

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS  
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**FÓSFORO EM SOLO TRATADO COM BIODISSÓLIDO E  
CULTIVADO COM MILHO**

**Wilson José Oliveira de Souza**  
Engenheiro Agrônomo

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL  
FEVEREIRO DE 2004

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS  
CAMPUS DE JABOTICABAL

**FÓSFORO EM SOLO TRATADO COM BIODISSÓLIDO E  
CULTIVADO COM MILHO**

Wilson José Oliveira de Souza

Orientador: Prof. Dr. Wanderley José de Melo

Co-orientador: Prof. Dr. Marcos Omir Marques

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - UNESP, Campus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Produção Vegetal).

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL  
FEVEREIRO DE 2004

S729f Souza, Wilson José Oliveira de  
Formas de fósforo em solo tratado com bio sólido /  
Wilson José Oliveira de Souza. – Jaboticabal, 2004  
xix, 92 f. ; 28 cm

Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista,  
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2003

Orientador: Wanderley José de Melo

Banca examinadora:

Bibliografia

1. Fósforo. 2. bio sólido. 3. Milho. I. Título. II.  
Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e  
Veterinárias.

CDU 631.879:633.15

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da  
Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação- UNESP, Campus de  
Jaboticabal.

E-mail: [wilson@suprematag.com.br](mailto:wilson@suprematag.com.br)

[wilsonjosouza@hotmail.com](mailto:wilsonjosouza@hotmail.com)

## DADOS CURRICULARES DO AUTOR

**Wilson José Oliveira de Souza** – nascido aos 21 de setembro de 1972, em Fernandópolis, SP, formou-se em Engenharia Agrônômica pela Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Campus de Jaboticabal em 1996. Na mesma Universidade, iniciou o Curso de Mestrado em 1997, obtendo o título de Mestre em Agronomia, área de Concentração em Produção Vegetal, no ano de 2000. Desenvolveu projetos e atividades de Assessoria junto ao Grupo de Pesquisa em Biogeoquímica de 1998 a 2002. Atualmente é professor pesquisador na área de Engenharia Rural e Solos na Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Camilo Castelo Branco – UNICASTELO, em Fernandópolis, SP, onde desenvolve projetos em Agropecuária sustentável, estudando manejo de solos e plantas.

## DEDICATÓRIA

Aos meus pais,

Júlio Ignácio de Souza e  
Maria Antônia de Oliveira Souza

A vocês, que são meu exemplo de vida e minha fortaleza,  
dizer obrigado é muito pouco....

Me faltam palavras para expressar o que sinto agora,  
principalmente por lembrar todos os dias, o quanto são  
importantes em cada um dos meus passos....

Ter pais como vocês, é uma dádiva de Deus!

E à minha esposa,

Denise Menito de Souza

Neste tempo de dura batalha e ausência constante, você  
não exitou em ser companheira e lutar do meu lado, fazer do  
meu objetivo uma conquista também sua.... e conseguimos!

Obrigado pela compreensão, paciência e colaboração....

## HOMENAGEM

Aos meus irmãos,

Valéria, Éder e Maira

Se tivesse que dar de presente um desejo a alguém, não teria dúvidas... daria o desejo de ter pessoas que como vocês ao lado.

Se crescemos como família, sinto este laço mais forte a cada dia, nos gestos, palavras e incentivos. Mais uma vez, vocês fizeram a diferença por estarem sempre ao meu lado.

Ao meu sobrinho

**Gabriel,**

... a prova viva da existência de Deus...

## HOMENAGEM ESPECIAL

Aos meus avós,

Benedito de Oliveira (Benedito Crispin) e

José Ignácio de Souza (Juca Ignácio)

*In memoriam*

Queira DEUS que eu consiga, durante minha trajetória nesta vida, semear e cultivar, ao menos em parte, a sabedoria e caráter que fizeram frutificar em nossa família.

Cada dia mais distante de suas presenças físicas, parecem-me tão vivas suas presenças espirituais, pelos exemplos, histórias e sorrisos que ainda provocam. Apesar da saudade, sei que a presença de vocês é eterna entre nós!

## AGRADECIMENTOS

A **DEUS**, que com sua infinita graça me permitiu vencer cada obstáculo e, mesmo com dificuldade, concluir mais esta etapa.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Campus de Jaboticabal, pelo apoio e toda a infra-estrutura necessária para realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Wanderley José de Melo, pelo apoio, liberdade de ação na condução dos trabalhos, sugestões, amizade, confiança e agradável convivência. Ao longo dos 13 anos de trabalho conjunto, o aprendizado de técnicas agrônômicas e de pesquisa tornou-se apenas mais uma fração da minha formação, pois seus ensinamentos suplantaram em muito a fronteira de formação de um pesquisador, acrescentando-me valores profissionais e pessoais tão importantes quanto a técnica.

Ao Prof. Dr. Marcos Omir Marques, que ao longo da caminhada rumo a esta conquista, tornou-se co-orientador, conselheiro e, acima de tudo, um amigo, com quem pude contar muitas vezes nas inúmeras dificuldades encontradas na condução do trabalho. Meu respeito, gratidão e amizade sincera!

Aos professores Dr. José Carlos Barbosa, Dr. Takashi Muraoka, Dr. Ronaldo Severiano Berton e à Prof. Dra. Mara Cristina Pessoa da Cruz por participarem da banca examinadora e pelas sugestões apresentadas.

Aos professores Dr. José Carlos Barbosa e Dr. Gener Tadeu Pereira, pelas explicações e valiosa contribuição nas análises estatísticas dos dados deste trabalho.

Aos amigos do Curso, José Luiz Torres, Paulinho, Marcelo da Costa, Érica Tomé, Sandra, Tidão, José Maria, Valéria, Givanildo, obrigado pelo convívio.

À SABESP pela concessão do resíduo e acompanhamento do ensaio no campo.

Ao Dr. Milton Tsutya da Escola Politécnica e Consultor da SABESP, pela efetiva participação no projeto e sugestões apresentadas durante a condução do ensaio.

Ao Dr. Mel Webber da ..... Canadá, pelas sugestões apresentadas durante a condução do projeto.

Aos servidores da Fazenda de Ensino e Pesquisa da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, pelo inestimável apoio durante a instalação e condução do ensaio de campo. A presença de vocês foi decisiva para que este projeto de vida se tornasse realidade.

Aos professores do Departamento de Tecnologia e também aqueles dos outros departamentos, pelo convívio, ensinamentos e pela valiosa troca de informações.

À toda equipe da biblioteca da FCAV/UNESP pela qualidade do atendimento, sempre atentos.

À CAPES, pela bolsa concedida durante todo o período de realização do doutorado.

Aos amigos da Faculdade de Ciências Agrárias da universidade Camilo Castelo Branco – UNICASTELO, Campus de Fernandópolis, pelo crédito, incentivo, compreensão e apoio que de muito valeram para a conclusão de mais esta etapa.

À todos aqueles que, cada qual a sua maneira e importância, contribuíram de forma direta ou indireta para que o projeto deste trabalho se tornasse realidade.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO GERAL .....</b>	<b>1</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>3</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>6</b>
1 - Introdução.....	6
2. Uso de bioossólido na agricultura .....	7
3. Bioossólido e o fósforo no solo.....	11
4. Referências Bibliográficas .....	14
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>19</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>19</b>
1. Introdução .....	21
2. Material e Métodos .....	24
3. Resultados e Discussão.....	31
4. Conclusões .....	50
5. Referências Bibliográficas .....	51
<b>CAPÍTULO III .....</b>	<b>54</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>54</b>

1. Introdução .....	55
2. Material e Métodos .....	57
2.2. <i>Análises químicas nas amostras de terra</i> .....	62
2.2.1. <i>Determinação dos teores de fósforo orgânico e inorgânico no solo</i> .....	62
2.2.2. <i>Determinação dos teores de fósforo extraível</i> .....	63
2.2.3. <i>Determinação da atividade de Fosfatases</i> .....	63
3. Resultados e discussão.....	65
4. Conclusões .....	90
5. Referências Bibliográficas .....	91

## Lista de Tabelas

pág.

### CAPÍTULO II

Tabela 1.	Caracterização química do biossólido incorporado ao latossolo vermelho distroférico no ano agrícola 1998/99 e 1999/2000.....	25
Tabela 2.	Níveis de fertilidade do solo latossolo vermelho distroférico antes da instalação do experimento (ano agrícola 1997/98) e no início dos anos agrícolas subseqüentes.....	27
Tabela 3.	Fertilização mineral utilizada na área sob latossolo vermelho distroférico nos anos agrícolas 1997/98 e 1999/00. ....	28
Tabela 4.	Teores de P total na TFSA ( $\text{g kg}^{-1}$ ) em um latossolo vermelho distroférico tratado com biossólido e cultivado com milho no ano agrícola 1999/00.....	31
Tabela 5.	Equações polinomiais obtidas com as análises de regressão polinomial e coeficientes de correlação para fósforo total ( $\text{g kg}^{-1}$ ) em amostras de solo coletadas a diferentes profundidades.....	35
Tabela 6.	Teores de P nas substâncias húmicas ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) em um latossolo vermelho distroférico tratado com biossólido e cultivado com milho no ano agrícola 1999/00.....	36

Tabela 7.	Coeficientes de correlação linear simples entre os resíduos das diferentes formas de fósforo em um latossolo vermelho distroférico tratado com bio sólido e cultivado com milho no ano agrícola 1999/00.....	38
Tabela 8.	Teores de P na fração ácido fúlvico ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) em um latossolo vermelho distroférico tratado com bio sólido e cultivado co milho no ano agrícola 1999/00.....	39
Tabela 9.	Teores de P na fração humina ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) em um latossolo vermelho distroférico tratado com bio sólido e cultivado co milho no ano agrícola 1999/00.....	42
Tabela 10.	Equações polinomiais obtidas com as análises de regressão polinomial e coeficientes de correlação para fósforo na fração humina ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) em amostras de solo coletadas a diferentes profundidades.....	47
Tabela 11.	Fósforo absorvido (g) pelas plantas de milho, cultivadas em latossolo vermelho distroférico tratado com bio sólido, no ano agrícola 1999/2000.....	48

### CAPÍTULO III

Tabela 1.	Caracterização química do bio sólido incorporado ao latossoto vermelho distroférico no ano agrícola 1998/99 e 1999/2000.....	58
-----------	--	----

Tabela 2.	Níveis de fertilidade do solo latossolo vermelho distroférico antes da instalação do experimento (ano agrícola 1997/98) e no início dos anos agrícolas subseqüentes.....	60
Tabela 3.	Fertilização mineral utilizada na área sob latossolo vermelho distroférico nos anos agrícolas 1997/98 e 1999/00. ....	61
Tabela 4.	Teores de P total ( $\text{mg.kg}^{-1}$ ) em um latossolo vermelho distroférico tratado com biossólido e cultivado com milho no ano agrícola 1999/00.....	66
Tabela 5.	Equações das análises de regressão polinomial e coeficientes de correlação para fósforo orgânico total ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) em amostras de solo coletadas a diferentes profundidades.....	69
Tabela 6.	Teores de P inorgânico ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) em um latossolo vermelho distroférico tratado com biossólido e cultivado com milho no ano agrícola 1999/00.....	70
Tabela 7.	Equações das análises de regressão polinomial e coeficientes de correlação para fósforo inorgânico ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) em amostras de solo coletadas a diferentes profundidades.....	73
Tabela 8.	Coefficientes de correlação linear simples entre os resíduos das diferentes formas de fósforo em um latossolo vermelho distroférico tratado com biossólido e cultivado com milho, no ano agrícola 1999/00.....	73
Tabela 9.	Teores de fósforo extraível pelo método da resina trocada de íons (P resina, $\text{mg dm}^{-3}$ ) em um latossolo vermelho distroférico	

tratado com biossólido e cultivado com milho no ano agrícola 1999/00.....	76
Tabela 10. Equações polinomiais obtidas com as análises de regressão polinomial e coeficientes de correlação para fósforo extraível ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) em amostras de solo coletadas a diferentes profundidades.....	79
Tabela 11. Teores de fósforo orgânico ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) em um latossolo vermelho distroférico tratado com biossólido e cultivado co milho no ano agrícola 1999/00.....	82
Tabela 12. Equações das análises de regressão polinomial e coeficientes de correlação para fósforo orgânico ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) em amostras de solo coletadas a diferentes profundidades.....	84
Tabela 13. Relação $P_i/P_o$ em um latossolo vermelho distroférico tratado com biossólido e cultivado com milho no ano agrícola 1999/00.....	85
Tabela 14. Atividade de fosfatase ácida ( $\text{mg PNF h}^{-1} \text{kg}$ ) em um latossolo vermelho distroférico tratado com biossólido e cultivado com milho no ano agrícola 1999/00.....	87

## Lista de Figuras

pág.

### CAPÍTULO II

- Figura 1. Teores de PNP na TFSA ( $\text{g kg}^{-1}$ ) em um latossolo vermelho distroférico tratado com bio sólido e cultivado com milho no ano agrícola 1999/00.....32
- Figura 2. Análise por regressão polinomial entre doses de bio sólido e teores de  $\text{P}_{\text{NP}}$  em um latossolo vermelho distroférico cultivado com milho no ano agrícola 1999/00.....33
- Figura 3. Teores de P-SH ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) em um latossolo vermelho distroférico tratado com bio sólido e cultivado com milho no ano agrícola 1999/2000.....37
- Figura 4. Análise de correlação P-SH e P-AF em um latossolo vermelho distroférico tratado com bio sólido e cultivado com milho no ano agrícola 1999/00.....40
- Figura 5. Teores de P na fração ácido húmico ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) em um latossolo vermelho distroférico tratado com bio sólido e cultivado com milho no ano agrícola 1999/00. Doses de bio sólido em base seca. ....41
- Figura 6. Teores de P na fração humina ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) em um latossolo vermelho distroférico tratado com bio sólido e cultivado com milho no ano agrícola 1999/00.....43

Figura 7.	Análise de correlação entre P-HN e P-SH em um latossolo vermelho distroférico tratado com bio sólido e cultivado com milho no ano agrícola 1999/00.....	45
Figura 8.	Análise de correlação entre P-HN e P-AF em um latossolo vermelho distroférico tratado com bio sólido e cultivado com milho no ano agrícola 1999/00.....	45
Figura 9.	Análise de correlação entre P-HN e P <sub>NP</sub> em um latossolo vermelho distroférico tratado com bio sólido e cultivado com milho no ano agrícola 1999/00.....	46
Figura 10.	Análise por regressão polinomial entre doses de bio sólido e teores de P na fração humina em um latossolo vermelho distroférico cultivado com milho.....	47
Figura 11.	Parcela com aplicação de 2,5 t ha <sup>-1</sup> de bio sólido.....	48
Figura 12.	Parcela com aplicação de 5 t ha <sup>-1</sup> de bio sólido.....	48
Figura 13.	Parcela com aplicação de 10 t ha <sup>-1</sup> de bio sólido.....	49
Figura 14.	Teores de P total (g kg <sup>-1</sup> ) na parte aérea de plantas de milho cultivadas em um latossolo vermelho distroférico tratado com bio sólido no ano agrícola 1999/00.....	49

### CAPÍTULO III

Figura 1.	Teores de P Total ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) em um latossolo vermelho distroférico tratado com biossólido e cultivado com milho no ano agrícola 1999/00. ....	67
Figura 2.	Análise por regressão polinomial entre doses de biossólido e P total em latossolo vermelho distroférico tratado com biossólido e cultivado com milho no ano agrícola 1999/00. ....	68
Figura 3.	Teores de P inorgânico ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) em um latossoto vermelho distroférico tratado com biossólido e cultivado com milho no ano agrícola 1999/00. ....	70
Figura 4.	Análise por regressão polinomial entre doses de biossólido e teores de P inorgânico em latossolo vermelho distroférico tratado com biossólido e cultivado com milho no ano agrícola 1999/00. ....	72
Figura 5.	Análise de correlação entre os resíduos das variáveis $P_i$ e P total em um latossolo vermelho distroférico tratado com biossólido e cultivado com milho, no ano agrícola 1999/00. ....	74
Figura 6.	Análise de correlação entre os resíduos das variáveis $P_i$ e P-SH em um latossolo vermelho distroférico tratado com biossólido e cultivado com milho, no ano agrícola 1999/00. ....	75
Figura 7	Análise de correlação entre os resíduos das variáveis $P_i$ e P-AF em um latossolo vermelho distroférico tratado com biossólido e cultivado com milho, no ano agrícola 1999/00. ....	75

- Figura 8. Teores de fósforo extraível pelo método da resina trocadora de íons (P resina,  $\text{mg dm}^{-3}$ ) em um latossolo vermelho distroférico tratado com bio sólido e cultivado com milho no ano agrícola 1999/00. ....77
- Figura 9. Análise por regressão polinomial entre doses de bio sólido e teores de P resina em um latossolo vermelho distroférico cultivado com milho no ano agrícola 1999/00. ....78
- Figura 10. Análise de correlação entre os resíduos das variáveis P resina e  $P_i$  em um latossolo vermelho distroférico tratado com bio sólido e cultivado com milho, no ano agrícola 1999/00. ....80
- Figura 11. Análise de correlação entre os resíduos das variáveis P resina e P total em um latossolo vermelho distroférico tratado com bio sólido e cultivado com milho, no ano agrícola 1999/00. ....80
- Figura 12. Análise de correlação entre os resíduos das variáveis P resina e P-SH em um latossolo vermelho distroférico tratado com bio sólido e cultivado com milho, no ano agrícola 1999/00. ....81
- Figura 13. Análise de correlação entre os resíduos das variáveis P resina e P-AF em um latossolo vermelho distroférico tratado com bio sólido e cultivado com milho, no ano agrícola 1999/00. ....81
- Figura 14. Teores de P orgânico ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) em um latossoto vermelho distroférico tratado com bio sólido e cultivado com milho no ano agrícola 1999/00. ....82

- Figura 15. Análise por regressão polinomial entre doses de biossólido e teores de P orgânico em um latossolo vermelho distroférico cultivado com milho no ano agrícola 1999/00.....83
- Figura 16. Análise de correlação entre os resíduos das variáveis  $P_i$  e  $P_o$  em um latossolo vermelho distroférico tratado com biossólido e cultivado com milho, no ano agrícola 1999/00.....84
- Figura 17. Relação  $P_i/P_o$  em um latossolo vermelho distroférico tratado com biossólido e cultivado com milho no ano agrícola 1999/00.....86
- Figura 18. Análise por regressão polinomial entre doses de biossólido e atividade de fosfatase ácida em um latossolo vermelho distroférico cultivado com milho no ano agrícola 1999/00.....88
- Figura 19. Produção de matéria seca pela parte aérea da cultura do milho ( $t\ ha^{-1}$ ), cultivada em um latossolo vermelho distroférico tratado com biossólido, no ano agrícola 1999/00.....89
- Figura 20. Produção de grãos ( $t\ ha^{-1}$ , 11% de umidade) pela cultura do milho, cultivado em um latossolo vermelho distroférico tratado com biossólido, no ano agrícola 1999/00.....89

## FÓSFORO EM SOLO TRATADO COM BIODOSSÍLIDO E CULTIVADO COM MILHO

SOUZA, W.J.O. & MELO, W.J.

