

AUZENI DANTAS DE ALMEIDA GONÇALVES

CINÉTICA DE FOSFORO NO SOLO AVALIADA  
POR DIFERENTES EXTRATORES

Trabalho monográfico apresentado ao  
curso de Engenharia Florestal do  
Centro de Saúde e Tecnologia Rural da  
Universidade Federal da Paraíba.

PATOS - PB

MAIO - 1994



Biblioteca Setorial do CDSA. Maio de 2022.

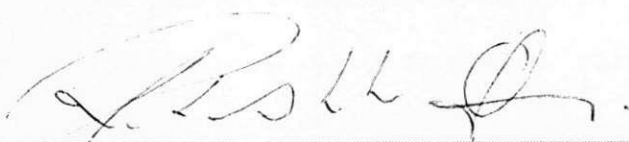
Sumé - PB

CINÉTICA DE FOSFORO NO SOLO AVALIADA  
POR DIFERENTES EXTRATORES

AUZENI DANTAS DE ALMEIDA GONÇALVES

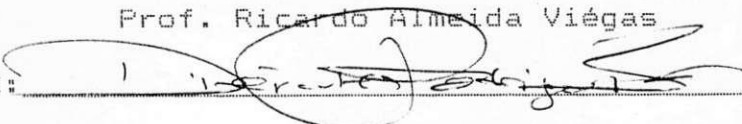
Monografia aprovada como requisito parcial para conclusão do curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal da Paraíba, pela comissão formada pelos professores:

ORIENTADOR:



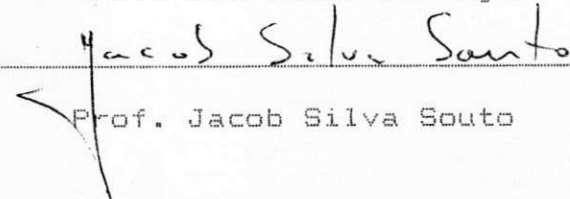
Prof. Ricardo Almeida Viégas

1º EXAMINADOR:



Prof. Diércules Rodrigues dos Santos

2º EXAMINADOR:



Prof. Jacob Silva Souto

Patos, 29 de outubro de 1993

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela oportunidade, pela fé, pela coragem e determinação essenciais para essa conquista.

A meus pais, João Dantas de Almeida (in memorian) e Maria Dione César de Almeida, pela participação efetiva, pelo amor e incentivo sempre presentes.

Ao meu esposo Raimundo Gonçalves Ferreira, pela colaboração constante, pela dedicação e pelo carinho fundamentais para realização deste trabalho.

Ao meu filho José Alvaro, pelo carinho e compreensão inocente.

Aos meus irmãos, pela amizade e pela força.

A Universidade Federal da Paraíba, principalmente ao Departamento de Engenharia Florestal.

Ao professor Ricardo Almeida Viégas, pela orientação, pela dedicação, pelo estímulo e, sobretudo, pela atenção e amizade.

A todos os professores que contribuíram para minha formação profissional.

A todos que, direta ou indiretamente, colaboraram para a realização deste trabalho.

## CONTEÚDO

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| RESUMO.....                     | 01 |
| 1. INTRODUÇÃO.....              | 02 |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA .....  | 04 |
| 3. METODOLOGIA .....            | 09 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO ..... | 11 |
| 5. RESUMO E CONCLUSÃO.....      | 20 |
| 6. BIBLIOGRAFIA .....           | 22 |

## RESUMO

Com o objetivo de avaliar a cinética de fósforo no solo em diferentes tempos de incubação e doses de P, foram coletadas amostras da camada superficial de cinco solos do Estado da Paraíba.

Essas amostras foram divididas em cinco subamostras. Essas, por sua vez, foram divididas em duas porções iguais, quando então receberam 100 e 200 ppm de P, como  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , em solução. Em seguida, cada porção do solo foi dividida em quatro partes iguais de 250g e acondicionadas em copos plástico. Nesta fase, deu-se início aos diferentes períodos de incubação: 0, 30, 60, 90 e 120 dias, com umidade dos solos mantida próxima a capacidade de campo, determinada pelo método da coluna transparente (FERNANDES, 1967). Esses períodos de incubação tiveram início em épocas distintas, de forma que, em um mesmo dia, foram obedecidos os diferentes tempos de contato solos-P. Nesse estágio, as porções de solo foram analisadas e quantificados os seus teores de P extraídos pelos extratores Mehlich-1, Bray-1 e  $\text{CaCl}_2$  0,01 M, na relação solo-solução de 1:10, com cinco minutos de agitação (BRAGA, 1980).

## 1. INTRODUÇÃO

De maneira geral, os solos da região semi-árida do nordeste brasileiro são rasos, pedregosos, pobres em matéria orgânica, porém ricos em bases, principalmente em cálcio e potássio (SILVA, ARAGÃO E RAO, 1988).

As formas de fósforo dependem, principalmente, da natureza química e física do solo. Na região semi-árida, pelas características apresentadas, espera-se que predomine o fósforo ligado ao cálcio (P-Ca), ao contrário das regiões de solos intemperizados, onde as formas de P-Al e P-Fe, devido ao elevado índice de acidez, são as que predominam.

Vários trabalhos têm demonstrado a dinâmica de fósforo no solo avaliada por diversos extratores, entretanto, são poucos os que se referem a região semi-árida.

