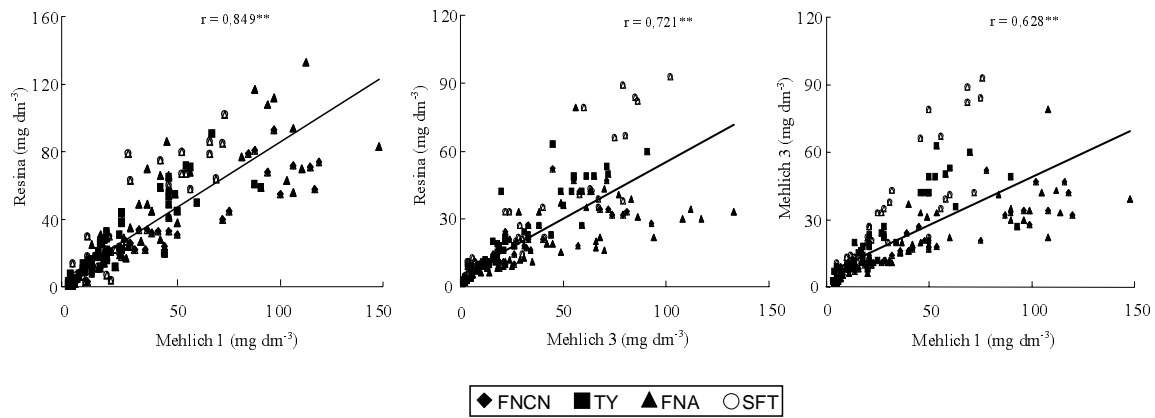


Figura 3. Correlações entre os teores de P extraídos pelos extratores Mehlich 1, Mehlich 3 e resina trocadora de íons nas sete épocas de amostragem de solo realizadas em vasos cultivados com alfafa e centrosema. **Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 4. Regressões entre as doses e os teores de P no solo determinados pelos três extratores, dentro de cada fonte e leguminosa.

| Fontes de fósforo ⁽¹⁾ | Mehlich 1 | Mehlich 3 | Resina |
|----------------------------------|---|--|--|
| Alfafa | | | |
| FNCN | Y = 1,267 + 0,479**X R ² = 0,95 | Y = 3,933 + 0,128**X R ² = 0,92 | Y = 2,766 + 0,352**X R ² = 0,90 |
| FNA | Y = 3,000 + 0,423**X R ² = 0,89 | Y = 3,667 + 0,131**X R ² = 0,94 | Y = -0,233 + 0,546**X R ² = 0,95 |
| TY | Y = 2,268 + 0,263**X R ² = 0,90 | Y = 2,333 + 0,224**X R ² = 0,91 | Y = 0,866 + 0,317**X R ² = 0,90 |
| SFT | Y = 0,733 + 0,285**X R ² = 0,83 | Y = -3,300 + 0,393**X R ² = 0,91 | Y = 1,167 + 0,391**X R ² = 0,85 |
| Centrosema | | | |
| FNCN | Y = 1,167 + 0,501**X R ² = 0,93 | Y = 2,333 + 0,204**X R ² = 0,95 | Y = 1,167 + 0,283**X R ² = 0,90 |
| FNA | Y = 5,067 + 0,346**X R ² = 0,88 | Y = 2,467 + 0,227**X R ² = 0,83 | Y = 0,200 + 0,573**X R ² = 0,83 |
| TY | Y = 0,633 + 0,285**X R ² = 0,93 | Y = 0,800 + 0,239**X R ² = 0,91 | Y = 3,267 + 0,245**X R ² = 0,85 |
| SFT | Y = 4,633 + 0,254**X R ² = 0,86 | Y = -1,133 + 0,359**X R ² = 0,94 | Y = -1,833 + 0,305**X R ² = 0,93 |

⁽¹⁾FNCN: fosfato natural da Carolina do Norte; FNA: fosfato natural de Arad; TY: termofosfato Yoorin; SFT: superfosfato tripla. **Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

No caso dos fosfatos naturais reativos (Figuras 1 e 2 e Tabela 4), o extrator Mehlich 1 confirma os altos valores de P extraídos em solos tratados com fosfatos naturais brasileiros (Raij et al., 1986; Raij, 1991). O extrator Mehlich 3 extrai menos P dos fosfatos naturais do que a resina trocadora de íons e o Mehlich 1. Resultados similares foram obtidos por Rossi & Fagundes (1998), com três tipos de solo (Latossolo Vermelho-Amarelo, Podzólico Vermelho-Amarelo e Latossolo Roxo) e duas fontes de fertilizantes fosfatados (uma fonte parcialmente acidulada e outra solúvel).

Quando se utilizam todas as fontes na predição da disponibilidade de P no solo (Figura 3), os coeficientes de correlação seguiram a seguinte ordem: resina vs. Mehlich 1 > resina vs. Mehlich 3 > Mehlich 1 vs. Mehlich 3.

Essa variação nos métodos de extração não deixa de ser um reflexo da complexidade do comportamento do elemento no solo. Tais resultados encontrados no presente estudo corroboram os argumentos de Raij (1994), mostrando que a utilização do extrator Mehlich 3, quando comparado com o Mehlich 1 e a resina, apresenta-se como boa alternativa para a função de extrator universal para nutrientes em solos ácidos, que são predominantes nas regiões tropicais, devido ao menor custo e às menores dificuldades operacionais, quando comparado com o método da resina.

Conclusões

1. No total dos seis cortes, os fosfatos naturais reativos resultam em produções de matéria seca inferiores à dos fosfatos mais solúveis.

2. A avaliação do P disponível dos fosfatos naturais da Carolina do Norte e de Arad, obedece a seguinte seqüência: Mehlich 1 > resina > Mehlich 3.