### RESUMO GERAL

A área experimental foi instalada na Fazenda de Ensino e Pesquisa da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Campus de Jaboticabal, SP, localizada a uma altitude de 610m e com as seguintes coordenadas geográficas: 21°15'22" S e 48°15'18" W. O clima é do tipo Cwa, segundo a classificação de Köppen, isto é, subtropical, temperado, seco no inverno, com temperatura média máxima superior a 22°C. O experimento foi instalado com o objetivo de estudar o comportamento de diferentes doses de biodossídeos aplicadas, comparadas à fertilização mineral, sobre formas de fósforo no solo, bem como distribuição do nutriente no perfil até a profundidade de 0,60m. Utilizou-se a cultura do milho nos anos agrícolas 1997/1998, 1998/1999 e 1999/2000, utilizando-se um solo latossolo vermelho distroférrico, em delineamento de blocos ao acaso, com quatro tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos utilizados foram: sem qualquer tipo de fertilização (no ano agrícola 1997/98) e apenas com fertilização mineral (nos anos subsequentes) (**T**); aplicação de 2,5 t ha<sup>-1</sup> de biodossídeo (base seca) e complementação mineral de P e K, quando necessário (**L1**), aplicação de 5,0 t ha<sup>-1</sup> de biodossídeo (base seca) e complementação mineral de P e K, quando necessário (**L2**), aplicação de 10 t ha<sup>-1</sup> de biodossídeo (base seca) e complementação mineral de P e K, quando necessário (**L3**). Avaliou-se a distribuição do P total e P das frações substâncias húmicas (P-SH), ácido fúlvico (P-AF), ácido húmico (P-AH) e húmina (P-HN), P inorgânico, P orgânico, P Total<sub>(i+o)</sub>, P extraível no perfil até a profundidade de 0,60m, bem como suas inter-relações. A atividade de fosfatase ácida foi avaliada até a profundidade de 0,10m. Os dados obtidos mostraram que: 5 t ha<sup>-1</sup> de biodossídeo (base seca) é a melhor dose a ser aplicada com relação fósforo total e proporciona maiores valores de P moderadamente lábil (P-SH) e moderadamente resistente (P-AF), nas camadas superficiais do LVE; a

dose que proporciona melhores valores de P total e P-HN é  $7 \text{ t ha}^{-1}$ ; as formas não lábeis (P-AH) concentram-se nas camadas mais profundas, inclusive quando da aplicação de fertilizante mineral; P-SH possui correlação positiva com o P-AF; os teores de fósforo total por sua vez, estabelece correlação semelhante com o P-HN. Verificou-se que os teores de fósforo extraível e fósforo mineral concentraram-se nas camadas superiores (até 0,10m), independente do tratamento utilizado; houve correlações positivas e significativas entre valor de P total  $_{(i+o)}$  e P inorgânico, e entre P total  $_{(i+o)}$  e P extraível, nas camadas superficiais (0-0,05m e 0,05-0,10m).; a atividade de fosfatase não foi influenciada pela aplicação de bio-sólido.

**Palavras-chave:** fósforo no solo, bio-sólido, ácido fúlvico, ácido húmico, humina, fosfatase, produção de milho.

## PHOSPHORUS FORMS IN SOIL AMENDED WITH BIOSOLID AND CULTIVATED WITH MAIZE

SOUZA, W.J.O. & MELO, W.J.

### ABSTRACT

This work was carried out in Experimental and Research Farm of FCAV - UNESP, Jaboticabal county, São Paulo State, located at 610m altitude and geographic coordinates: 21°15'22" S and 48°15'18" W. The climate is Cwa by Kopen classification, sub tropical, temperate dry winter, with average maximum temperature of 22°C. The experiment was carried out with the objective to study the compartment of different biosolid ratio applications, compared with mineral fertilization, on P forms and distribution in soil layers from surface to 0,60m. The Maize was utilized at tree years (1997/98, 1998/99 and 1999/00) using an Oxisol in randomized blocks, with four treatments and five replications, cultivating maize without mineral fertilization (1997/98) and only mineral fertilization in the following years (**T**); 2.5 t biosolid ha<sup>-1</sup> (dry basis) (**L1**), 5 t biosolid ha<sup>-1</sup> (dry basis) (**L2**), 10 t biosolid ha<sup>-1</sup> (dry basis) (**L3**). The treatments with biosolid was amended with mineral fertilizer (P and K) whenever necessary. The area was prepared and biosolid was applied and then incorporated at 0,05-0,10m. Phosphorus in nitric percloric acid (P<sub>NIP</sub>), humic substances fractions (P-SH), fulvic acid (P-AF), humic acid (P-AH), humin (P-HN), inorganic phosphorus (Pi), total phosphorus (total P), organic phosphorus (Po) and resin phosphorus (P res) was evaluated in 0-0.05m, 0.05-0.10m, 0.10-0.20m, 0.20-0.40m and 0.40-0.60m layers. Phosphatase activity was evaluated at 0-0.05m and 0.05-0.10m. The data showed that the application of 5 t ha<sup>-1</sup> biosolid was the best treatment, considering the amount of total P and labile fractions (P-SH) and less labile fractions (P-AF) in the upper layers. Dose that showed the best total P and P-HN contents is 7 t ha<sup>-1</sup>; non labile P forms (P-AH) was detected bellow the 0.20m layers including when mineral fertilizer was applied. The P-SH correlated highly with P-AF and the total P similar correlation with P-HN. The P resin and mineral P contents was greater in surface layers (up to 0.10m), independent with the treatment utilized; positive and significant correlations was observed between total P and inorganic P and, between total P and resin P in

0-0.05m and 0.05-0.10m. The phosphatase activity was not affected by maximum biosolid application rate ( $10 \text{ t ha}^{-1}$ ) utilized in this study.

**Key-words:** soil phosphorus, biossolid, fulvic acid, humic acid, humin, phosphatase, maize production.

## **CAPÍTULO I**

### **CONSIDERAÇÕES GERAIS**

## CAPÍTULO I

### CONSIDERAÇÕES GERAIS

#### 1 - Introdução

O crescimento populacional causa aumento na produção de resíduos, seja o lixo urbano ou os efluentes industriais e os urbanos.

Não há dúvidas de que a população do planeta enfrentará dois grandes problemas em futuro não muito distante: a falta de água potável e a falta de fertilizantes fosfatados para a agricultura. No ano agrícola 1997/98 o consumo de  $P_2O_5$  no Brasil atingiu 1.943.000 t e a crescente demanda fez com que 33% de todo o  $P_2O_5$  disponibilizado no país em 1999 (2.039.000 t) fosse importado, custando aproximadamente US\$ 213.834.000,00 aos cofres brasileiros (ANDA, 2000).

Atualmente, não é mais admissível o retorno das águas servidas, os esgotos, diretamente aos mananciais de água sem o devido tratamento, o que gera o chamado bio sólido, que possui em média 0,79 % de P (base seca), podendo ser aproveitado como fonte de fósforo para as plantas. Segundo TSUTYA (1999) somente na grande São Paulo, a produção de bio sólido atinge 312 t dia<sup>-1</sup> (base seca), o equivalente a 2,44 t de P dia<sup>-1</sup> com grande potencial de reciclagem pelo uso agrícola, proporcionando considerável economia de recursos (aproximadamente US\$ 642.000,00 por ano, somente em fósforo) já que atualmente o bio sólido é oferecido sem custos.

Pela sua composição química, o bio sólido se apresenta como um possível fertilizante para uso na agricultura, uma vez que apresenta em sua composição a matéria orgânica, que irá melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, e outros nutrientes além do fósforo, como nitrogênio, cálcio, micronutrientes, entre outros.

Em assim sendo, para que o bio-sólido possa ser utilizado como fertilizante, há que se conhecer seu comportamento no solo e seu efeito sobre o desenvolvimento das plantas, o que levou à proposição do projeto de pesquisa, resultou neste trabalho .

## **2. Uso de bio-sólido na agricultura .**

As atividades do homem afetam drasticamente os processos naturais que influem na vida vegetal, animal e na reciclagem de nutrientes.

O crescimento populacional e o desenvolvimento industrial constituem fatores determinantes da deterioração da qualidade de vida em virtude de um saneamento básico insuficiente, colocando em risco a saúde pública.

A disposição inadequada dos resíduos sólidos como rejeitos de mineração, subprodutos e descartes da indústria, bem como o lodo proveniente do tratamento do esgoto domiciliar urbano ou industrial, constituem foco de contaminação da água, ar e solo numa sobrecarga poluidora de caráter contínuo e muitas vezes irreversível.

Segundo BATAGLIA et al. (1983), a associação dos fatos mencionados às pressões sociais exercidas em função do desequilíbrio ecológico, provocado pelo descarte de resíduos urbanos e industriais, especialmente em rios e locais públicos, tem exigido maior atenção da pesquisa, visando soluções para a utilização econômica e conversão via ambiente desses resíduos.

Dentre os resíduos produzidos, destaca-se o bio-sólido, originado do tratamento dos esgotos residenciais e industriais, cujo teor de matéria orgânica está entre 40 e 60%, contendo apreciáveis quantidades de nutrientes, sendo promissora sua utilização na agricultura para a otimização da produção de alimentos (TEIXEIRA et al., 1997).

Há muito se conhecem os benefícios da aplicação de materiais orgânicos sobre as propriedades do solo. A ação benéfica da matéria orgânica sobre a fertilidade do solo traduz-se através da elevação da capacidade de troca de cátions (CTC) e da mineralização de sua fração orgânica, contribuindo de forma expressiva para o aumento da disponibilidade de nutrientes.

A adição de material orgânico ao solo promove aumento na disponibilidade de fósforo pela liberação do P-orgânico, durante o processo de mineralização, dissolução de fosfatos insolúveis em água, pela ação do ácido carbônico formado pela reação da água com o CO<sub>2</sub> proveniente da decomposição do material orgânico, formação de complexos fosfo-húmicos facilmente assimiláveis, formação de fosfatos orgânicos mais fracamente retidos no solo, revestimento superficial das partículas de argila, evitando o contato direto das mesmas com o fosfato (MELLO, 1980).

À medida que a decomposição da matéria orgânica se processa, os nutrientes são liberados gradativamente na forma de quelatos. Os quelantes agem nos íons metálicos como Fe, Cu, Mn, Zn, promovendo a formação de complexos organo-metálicos. Tais complexos, formados a partir dos ácidos húmicos e fúlvicos, os impedem de participar de outras reações, muitas delas envolvendo fenômenos de fixação ou insolubilização.

A decomposição do biossólido no solo produz agentes complexantes que facilitam a movimentação de fosfatos combinados com ferro e alumínio, além de permitir melhor aproveitamento dos nutrientes pelas plantas em decorrência da lenta liberação dos mesmos através do processo de mineralização da matéria orgânica (CARVALHO & BARRAL, 1981).

Segundo LEE & BARTLETT (1976), parte da matéria orgânica recém-formada (ácidos húmicos) exerce grande influência na fertilidade do solo através de interação com vários de seus componentes. Isto se deve ao seu alto poder complexante que, por sua vez, é governado pelo tipo e abundância de grupos funcionais oxigenados e nitrogenados (SPOSITO, 1984; STEVENSON, 1994).

DEIANA et al. (1990) estudaram as características de ácidos húmicos oriundos do biossólido, composto de minhoca e esterco. O biossólido gerou ácidos húmicos com relação H/C mais alta, foram mais ricos em grupos alifáticos, grupos amida (incluindo cadeias polipeptídicas), éster, éteres aromáticos, carboidratos e com menor conteúdo de grupos carbonila que os ácidos húmicos originários dos outros compostos orgânicos. DICK et al. (1997) observaram que as substâncias húmicas geradas a partir de lodo

orgânico apresentaram composição química e composição de grupos funcionais semelhantes às substâncias húmicas de solos.

Além da formação de complexos AH-metais com elementos como Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn, outros elementos, como o fósforo, se envolvem neste processo. AYUSO et al. (1996) encontraram efeitos positivos das substâncias húmicas oriundas do biossólido e composto na absorção de fósforo por plantas de aveia, o que foi atribuído ao poder das substâncias húmicas destes materiais, mais ricos em ácidos fúlvicos, em formar fosfo-humatos facilmente assimiláveis.

Os efeitos das substâncias húmicas também se manifestam sobre as plantas. A maioria dos efeitos de complexos húmicos solúveis no crescimento celular tem sido atribuído à maior disponibilidade de nutrientes, resultante da solubilização de compostos inorgânicos (ORTEGA et al., 1979; ALBERTINI, 1983).

A interação com várias enzimas, sugere um papel regulatório dos complexos húmicos solúveis na linha metabólica. Segundo CACCO & DELL'AGNOLA (1984), as substâncias afetam a síntese de proteínas e RNA e o transporte nos sistemas de cloro, potássio, sódio, sulfato e fosfato.

O biossólido, quando empregado como fertilizante, além de atuar como fonte de N, P e S, dentre outros nutrientes, exerce influência sobre as propriedades físicas do solo e, conseqüentemente, no desenvolvimento da planta (SABBEY, 1974). Ocorre aumento na estabilidade dos agregados, mudando sua estrutura, com efeitos diretos sobre as características hídricas e distribuição de raízes (BETTIOL et al., 1983). BERNARDES (1982) verificou diminuição da densidade do solo, aumento do estado de agregação das partículas, com melhoria das condições de aeração.

JORGE et al. (1991) aplicaram biossólido por quatro anos numa área agrícola e verificaram alteração na relação entre os micro e macroporos, no índice de agregação e na retenção de água a 0,03 e 0,10 Mpa, não alterando a densidade, a porosidade e os parâmetros de infiltração.

O uso exclusivo do biossólido como fertilizante poderá causar deficiências nutricionais para a cultura em função de um desequilíbrio no teor de nutrientes. A adição de biossólido proporcionou aumento significativo no rendimento da matéria seca

e na absorção de N, P e K pelo milho, contudo ROS (1993) concluiu que deve ser feita a suplementação mineral, concordando com ALGUZ (1993) que obteve resultados semelhantes com a cultura do sorgo granífero.

Em experimentos utilizando como planta teste o sorgo granífero, realizados em solos de regiões tropicais, a adição de biossólido propiciou aumento na produção de matéria seca, liberação de nutrientes para as plantas e aumento do pH em  $\text{CaCl}_2$  (ABRAÃO, 1992; DIAS, 1994).

Estudos com cultivo de cevada aplicando biossólido no solo, mostraram teores elevados de N e P nos grãos e Ca, Mg, Na e K nas folhas. Quanto ao teor de metais, ocorreu acúmulo na parte aérea de Ni, Cr, Cd e Pb.

HERNANDEZ et al. (1992) detectaram um incremento de N, P e Zn nas folhas de plantas de alface (*Lactuca sativa*), utilizando o biossólido no solo.

CUNNINGHAM et al. (1975) incorporaram biossólido sem tratamento prévio e observaram aumento na produção de grãos, relacionado à maior disponibilidade de N, P e K.

Sabey & Hart (1973), citados por KIRKHAM (1982) aplicaram doses de 0 a 125 t  $\text{ha}^{-1}$  de biossólido e cultivaram milho, sorgo e trigo. Constataram que a distribuição do fósforo no solo seguiu um padrão similar à distribuição da matéria orgânica, exceto nas altas doses de aplicação, quando o fósforo pareceu estar presente na camada 30-46 cm, indicando uma movimentação para as camadas inferiores do perfil. Nas parcelas onde se aplicou biossólido, a concentração de fósforo na superfície foi aproximadamente 23 vezes superior à concentração no tratamento sem biossólido e com adubação mineral. Entretanto, as doses de aplicação de biossólido não aumentaram a quantidade de fósforo absorvida pelas plantas de trigo.