A capacidade de recuperação de cada extrator está relacionada com sua composição química e, conseqüentemente, com a natureza do solo. Os extratores ácidos recuperam parte ou toda fração não lábil de P, neste caso, a instabilidade conferida pelos extratores à forma predominante de P é que vai determinar a maior ou menor recuperação deste elemento. Por esta razão é que os extratores comportam-se quimicamente diferentes no solo (VIEGAS, 1991).

A capacidade de fixação de fósforo, que envolve reações de adsorção e precipitação, depende, principalmente, da natureza do solo e do tempo de contato solo - P. De forma geral, a capacidade de fixação de P nos solos tende a aumentar com o tempo de

contato.

Desta forma, objetiva-se neste estudo avaliar a cinética de fósforo no solo em diferentes tempos de incubação e doses de P.



## 2. REVISÃO DE LITERATURA

Do ponto de vista químico, o fósforo inorgânico do solo encontra-se combinado preferencialmente com ferro, alumínio e cálcio. Os fosfatos de cálcio, ao contrário das demais formas, são mais solúveis a valores de pH mais baixos. De maneira geral, os fosfatos do solo estão em uma ótima disponibilidade para as plantas em valores de pH entre 6,0 e 7,0 (RAIJ, 1987).

Os fosfatos adicionados ao solo como fertilizantes dissolvem-se passando para a solução. Devido a baixa solubilidade dos compostos de fósforo e a forte tendência de adsorção pelo solo deste nutriente, a maior parte do fósforo adicionado ao solo passa para a fase sólida onde fica em parte como fosfato lábil, que rapidamente passa a fosfato não lábil e pode tornar-se disponível caso haja diminuição dos teores de P na solução do solo, para manutenção do equilíbrio. Os íons fosfatos, liberados durante a dissolução de fertilizantes fosfatados solúveis, não permanecem estáveis, passando a formas menos disponíveis ao reagirem com constituintes do solo. Essa reação ocorre dentro de poucas horas e torna-se lenta com o tempo (RAJAN e FOX, 1972; BARROW e SHAW, 1975). Em solos ácidos, esse fenômeno assume grande importância, já que grande parte dos fosfatos liberados pela dissolução dos fertilizantes fosfatados reage com Fe e/ou Al, presentes na forma de óxidos ou hidróxidos (VAN DER ZEE *et al*, 1987), ou como íons, supridos pela dissolução dos minerais de argila. De acordo com LINDSAY (1979), quando um grânulo de superfosfato é colocado no solo, a água penetra neste grânulo dissolvendo o

fosfato monocálcico, e a solução torna-se saturada com respeito a fosfato bicálcico que precipita. A solução que emerge do grânulo tem pH de 1,0 a 1,5 e concentração de 4,0 a 4,5 M de P e 1,4 M de Ca. Essa solução desestabiliza minerais de argila adjacentes, colocando íons Fe e Al disponíveis para reagirem com íons fosfatos, formando precipitados. ADAMS e O'DON (1985), observaram o aumento de Si em solução, com o aumento da adubação fosfatada. As maiores doses de P proporcionaram aumentos de 3,8 vezes na concentração de Si em solução, comparativamente ao solo que não recebeu adubação fosfatada. De acordo com esses autores, é provável que o P, em baixas doses, reaja, inicialmente, com o Al trocável, e que, em altas doses, haja um ataque aos minerais de argila, provocando, dessa forma, um consistente aumento de Si em solução e acréscimo nos teores de Al trocável.

Percebe-se, desta forma, que em razão da alta reatividade que envolve os íons fosfatos e constituintes do solo, uma avaliação adequada deste nutriente para as plantas sugere informações de pelo menos duas das seguintes características: quantidade (Q), intensidade (I) e capacidade-tampão (Q/I), conforme Khasawneh (1971), citado por MUNIZ (1983). Isto mostra a dificuldade de medir, usando-se os extratores químicos usuais, o fósforo no solo disponível para as plantas e a impossibilidade de determinar a capacidade-tampão do solo, por meio de extratores.

O conceito de elemento "disponível" corresponde, segundo RAIJ (1983), àquela parte do nutriente que se encontra na solução do solo, juntamente com uma parte deste na fase sólida que pode passar para a solução. Considera-se ainda que o teor

disponível de um nutriente depende, em determinada condição, além das formas em que ele se encontra no solo, do estágio de desenvolvimento e, frequentemente das condições climáticas e da disponibilidade de outros nutrientes. No entanto, elemento "disponível" é a quantidade obtida por um extrator químico que apresenta alta correlação com a quantidade absorvida por uma planta, enquadrando-se com o conceito definido por BRAY (1947). Com isso, THOMAS e PEASLEE (1973) definiram que vários extratores podem ser usados para estimar a quantidade "disponível" de um nutriente, da mesma forma que com um extrator se pode medir a disponibilidade de vários nutrientes.

Diversos extratores têm sido utilizados para a avaliação do P disponível. No entanto, HOLFORD e MATTINGLY (1976) definem a existência de dois problemas fundamentais envolvidos na avaliação do P disponível: a impossibilidade de estimar a capacidade-tampão de fósforo no solo, por meio de extratores químicos, e a dificuldade de determinar, por meio desses extratores, todo o fósforo disponível no solo para as plantas.