3. Os extratores Mehlich 1, Mehlich 3 e resina são similares na estimação do P disponível no superfosfato triplo e no termofosfato Yoorin.

4. A alfafa e a centrosema são supridas adequadamente em P a partir da aplicação, no solo, de 50 mg kg⁻¹ de P, independentemente da fonte usada.

Referências

BAHIAFILHO, A. F. C.; BRAGA, J. M.; RIBEIRO, A. C.; NOVAES, R. F. Sensibilidade de extratores químicos à capa-

cidade tampão de fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 7, n. 2, p. 243-249, 1983.

CASANOVA, E. F. Agronomic evaluation of fertilizers with special reference to natural and modified phosphate rock. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v. 41, n. 3, p. 211-218, 1995.

CASTRO, C. **Avaliação agrônômica de termofosfatos magnesianos fundidos, produzidos a partir de minérios oriundos de Maicuru, PA**. Belém: Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, 1991. 80 p. Tese de Mestrado.

CRESPO, G.; CURBELO, F. Response to P of *Centrosema pubescens* and *Pueraria phaseoloides* in a Luvisol soil to Pinar del Rio province. **Cuban Journal of Agricultural Science**, v. 24, n. 2, p. 225-230, 1990.

FONTES, P. C. R.; MARTINS, C. E.; CÔSER, A. C.; VILELA, D. Produção e níveis de nutrientes em alfafa (*Medicago sativa* L.) no primeiro ano de cultivo, na Zona da Mata de MG. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 22, n. 2, p. 205-211, 1993.

GASCHO, G. J.; GAINESS, T. P.; PLANK, C. O. Comparison of extractants for testing coastal plain soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 21, n. 13/16, p. 1051-1077, 1990.

GOEDERT, W. J. Efeito residual de fosfatos naturais em solos de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 18, n. 5, p. 499-506, maio 1983.

GOEDERT, W. J.; LOBATO, E. Avaliação agrônômica de fosfatos em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 8, n. 1, p. 97-102, 1984.

GOEDERT, W. J.; SOUZA, D. M. G. de; LOBATO, E. Fósforo. In: GOEDERT, W. J. (Ed.). **Solos dos cerrados: tecnologia e estratégias de manejo**. São Paulo: Nobel, 1985. p. 129-163.

JAMES, D. W.; TINDALL, T. A.; HURST, C. J.; HUSSEIN, A. N. Alfafa cultivar responses to phosphorus and potassium deficiency: biomass. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 18, n. 11, p. 2431-2445, 1995.

LEÓN, L. A.; FENSTER, W. E.; HAMMOND, L. L. Agronomic potential of eleven phosphate rocks from Brazil, Colombia, Peru, and Venezuela. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 50, n. 2, p. 798-802, 1986.

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

- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic, 1995. 889 p.
- MEHLICH, A. Mehlich 3 soil test extractant: a modification of Mehlich 2 extractant. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 15, n. 12, p. 1409-1416, 1984.
- MEHLICH, A. New extractant for soil test evaluation of phosphorus, potassium, magnesium, calcium, sodium, manganese and zinc. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 9, n. 2, p. 477-492, 1978.
- MESA, A. R.; HERNÁNDEZ, M. Nivel crítico de fósforo en *Centrosema pubescens* SIH-129. **Pastos y Forrajes**, Habana, v. 19, n. 1, p. 85-88, 1996.
- MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E.; VIRGENS FILHO, A. C.; SILVEIRA, R. L. V. A.; ABREU, J. B. R. Avaliação da disponibilidade do fósforo no solo por métodos isotópico, químico e biológico. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 54, n. 1/2, p. 78-84, 1997.
- NIELSON, F. R.; OWENS, G. Phosphorus on alfalfa: a fertilizer rate and frequency study. **Utah Science**, Logan, v. 25, n. 2, p. 46-48, 1964.
- PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de Estatística Experimental**. Piracicaba: Nobel, 1990. 468 p.
- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Agronômica Ceres/Potafos, 1991. 343 p.
- RAIJ, B. van. New diagnostic techniques: universal soil science extractants. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 25, n. 7/8, p. 799-816, 1994.
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J. A.; SILVA, N. M. Extraction of phosphorus, potassium, calcium, and magnesium from soils by an ion-exchange resin procedure. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 17, n. 5, p. 547-566, 1986.
- ROSSI, C.; FAGUNDES, J. L. Determinação do teor de fósforo em solos por diferentes extratores. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 73, n. 2, p. 215-227, 1998.
- SILVA, F. C.; RAIJ, B. van. Disponibilidade de fósforo em solos avaliadas por diferentes extratores. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 2, p. 267-288, fev. 1999.
- STEFANUTTI, R.; MURAOKA, T.; MALAVOLTA, E. Comportamento de extratores em solo tratado com fontes diversas de fósforo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 51, n. 1, p. 105-112, 1994.
- TRAN, T. S.; GIROUX, M.; GUILBEAUT, J.; AUDESS, P. Evaluation of Mehlich-III extractant to estimate the available P in Quebec Soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 21, n. 1, p. 1-28, 1990.
- WERNER, J. C.; MATTOS, H. B. Estudos de nutrição de centrosema (*Centrosema pubescens* Benth.). **Boletim da Indústria Animal**, Nova Odessa, v. 29, n. 2, p. 375-391, 1972.
- YOST, R. S.; NADERMAN, G. C.; KAMPRATH, E. J.; LOBATO, E. Availability of rock phosphate as measured by an acid tolerant pasture grass and extractable phosphorus. **Agronomy Journal**, Madison, v. 74, n. 3, p. 462-468, 1982.