Contrariamente, MARQUES (1996) aplicou doses crescentes de biossólido ao solo e cultivou cana-de-açúcar, encontrando que os teores de P na planta se elevaram, quando se aumentou a dose aplicada de 40 para 80 t  $\text{ha}^{-1}$ , com posterior decréscimo para as doses maiores. No solo, o aumento das doses de biossólido causou elevação nos teores de P disponível, tanto na linha de plantio como na entrelinha.

BERTON et al. (1989) observaram que a produção de matéria seca e a absorção de nutrientes pelo milho, em resposta à adição de biossólido a cinco solos paulistas, aumentaram significativamente de acordo com a dose aplicada, comprovando a potencialidade desse material orgânico como fonte de nutrientes. Esses mesmos autores também verificaram redução nos teores de alumínio trocável nos solos.

São inúmeros os trabalhos que revelam aumento na produtividade das culturas pela aplicação de biossólido, diminuindo os gastos com os insumos, embora em alguns casos tenham sido detectados efeitos depressivos sobre o desenvolvimento das plantas (HINESLY et al., 1971; KING & MORRIS, 1972; DEFELIPO et al., 1991).

Embora existam vários trabalhos mostrando o biossólido como um promissor fornecedor de nutrientes, mais estudos se fazem necessários com relação aos efeitos sobre o fósforo no solo.

### **3. Biossólido e o fósforo no solo**

Em teores totais, sabe-se que a composição do biossólido quanto ao fósforo varia muito e depende do local, do seu estado físico, da forma de tratamento, do extrator utilizado, dentre outros, podendo variar de menos de 0,5% a valores próximos de 5,0% (KIRKHAM, 1982).

FROSSARD et al. (1996) estudaram o fósforo em biossólido de origem urbana por meio de técnicas de troca isotópica e encontraram que o conteúdo de P lábil depende totalmente do tipo de biossólido utilizado. O biossólido ativado e o compostado a partir do ativado, revelaram altas quantidades de P imediatamente trocável (em solução ou fracamente adsorvido). Os biossólidos flocculado e tratados por aquecimento tiveram baixos valores de fósforo imediatamente trocável, mas altas quantidades de P que passam à forma trocável lentamente, num período superior a 12 semanas.

Grande parte do P no biossólido é extraível e se encontra em formas inorgânicas. KIRKHAM (1982) citou vários autores que conduziram estudos neste sentido: Rehling & Truog (1939) observaram que 79% do fósforo total em um biossólido ativado era solúvel em citrato de amônio; Rudolfs & Gehm (1942) analisaram vários

tipos de biossólidos e mostraram que de 73 a 90% do fósforo se encontrava na forma extraível; Vlamis & Williams (1972) determinaram que metade do fósforo total no biossólido era solúvel em ácido acético a 2%; Sommers et al. (1973) realizaram estudo detalhado das características do fósforo em biossólido digerido, obtendo que o conteúdo de fósforo total alcançou de 1,2 a 4,5% e foi composto primariamente de fósforo inorgânico insolúvel; o fósforo orgânico constituiu uma proporção relativamente pequena do P total, indicando uma intensa mineralização da matéria orgânica, durante a digestão; a relação C/P atingiu de 21 a 92, similar às relações encontradas em resíduos de plantas facilmente decomponíveis e concluíram que o fósforo não é fator limitante na decomposição do biossólido após sua incorporação ao solo.

Mais recentemente, FARDEAU (1993) propôs a divisão do fósforo inorgânico do solo em quatro grupos com auxílio da técnica de troca isotópica. O mais importante seria o grupo central, contendo fósforo livre, ou seja, aquele presente na solução do solo, e o P na fase sólida, mas que teria a mesma mobilidade como o P da solução. O fósforo deste grupo pode ser trocado com qualquer P presente nos outros grupos, os quais são localizados na fase sólida do solo. Tais grupos seriam o fósforo trocável entre tempos de um minuto e um dia, o P trocável entre um dia e 12 semanas e o fósforo que necessita de mais de 12 semanas para ser trocado com o P da solução, cujos tempos de troca ocorrem em função dos processos e reações do solo.

A utilização do biossólido em solos cultivados exige um manejo adequado para que a produtividade seja máxima e não haja problemas de degradação e poluição do solo. Não deve possuir concentração de metais pesados maior do que aquela que, após a aplicação, proporcione concentração no solo acima dos limites aceitáveis pela legislação; não possuir excesso de íons  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$ ; ser biodegradado dentro de um período de tempo razoável, não formando substâncias tóxicas; possuir relação C/N ideal; ter sua taxa de aplicação adequada às características do solo, que deve possuir características físicas que permitam uma boa drenagem e aeração e características químicas que permitam a adsorção dos nutrientes contidos no resíduo (BETTIOL & CAMARGO, 1999).

FRANKENBERGER et al. (1983) e BONMATI et al. (1985) relataram que a presença de metais pesados em bio-sólido foi responsável por efeitos inibitórios na atividade de urease e fosfatase no solo. No entanto, concluíram que o bio-sólido foi um fornecedor potencial de C-orgânico, N-total e P extraível com EDTA, disponibilizados predominantemente por meio de reações químicas.

MARTENS et al. (1992) adicionaram 25 t ha<sup>-1</sup> (base seca) de esterco de aves, bio-sólido, palha de cevada e alfafa verde durante quatro anos a um solo areno-argiloso do Canadá. Observaram que o bio-sólido foi consistentemente, dentre os materiais aplicados, o que menos estimulou a atividade enzimática do solo, o que atribuíram à presença de metais pesados no resíduo.

FORTUN et al. (1997) aplicaram resíduos sólidos urbanos a três solos semi-áridos (Vertisol, Calcisol e Luvisol) e observaram que a atividade de fosfatase aumentou no Vertisol, decresceu no Luvisol e não se alterou no Calcisol. A menor concentração de ATP foi observada no Vertisol, enquanto nos outros dois solos houve incremento na concentração de ATP. Os efeitos observados foram atribuídos a uma relação com a composição química e física dos solos, com a quantidade de C adicionado e sua interação com as frações minerais.

O uso do bio-sólido como fonte de nutrientes é promissor pelos conteúdos de nutrientes que ele apresenta, mas o fator determinante quanto às quantidades a serem utilizadas ainda está por ser definido para as condições brasileiras.

A legislação e os dados obtidos para o uso de bio-sólido nos Estados Unidos e na Europa não servem como parâmetros para serem considerados nas condições climáticas das regiões tropicais e sub-tropicais. No Brasil, algumas normas estão sendo desenvolvidas pela CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental) contemplando critérios como composição do bio-sólido em metais pesados, persistência da sua matéria orgânica, tipo de tratamento e a presença de patógenos, visando sua aplicação em áreas agrícolas (CETESB, 1998).

A pesquisa nessa área é fundamental, de modo a fornecer subsídios para amenizar o problema de saneamento, reduzindo o volume de bio-sólido acumulado

nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs), bem como minimizando gastos com fertilizantes minerais para melhorar a fertilidade do solo.

#### 4. Referências Bibliográficas

- ABRAHÃO, E.C. **Efeito de doses de lodo de esgoto sobre a fertilidade, atividade de amilase e celulase de um Latossolo Vermelho-Escuro textura média.** Jaboticabal, 1992. 110p. Trabalho (Graduação em agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista.
- ALBERTINI, P.E.G. **Efeito da adição de resíduos das culturas de *Sorghum bicolor* (L.) Moench e *Dolichos lablab* L. sobre o carbono e o nitrogênio de frações da matéria orgânica de um latossolo roxo.** Jaboticabal, 1983. 118p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista.
- ALGUZ, E. S. **Produção de matéria seca e absorção de nutrientes pelo sorgo granífero cultivado em solo que recebeu lodo de esgoto.** Jaboticabal, 1993. 104p. Trabalho (Graduação em agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista.
- ANDA **Anuário estatístico do setor de fertilizantes**, 1999. São Paulo, 2000. p.30,35.
- AYUSO, M. et al. A comparative study of the effect on barley growth of humic substances extracted from municipal wastes and from traditional organic materials. **J. Sci. Food Agric.**, v.72, n.4, p.493-500, 1996.
- BATAGLIA, O.C., BERTON, R.S., CAMARGO, O.A., VALADARES, J.M.A.S. Resíduos orgânicos como fontes de nitrogênio para capim-braquiária. **R. bras. Ci. Solo**, 7:277-284, 1983.
- BERNARDES, L. F. **Efeito da aplicação de lodo de esgoto nas propriedades físicas do solo.** Jaboticabal, FCAV, 1982. 50p.

- BERTON, R. S., CAMARGO, O. A., VALADARES, J. M. A. S. Absorção de nutrientes pelo milho em resposta à adição de lodo de esgoto a cinco solos paulistas. **R. Bras. Ci. Solo**, v.13, n.2, p.187-192, 1989.
- BETTIOL, W., CARVALHO, P.C.T., FRANCO, B. J. D. C. Utilização do lodo de esgoto como fertilizante. **O solo**, Piracicaba. v.75, n.1, p.44-54, 1983.
- BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Campinas: EMBRAPA, 1999. 312p.
- BONMATI, M. et al. Chemical properties, populations of nitrite oxidizers, urease and phosphate activities in sewage sludge-amended soil. **Plant Soil**, v.84, p.79-91, 1985.
- CACCO, G., DELL'AGNOLA, G. Plant growth regulator activity of soluble humic complexes. **Can. J. Soil Sci.**, v.64, n.2, p.225-228, 1984.
- CARVALHO, P. C. T., BARRAL, M. F. Aplicação do lodo de esgoto como fertilizante. **Fertilizantes**, São Paulo. V.3, n.2, p.1-4, 1981.
- CETESB **Aplicação de biossólidos em áreas agrícolas - critérios para projeto e operação**. São Paulo, 1998. 35p. (Norma P 4.230).
- CUNNINGHAM, I. D., KEENEY, D. R., RYAN, J. A. Yield and metal composition of crop and rye grown on sewage amended soil. **J. Environ. Qual.**, v.4, p.448-454, 1975.
- DEFELIPO, B. V. et al. Eficiência agrônômica do lodo de esgoto proveniente de uma indústria siderúrgica. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v.15, p.389-393, 1991.
- DEIANA, S. et al. Analytical and spectroscopic characterization of humic acid extracts from sewage sludge, manure and worm compost. **Soil Sci.**, v.150, n.1, p.419-424, 1990.
- DIAS, F. L. F. **Efeito da aplicação de calcário, lodo de esgoto e vinhaça em solo cultivado com sorgo granífero (*Sorghum bicolor* (L.) Moench)**. Jaboticabal, 1994. 74p. Trabalho (Graduação em agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista.
- DICK, D. P. Caracterização de produtos de decomposição de lodos orgânicos em diferentes tempos e meios de digestão. **R. Bras. Ci. Solo**, v.21, n.1, p.1-8, 1997.
- FARDEAU, J. C. Le phosphore assimilable des sols: sa représentation par un modèle fonctionnel à plusieurs compartiments. **Agronomie**, v.13, p.317-331, 1993.

- FORTUN, C., FORTUN, A., CECCANTI, B. Changes in water-soluble and EDTA-extractable cations enzymatic activities of soils treated with a composites soil urban waste. **Arid Soil Research Rehabilitation**, v.11, n.3, p.265-76, 1997.
- FRANKENBERGUER, W. T., JOHANSON Jr., J. B., NELSON, C. O. Urease activity in sewage sludge-amended soils. **Soil Biol. Biochem.**, v.15, p.543-549, 1983.
- FROSSARD, E., SINAJ, S. DUFOUR, P. Phosphorus in urban sewage sludges as assessed by isotopic exchange. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.60, n.1, p.179-182, 1996.
- HERNANDEZ, T. et al. Utilización de residuos urbanos como fertilizantes orgánicos. **Suelo y Planta**, v.2, n.3, p.373-383, 1992.
- HINESLY, T. D., BRAIDS, O. C., MOLINA, J. A. E. **Agricultural benefits and environmental changes resulting from the use of digest sewage sludge on field crops: an interim report of a solid waste demonstration project/USEPA** Washington, D.C., 1971.
- JORGE, J. A., CAMARGO, O. A., VALADARES, J. M. A. S. Condições físicas de um latossolo vermelho-escuro quatro anos após aplicação de lodo de esgoto e calcário. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, 15:237-240, 1991.
- KING, L. D., MORRIS, H. D. Land disposal of liquid sewage sludge. The effect on soil pH, manganese, zinc and growth and chemical composition of rye (*Cecale cereale* L.). **J. Environ. Qual.**, v.1, p.425-429, 1972.
- KIRKHAM, M. B. Agricultural use of phosphorus in sewage sludge. **Adv. Agron.**, v.35, p.129-164, 1982.
- LEE, Y. S., BARTLET, R. J. Simulation of plant growth by humic substances. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.40, p.876-879, 1976.
- MARQUES, M. O. **Incorporação de lodo de esgoto em solo cultivado com cana-de-açúcar**. Jaboticabal, 1996. 111p. Tese (Livre docência) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista.
- MARTENS, D. A., JOHANSON, J. B., FRANKENBERGER Jr., W. T. Production and persistence of soil enzymes with repeated addition of organic residues. **Soil Science**, v.153, n.1, p.53-61, 1992.

- MELLO, F. A. F. O. **O fósforo no solo e a adubação fosfatada**. Piracicaba: ESALQ. 1980. 39p.
- ORTEGA, G. A. C. et al. Estudio de las variaciones en el crecimiento de la raíz de guisant' produzidas por tres ácidos humicos. **An. Edafol. Agrobiol.**, v.67, n.8, p.1399-407, 1979.
- ROS, C. O. et al. Lodo de esgoto: efeito imediato no milho e residual na associação aveia-ervilhaca. **R. Bras. Ci. Solo**, v.17, p.257-261, 1993.
- SABBEY, B. R. The use of sewage sludge as a fertilizer. Environmental Engineering Series. London, 72:108-112, 1974.
- SPOSITO, G. **The surface chemistry of soils**. New York, Oxford. University Press, 1984. 234p.
- STEVENSON, F. J. **Humus chemistry, genesis, composition, reactions**. 2. Ed. New York, John Willey, 1994. 443p.
- TEIXEIRA, S. T. et al. Produção de matéria seca e teores de N, P e S em sorgo granífero cultivado em latossolo vermelho escuro acrescido de lodo de esgoto contaminado com doses crescentes de cromo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO 26, 1997, Rio de Janeiro. **Anais...** (Trabalho n.09-016 CD).
- TSUTYA, M. T. Alternativas de disposição final de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgoto. In: BETTIOL, W., CAMARGO, O. A. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Campinas: Embrapa, 69-105, 1999.

## **CAPÍTULO II**

### **FÓSFORO TOTAL E NAS FRAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA DE UM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRICO TRATADO COMO BIOSSÓLIDO E CULTIVADO COM MILHO**

## CAPÍTULO II

### FÓSFORO TOTAL E NAS FRAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA DE UM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO TRATADO COMO BIOSSÓLIDO E CULTIVADO COM MILHO

#### RESUMO

A área experimental foi instalada na Fazenda de Ensino e Pesquisa da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Campus de Jaboticabal, SP, localizada a uma altitude de 610m e com as seguintes coordenadas geográficas: 21°15'22" S e 48°15'18" W. O clima é do tipo Cwa, segundo a classificação de Köppen, isto é, subtropical, temperado, seco no inverno, com temperatura média máxima superior a 22°C. O experimento foi instalado utilizando-se a cultura do milho, nos anos agrícolas 1997/1998, 1998/1999 e 1999/2000, utilizando-se um solo latossolo vermelho distroférrico, em delineamento de blocos ao acaso (DBC), com quatro tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos utilizados foram: sem qualquer tipo de fertilização (no ano agrícola 1997/98) e apenas com fertilização mineral (nos anos subsequentes) (**T**); aplicação de 2,5 t ha<sup>-1</sup> de bio sólido (base seca) e complementação mineral com P e K, quando necessário (**L1**); aplicação de 5,0 t ha<sup>-1</sup> de bio sólido (base seca) e complementação mineral com P e K, quando necessário (**L2**); aplicação de 10 t ha<sup>-1</sup> de bio sólido (base seca) e complementação mineral com P e K, quando necessário (**L3**). Avaliou-se a distribuição do P total e P das frações substâncias húmicas (P-SH), ácido fúlvico (P-AF), ácido húmico (P-AH) e humina (P-HN) no perfil até a profundidade de 0,60m. Os dados obtidos mostraram que 5 t ha<sup>-1</sup> de bio sólido (base seca) é a melhor dose a ser aplicada com relação fósforo total e proporciona maiores valores de P moderadamente lábil (P-SH) e moderadamente resistente (P-AF), nas camadas superficiais do LVE. A dose que proporciona melhores valores de P total e P-HN é 7 t ha<sup>-1</sup>. As formas não lábeis (P-AH) se concentram nas camadas mais profundas,

inclusive quando da aplicação de fertilizante mineral. O fósforo nas frações substâncias húmicas possui correlação positiva com o fósforo na fração ácido fúlvico. Os teores de fósforo total por sua vez, estabelece correlação semelhante com o fósforo da fração humina.

**Palavras-chave:** lodo de esgoto, substâncias húmicas, ácido fúlvico, húmico, humina

## 1. Introdução

O retorno de águas servidas aos mananciais sem o devido tratamento, é tecnicamente incorreto. O tratamento dessas águas gera um resíduo pastoso, denominado biossólido, cuja composição encerra, dentre outros componentes, 0,79 % de P (média com base na matéria seca), o que sugere o seu aproveitamento como possível fonte de fósforo para as plantas. Dados relativos à região metropolitana de São Paulo revelam uma produção de biossólido da ordem de 312 t dia<sup>-1</sup> (base seca) (TSUTYA, 1999), o que equivale a um total de 2,44 t de P dia<sup>-1</sup> que, se reciclado através do uso agrícola, pode proporcionar redução de gastos com insumos agrícolas que, considerando-se apenas o fósforo, podem ser de até US\$ 642.000,00 por ano já que é possível adquirir o biossólido gratuitamente.