Os extratores químicos atuam de diversas maneiras sobre as diferentes formas de P existentes no solo, como também diferem entre si pela sua composição, tempo de agitação, relação solo: solução, pH, etc. O extrator Mehlich-1 ( $H_2SO_4$  0,025 N + HCl 0,05 N) tem sua ação na solubilização de fosfato de cálcio (P-Ca), de alumínio (P-Al) e de ferro (P-Fe), pelos íons hidrogênio presentes, sendo esse extrator mais indicado para solos de baixa CTC, altamente intemperizados e com pouco ou nenhum fosfato de cálcio (THOMAS e PEASLEE, 1973). Já o Bray-1, à base de  $NH_4F$  - HCl, tem

sua ação, principalmente, sobre os fosfatos de cálcio solúvel e sobre os fosfatos de alumínio, sendo mais indicado para solos de baixa e média CTC, moderados a altamente intemperizados e com baixos teores de fosfato de cálcio (THOMAS e PEASLEE, 1973).

Trabalhos realizados têm demonstrado que, além do fósforo extraído pelos extratores químicos, como critério de recomendação de adubação fosfatada, há a necessidade de serem conhecidos aspectos relativos ao fator capacidade do solo (teor de argila, matéria orgânica, teor de água na capacidade de campo, superfície específica do solo, declividade, P-extraível/P-adicionado e P-remanescente), o que permitiria a extrapolação de níveis críticos com algum fundamento teórico (FREIRE *et al.*, 1979; NOVAIS e KAMPRATH, 1979 ab; ALVAREZ, 1982; BAHIA FILHO, 1982; MUNIZ, 1983; FABRES *et al.*, 1987).

RAIJ (1987) e KAMPRATH (1980), classificam em quatro as reações pelas quais o fósforo é removido da fase sólida do solo por soluções extratoras. Essas reações são as seguintes: a) ação solvente de ácidos - as soluções usadas têm pH, em geral, de 2,0 a 3,0 e esta acidez assegura a dissolução de fosfato de cálcio. Fosfato de ferro e alumínio também são solubilizados em menor grau. A ordem de maior solubilidade em extratores ácidos é P-Ca, P-Al e P-Fe; b) substituição de ânions - os fosfatos adsorvidos nos colóides do solo podem ser substituídos por outros ânions, como sulfato, bicarbonato, citrato, lactato ou acetato. Estes ânions quando presentes em soluções ácidas, reduzem a readsorção de P; c) complexação de cátions combinados com P - o íon mais usado é o fluoreto ( $F^-$ ), que é muito eficiente na complexação do alumínio, liberando assim o fosfato ligado a esse metal. O fósfo-

ro presente no solo, como o fosfato de cálcio, também é extraído pela precipitação de fluoreto de cálcio. Assim como citrato e lactato complexam alumínio; d) hidrólise de cátions combinado com E - em solução de pH mais elevado, o fósforo ligado a ferro e alumínio é liberado por hidrólise dos metais. A solução de bicarbonato de sódio a pH 8,5 é muito eficaz na extração de P-Al e P-Ca.

Extratores ácidos, como regra geral, extraem mais fósforo ligado a cálcio no solo e apenas pequenas proporções do elemento ligado ao alumínio e ao ferro, Kamprath e Watson (1980), citados por RAIJ (1989). Contudo, em solos ácidos ricos em óxidos de ferro, de alumínio e, caulinítico, como é o caso da maioria dos solos brasileiros, os produtos de reação do fósforo no solo são fosfato de ferro e de alumínio. Desta maneira, os extratores ácidos não deveriam ser a melhor opção para a extração do fósforo destes solos.

### 3. METODOLOGIA

Foram utilizadas amostras de cinco solos de localidades diferentes da região semi-árida do Estado da Paraíba, coletadas até uma profundidade de 20 cm, submetidas a análises físicas e químicas (Quadro 1) e, selecionadas, com base em seus teores de P, analisadas pelo extrator Mehlich - 1. As amostras de solo foram secadas ao ar, destorroadas, passadas em peneira com 2 mm de malha, homogeneizadas e divididas em cinco subamostras. Essas subamostras de solo foram divididas em duas porções iguais, quando então receberam 100 e 200 ppm de P, como  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , em solução. Em seguida, cada porção de solo foi dividida em quatro partes iguais de 250g e acondicionadas em copos plástico. Nesta fase, deu-se início aos diferentes períodos de incubação: 0, 30, 60, 90 e 120 dias, com a umidade dos solos mantida próxima a capacidade de campo, determinada pelo método da coluna transparente (FERNANDES, 1969).

Esses períodos de incubação tiveram início em épocas distintas, de forma que, em um mesmo dia, foram obedecidos os diferentes tempos de contato solos - P. Nesse estágio, as porções de solo foram secadas, destorroadas, passadas em peneira com 2 mm de malha, homogeneizadas, analisadas e quantificados os seus teores de P extraídos pelos extratores Mehlich - 1, Bray - 1 e  $\text{CaCl}_2$  0,01 M, na relação solo-solução de 1:10, com cinco minutos de agitação (BRAGA, 1980).

QUADRO 1 - RESULTADOS DE ANALISES QUIMICAS E FISICAS DAS AMOSTRAS  
DE SOLOS ESTUDADAS.