Entretanto, outras características químicas fazem do biossólido um produto com ação fertilizante em potencial, uma vez que em sua composição destaca-se a matéria orgânica que, na maioria dos casos, influenciam de forma positiva as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Assim, outros nutrientes como nitrogênio, cálcio, potássio e micronutrientes podem ter suas disponibilidades implementadas nos solos.

Em teores totais, sabe-se que a composição do biossólido quanto ao fósforo varia muito e depende do local em que é obtido, do seu estado físico, do sistema de tratamento de esgoto empregado, do extrator utilizado na determinação analítica, dentre outros, podendo variar de menos de 0,5% a valores próximos de 5,0% (KIRKHAM, 1982).

Estudos realizados por FROSSARD et al. (1996), abordando o fósforo em biossólido de origem urbana por meio de técnicas de troca isotópica indicam que o conteúdo de P lábil depende totalmente do tipo de biossólido utilizado. O biossólido ativado e o compostado a partir do ativado, revelam altas quantidades de P imediatamente trocável (em solução ou fracamente adsorvido). Os biossólidos floculados e tratados com aquecimento apresentaram baixos valores de fósforo imediatamente trocável e altas quantidades de P que, num período de 12 semanas, foram lentamente convertidas a formas trocáveis.

A ação benéfica da matéria orgânica sobre a fertilidade do solo traduz-se na elevação da capacidade de troca de cátions (CTC) e na mineralização de sua fração orgânica, contribuindo de forma expressiva para o aumento da disponibilidade de nutrientes, de forma duradora.

Especificamente para o fósforo, sua disponibilidade é aumentada pela liberação do P-orgânico, durante o processo de mineralização da matéria orgânica, dissolução de fosfatos insolúveis em água, pela ação do ácido carbônico formado pela reação da água com o CO<sub>2</sub> proveniente da decomposição do material orgânico, formação de complexos fosfo-húmicos facilmente assimiláveis, formação de fosfatos orgânicos mais fracamente retidos no solo e revestimento superficial das partículas de argila, evitando o contato direto das mesmas com o fosfato (MELLO, 1980).

A decomposição do biossólido no solo produz agentes complexantes que facilitam a movimentação de fosfatos combinados com ferro e alumínio, além de permitir melhor aproveitamento dos nutrientes pelas plantas em decorrência da lenta liberação dos mesmos através do processo de mineralização da matéria orgânica (CARVALHO & BARRAL, 1981).

Parte da matéria orgânica recém-formada (ácidos húmicos) exerce grande influência na fertilidade do solo através de interação com vários de seus componentes (LEE & BARTLET, 1976). Isto se deve ao seu alto poder complexante que, por sua vez, é governado pelo tipo e abundância de grupos funcionais oxigenados e nitrogenados (SPOSITO, 1984, STEVENSON, 1994).

Estudos das características de ácidos húmicos oriundos do biossólido, composto de minhoca e esterco, salientam que o biossólido gerou ácidos húmicos com relação H/C mais alta, mais ricos em grupos alifáticos, grupos amida (incluindo cadeias polipeptídicas), éster, éteres aromáticos, carboidratos e com menor conteúdo de grupos carbonila que os ácidos húmicos originários dos outros compostos orgânicos (DEIANA, 1990). Ainda há na literatura (DICK, 1997) informações de que as substâncias húmicas geradas a partir de lodo orgânico apresentaram composição química e composição de grupos funcionais semelhantes às substâncias húmicas de solos.

Além da formação de complexos AH-metais com elementos como Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn, outros elementos, como o fósforo, se envolvem neste processo. Efeitos positivos das substâncias húmicas oriundas de biossólido e composto foram encontrados na absorção de fósforo por plantas de aveia, o que foi atribuído ao poder das substâncias húmicas destes materiais, mais ricos em ácidos fúlvicos, em formar fosfo-humatos facilmente assimiláveis (AYUSO, 1996).

Aplicações de doses de 0 a 125 t ha<sup>-1</sup> de biossólido e posterior cultivo com milho, sorgo e trigo (KIRKHAM, 1982) mostraram que a distribuição do fósforo no solo seguiu um padrão similar à distribuição da matéria orgânica, exceto nas altas doses de aplicação, quando o fósforo se fez presente na camada 30-46 cm, significando ter havido movimentação para as camadas inferiores do perfil. Nas parcelas onde se aplicou biossólido, a concentração de fósforo na superfície foi aproximadamente 23 vezes superior à concentração no tratamento sem biossólido e com adubação mineral. Entretanto, as doses de biossólido não aumentaram a quantidade de fósforo acumulada em plantas de trigo.

Em estudos com biossólido na cultura da cana-de-açúcar (MARQUES, 1996) a aplicação de doses crescentes de biossólido ao solo com posterior cultivo mostrou que os teores de P na planta se elevaram com aumento da dose aplicada de 40 para 80 t ha<sup>-1</sup>, com posterior decréscimo para as doses maiores. No solo, o aumento das doses de biossólido causou elevação nos teores de P disponível, tanto na linha de plantio como na entrelinha.

O fósforo inorgânico do solo pode ser classificado em grupos que variam de formas mais disponíveis até aquelas menos disponíveis ou não disponíveis para as plantas. Mais recentemente surgiram propostas de classificação do fósforo inorgânico do solo em quatro grupos com auxílio da técnica de troca isotópica (FARDEAU, 1993). O mais importante, nessa proposta, seria o grupo central contendo fósforo livre, ou seja, aquele presente na solução do solo, e o P na fase sólida, mas que teria a mesma mobilidade do P da solução do solo. O fósforo deste grupo poderia ser trocado com qualquer forma de P presente nos outros grupos, as quais estariam localizadas na fase sólida do solo. Tais grupos seriam aqueles que conteriam o fósforo trocável formado

entre tempos de um minuto e um dia, o P trocável entre um dia e 12 semanas e o fósforo que necessitaria de mais de 12 semanas para que houvesse deslocamento do equilíbrio em direção do P da solução do solo, cujos tempos de troca ocorreriam em função dos processos e reações do solo.

Para que o bio-sólido possa ser utilizado como fertilizante, há que se conhecer seu comportamento no solo e seu efeito sobre o desenvolvimento das plantas e, embora existam vários trabalhos que o indique como fornecedor, em potencial, de nutrientes (especialmente N e P), pouco se sabe sobre sua distribuição no perfil do solo e nas frações da matéria orgânica, razão pela qual mais estudos se fazem necessários no sentido de esclarecer aspectos relacionados aos efeitos do resíduo sobre o fósforo no solo.

Diante do exposto, com a finalidade de contribuir com mais informações sobre o tema, foi desenvolvido o presente trabalho que teve por objetivo estudar a aplicação de fertilizante mineral e diferentes doses de bio-sólido sobre os teores de P no solo e nas frações da matéria orgânica, bem como a distribuição do nutriente no perfil até a profundidade de 0,60m.

## **2. Material e Métodos**

A área experimental foi instalada na Fazenda de Ensino e Pesquisa da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Campus de Jaboticabal, SP, localizada a uma altitude de 610m e com as seguintes coordenadas geográficas: 21°15'22" S e 48°15'18" W. O clima é do tipo Cwa, segundo a classificação de Köppen, isto é, subtropical, temperado, seco no inverno, com temperatura média máxima superior a 22°C. O experimento foi instalado utilizando-se a cultura do milho, nos anos agrícolas 1997/1998, 1998/1999 e 1999/2000, utilizando-se um solo latossolo vermelho distroférrico (EMBRAPA, 1999), em delineamento de blocos ao acaso (DBC), parcelas subdivididas, com quatro tratamentos (parcelas de 5,4m x 10m), cinco profundidades (sub-parcelas) e cinco repetições. Os tratamentos utilizados foram: sem qualquer tipo

de fertilização (no ano agrícola 1997/98) e apenas com fertilização mineral (nos anos subsequentes) (**T**) seguindo recomendações de adubação para o Estado de São Paulo (RAIJ et al, 1997); aplicação de 2,5 t ha<sup>-1</sup> de biossólido (base seca) e complementação mineral de P e K, quando necessário (**L1**); aplicação de 5,0 t ha<sup>-1</sup> de biossólido (base seca) e complementação mineral de P e K, quando necessário (**L2**); aplicação de 10 t ha<sup>-1</sup> de biossólido (base seca) e complementação mineral de P e K, quando necessário (**L3**). As características químicas dos biossólidos utilizados em cada ano agrícola encontram-se apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização química do biossólido incorporado ao latossolo vermelho distroférico nos anos agrícolas 1997/98, 1998/99 e 1999/2000.

Nutriente	VALORES* (base seca)		
	1997/98	1998/99	1999/00
Nitrogênio total (g kg <sup>-1</sup> )	20,40	37,3	28,70
Fósforo total (g kg <sup>-1</sup> )	10,51	11,3	17,41
Potássio (g kg <sup>-1</sup> )	0,97	1,7	1,28

\* valores médios calculados a partir de três repetições. Considerou-se 50% de disponibilidade do N do biossólido. Resíduo obtido na ETE de Barueri, SP.

No ano agrícola 1997/98, as áreas experimentais sofreram operações convencionais de cultivo, ou seja, uma aração e duas gradagens visando o preparo do solo para a semeadura. Nos anos agrícolas 1998/99 e 1999/00, substituiu-se parte das operações convencionais de cultivo, adotando-se então, o cultivo mínimo. Com o novo sistema, vinte dias antes da data prevista para instalação, realizou-se a aplicação de herbicida dessecante, visando o controle das plantas daninhas existentes na área. A primeira aplicação de herbicida foi realizada em 23/10/1999 utilizando-se 7 L ha<sup>-1</sup> de glyphosate (p.c.) e volume calda de 300 L ha<sup>-1</sup>. Devido ao fato de o biossólido não ter chegado na data prevista, foi necessário repetir a aplicação do herbicida dessecante em 14/12/1999, com 350 L ha<sup>-1</sup> de volume de calda. Sete dias após a segunda aplicação de herbicida (21/12/1999), realizou-se rebaixamento da massa vegetal utilizando-se

picador de palha (Triton) visando-se facilitar o preparo mínimo do solo. O preparo do solo constituiu-se na realização de uma gradagem leve, onde somente a camada superficial do solo (até 10 a 15cm) é movimentada, visando alterar o mínimo possível suas condições físicas.

Após a gradagem, realizou-se a distribuição do biossólido nas parcelas previamente definidas de forma que pudesse ficar disposto o mais uniformemente possível, sendo em seguida, incorporado com nova operação de gradagem leve. No mesmo dia, realizou-se a sulcagem, distribuição do fertilizante mineral nas parcelas destinadas ao tratamento T e, nas demais parcelas, quando recomendada suplementação mineral com P e K.

Antes da instalação do experimento, no ano agrícola 1997/98, realizou-se uma amostragem de solo na área total com a finalidade de se verificar o seu estado inicial de fertilidade. Nos anos subseqüentes uma amostra composta foi coletada nas parcelas destinadas ao tratamento com fertilização mineral (T) para realização dos cálculos de adubação. Retiraram-se quatro amostras simples por parcela com auxílio de um enxadão, na profundidade de 0-0,20m. As quatro amostras simples foram juntadas em um recipiente limpo onde foram destorroadas e homogeneizadas, formando uma amostra composta que posteriormente foi transferida para saco de polietileno e identificada. A amostra foi encaminhada para o laboratório, colocada em bandeja de polietileno e deixada secar ao ar e à sombra por três dias. Depois de seco, o material foi destorroadado em moinho próprio e feito passar por peneira com 2mm de abertura de malha, obtendo-se TFSA, que foi armazenada em sacos de polietileno até que fossem realizadas as análises químicas previstas. Os resultados obtidos, apresentados na Tabela 2, serviram como base para realização dos cálculos de adubação de semeadura e de cobertura (Tabela 3).

Os cálculos para adubação da cultura seguiram as recomendações de RAIJ et al (1997), considerando a disponibilidade de nutrientes no solo e a produtividade esperada. As doses de biossólido aplicadas basearam-se na disponibilidade de 50% do N total do resíduo no ano de aplicação (segundo critério da CETESB, P. 4.230, de

outubro de 1998), sendo as quantidades de  $P_2O_5$  e  $K_2O$  complementadas com fertilizante mineral

Tabela 2. Níveis de fertilidade do solo latossolo vermelho distroférico antes da instalação do experimento (ano agrícola 1997/98) e no início dos anos agrícolas subsequentes.

ANO	$P_{resina}$	M O	pH	K	Ca	Mg	H+Al	SB	T	V
AGRÍCOLA	$mg\ dm^{-3}$	$g\ dm^{-3}$	$CaCl_2$	$mmol_c\ dm^{-3}$						%
1997/1998	44	20	5,7	2,2	26	11	16	39,0	55,1	71
1998/1999*	47	18	6,1	1,7	35	10	15	46,8	61,8	75
1999/2000*	43	16	5,4	1,6	20	10	19	31,6	50,6	62

\* amostra composta por quatro sub-amostras coletadas em cada uma das cinco parcelas sem aplicação de biossólido (testemunha).

A fonte de fertilizante mineral nitrogenado utilizada foi o sulfato de amônio, que contém 18% de N. Para suplementação do fósforo, utilizou-se o Superfostato simples, na formulação de pó, mesma formulação do Cloreto de Potássio, cujo teor de  $K_2O$  é 59%, que foi utilizado para suplementação com potássio.

As adubações minerais utilizadas na semeadura e em cobertura na área experimental encontram-se apresentadas na Tabela 3.

A semeadura foi realizada no mesmo dia da abertura dos sulcos, colocando-se aproximadamente 10 a 12 sementes por metro, com espaçamento entre linhas de 0,9m, sendo que o excesso de plantas foi retirado com a realização do desbaste entre 20 a 25 dias após a emergência das mesmas, procurando-se obter um stand de 45.000 a 50.000 plantas  $ha^{-1}$ . No ano agrícola 1997/98, utilizou-se milho variedade "Manduri", que foi substituído no ano agrícola 1998/99 pelo híbrido AG 122. No ano agrícola 1999/00 as sementes utilizadas foram do híbrido duplo AGROMEN 3150.

Tabela 3. Fertilização mineral utilizada na área sob latossolo vermelho distroférico nos anos agrícolas 1997/98, 1998/99 e 1999/00.

Ano agrícola	Tratamento	N (kg ha <sup>-1</sup> )		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )		K <sub>2</sub> O (kg ha <sup>-1</sup> )	
		Semeadura	Cobertura	Semeadura	Cobertura	Semeadura	Cobertura
1997/98 <sup>(1)</sup>	T (fert. min.)	---	---	---	---	---	---
	L1 (2,5t ha <sup>-1</sup> )	---	---	50	---	29	---
	L2 (5,0t ha <sup>-1</sup> )	---	---	44	---	26	---
	L3 (10t ha <sup>-1</sup> )	---	---	33	---	20	---
1998/99 <sup>(1)</sup>	T (fert. min.)	16,7	60	30	---	30	---
	L1 (2,5t ha <sup>-1</sup> )	---	---	---	---	30	---
	L2 (5,0t ha <sup>-1</sup> )	---	---	---	---	30	---
	L3 (10t ha <sup>-1</sup> )	---	---	---	---	30	---
1999/00 <sup>(2)</sup>	T (fert. min.)	30	110	50	---	50	40
	L1 (2,5t ha <sup>-1</sup> )	---	---	---	---	50	40
	L2 (5,0t ha <sup>-1</sup> )	---	---	---	---	50	40
	L3 (10t ha <sup>-1</sup> )	---	---	---	---	50	40

produtividade esperada (1) = 6-8 t ha<sup>-1</sup>, (2) 10-12 t ha<sup>-1</sup>; classe de resposta a N, média.

### Amostragem de terra no ano agrícola 1999/2000

A coleta de amostras de terra nas parcelas experimentais foi realizada aproximadamente 60 dias após o início da emergência das plântulas, nas profundidades de 0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,40 e 0,40-0,60m, abrindo-se uma trincheira de 0,50m x 0,50m e 0,65m de profundidade na entrelinha central da parcela. As amostras de cada camada foram coletadas retirando-se uma fatia de 0,05m de largura em cada uma das quatro faces da trincheira. As amostras simples de cada parcela foram transferidas para um recipiente limpo, onde foram destorroadas e homogeneizadas, sendo em seguida transferidas para sacos de polietileno, identificados com o número da parcela, tipo de solo, profundidade e ano de amostragem. As amostras foram encaminhadas para o laboratório e processadas como descrito anteriormente.

### **Amostragem de plantas no ano agrícola 1999/2000**

A amostra foi composta, retirando-se quatro plantas ao acaso em cada uma das parcelas, aproximadamente 100 dias após a emergência das plântulas. O material foi cortado rente ao solo, juntou-se as quatro plantas coletadas e identificou-se com o número da parcela. O material foi levado ao laboratório, lavado, seco em estufa com circulação forçada de ar regulada para 60-70°C até que o material apresentasse peso constante. Em seguida, as plantas foram moídas e armazenadas em sacos de polietileno até a realização das análises químicas.

### **Análises químicas nas amostras de terra**

#### *Fósforo no extrato nítrico-perclórico*

Os teores de fósforo total no solo foram determinados em amostras previamente digeridas com mistura de ácidos nítrico e perclórico (3:1 v/v) em bloco digestor até que se verificasse um extrato de coloração amarelada a incolor (extrato de digestão nítrico perclórica). A determinação dos teores de P foi realizada empregando-se o método colorimétrico descrito por OLSEN & SOMMERS (1982), cujo princípio é a oxidação da matéria orgânica seguida da complexação dos íons fosfato pelos íons molibdato, com sua posterior redução pelo ácido ascórbico, que produz um complexo de cor azul, cuja absorvância é, dentro de certos limites de concentração de P, proporcional à concentração do elemento na amostra.

#### *Extração e fracionamento químico da matéria orgânica*

A avaliação da qualidade da matéria orgânica nas amostras de terra foi realizada, utilizando-se o método de extração e fracionamento das substâncias húmicas com solução de hidróxido de sódio, como descrito por DUARTE (1994), onde a matéria orgânica do solo é fracionada qualitativamente através da solubilidade em meio aquoso, alcalino e ácido, sucessivamente.

O início da extração é realizado com a adição de um agente alcalino, que origina uma fração solúvel em meio alcalino, denominada "Substâncias Húmicas" (SH) e um resíduo, não passível de extração, denominado humina (HN). Quando acidificada, a

fração SH produz uma fração insolúvel em meio ácido, denominada “Ácidos Húmicos” (AH) e uma fração solúvel, conhecida como “Ácidos Fúlvicos” (AF).

#### *Fósforo nas frações da matéria orgânica*

A avaliação dos teores de P presentes nas frações substâncias húmicas (SH) e ácidos húmicos (AH) foi realizada em uma alíquota do extrato da digestão nítrico-perclórica de cada fração obtida.

Para determinação dos teores de P na fração substâncias húmicas, preparou-se um extrato tomando-se uma alíquota de 20mL de solução de SH, que foi deixada em aquecimento em bloco digestor até que o volume se reduzisse a 5mL. Após esta etapa, adicionou-se 6mL mistura de ácidos nítrico e perclórico na proporção de 3:1 (v/v) e elevou-se a temperatura gradativamente até 200°C. O material permaneceu em digestão até que se verificasse um extrato de coloração incolor (extrato de digestão nítrico perclórica). O mesmo procedimento foi adotado para preparo do extrato de leitura na fração ácido húmico.

A concentração de P nos extratos das amostras foi determinada empregando-se o método do molibdo-vanadato (OLSEN & SOMMERS, 1982), modificado. O método baseia-se na complexação do íon fosfato com o íon molibdato, em meio ácido, e posterior redução com ácido ascórbico, formando um complexo de cor azul, cuja absorvância é proporcional à concentração de fósforo na amostra.

O teor de fósforo na fração AF foi obtido pela diferença entre os teores de fósforo nas frações SH e AH, enquanto o teor de fósforo na fração HN foi obtido pela diferença entre os teores de fósforo na TFSA e na fração SH.

### **Análises químicas nas amostras de planta**

#### *Fósforo na planta*

O teor de fósforo total na planta foi determinado por colorimetria do metavanadato, conforme descrito em MALAVOLTA et al. (1997) que tem como princípio a formação de um composto amarelo do sistema vanadomolibdofosfórico em acidez de 0,2 a 1,6 mol L<sup>-1</sup>.



A cor desenvolvida foi medida em espectrofotômetro, utilizando-se um filtro de cor complementar à da amostra, medindo-se a absorbância a um comprimento de onda de 420nm.

### 3. Resultados e Discussão

Os dados obtidos nas amostras coletadas no ano agrícola 1999/2000 são apresentados nas Tabelas de 4 a 10.

Os valores de fósforo no extrato nítrico-perclórico ( $P_{NP}$ ) no solo encontram-se apresentados na Tabela 4 e ilustrados na Figura 1. O maior valor médio foi observado no tratamento com 5 t ha<sup>-1</sup> de biossólido (L2), seguido dos tratamentos que receberam apenas fertilização mineral, 2,5 t ha<sup>-1</sup> (L1) e 10 t ha<sup>-1</sup> (L3).

Tabela 4. Teores de  $P_{NP}$  na TFSA (g kg<sup>-1</sup>) em um latossolo vermelho distroférico tratado com biossólido e cultivado com milho no ano agrícola 1999/00.

DOSES <sup>1</sup> (t ha <sup>-1</sup> )	PROFUNDIDADE (m)					Média	Teste F
	0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40	0,40-0,60		
0 <sup>2</sup>	0,44 b B	0,42 b B	0,33 c B	0,12 d B	1,24 a A	0,51	605,03**
2,5	0,39 b B	0,40 b BC	0,38 b AB	0,30 c A	0,76 a B	0,45	105,45**
5,0	0,92 b A	0,49 c A	0,43 c A	0,31 d A	1,29 a A	0,69	556,07**
10	0,25 c C	0,36 b C	0,18 cd C	0,13 d B	0,66 a C	0,32	149,13**
MÉDIA	0,50	0,42	0,33	0,22	0,99		
Teste F	298,76**	11,49**	40,08**	38,62**	361,65**		

1- doses de biossólido em base seca; 2 fertilização mineral; Letras minúsculas comparam médias dispostas na horizontal; letras maiúsculas comparam médias dispostas na vertical. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey. \*\* = P < 0,01.

Considerando os valores médios, verifica-se decréscimo nos teores de fósforo total com aumento da profundidade até 0,40m, com significativa elevação na camada mais profunda (0,40-0,60m), onde houve maior concentração do  $P_{NP}$ . Em todos os tratamentos os valores de P total na camada mais profunda foram superiores aos teores encontrados nas demais camadas estudadas.

Como se pode observar nas Figuras 1 e 2, o uso de apenas fertilização mineral (T) proporcionou valores maiores na camada 0,40-0,60m, comparado com os obtidos nas camadas 0,05-0,10m, 0,10-0,20m e 0,20-0,40m, sendo o menor valor observado nesta última camada, também significativamente diferente da camada imediatamente superior (0,10-0,020m).

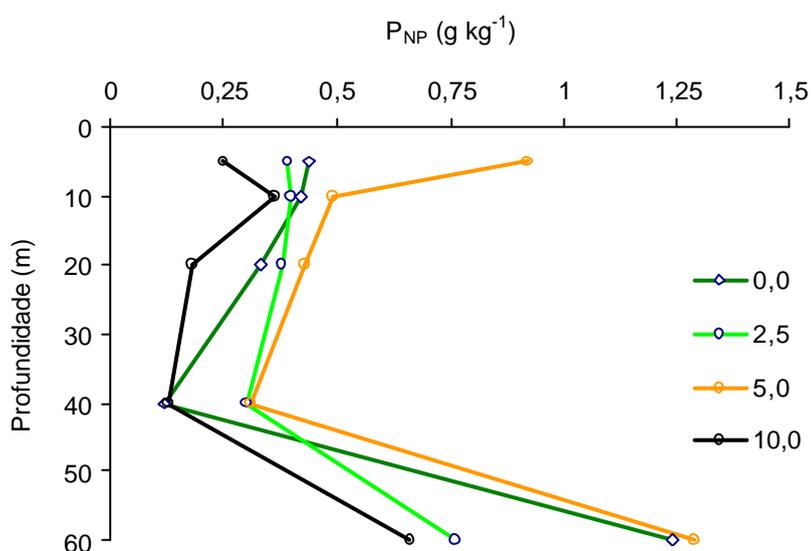


Figura 1. Teores de  $P_{NP}$  na TFSA (g kg<sup>-1</sup>) em um latossolo vermelho distroférico tratado com bio sólido e cultivado com milho no ano agrícola 1999/00.

O tratamento com 2,5 t ha<sup>-1</sup> de bio sólido apresentou comportamento semelhante ao observado no tratamento testemunha, com relação à distribuição do  $P_{NP}$  no perfil do solo. Entretanto, as variações entre as camadas foram menores, como indicam os dados da Tabela 4. Assim como no tratamento T, o menor valor de P total é

observado na camada 0,20-0,40m, diferindo daqueles observados nas camadas superiores (0-0,05m, 0,05-0,10m e 0,10-0,20m).

Analisando-se os dados obtidos no tratamento L2, verifica-se que os valores de  $P_{NP}$  sofreram redução no percurso que vai da superfície até a camada 0,20-0,40m, que apresenta valor inferior aos observados nas camadas 0-0,05m e 0,05-0,10m. O valor encontrado na camada superficial do solo também se mostrou maior que os obtidos nas profundidades 0,05-0,10m e 0,10-0,20m neste tratamento.

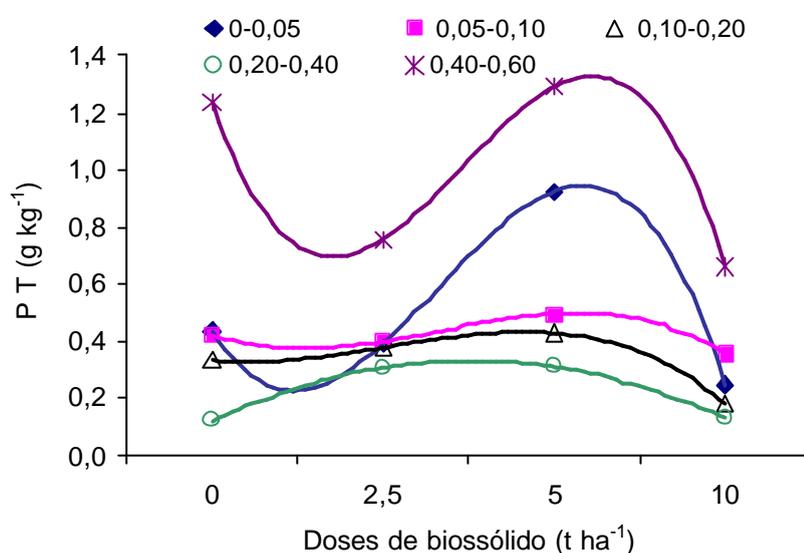


Figura 2. Análise por regressão polinomial entre doses de biossólido e teores de  $P_{NP}$  em um latossolo vermelho distroférico cultivado com milho no ano agrícola 1999/00.

O tratamento que recebeu 10 t ha<sup>-1</sup> de biossólido (base seca), proporcionou uma distribuição de  $P_{NP}$  no perfil do solo um tanto diferente dos outros tratamentos com relação à concentração do elemento na camada superficial. O teor de fósforo no extrato nítrico-perclórico na profundidade 0-0,05m foi menor que aquele observado na camada 0,05-0,10m, porém maior que o obtido na profundidade 0,20-0,40m. Ainda considerando o valor de  $P_{NP}$  na camada 0,05-0,10m, verifica-se que este também foi superior aos teores encontrados nas duas camadas subseqüentes (0,10-0,20m e 0,20-

0,40m), demonstrando a ocorrência, neste tratamento, de aumento nos teores de  $P_{NP}$  na camada 0,05-0,10m, redução nas camadas 0,10-0,20m e 0,20-0,40m e aumento ainda maior nas camadas mais profundas, da mesma forma que o verificado nos demais tratamentos.

Considerando os valores encontrados nos tratamentos T e L1 e a profundidade 0-0,05m, pode-se inferir que ambos apresentam teores de  $P_{NP}$  menores que o obtido no tratamento em que se aplicou  $5 \text{ t ha}^{-1}$  de biossólido. Os maiores teores de  $P_{NP}$  ocorreram no tratamento L3 e, o mesmo comportamento se verifica para o tratamento que recebeu apenas fertilização mineral (T) quando se consideram as profundidades 0,05-0,10m e 0,10-0,20m, em que os valores encontrados são menores do que aqueles observados no tratamento L2 e maiores que aqueles obtidos no tratamento L3. Ao se considerar a camada 0,20-0,40m, verifica-se que o tratamento com apenas fertilização mineral apresentou o menor valor de  $P_{NP}$ , demonstrando ser diferente daqueles observados nos tratamentos L1 e L2 na mesma profundidade. Na camada 0,40-0,60m, onde se encontraram os maiores valores de P total para todos os tratamentos, verifica-se comportamento inverso dos teores de  $P_{NP}$  no tratamento T que, neste caso, apresentou-se maior que os valores encontrados nos tratamentos L1 e L3. O tratamento que recebeu  $2,5 \text{ t ha}^{-1}$  de biossólido também teve seus valores de  $P_{NP}$  diferentes dos demais tratamentos, além do tratamento T.

Considerando os valores obtidos na camada 0,05-0,10m, verifica-se que L1 proporcionou teores de P total superiores aos valores obtidos no tratamento que recebeu  $5 \text{ t ha}^{-1}$  do resíduo. Na profundidade 0,10-0,20m, o uso de  $2,5 \text{ t ha}^{-1}$  de biossólido proporcionou teor de P total maior do que o observado no tratamento que recebeu  $10 \text{ t ha}^{-1}$  de resíduo. O mesmo comportamento aconteceu na profundidade 0,20-0,40m, tanto para L1 como para L2. Observando-se os dados apresentados pelos tratamentos L1 e L2, verificou-se que o primeiro é inferior, embora seja maior do que o observado no tratamento L3.

Os valores do tratamento L1 também diferem dos observados no tratamento L3 (maior dose do resíduo). Considerando os valores encontrados em L2 na camada 0-0,05m, verifica-se que o uso de  $5 \text{ t ha}^{-1}$  de biossólido proporcionou valor maior do que

o obtido com a aplicação de 10 t ha<sup>-1</sup> de biossólido. Esses tratamentos, nas demais camadas, tiveram comportamentos semelhantes aos expressos em L2 que, por sua vez, tiveram seus teores de P<sub>NP</sub> maiores do que os obtidos em L3.

Os comentários elaborados anteriormente podem ser visualizados na Figura 2, onde se observam as relações entre os teores de P<sub>NP</sub> do solo e as doses de biossólido aplicadas.

Baseados na análise por regressão polinomial dos dados (Tabela 5), verifica-se que houve uma correlação polinomial de terceiro grau significativa entre doses de resíduo e teores de P total no solo em todas as profundidades, exceto para 0,20-0,40m. Neste caso, a relação que melhor representa os dados obtidos é a que se baseia numa equação de segundo grau. É notório, nas camadas 0-0,05m e 0,40-0,60m, que houve tendência de redução dos valores de P<sub>NP</sub> com a aplicação de 2,5 t ha<sup>-1</sup>, e a mesma tendência, só que de forma acentuada com a aplicação de 10 t ha<sup>-1</sup> do resíduo. Neste caso, a aplicação de 5 t ha<sup>-1</sup> de biossólido promoveu elevação no referidos teores.

A redução dos teores de P<sub>NP</sub> com a aplicação da dose L1 possivelmente é resultado da baixa quantidade aplicada do elemento, uma vez que 2,5 t ha<sup>-1</sup> de biossólido representa metade da dose do resíduo necessária para o fornecimento de todo o nitrogênio disponível para a cultura.

Tabela 5. Equações polinomiais obtidas com as análises de regressão polinomial e coeficientes de determinação para P<sub>NP</sub> (g kg<sup>-1</sup>) em amostras de solo coletadas a diferentes profundidades.

Profundidade (m)	Equação	R <sup>2</sup>
0-0,05	$Y = -0,0093 X^3 + 0,1161 X^2 - 0,2505 X + 0,4360$	1,0**
0,05-0,10	$Y = -0,0018 X^3 + 0,0230 X^2 - 0,0559 X + 0,4240$	1,0**
0,10-0,20	$Y = -0,00099 X^3 + 0,0079 X^2 - 0,0048 X + 0,3320$	1,0**
0,20-0,40	$Y = -0,0081 X^2 + 0,0801 X + 0,1293$	0,97**
0,40-0,60	$Y = -0,0126 X^3 + 0,1759 X^2 - 0,5528 X + 1,2360$	1,0**

\*\* = P < 0,01

Usando-se as equações das regressões, apresentadas na Tabela 5, e cálculos de derivadas, pode-se estimar as doses de biossólido que melhor favoreceria os teores de P<sub>NP</sub>. Dessa forma, a dose de biossólido a ser aplicada neste solo que maximizaria os teores de fósforo no extrato nítrico-perclórico, seria de 7,04 t ha<sup>-1</sup> (base seca) a 7,3 t ha<sup>-1</sup> (0-0,05m e 0,05-0,10m e 0,40-0,60m, respectivamente).

Os teores de fósforo encontrados na fração substâncias húmicas (P-SH), em função dos tratamentos testados, são apresentados na Tabela 6 e Figura 3. Verifica-se que o aumento da dose de biossólido aplicada não influenciou os valores de P-SH. Entretanto, no que se refere à distribuição desta forma de fósforo no perfil do solo, considerando-se os valores médios para cada profundidade estudada, observa-se que na camada superficial do solo (0-0,05m) os teores de P-SH foram superiores aos encontrados nas camadas inferiores, sendo nítida a tendência de redução desses teores com o aumento da profundidade.

Tabela 6. Teores de P na fração substâncias húmicas<sup>1</sup> (mg kg<sup>-1</sup>) em um latossolo vermelho distroférico tratado com biossólido e cultivado com milho no ano agrícola 1999/2000.

	PROFUNDIDADE (m)					Média
	0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40	0,40-0,60	
0 <sup>2</sup>	141,21	104,64	80,33	64,61	61,35	91,43 A
2,5	110,06	108,07	91,71	61,90	58,64	86,06 A
5,0	133,19	92,53	69,76	60,90	58,82	83,04 A
10	125,60	97,58	72,56	55,03	54,58	81,07 A
MEDIA	127,51 a	100,70 b	78,59 c	60,61 d	58,35 d	

F TRAT = 0,94 (P > 0,05); F PROF = 70,25 (P < 0,01); F TxP = 1,47 (P > 0,05)

1- doses de biossólido em base seca; 2 fertilização mineral; Letras minúsculas comparam médias dispostas na horizontal; letras maiúsculas comparam médias dispostas na vertical. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey. F = valores do Teste F para tratamentos (TRAT), profundidades (PROF) e interação entre tratamentos e profundidades (TxP).