| PARAMETROS<br>ANALISADOS                 | SOLOS |      |      |      |      |
|------------------------------------------|-------|------|------|------|------|
|                                          | 1     | 2    | 3    | 4    | 5    |
| pH em H <sub>2</sub> O <sup>1</sup>      | 6,0   | 7,5  | 5,9  | 7,8  | 7,2  |
| Al <sup>+3</sup> (meq/100g) <sup>2</sup> | 0,0   | 0,0  | 0,1  | 0,0  | 0,0  |
| Ca <sup>+2</sup> (meq/100g) <sup>2</sup> | 3,0   | 4,0  | 5,2  | 4,3  | 3,6  |
| Mg <sup>+2</sup> (meq/100g) <sup>2</sup> | 2,8   | 2,9  | 0,8  | 1,8  | 1,5  |
| K <sup>+</sup> (ppm) <sup>3</sup>        | 60    | 50   | 260  | 60   | 50   |
| Na <sup>+</sup> (ppm) <sup>3</sup>       | 30    | 150  | -    | 110  | 10   |
| P (ppm) <sup>3</sup>                     | 0,7   | 1,7  | 3,4  | 14,3 | 10,7 |
| P- remanescente (60 ppm) <sup>4</sup>    | 44,1  | 52,8 | 36,0 | 52,8 | 58,4 |
| ARGILA (%) <sup>5</sup>                  | 5,2   | 4,4  | 13,4 | 4,4  | 2,4  |
| SILTE (%) <sup>5</sup>                   | 27,8  | 72,8 | 23,4 | 11,8 | 3,8  |
| AREIA (%) <sup>5</sup>                   | 67,0  | 22,8 | 63,2 | 83,8 | 93,8 |
| CAPACIDADE DE CAMPO (%) <sup>6</sup>     | 9,0   | 8,0  | 10,0 | 9,5  | 9,0  |

1 Relação Solo: Solução: 1:2,5

2 Extrator KCl 1 N

3 Extrator Mehlich - 1

4 Em solução de CaCl<sub>2</sub> com 60 ppm de P.

5 Método do densímetro

6 Estimada pelo método da coluna transparente (FERNANDES, 1967).

O esquema experimental adotado foi um fatorial (5x5x2), correspondendo, respectivamente, aos solos, períodos de incubação e doses de P. Os tratamentos com quatro repetições foram dispostos segundo o delineamento inteiramente casualizado.



#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com as doses de P utilizadas neste estudo, os teores deste nutriente recuperados para todos os extratores, foram diferenciados entre solos (Quadro 2). Esse comportamento deve-se, provavelmente, ao consumo da acidez do extrator, por constituintes do solo associados a capacidade tampão de P (Quadro 3).

QUADRO 2 - TEORES DE FOSFORO RECUPERADOS PELOS EXTRATORES MEHLICH - 1 E BRAY - 1 NOS DIFERENTES TEMPOS DE INCUBAÇÃO PARA DUAS DOSES DE P.

| TEMPO DE INCUBAÇÃO (DIAS) |      |       |      |      |       |       |         |       |       |       |       |       |
|---------------------------|------|-------|------|------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SOLOS                     | 120  | 90    | 60   | 30   | 0     | MÉDIA | 120     | 90    | 60    | 30    | 0     | MÉDIA |
| 100 ppm                   |      |       |      |      |       |       | 200 ppm |       |       |       |       |       |
| -----MEHLICH -1-----      |      |       |      |      |       |       |         |       |       |       |       |       |
| 1                         | 55,4 | 55,4  | 64,7 | 65,5 | 63,2  | 60,8  | 110,9   | 117,2 | 120,9 | 148,7 | 132,7 | 126,1 |
| 2                         | 41,1 | 41,1  | 46,2 | 42,3 | 46,9  | 43,5  | 103,1   | 106,6 | 102,3 | 101,8 | 99,7  | 102,7 |
| 3                         | 34,9 | 31,8  | 27,6 | 33,6 | 33,6  | 32,3  | 65,8    | 67,3  | 61,6  | 65,1  | 76,0  | 67,2  |
| 4                         | 65,1 | 65,8  | 67,6 | 63,7 | 70,9  | 66,7  | 134,3   | 136,8 | 130,4 | 141,8 | 150,4 | 138,7 |
| 5                         | 60,2 | 68,7  | 70,9 | 72,3 | 86,7  | 71,8  | 142,4   | 145,5 | 146,5 | 159,5 | 181,1 | 155,0 |
| -----BRAY - 1-----        |      |       |      |      |       |       |         |       |       |       |       |       |
| 1                         | 47,9 | 46,6  | 47,9 | 54,6 | 55,9  | 50,6  | 77,5    | 113,7 | 121,1 | 122,9 | 128,7 | 112,8 |
| 2                         | 64,3 | 65,7  | 70,0 | 76,0 | 77,5  | 70,7  | 140,6   | 153,2 | 155,4 | 142,7 | 162,1 | 150,8 |
| 3                         | 37,7 | 37,7  | 42,7 | 45,3 | 56,0  | 43,9  | 80,5    | 79,0  | 77,5  | 80,5  | 101,5 | 83,8  |
| 4                         | 96,5 | 104,9 | 93,2 | 96,5 | 110,2 | 100,3 | 173,8   | 188,7 | 178,7 | 186,2 | 202,0 | 185,9 |
| 5                         | 90,0 | 85,2  | 86,8 | 90,0 | 99,8  | 90,3  | 181,1   | 181,1 | 173,8 | 181,1 | 199,3 | 183,3 |



QUADRO 3 - COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO LINEAR SIMPLES (r) ENTRE O P-RECUPERADO E PARAMETROS DO SOLO QUE REFLETEM A CAPACIDADE TAMPÃO DE P. NOS TEMPOS DE INCUBAÇÃO CORRESPONDENTES A 0 E 120 DIAS, E DOSES DE P UTILIZADAS.