Embora não se tenha observado diferenças significativas entre os tratamentos testados, é importante se observar o comportamento dos valores de P-SH nas camadas superficiais (0-0,05m, 0,05-0,10m e 0,10-0,20m). Os tratamentos com fertilização mineral, 5 t ha<sup>-1</sup> e 10 t ha<sup>-1</sup> favoreceram a ocorrência de valores maiores de P-SH na camada superficial do solo (0-0,05m), comparados aos encontrados nas demais profundidades. Como se pode observar na Figura 3, os teores de fósforo na fração substâncias húmicas nas camadas 0,05-0,10m e 0,10-0,20m tiveram comportamento inverso ao observado na camada superficial, sugerindo que esta forma de fósforo tende a estar mais concentrada nas camadas superficiais, quando do uso de apenas fertilização mineral ou doses maiores de bio-sólido (5 e 10 t ha<sup>-1</sup>).

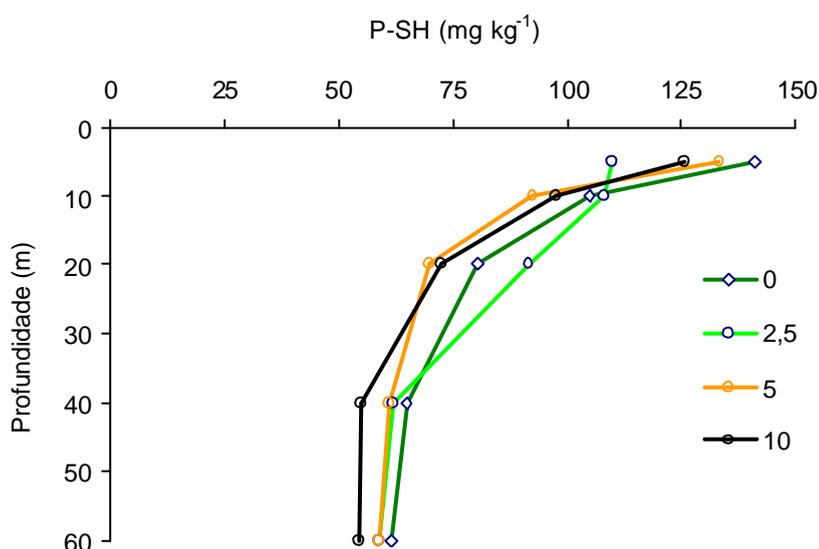


Figura 3. Teores de P-SH (mg kg<sup>-1</sup>) em um latossolo vermelho distroférrico tratado com bio-sólido e cultivado com milho no ano agrícola 1999/2000.

Analisando-se os dados por regressão polinomial, verificou-se que, embora as curvas estejam se ajustando aos pontos em uma relação polinomial de terceiro grau, esta relação é não significativa, o que pode indicar que este comportamento do P-SH é afetado por outros fatores, possivelmente associados à aplicação do resíduo, além da variação da dose.

Segundo NOVAIS & SMITH (1999) o fósforo ligado às substâncias húmicas (P-SH) pode ser considerado como uma forma de fósforo moderadamente lábil, o que permite, ao menos em parte, tornar-se disponível para absorção pelas plantas. Embora os maiores valores de P total tenham sido observados nas camadas mais profundas, uma fração passível de ser utilizada mais rapidamente pelas plantas (P-SH) concentra-se nas camadas superficiais, o que favoreceria a acumulação do fósforo nas células corticais das raízes das plantas, de onde é transferido, via simplasto, até o xilema.

Tabela 7. Coeficientes de correlação para fósforo na fração substâncias húmicas ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) nas profundidades estudadas.

	P Total	P-SH	P-AF	P-AH	P-HN
P Total	-	0,1165 <sup>NS</sup>	0,1063 <sup>NS</sup>	0,0341 <sup>NS</sup>	0,9236 <sup>**</sup>
P-SH	-	-	0,9730 <sup>**</sup>	0,0280 <sup>NS</sup>	-0,2730 <sup>**</sup>
P-AF	-	-	-	-0,2033 <sup>*</sup>	-0,2726 <sup>**</sup>
P-AH	-	-	-	-	0,0223 <sup>NS</sup>
P-HN	-	-	-	-	-

\*\* =  $P < 0,01$

Os teores de fósforo detectados na fração ácido fúlvico (P-AF) são apresentados na Tabela 8. Os maiores valores foram observados nas camadas 0-0,05m e 0,05-0,10m, decrescendo com aumento da profundidade.

Considerando-se os valores médios de cada profundidade, verifica-se que o teor de P-AF obtido na camada 0-0,05m foi superior aos encontrados nas demais camadas. O mesmo comportamento é observado, quando se comparam os valores da camada 0,05-0,10m com as camadas 0,10-0,20m, 0,20-0,40m e 0,40-0,60m e com a camada 0,10-0,20m, quando comparada às camadas 0,20-0,40m e 0,40-0,60m.

É possível que parte significativa do fósforo presente na fração substâncias húmicas (P-SH) esteja na forma de compostos ligados a ácidos fúlvicos (P-AF), uma vez que P-SH E P-AF se correlacionam de forma positiva e significativa, como mostra a Figura 4 e Tabela 7.

Tabela 8. Teores de P na fração ácido fúlvico ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) em um latossolo vermelho distroférico tratado com biossólido e cultivado com milho no agrícola 1999/2000.

Doses <sup>1</sup> (t ha <sup>-1</sup> )	PROFUNDIDADE (m)					Média
	0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40	0,40-0,60	
0 <sup>2</sup>	120,51	86,61	59,05	39,17	45,04	70,08 A
2,5	92,57	89,64	66,46	36,78	38,49	66,59 A
5,0	116,11	81,50	48,97	38,85	40,66	65,22 A
10	106,71	85,75	52,41	34,11	37,95	63,39 A
MÉDIA	108,98 a	85,87 b	56,72 c	40,54 d	39,48 d	

F TRAT = 0,42 (P > 0,05); F PROF = 74,64 (P < 0,01); F TxP = 1,10 (P > 0,05)

1- doses de biossólido em base seca; 2 fertilização mineral; Letras minúsculas comparam médias dispostas na horizontal; letras maiúsculas comparam médias dispostas na vertical. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey. F = valores do Teste F para tratamentos (TRAT), profundidades (PROF) e interação entre tratamentos e profundidades (TxP).

Segundo discussões apresentadas na literatura (NOVAIS & SMITH, 1999) o P-AF representaria uma fração moderadamente resistente das substâncias húmicas à passagem para formas mais lábeis, embora parte deste fósforo seja potencial supridor de necessidades da planta quanto ao elemento.

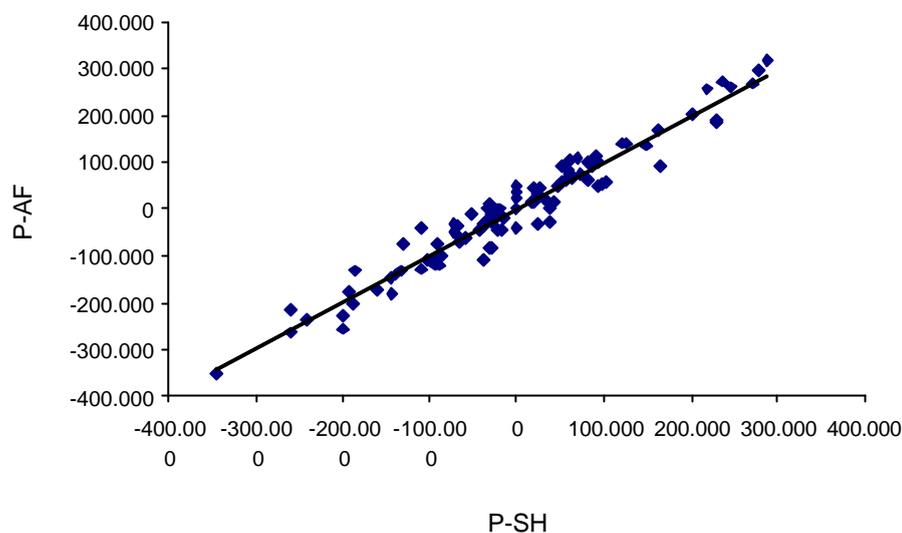


Figura 4. Análise de correlação entre P-SH e P-AF em um latossolo vermelho distroférico tratado com biossólido e cultivado com milho no ano agrícola 1999/00.

Os dados obtidos para fósforo na fração ácido húmico (P-AH) são apresentados na Figura 5. Em relação às médias gerais obtidas para os tratamentos (Teste F = 11,73;  $P < 0,01$ ), verifica-se que os maiores valores foram encontrados nos tratamentos com a adição de fertilizante mineral (T) e biossólido na dose de  $2,5 \text{ t ha}^{-1}$  (base seca) (L1).

Considerando-se a distribuição desta forma de P no perfil do solo em cada tratamento (Teste F = 17,45;  $P < 0,01$ ), verifica-se que os maiores valores ocorrem nas camadas 0,10-0,20m e 0,20-0,40m. O teor de P-AH, detectado na camada superficial do solo (0-0,05m) é maior do que o encontrado na camada imediatamente inferior (0,05-0,10m).

As comparações entre tratamentos e profundidades demonstram que tanto os tratamentos quanto as profundidades influenciam os teores de P-AH. Os teores de P-AH se correlacionam de forma significativa e negativa com P-AF (Tabela 7). A seqüência de degradação da matéria orgânica do solo se processa da fração AF para a fração HN. Desta forma, a correlação supra descrita parece indicar que a redução dos valores de P-AF se reflete na elevação dos teores de P-AH, confirmando a teoria

discutida na literatura por outros autores (PIZAURO JR.& MELO, 1995; SOUZA & MELO, 2000)

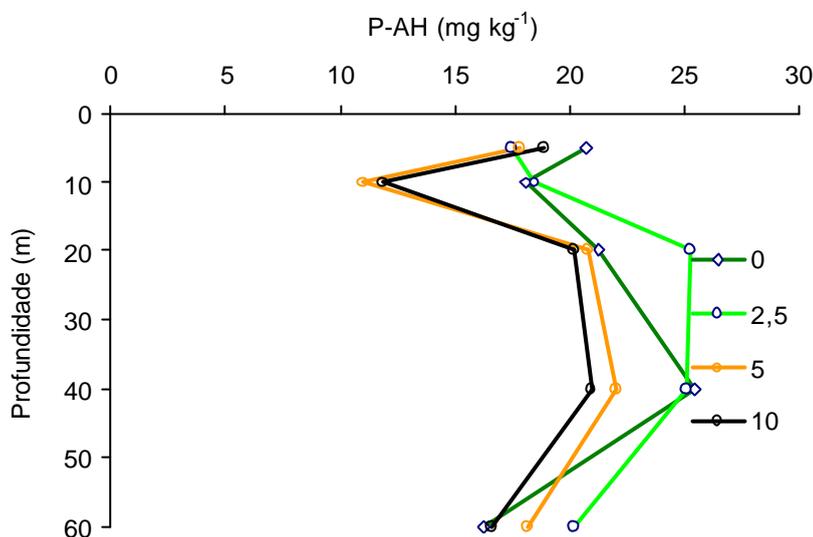


Figura 5. Teores de P na fração ácido húmico ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) em um latossolo vermelho distroférico tratado com biossólido e cultivado com milho no ano agrícola 1999/00. Doses de biossólido em base seca.

Estudos indicam que o P-AH é a forma de fósforo nas frações da matéria orgânica mais estável (não lábil), uma vez que é altamente resistente à passagem para formas lábeis e, conseqüentemente, à disponibilidade para as plantas. Esta informação, associada à baixa correlação entre P-AH E P-SH parece contribuir para o entendimento e, em parte, confirma a importância do P-AF como forma predominante nas camadas superficiais, além de ressaltar a possibilidade de se uma importante fonte de P para as plantas.

Os valores de fósforo na fração humina (P-HN) são apresentados na Tabela 9 e Figura 6. De maneira geral, os valores de P-HN foram maiores quando da aplicação de  $5 \text{ t ha}^{-1}$  de biossólido, seguidos pelo tratamento que recebeu fertilização mineral. Todos os tratamentos comportam-se de forma semelhante, quanto à distribuição de P-HN no

perfil do solo. Os menores valores são encontrados na camada 0,20-0,40m, com brusca elevação na camada 0,40-0,60m.

Tabela 9. Teores de P na fração humina ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) em um latossolo vermelho distroférico tratado com biossólido e cultivado com milho no ano agrícola 1999/00.

DOSES <sup>1</sup> ( $\text{t ha}^{-1}$ )	PROFUNDIDADE (m)					Média	Teste F
	0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40	0,40-0,60		
0 <sup>2</sup>	294,79 b B	319,36 b B	251,67 b B	55,39 c B	1174,65 a A	419,17 B	593,38**
2,5	279,94 b B	291,93 b B	286,29 b B	242,10 b A	697,36 a B	359,52 C	113,09**
5,0	790,81 b A	401,47 c A	360,24 c A	249,10 d A	1231,18 a A	606,56 A	513,41**
10	122,40 c C	258,42 b B	107,44 c C	72,97 c B	605,42 a C	233,33 D	151,33**
MEDIA	371,99 b	317,80 c	251,41 d	154,89 c	927,15 a		
Teste F	258,12**	11,47**	34,59**	33,88**	317,35**		

1- doses de biossólido em base seca; 2 fertilização mineral; Letras minúsculas comparam médias dispostas na horizontal; letras maiúsculas comparam médias dispostas na vertical. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey. \*\* =  $P < 0,01$ .

No tratamento T (fertilização mineral), os valores de P-HN nas três primeiras camadas foram maiores do que o observado na camada 0,20-0,40m e significativamente menores que o obtido na camada mais profunda (0,40-0,60m). Entretanto, a maior diferença entre valores foi observada quando se comparou o teor desta forma de fósforo na camada 0,20-0,40m com aquele obtido na camada 0,40-0,60m. O teor de P-HN na camada mais profunda foi aproximadamente 21 vezes maior do que o observado na camada imediatamente superior (0,20-0,40m). Comportamento semelhante entre estas duas camadas foi observado no tratamento que recebeu  $5 \text{ t ha}^{-1}$  de biossólido, embora esta a diferença seja de menor intensidade (aproximadamente 5 vezes mais P-HN na camada mais profunda).

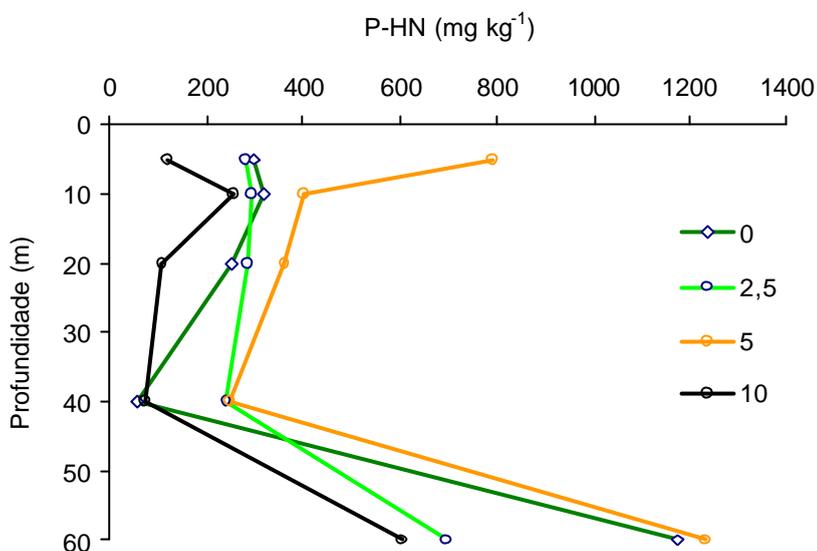


Figura 6. Teores de P na fração humina ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) em um latossolo vermelho distroférico tratado com biofóssido e cultivado com milho no ano agrícola 1999/00.

A adição de  $2,5 \text{ t ha}^{-1}$  de biofóssido (base seca) ao solo não causou alterações significativas quanto à distribuição do P-HN no perfil do solo. Os teores de fósforo na fração humina foram semelhantes na maioria das camadas estudadas, sendo esses valores, superiores aos obtidos na camada mais profunda (0,40-0,60m).

O uso de  $5 \text{ t ha}^{-1}$  de biofóssido (base seca) para cultivo da cultura do milho (L2) resultou em valores significativamente maiores em todas as profundidades. Entretanto, verificou-se que as maiores concentrações ocorreram nas camadas superficial (0-0,05m) e mais profunda (0,40-0,60m), sendo a última, significativamente maior que todos os valores encontrados nas demais profundidades estudadas. Comparando-se os dados da profundidade 0-0,05m com os observados nas demais camadas, verificou-se que nas camadas 0,05-0,10m, 0,10-0,20m e 0,20-40m os valores foram significativamente menores, o mesmo acontecendo quando se comparou o valor obtido na camada 0,05-0,10m com aqueles observados em 0,20-40m e 0,40-0,60m.

Outra dose de aplicação estudada, a de  $10 \text{ t ha}^{-1}$  de bio sólido, resultou em valor significativamente menor na camada 0-0,05m, quando comparado aos observados nas profundidades 0,05-0,10m e 0,40-0,60m. Houve um decréscimo significativo de P-HN da camada 0,05-0,10m para as camadas 0,10-0,20m e 0,20-0,40m, com brusca elevação na profundidade 0,40-0,60m, a qual mostrou-se com valor significativamente maior que os observados em todas as outras profundidades estudadas.