| PARAMETROS          | DOSES   | EXTRATORES            |                       |                         |
|---------------------|---------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|
|                     | DE<br>P | MEHLICH-1             | BRAY-1                | CaCl <sub>2</sub> 0,01M |
| -----TEMPO 0-----   |         |                       |                       |                         |
| ARGILA              | 100     | - 0,819 <sup>A</sup>  | - 0,643 <sup>ns</sup> | - 0,712 <sup>ns</sup>   |
|                     | 200     | - 0,795 <sup>ns</sup> | - 0,824 <sup>A</sup>  | - 0,857 <sup>A</sup>    |
| P-REMANESCENTE      | 100     | 0,779 <sup>ns</sup>   | 0,768 <sup>ns</sup>   | 0,777 <sup>ns</sup>     |
|                     | 200     | 0,743 <sup>ns</sup>   | 0,990 <sup>††</sup>   | 0,856 <sup>A</sup>      |
| -----TEMPO 120----- |         |                       |                       |                         |
| ARGILA              | 100     | - 0,738 <sup>ns</sup> | - 0,744 <sup>ns</sup> | - 0,739 <sup>ns</sup>   |
|                     | 200     | - 0,914 <sup>†</sup>  | - 0,709 <sup>ns</sup> | - 0,859 <sup>A</sup>    |
| P-REMANESCENTE      | 100     | 0,739 <sup>ns</sup>   | 0,960 <sup>††</sup>   | 0,917 <sup>†</sup>      |
|                     | 200     | 0,912 <sup>†</sup>    | 0,949 <sup>†</sup>    | 0,965 <sup>††</sup>     |

†† SIGNIFICATIVO AO NIVEL DE 1% DE PROBABILIDADE

† SIGNIFICATIVO AO NIVEL DE 5% DE PROBABILIDADE

A SIGNIFICATIVO AO NIVEL DE 10% DE PROBABILIDADE

ns NAO SIGNIFICATIVO

Para as duas doses de P, as correlações entre os extratores foram positivas (Quadro:4), o que sugere seletividade semelhante. De acordo com BAHIA FILHO (1975), essa seletividade deve-se a extração preferencial de determinada forma inorgânica de P.

Observa-se que, nos solos 2, 3, 4 e 5, os teores de P recuperados pelo extrator Bray-1 foram maiores do que os observados para o Mehlich-1 (Quadro 2). Esse comportamento é decorrente da diferença de composição química, o que leva a uma ação desigual sobre as formas de P existentes nos solos. O íon hidrogênio, presente nos extratores Bray-1 e, principalmente, no Mehlich-1, leva a certa ação solubilizadora sobre a forma P-Ca, do mesmo modo que atua sobre as formas P-Al e P-Fe. Entretanto, a presença do íon fluoreto no extrator Bray-1, ao ocasionar a complexação de íons  $Al^{+3}$ , tem ação solubilizadora mais eficiente sobre a forma P-Al, como também sobre a P-Fe (THOMAS E PEASLEE, 1973). Assim, os maiores teores de P, recuperados pelo extrator Bray-1, refletem considerável existência das formas P-Al e P-Fe, nos solos utilizados neste estudo.

Os teores de P recuperados pelo  $CaCl_2$  0,01 M, (Quadro:5) foram, para todos os solos, bem menores do que os observados para os extratores Mehlich-1 e Bray-1, fato esse que explica-se pelo mesmo não ser um extrator ácido, agindo somente com os fosfatos mais instáveis e sujeitos a troca pelo íon  $Cl^-$ .

O coeficiente de correlação obtido entre a argila e o P-remanescente ( $r = -0,916$ ), sugere que os menores teores de P recuperados nos solos que têm maiores teores de argila, não associa-se, somente, ao consumo da acidez do extrator. Esse resultado demonstra, também, que os extratores utilizados, possivelmente, a exemplo da planta, retiram mais P onde a capacidade de adsorção deste nutriente é menor.

QUADRO 4 - COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO LINEAR SIMPLES (r) ENTRE OS EXTRATORES DE P, PARA OS DIFERENTES TEMPOS DE INCUBAÇÃO NAS DOSES CORRESPONDENTES A 100 E 200 ppm DE P.

| EXTRATORES              | TEMPO | EXTRATORES          |                     |                         |
|-------------------------|-------|---------------------|---------------------|-------------------------|
|                         | DE    | MEHLICH-1           | BRAY-1              | CaCl <sub>2</sub> 0,01M |
| -----100 ppm-----       |       |                     |                     |                         |
| CaCl <sub>2</sub> 0,01M | 0     | 0,409 <sup>ns</sup> | -                   |                         |
|                         | 120   | 0,718 <sup>ns</sup> | -                   | -                       |
| MEHLICH - 1             | 0     | -                   | 0,704 <sup>ns</sup> | -                       |
|                         | 120   | -                   | 0,790 <sup>ns</sup> | -                       |
| BRAY - 1                | 0     | -                   | -                   | 0,611 <sup>ns</sup>     |
|                         | 120   | -                   | -                   | 0,984 <sup>††</sup>     |
| -----200 ppm-----       |       |                     |                     |                         |
| CaCl <sub>2</sub> 0,01M | 0     | 0,793 <sup>ns</sup> | -                   | -                       |
|                         | 120   | 0,836 <sup>A</sup>  | -                   | -                       |
| MEHLICH - 1             | 0     | -                   | 0,807 <sup>A</sup>  | -                       |
|                         | 120   | -                   | 0,791 <sup>ns</sup> | -                       |
| BRAY - 1                | 0     | -                   | -                   | 0,854 <sup>A</sup>      |
|                         | 120   | -                   | -                   | 0,943 <sup>††</sup>     |

\*\* Significativo, ao nível de 1% de probabilidade

A Significativo, ao nível de 10% de probabilidade

ns Não significativo, ao nível de 10% de probabilidade.

QUADRO 5 - TEORES DE FOSFORO RECUPERADOS PELO EXTRATOR  $\text{CaCl}_2$  0,01M NOS TEMPOS DE INCUBAÇÃO CORRESPONDENTES A 0 E 120 DIAS E DOSES DE P UTILIZADAS.

| TEMPO DE INCUBAÇÃO (DIAS) |      |      |      |      |
|---------------------------|------|------|------|------|
| SOLOS                     | 0    | 120  | 0    | 120  |
|                           | 100  |      | 200  |      |
|                           | ppm  |      |      |      |
| 1                         | 0,32 | 0,21 | 1,17 | 0,75 |
| 2                         | 1,98 | 0,45 | 2,75 | 1,95 |
| 3                         | 0,16 | 0,12 | 0,32 | 0,21 |
| 4                         | 1,02 | 0,78 | 2,55 | 1,92 |
| 5                         | 1,77 | 1,02 | 5,10 | 2,40 |

Observa-se, como tendência, que para as duas doses de P adicionadas aos solos em estudo, a recuperação deste nutriente pelos extratores Mehlich -1, Bray -1 e  $\text{CaCl}_2$  0,01M foi maior no tempo 0 comparativamente ao tempo 120 dias (Quadros: 2 e 5). Neste caso, os decréscimos observados em termos percentuais, nos teores de P recuperados com o aumento do tempo de contato entre este nutriente e os solos (Quadro 6), evidenciam que a cinética de fixação de P demonstra ser bastante rápida inicialmente. Esse comportamento também tem sido observado por vários pesquisadores (GONÇALVES, 1988; VIEGAS, 1991), e tem sido explicado, segundo KUO E LOTSE (1974), pela alta energia de adsorção e a baixa saturação da superfície de adsorção, em contato com íons fosfatos.

QUADRO 6 - TEORES DE P RECUPERADOS EM VALORES PERCENTUAIS<sup>1</sup> PELOS EXTRATORES MEHLICH-1, BRAY-1 E  $\text{CaCl}_2$  0,01M, NOS TEMPOS DE INCUBAÇÃO CORRESPONDENTES A 0 E 120 DIAS, E DOSES DE P.

| SOLOS                            | TEMPOS DE INCUBAÇÃO (DIAS) |       |      |      |
|----------------------------------|----------------------------|-------|------|------|
|                                  | 0                          |       | 120  |      |
|                                  | 100                        | 200   | 100  | 200  |
| -----MEHLICH-1-----              |                            |       |      |      |
| ----- % -----                    |                            |       |      |      |
| 1                                | 63,2                       | 66,3  | 55,4 | 55,5 |
| 2                                | 46,9                       | 49,8  | 41,1 | 51,5 |
| 3                                | 33,6                       | 38,0  | 34,9 | 32,9 |
| 4                                | 70,9                       | 75,2  | 65,1 | 67,2 |
| 5                                | 86,7                       | 90,5  | 60,2 | 71,2 |
| -----BRAY-1-----                 |                            |       |      |      |
| ----- % -----                    |                            |       |      |      |
| 1                                | 55,9                       | 64,4  | 47,9 | 38,8 |
| 2                                | 77,5                       | 81,1  | 64,3 | 70,3 |
| 3                                | 56,0                       | 50,8  | 37,7 | 40,3 |
| 4                                | 110,2                      | 101,0 | 96,5 | 86,9 |
| 5                                | 99,8                       | 99,7  | 90,0 | 90,6 |
| ----- $\text{CaCl}_2$ 0,01M----- |                            |       |      |      |
| ----- % -----                    |                            |       |      |      |
| 1                                | 0,32                       | 0,59  | 0,21 | 0,38 |
| 2                                | 1,98                       | 1,38  | 0,45 | 0,98 |
| 3                                | 0,16                       | 0,16  | 0,12 | 0,11 |
| 4                                | 1,02                       | 1,28  | 0,78 | 0,96 |
| 5                                | 1,77                       | 2,55  | 1,02 | 1,20 |

<sup>1</sup> REFERENCIA; P RECUPERADO EM RELAÇÃO AS DOSES DESTE NUTRIENTE UTILIZADAS NESTE ESTUDO.

Outro aspecto a ser considerado envolve a taxa em que se processaram os acréscimos na fração de P não recuperada (fósforo residual), pelos extratores Mehlich-1 e Bray-1 (Quadro 7).

Alterações mais expressivas ocorreram, de maneira geral, no tempo 0 quando comparado ao tempo 120 dias. Sugerindo, desta forma, que as reações que envolvem os íons fosfatos tornam-se lentas com o tempo. Uma possível explicação para esse fato, talvez seja a difusão de P para dentro da estrutura dos hidróxidos, particularmente, os amorfos, e que, possivelmente, haja um rearranjo do cristal como um resultado da fixação original.