Tomando-se os valores obtidos nas profundidades de amostragem e comparando-os entre os tratamentos adotados, verificou-se que os tratamentos T (que recebeu apenas fertilização mineral) e L1 mostraram comportamentos semelhantes, apresentando valores significativamente menores que aqueles encontrados com a adição de  $5 \text{ t ha}^{-1}$  de resíduo e estatisticamente maiores que os obtidos com o dobro desta dose (L3). Este comportamento indica que a adição de  $10 \text{ t ha}^{-1}$  de bio sólido (base seca) a este solo parece desfavorecer a formação de compostos fosfatados na fração húmica do solo, o que poderia ser um fato positivo, caso formas mais lábeis estejam sendo favorecidas.

A comparação de dados dos tratamentos na camada 0,05-0,10m revelou que o valor encontrado no tratamento L2 foi significativamente maior que os obtidos nos demais tratamentos, indicando que a adição de  $5,0 \text{ t ha}^{-1}$  de resíduo parece favorecer a formação desta forma de fósforo nesta camada.

Os dados obtidos na profundidade 0,20-0,40m são os menores entre todas as profundidades estudadas. A adoção de apenas fertilização mineral (T) e a aplicação de  $10 \text{ t ha}^{-1}$  de bio sólido constituem-se nos tratamentos que menos favoreceram a formação de compostos fosfatados muito estáveis, ligados à fração húmica do solo. Esses valores diferiram dos observados, quando se aplicaram  $2,5$  e  $5,0 \text{ t ha}^{-1}$  de resíduo.

Contrariamente, os valores obtidos na camada mais profunda (0,40-0,60m) superaram os encontrados nas demais camadas. O tratamento T, juntamente com o tratamento L2, proporcionaram valores superiores aos observados nos tratamentos L1 e L3, sendo este último o menor valor entre todos os encontrados nesta profundidade.

Com base nesses resultados, pode-se inferir que parte significativa do P orgânico do solo encontra-se na fração humina, uma vez que a redução dos teores de P-HN parecem estar relacionados com a elevação dos valores de P-SH e P-AF (Tabela 10). Estas relações, mostradas nas Figuras 7 e 8 ilustram este fato, ainda que os pontos estejam dispersos.

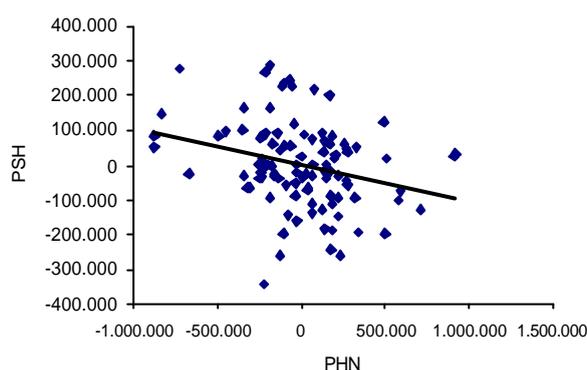


Figura 7. Análise de correlação entre P-HN e P-SH em um latossolo vermelho distroférico tratado com bio sólido e cultivado com milho no ano agrícola 1999/00.

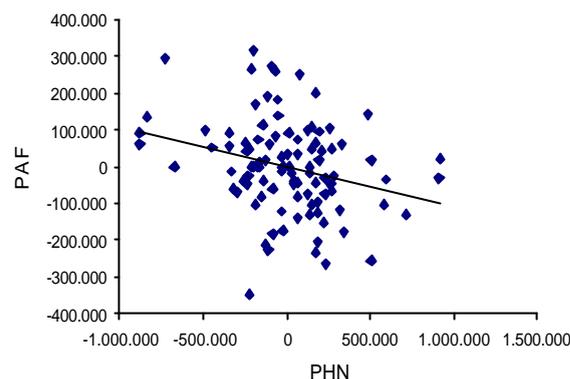


Figura 8. Análise de correlação entre P-HN e P-AF em um latossolo vermelho distroférico tratado com bio sólido e cultivado com milho no ano agrícola 1999/00.

Por outro lado, pode-se afirmar que o P total e o fósforo ligado à fração humina (P-HN) estão intimamente ligados, uma vez que o comportamento destas duas formas é muito parecido. A Figura 9, que mostra a correlação positiva e altamente significativa entre P-HN e P Total (Tabela 7) confirmam a discussão acima, o que pode significar que a fração humina do solo se constitui em reserva de fósforo não lábil, mas que em períodos longos, pode se constituir em fonte de P nas reações de mineralização do elemento.

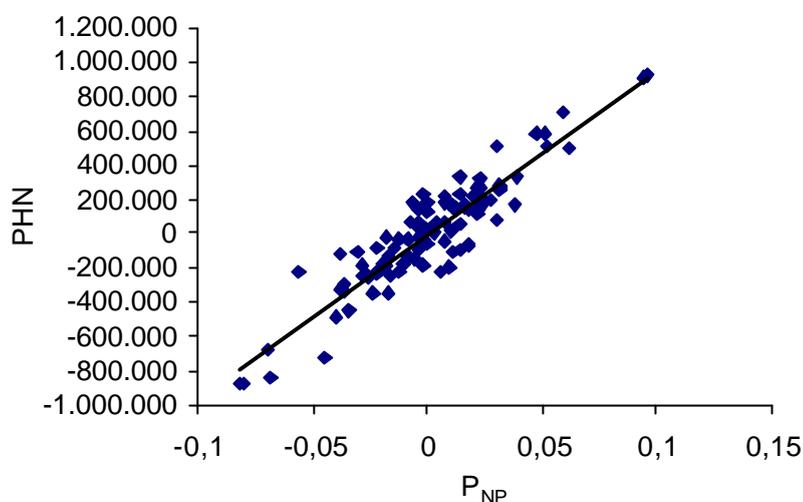


Figura 9. Análise de correlação entre P-HN e P<sub>NP</sub> em um latossolo vermelho distroférico tratado com bio sólido e cultivado com milho no ano agrícola 1999/00.

A análise dos dados por regressão polinomial, apresentada na Tabela 10 e ilustrada na Figura 10, também confirma a alta correlação existente entre P total e P-HN, uma vez que os comportamentos das curvas de regressão são semelhantes.

As doses de bio sólido aplicadas que maximizariam os teores de P-HN, calculadas em função das equações de regressão (Tabela 10), seriam de 6,07 t ha<sup>-1</sup> (0,10-0,20m) a 7,03 t ha<sup>-1</sup> (0,40-0,60m), que são muito próximas daquelas calculadas para P<sub>NP</sub> no solo. Na camada 0,20-0,40, onde a equação quadrática é a que melhor se adequou aos dados (Figura 10), a dose de resíduo que maximizaria P-HN coincide com aquela calculada para P total, ou seja, 5 t ha<sup>-1</sup> de bio sólido, em base seca. Isso poderia ser esperado, uma vez que a maior parte do fósforo do solo se encontra ligado à fração substâncias húmicas.

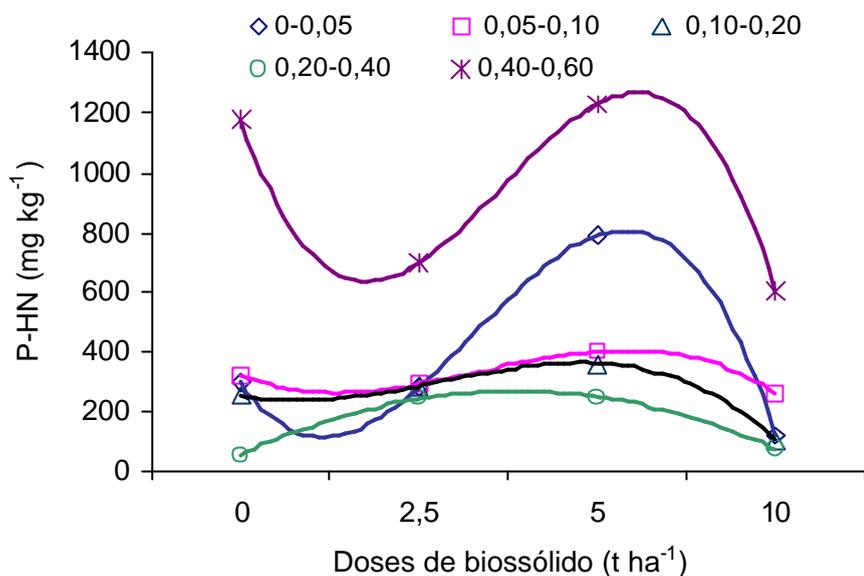


Figura 10. Análise por regressão polinomial entre doses de biossólido e teores de P na fração humina em um latossolo vermelho distroférico cultivado com milho.

Tabela 10. Equações das análises de regressão polinomial e coeficientes de correlação para fósforo na fração humina nas profundidades estudadas.

Profundidade (m)	Equação	R <sup>2</sup>
0-0,05	$Y = -7,3539 X^3 + 87,0204 X^2 - 152,0500 X + 294,7940$	1,0**
0,05-0,10	$Y = -2,0615 X^3 + 26,4192 X^2 - 64,1364 X + 319,3640$	1,0**
0,10-0,20	$Y = -1,3833 X^3 + 13,5219 X^2 - 11,3127 X + 251,6700$	1,0**
0,20-0,40	$Y = -8,0312 X^2 + 80,8011 X + 64,9128$	0,9665**
0,40-0,60	$Y = -12,6046 X^3 + 175,4226 X^2 - 550,6933 X + 1174,6460$	1,0**

\*\* = P < 0,01

O conteúdo de fósforo absorvido pelas plantas de milho no ano agrícola 1999/2000 encontra-se apresentado na Tabela 11 e os teores de fósforo na parte aérea das plantas ( $g\ kg^{-1}$ ) encontram-se apresentados na Figura 14. Como se pode observar, não houve diferença significativa entre os tratamentos com relação ao conteúdo de P

absorvido pelas plantas. Entretanto, houve tendência de maior concentração nos tratamentos que receberam as maiores doses de biofósforo (5 e 10 t ha<sup>-1</sup>).

Tabela 11. Fósforo absorvido (g) pelas plantas de milho, cultivadas em latossolo vermelho distroférico tratado com biofósforo, no ano agrícola 1999/2000.

Doses <sup>1</sup> (t ha <sup>-1</sup> )	P (g)
0 <sup>2</sup>	1,53 A
2,5	1,39 A
5,0	1,72 A
10	1,72 A
F = 0,31 NS	Cv = 40,76 %

1- doses de biofósforo em base seca; 2 fertilização mineral; Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey. NS = P > 0,01.

Embora a concentração de fósforo encontrada na planta tenha sido não significativa entre os tratamentos, observações feitas no campo indicaram que a cultura do milho possuía diferenças nutricionais, como mostram as Figuras 11, 12 e 13.



Figura 11. Parcela com aplicação de 2,5 t ha<sup>-1</sup> de biofósforo.



Figura 12. Parcela com aplicação de 5 t ha<sup>-1</sup> de biofósforo.



Figura 13. Parcela com aplicação de 10 t ha<sup>-1</sup> de biossólido.

É possível que o comportamento do fósforo na planta, cujos teores (g kg<sup>-1</sup>) encontram-se ilustrados na Figura 14, seja explicado, em parte, por alguma relação com formas de fósforo disponível no solo, mais facilmente absorvida que aquelas ligadas aos ácidos fúlvicos.

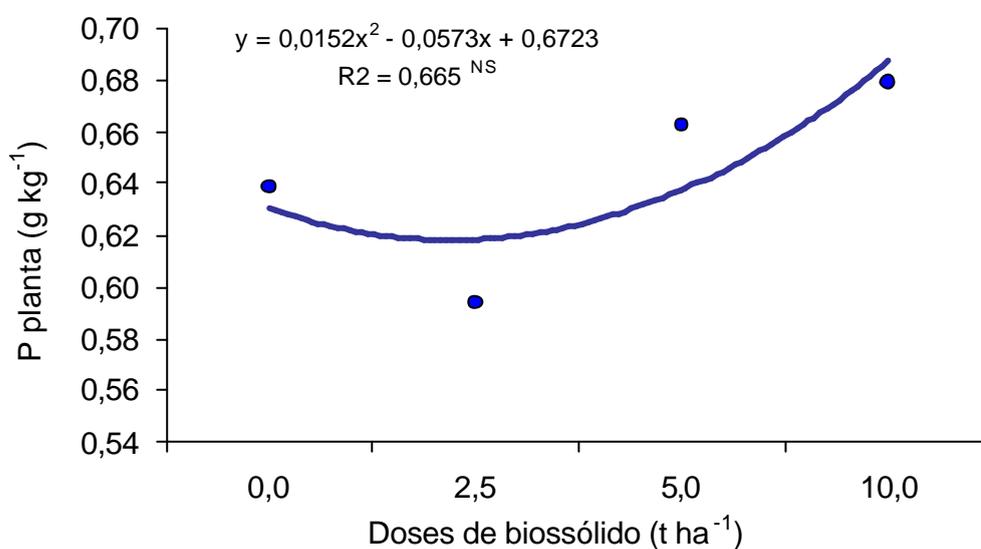


Figura 14. Teores de P total (g kg<sup>-1</sup>) na parte aérea de plantas de milho cultivadas em um latossolo vermelho distroférico tratado com biossólido no ano agrícola 1999/00.

De acordo com os dados, não se verificaram correlações significativas entre a concentrações de P na planta (fósforo absorvido, em gramas), P-SH ( $R^2 = 0,1199^{NS}$ ) e P-AF ( $R^2 = 0,1261^{NS}$ ).

A queda nos teores de P na planta quando se observa o tratamento L1, parece estar relacionada com os teores de fósforo inorgânico do solo, cujos dados são apresentados no Capítulo III. Além do fósforo, outros nutrientes como o nitrogênio podem estar afetando o desenvolvimento das plantas, uma vez que a diferença de desenvolvimento pode ser notada no campo.

#### 4. Conclusões

Para os dados obtidos e nas condições em que o experimento foi conduzido, pode-se concluir que:

Entre as doses utilizadas,  $5 \text{ t ha}^{-1}$  de biossólido (base seca) é a melhor dose a ser aplicada com relação ao fósforo no extrato nítrico-perclórico e proporciona maiores valores de P moderadamente lábil (P-SH) e moderadamente resistente (P-AF), nas camadas superficiais do LVE.

A dose que proporciona valores máximos de  $P_{NP}$  e P-HN é  $7 \text{ t ha}^{-1}$ .

As formas não lábeis (P-AH) se concentram nas camadas mais profundas, inclusive quando da aplicação de fertilizante mineral.

O fósforo nas frações substâncias húmicas possui correlação positiva com o fósforo na fração ácido fúlvico. Os teores de fósforo no extrato nítrico-perclórico, por sua vez, estabelecem correlação semelhante com o fósforo da fração húmica.

## 5. Referências Bibliográficas

- AYUSO, M. et al. A comparative study of the effect on barley growth of humic substances extracted from municipal wastes and from traditional organic materials. **J. Sci. Food Agric.**, v.72, n.4, p.493-500, 1996.
- CARVALHO, P. C. T., BARRAL, M. F. Aplicação do lodo de esgoto como fertilizante. **Fertilizantes**, São Paulo. V.3, n.2, p.1-4, 1981.
- DEIANA, S. et al. Analytical and spectroscopic characterization of humic acid extractes from sewage sludge, manure and worm compost. **Soil Sci.**, v.150, n.1, p.419-424, 1990.
- DICK, D. P. Caracterização de produtos de decomposição de lodos orgânicos em diferentes tempos e meios de digestão. **R. Bras. Ci. Solo**, v.21, n.1, p.1-8, 1997.
- DUARTE, A. P. **Calagem e sistemas de rotação de culturas: efeitos nas características e propriedades da matéria orgânica do solo**. Jaboticabal, 1994. 165p. Dissertação (Mestrado em agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista.
- EMBRAPA, Centro Nacional de de Pesquisa de Solos **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: EMBRAPA Produção de Informação; Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 1999, 412p.
- FARDEAU, J. C. Le phosphore assimilable des sols: as représentation par un modèle fonctionnel à plusieurs compartments. **Agronomie**, v.13, p.317-331, 1993.
- FROSSARD, E., SINAJ, S. DUFOUR, P. Phosphorus in urban sewage sludges as assessed by isotopic exchange. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.60, n.1, p.179-182, 1996.
- KIRKHAM, M. B. Agricultural use of phosphorus in sewage sludge. **Adv. Agron.**, v.35, p.129-164, 1982.
- LEE, Y. S., BARTLET, R. J. Simulation of plant growth by humic substances. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.40, p.876-879, 1976.
- MALAVOLTA, E., VITTI, G.C., OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.