QUADRO 7 - TEORES DE FOSFORO RESIDUAL QUANTIFICADOS A PARTIR DOS EXTRATORES MEHLICH-1 E BRAY-1 PARA OS TEMPOS DE INCUBAÇÃO CORRESPONDENTES A 0 E 120 DIAS E DOSES DE P.

| TEMPOS DE INCUBAÇÃO (DIAS) |         |      |         |       |
|----------------------------|---------|------|---------|-------|
| SOLOS                      | 0       | 120  | 0       | 120   |
|                            | 100 ppm |      | 200 ppm |       |
| -----MEHLICH-1-----        |         |      |         |       |
| 1                          | 36,8    | 44,6 | 67,3    | 89,1  |
| 2                          | 53,1    | 58,9 | 100,3   | 96,9  |
| 3                          | 66,4    | 65,1 | 124,0   | 134,2 |
| 4                          | 29,1    | 34,9 | 50,0    | 65,7  |
| 5                          | 13,3    | 39,8 | 18,9    | 57,6  |
| -----BRAY-1-----           |         |      |         |       |
| 1                          | 44,1    | 52,1 | 71,3    | 122,5 |
| 2                          | 22,5    | 35,7 | 37,9    | 59,4  |
| 3                          | 44,0    | 62,3 | 98,5    | 119,5 |
| 4                          | 0,0     | 3,5  | 0,0     | 26,2  |
| 5                          | 0,2     | 10,0 | 0,7     | 18,9  |

O efeito do pH sobre a adsorção de P mostrou-se bastante interessante neste estudo. Geralmente, a adsorção do ion fosfato por constituintes do solo atinge valor máximo quando o pH situa-se de 2 a 4. Quando consideram-se os teores de P-remanescente e valores de pH, verifica-se que eles foram menores para o solo 3 (Quadro - 1). Uma possível explicação para um menor poder de fixação de P com o aumento do pH, neste caso, talvez seja a magnitude da afinidade do ion  $\text{OH}^-$ , o qual competiria com o ion fosfato pelos sítios de adsorção. Um outro fato que, possivelmente possa explicar esse comportamento, estaria associado a energia de ligação do fosfato que, no caso do solo 3, considerando-se características de natureza morfológica e química por ele apresentadas, teria superfícies de adsorção mais específicas para o ion fosfato.

Para todos os solos, períodos de incubação e extratores utilizados neste estudo, os maiores teores de P foram recuperados na dose correspondente a 200 ppm de P comparativamente a dose 100 (Quadro: 2 e 5), e para esta situação, registraram-se, também, os maiores teores de P não recuperados, fósforo residual (Quadro: 7). Essa tendência apresentada, quando considera-se o fósforo residual, leva a sugerir que a adsorção de P ao solo mostra-se como função da concentração. Considerando que neste estudo a fonte de P utilizada foi  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , evidencia-se que a concentração do ion  $\text{K}^+$  foi bem maior na dose correspondente a 200 ppm de P. De acordo com RYDEN e SYERS (1975), tanto a concentração como a espécie do cátion afetam a adsorção de fósforo, porque elas influenciam o potencial eletrostático que se desenvolve nas



superfícies dos componentes do solo que adsorvem fosfato. Desta forma, o aumento da concentração de cátions próximo a superfície negativamente carregada, faz com que o potencial do plano de adsorção se torne menos negativo, e isso, presumivelmente, aumenta a adsorção e decresce a dessorção de fosfato.



## RESUMO E CONCLUSÃO

Com o objetivo de avaliar a cinética de fósforo no solo em diferentes tempos de incubação e doses de P, foram coletadas amostras da camada superficial de cinco solos do Estado da Paraíba.

Essas amostras foram divididas em cinco subamostras. Essas, por sua vez, foram divididas em duas porções iguais, quando então receberam 100 e 200 ppm de P, como  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , em solução. Em seguida, cada porção de solo foi dividida em quatro partes iguais de 250g e acondicionadas em copos plástico. Nesta fase, deu-se início aos diferentes períodos de incubação: 0, 30, 60, 90 e 120 dias, com umidade dos solos mantida próxima a capacidade de campo, determinada pelo método da coluna transparente (FERNANDES, 1967). Esses períodos de incubação tiveram início em épocas distintas, de forma que, em um mesmo dia, foram obedecidos os diferentes tempos de contato solos-P. Nesse estágio, as porções de solo foram analisadas e quantificados os seus teores de P extraídos pelos extratores Mehlich - 1, Bray - 1 e  $\text{CaCl}_2$  0,01 M, na relação solo: solução de 1:10, com cinco minutos de agitação (BRAGA, 1980).

Os tratamentos, com quatro repetições, foram dispostos em um fatorial ( $5 \times 5 \times 2$ ), correspondendo respectivamente aos solos, períodos de incubação e doses de P, no delineamento inteiramente casualizado.

Com a incubação das doses de P em diferentes tempos, em amostras de solo, observou-se, para os extratores utilizados, resultados diferenciados entre solos. Nos solos 2, 3, 4 e 5 os teores de fósforo recuperados pelo extrator Bray - 1 foram maiores do que os observados para o Mehlich - 1, esse fato provavelmente é decorrente da diferença de composição química e da complexação de íons  $Al^{+3}$  pelo íon fluoreto presente no extrator Bray - 1, favorecendo ação solubilizadora mais eficiente sobre a forma P-Al e P-Fe. Observou-se, como tendência, que para as duas doses de P adicionadas aos solos, a recuperação deste nutriente pelos extratores Mehlich - 1, Bray - 1 e  $CaCl_2$  0,01 M foi maior no tempo 0 comparativamente ao tempo 120 dias, evidenciando que a cinética de fixação de P demonstra ser bastante rápida inicialmente e lenta com o tempo.

Os maiores teores de P foram recuperados na dose 200 ppm de P, comparativamente a dose 100 ppm de P, assim como também o fósforo residual. Esse comportamento, em relação ao fósforo residual, evidencia que a adsorção de P ao solo mostra-se como função da concentração.

## BIBLIOGRAFIA

ADAMS, J. F., ODOM, J. N. Effects of pH and phosphorus rates on soil - solution phosphorus and phosphorus availability. Soil Sci, 140: 202 - 5, 1985.

ALVAREZ, V., V. H. Efecto de los factores contidad, intensidad y capacidad amortiguadora de fosfato en la evaluación del fósforo disponible de suelos derivados de cenizas volcánicas de la Meseta Tarasca, Edo Michoacán. Chapingo, México, Colégio de Postgraduados, 1982. 300 p. (Tese. D. S.).

BAHIA FILHO, A. F. C. Indices de disponibilidade de fósforo em latossolos do Planalto Central com diferentes características texturais e mineralógicas. Viçosa, UFV., Impr. Univ., 1982. 178 p. (Tese D. S.).

BAHIA FILHO, A. F. C. & BRAGA, J. M. Fósforo em latossolos do Estado de Minas Gerais. I. Intensidade e capacidade tampão de fósforo. Experientiae, Viçosa, 19: 18- 32., 1975.

BARROW, N. J. & SHAW, T. C. The slow reaction between soil and anions. Effect of time and temperature on the decrease in phosphate concentration in the soil solution. Soil Sci., Baltimore, 119: 301 - 10., 1975.

BRAGA, J. M. Avaliação da fertilidade do solo: análise química. Viçosa, UFV, Impr. Univ., 87 p., 1980.

BRAY, R. H. Correlation of soil tests with crop response to added and with fertilizer requirements. In: KITCHEN, H. B. Diagnostic Techniques for Soil and Crops. Whashington, The American Potash Institute, 1947. p. 53 -85.

FABRES, A. S., NOVAIS, R. F., NEVES, J. L. C., BARROS, N. F., CORDEIRO, A. T. Níveis críticos de diferentes frações de fósforo em plantas de alface cultivadas em diferentes solos. Rev. Bras. Ci. Solo, 11: 51 - 7, 1987.

FERNANDES, B. Retenção e movimento de água no solo. Viçosa, UFV, Impr. Univ., 48 p. 1967 (Tese M. S.).

FREIRE, F. M., NOVAIS, R. F., BRAGA, J. M., FRANÇA, G. C., SANTOS, H. L., SANTOS, P. R. R. S. Adubação fosfatada para a cultura de soja (Glycine max (L.) Merrill) baseada no fósforo disponível em diferentes extratores químicos no fator capacidade Rev. Bras. Ci. Solo, 3: 105 - 11, 1979.

GONÇALVES, J. L. de M. Cinética de transformação de fósforo-lábil em não-lábil em amostras de solo de cerrado. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 62 p. 1988. (Tese M. S.).

HOLFORD, I. C. R., MATTINGLY, G. E. G. Phosphate adsorption and plant availability of phosphate. Plant and Soil, 44: 377 - 89, 1976.

LINDSAY, W. L. Chemical equilibria in soils. Wiley Interscience, New York, 449 p. 1979.

MOURA FILHO, G. Disponibilidade de fósforo em amostras de solo de várzeas. Viçosa, UFV, 76p. 1990. (Tese M.S.).

MUNIZ, A. S. Disponibilidade de fósforo avaliada por extractores químicos e pelo crescimento de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) em amostras de solos com diferentes valores do fator capacidade. Viçosa, UFV, Impr. Univ., 1983. 70 p. (Tese M. S.)

NOVAIS, R. F. de, KAMPRATH, E. J. Parâmetros das isotermas de adsorção de fósforo como critério de recomendação de adubação fosfatada. Rev. Bras. Ci. Solo, 3: 37 - 41, 1979 a.

NOVAIS, R. F. de, KAMPRATH, E. J. Fósforo recuperado em três extratores químicos como função do fósforo aplicado no solo e do "fator capacidade". Rev. Bras. Ci. Solo, 3: 41 - 6, 1979 b.

RAIJ, B. van. Avaliação da fertilidade do solo. Instituto de Potassa e Fosfato, Instituto Internacional de Potassa, 142p. 1981.

RAIJ, B. van. & GUAGGIO, J. A. Análise química do solo para fins de fertilidade. Fundação cargill, 170 p. 1987.

RAIJ, B. van, GUAGGIO, J. A. Métodos de análise de solo para fins de fertilidade. Campinas, Instituto Agrônômico, 1983. 31 p.

RAJAN, S. S. S. & FOX, R. L. Phosphate adsorption by soils. Influence of time and ionic environment on phosphate adsorption. Commum. Soil Sci. Plant. Anal., New York, 3:493 - 504, 1972.

RYDEN, J. C. & SYERS, J. K. Rationalization of ionic strenght and cation effects on phosphate sorption by soils. J Soil Sci, London, 26: 395 - 406, 2975.

SILVA, B. B., ARAGÃO, J. O. R. & RAO, T. V. R. Curso de tecnologias para a agropecuária do semi-árido nordestino = Módulo 1. Clima do Semi-árido. Brasília: ABEAS, 55p. 1988.

THOMAS, G. W. & PEASLEE, D. E. Testing soils for phosphorus. In: WALSH, L. M. & BEATON, J. D. eds. Soil Testing and Plant Analysis. Madison, Soil Sci. Soc. Am., 1973, 115 - 29.

VAN DER ZEE, S. E. A. T. M.; FOKKINK, L. G. J. & RIEMSDIJK, W. H. A new technique for assessement of reversibly adsorbed phosphate. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, 51: 599 - 604, 1987.

VIÉGAS, R. A. Dinâmica de fontes de fósforo aplicadas a solos com diferentes níveis de acidez. Viçosa, UFV, 67p. 1991, (Tese M.S.).