- MARQUES, M. O. **Incorporação de lodo de esgoto em solo cultivado com cana-de-açúcar**. Jaboticabal, 1996. 111p. Tese (Livre docência) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista.
- MELLO, F. A. F. O. **O fósforo no solo e a adubação fosfatada**. Piracicaba: ESALQ. 1980. 39p.
- NOVAIS, R. F.; SMITH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa, MG, DPS, 1999. 399p.
- OLSEN, S. R., SOMMERS, L. E. Phosphorus. In: PAGE, A. L. et al. (Ed.) **Methods of soil analysis. Part 2: chemical and microbiological properties**. 2. ed. Madison: Soil Science Society of America, 1982. Chap. 24, p.403-430. (SSSA Book series, 9).
- PIZAURO Jr., J.M., MELO, W.J. Influência da incorporação da parte aérea de sorgo ou lablabe nas frações da matéria orgânica de um latossolo vermelho escuro. **R. Bras. Ci. Solo**, v.19, p.95-103, 1995.
- RAIJ, B. van et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas, Instituto Agrônômico, 1997. p.56-61 (Boletim Técnico, 100).
- SOUZA, W. J. O., Melo, W.J. Teores de nitrogênio no solo e nas frações da matéria orgânica sob diferentes sistemas de produção de milho. **R. Bras. Ci. Solo**, v.24, p.885-896, 2000.
- SPOSITO, G. **The surface chemistry of soils**. New York, Oxford. University Press, 1984. 234p.
- STEVENSON, F. J. **Humus chemistry, genesis, composition, reactions**. 2. Ed. New York, John Willey, 1994. 443p.
- TSUTYA, M. T. Alternativas de disposição final de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgoto. In: BETTIOL, W., CAMARGO, O. A. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Campinas: Embrapa, 69-105, 1999.

## **CAPÍTULO III**

### **ATIVIDADE DE FOSFATASE ÁCIDA E DISPONIBILIDADE DE P PARA PLANTAS DE MILHO CULTIVADAS EM SOLO TRATADO COM BIOSSÓLIDO**

### CAPÍTULO III

#### ATIVIDADE DE FOSFATASE ÁCIDA E DISPONIBILIDADE DE P PARA PLANTAS DE MILHO CULTIVADAS EM SOLO TRATADO COM BIOSSÓLIDO

##### RESUMO

A área experimental foi instalada na Fazenda de Ensino e Pesquisa da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Campus de Jaboticabal, SP, localizada a uma altitude de 610m e com as seguintes coordenadas geográficas: 21°15'22" S e 48°15'18" W. O clima é do tipo Cwa, segundo a classificação de Köppen, isto é, subtropical, temperado, seco no inverno, com temperatura média máxima superior a 22°C. O experimento foi instalado utilizando-se a cultura do milho, nos anos agrícolas 1997/1998, 1998/1999 e 1999/2000, utilizando-se um solo latossolo vermelho distroférico, em delineamento de blocos ao acaso (DBC), com quatro tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos utilizados foram: sem qualquer tipo de fertilização (no ano agrícola 1997/98) e apenas com fertilização mineral (nos anos subseqüentes) (**T**); aplicação de 2,5 t ha<sup>-1</sup> de biossólido (base seca) e complementação mineral de P e K, quando necessário (**L1**); aplicação de 5,0 t ha<sup>-1</sup> de biossólido (base seca) e complementação mineral de P e K, quando necessário (**L2**); aplicação de 10 t ha<sup>-1</sup> de biossólido (base seca) e complementação mineral de P e K, quando necessário (**L3**). Avaliou-se a distribuição do P inorgânico, P orgânico, P Total<sub>(i+o)</sub>, P extraível no perfil até a profundidade de 0,60m, bem como suas inter-relações. Os teores de fósforo extraível e fósforo mineral concentraram-se nas camadas superiores (até 0,10m), independente do tratamento utilizado; houve correlações positivas e significativas entre o valor de P total<sub>(i+o)</sub> e P inorgânico, e entre P total<sub>(i+o)</sub> e P extraível, nas camadas superficiais (0-0,05m e 0,05-0,10m); a atividade de fosfatase não foi influenciada pela aplicação de biossólido.

**Palavras-chave:** Fósforo orgânico, fósforo extraível, milho, biossólido

## 1. Introdução

A utilização de dejetos de suínos e esterco de bovinos em áreas agrícolas é uma prática há muito consolidada, principalmente em regiões produtoras de hortaliças.

Mais recente que o uso destes resíduos, a utilização do lodo de esgoto na agricultura, tem sido amplamente discutida devido ao grande problema que causa nos grandes centros urbanos (ALGUZ, 1993) e ao potencial que possui como fonte de baixo custo de nutrientes para as plantas. Obtido através do tratamento de águas servidas, de origem doméstica ou industrial, o lodo possui altos teores de matéria orgânica e elementos minerais, os quais são passíveis de serem reciclados e disponibilizados para as plantas.

A viabilidade do seu uso no meio agrícola depende de inúmeros fatores como composição química, tipo de cultura, tipo de solo e dose a ser aplicada (TEDESCO & STAMMEL, 1986; SILVA et al., 1998). Embora possua características importantes para as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (segundo BETTIOL & CARVALHO, 1982b, contém, em média, 39,87% de sólidos totais, 31,74% de matéria orgânica, 1,26% de N, 2,60% de  $P_2O_5$ , 0,30% de  $K_2O$ , 6000  $mg.kg^{-1}$  de Mg, 4151  $mg.kg^{-1}$  de Zn, 1039  $mg.kg^{-1}$  de Cu, 54400  $mg.kg^{-1}$  de Fe, 400  $mg.kg^{-1}$  de Mn, 30  $mg.kg^{-1}$  de Co), o lodo de esgoto também possui metais pesados (segundo BETTIOL & CARVALHO, 1982b, contém, em média, 11  $mg.kg^{-1}$  de Cd, 730  $mg.kg^{-1}$  de Pb, 562  $mg.kg^{-1}$  de Ni e 884  $mg.kg^{-1}$  de Cr), que podem, tanto complementar a nutrição da planta, aumentando a produção de matéria seca, como serem fitotóxicos ou acumularem-se nos tecidos dos frutos, limitando sua utilização em culturas diretamente consumidas pela população (BONMATI et al., 1985; ROS et al., 1993) ou ainda, causar efeitos depressivos sobre a produção de matéria seca e rendimento das culturas (ANDRÉ, 1994).

Grande parte do P no biossólido é extraível e se encontra em formas inorgânicas. KIRKHAM (1982) citou vários autores que conduziram estudos neste sentido: Rehling & Truog (1939) observaram que 79% do fósforo total em um biossólido ativado era solúvel em citrato de amônio; Rudolfs & Gehm (1942) analisaram vários

tipos de bio sólidos e mostraram que de 73 a 90% do fósforo se encontrava na forma extraível; Vlamis & Williams (1972) determinaram que metade do fósforo total no bio sólido era solúvel em ácido acético a 2%; Sommers et al. (1973) realizaram estudo detalhado das características do fósforo em bio sólido digerido, obtendo que o conteúdo de fósforo total alcançou de 1,2 a 4,5% e foi composto primariamente de fósforo inorgânico insolúvel; o fósforo orgânico constituiu uma proporção relativamente pequena do P total, indicando uma intensa mineralização da matéria orgânica, durante a digestão; a relação C/P atingiu de 21 a 92, similar às relações encontradas em resíduos de plantas facilmente decomponíveis e concluíram que o fósforo não é fator limitante na decomposição do bio sólido após sua incorporação ao solo.

Mais recentemente, FARDEAU (1993) propôs a divisão do fósforo inorgânico do solo em quatro grupos com auxílio da técnica de troca isotópica. O mais importante seria o grupo central, contendo fósforo livre, ou seja, aquele presente na solução do solo, e o P na fase sólida, mas que teria a mesma mobilidade como o P da solução. O fósforo deste grupo pode ser trocado com qualquer P presente nos outros grupos, os quais são localizados na fase sólida do solo. Tais grupos seriam o fósforo trocável entre tempos de um minuto e um dia, o P trocável entre um dia e 12 semanas e o fósforo que necessita de mais de 12 semanas para ser trocado com o P da solução, cujos tempos de troca ocorrem em função dos processos e reações do solo.

A atividade biológica do solo é fator indispensável de ser avaliado quando se trata do uso de resíduos como fonte de nutrientes para as plantas, especialmente com relação ao bio sólido. A adição de resíduos ao solo produz efeitos positivos, mas a atividade microbiana pode sofrer impactos significativos.

Uma das formas de medir a intensidade destes impactos é se estudar a atividade de algumas enzimas ligadas aos ciclos do carbono, nitrogênio e fósforo. No caso deste último, a atividade das fosfatases podem indicar algum efeito da aplicação de bio sólidos no como demonstrado por alguns autores. FRANKENBERGER et al. (1983) e BONMATI et al. (1985) relataram que a presença de metais pesados em bio sólido foi responsável por efeitos inibitórios na atividade de urease e fosfatase no solo. No entanto, concluíram que o bio sólido foi um fornecedor potencial de C-orgânico, N-total

e P extraível com EDTA, disponibilizados predominantemente por meio de reações químicas.

MARTENS et al. (1992) adicionaram 25 t ha<sup>-1</sup> (base seca) de esterco de aves, biossólido, palha de cevada e alfafa verde durante quatro anos a um solo areno-argiloso do Canadá. Observaram que o biossólido foi consistentemente, dentre os materiais aplicados, o que menos estimulou a atividade enzimática do solo, o que atribuíram à presença de metais pesados no resíduo.

FORTUN et al. (1997) aplicaram resíduos sólidos urbanos a três solos semi-áridos (Vertisol, Calcisol e Luvisol) e observaram que a atividade de fosfatase aumentou no Vertisol, decresceu no Luvisol e não se alterou no Calcisol. A menor concentração de ATP foi observada no Vertisol, enquanto no outros dois solos houve incremento na concentração de ATP. Os efeitos observados foram atribuídos a uma relação com a composição química e física dos solos, com a quantidade de C adicionado e sua interação com as frações minerais.

Com o intuito de se estudar o comportamento das frações de P nas camadas do solo e relações com a produção de milho cultivado em solo tratado com fertilização mineral e doses crescentes de biossólido, realizou-se o presente trabalho.

## **2. Material e Métodos**

A área experimental foi instalada na Fazenda de Ensino e Pesquisa da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Campus de Jaboticabal, SP, localizada a uma altitude de 610m e com as seguintes coordenadas geográficas: 21°15'22" S e 48°15'18" W. O clima é do tipo Cwa, segundo a classificação de Köppen, isto é, subtropical, temperado, seco no inverno, com temperatura média máxima superior a 22°C. O experimento foi instalado utilizando-se a cultura do milho, nos anos agrícolas 1997/1998, 1998/1999 e 1999/2000, utilizando-se um solo latossolo vermelho distroférrico (EMBRAPA, 1999), em delineamento de blocos ao acaso (DBC), parcelas subdivididas, com quatro tratamentos (parcelas), cinco profundidades (sub-parcelas) e

cinco repetições. Os tratamentos utilizados foram: sem qualquer tipo de fertilização (no ano agrícola 1997/98) e apenas com fertilização mineral (nos anos subsequentes) (**T**) seguindo recomendações de adubação para o Estado de São Paulo (RAIJ et al, 1997); aplicação de 2,5 t ha<sup>-1</sup> de biossólido (base seca) e complementação mineral de P e K, quando necessário (**L1**); aplicação de 5,0 t ha<sup>-1</sup> de biossólido (base seca) e complementação mineral de P e K, quando necessário (**L2**); aplicação de 10 t ha<sup>-1</sup> de biossólido (base seca) e complementação mineral de P e K, quando necessário (**L3**). As características químicas dos biossólidos utilizados em cada ano agrícola encontram-se apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização química do biossólido<sup>1</sup> incorporado ao latossolo vermelho distroférico no ano agrícola 1998/99 e 1999/2000.

Nutriente	VALORES* (base seca)		
	1997/98	1998/99	1999/00
Nitrogênio total (g kg <sup>-1</sup> )	20,40	37,3	28,70
Fósforo total (g kg <sup>-1</sup> )	10,51	11,3	17,41
Potássio (g kg <sup>-1</sup> )	0,97	1,7	1,28

1- material originário da ETE de Barueri. \*= valores médios calculados a partir de três repetições. Considerou-se 50% de disponibilidade do N do biossólido.

No ano agrícola 1997/98, as áreas experimentais sofreram operações convencionais de cultivo, ou seja, uma aração e duas gradagens visando o preparo do solo para a semeadura. Nos anos agrícolas 1998/99 e 1999/00, substituiu-se parte das operações convencionais de cultivo, adotando-se então, o cultivo mínimo. Com o novo sistema, vinte dias antes da data prevista para instalação, realizou-se a aplicação de herbicida dessecante, visando o controle das plantas daninhas existentes na área. A primeira aplicação de herbicida foi realizada em 23/10/1999 utilizando-se 7 L ha<sup>-1</sup> de glyphosate (p.c.) e volume calda de 300 L ha<sup>-1</sup>. Devido ao fato de o biossólido não ter chegado na data prevista, foi necessário repetir a aplicação do herbicida dessecante em 14/12/1999, com 350 L ha<sup>-1</sup> de volume de calda. Sete dias após a segunda aplicação de

herbicida (21/12/1999), realizou-se rebaixamento da massa vegetal utilizando-se picador de palha (Triton) visando-se facilitar o preparo mínimo do solo. O preparo do solo constituiu-se na realização de uma gradagem leve, onde somente a camada superficial do solo (até 10 a 15cm) é movimentada, visando alterar o mínimo possível suas condições físicas.

Após a gradagem, realizou-se a distribuição do biossólido nas parcelas previamente definidas de forma que pudesse ficar disposto o mais uniformemente possível, sendo em seguida, incorporado com nova operação de gradagem leve. No mesmo dia, realizou-se a sulcagem, distribuição do fertilizante mineral nas parcelas destinadas ao tratamento T e, nas demais parcelas, quando recomendada suplementação mineral com P e K.

Antes da instalação do experimento, no ano agrícola 1997/98, realizou-se uma amostragem de solo na área total com a finalidade de se verificar o seu estado inicial de fertilidade. Nos anos subseqüentes uma amostra composta foi coletada nas parcelas destinadas ao tratamento com fertilização mineral (T) para realização dos cálculos de adubação. Retiraram-se quatro amostras simples por parcela com auxílio de um enxadão, na profundidade de 0-0,20m. As quatro amostras simples foram juntadas em um recipiente limpo onde foram destorroadas e homogeneizadas, formando uma amostra composta que posteriormente foi transferida para saco de polietileno e identificada. A amostra foi encaminhada para o laboratório, colocada em bandeja de polietileno e deixada secar ao ar e à sombra por três dias. Depois de seco, o material foi destorroadado em moinho próprio e feito passar por peneira com 2mm de abertura de malha, obtendo-se TFSA, que foi armazenada em sacos de polietileno até que fossem realizadas as análises químicas previstas. Os resultados obtidos, apresentados na Tabela 2, serviram como base para realização dos cálculos de adubação de semeadura e de cobertura (Tabela 3).

Os cálculos para adubação da cultura seguiram as recomendações de RAIJ et al (1997), considerando a disponibilidade de nutrientes no solo e a produtividade esperada. As doses de biossólido aplicadas basearam-se na disponibilidade de 50% do N total do resíduo no ano de aplicação (segundo critério da CETESB, P. 4.230, de

outubro de 1998), sendo as quantidades de  $P_2O_5$  e  $K_2O$  complementadas com fertilizante mineral. As adubações minerais utilizadas na semeadura e em cobertura na área experimental encontram-se apresentadas na Tabela 3.

Tabela 2. Níveis de fertilidade do solo latossolo vermelho distroférico antes da instalação do experimento (ano agrícola 1997/98) e no início dos anos agrícolas subsequentes.

ANO	$P_{resina}$	M O	pH	K	Ca	Mg	H+Al	SB	T	V
AGRÍCOLA	$mg\ dm^{-3}$	$g\ dm^{-3}$	$CaCl_2$	$mmol_c\ dm^{-3}$						%
1997/1998	44	20	5,7	2,2	26	11	16	39,0	55,1	71
1998/1999*	47	18	6,1	1,7	35	10	15	46,8	61,8	75
1999/2000*	43	16	5,4	1,6	20	10	19	31,6	50,6	62

\* amostra composta por quatro sub-amostras coletadas em cada uma das cinco parcelas sem aplicação de bio-sólido (testemunha).

A fonte de fertilizante mineral nitrogenado utilizada foi o sulfato de amônio, que contém 18% de N. Para suplementação do fósforo, utilizou-se o Superfostato simples, na formulação de pó, mesma formulação do Cloreto de Potássio, cujo teor de  $K_2O$  é 59%, que foi utilizado para suplementação com potássio.

As adubações minerais utilizadas na semeadura e em cobertura na área experimental encontram-se apresentadas na Tabela 3.

A semeadura foi realizada no mesmo dia da abertura dos sulcos, colocando-se aproximadamente 10 a 12 sementes por metro, com espaçamento entre linhas de 0,9m, sendo que o excesso de plantas foi retirado com a realização do desbaste entre 20 a 25 dias após a emergência das mesmas, procurando-se obter um stand de 45.000 a 50.000 plantas  $ha^{-1}$ . No ano agrícola 1997/98, utilizou-se milho variedade "Mandurí", que foi substituído no ano agrícola 1998/99 pelo híbrido AG 122. No ano agrícola 1999/00 as sementes utilizadas foram do híbrido duplo AGROMEN 3150.

Tabela 3. Fertilização mineral utilizada na área sob latossolo vermelho distroférico nos anos agrícolas 1997/98, 1998/99 e 1999/00.

Ano agrícola	Tratamento	N (kg ha <sup>-1</sup> )		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )		K <sub>2</sub> O (kg ha <sup>-1</sup> )	
		Semeadura	Cobertura	Semeadura	Cobertura	Semeadura	Cobertura
1997/98 <sup>(1)</sup>	T (fert. min.)	---	---	---	---	---	---
	L1 (2,5t ha <sup>-1</sup> )	---	---	50	---	29	---
	L2 (5,0t ha <sup>-1</sup> )	---	---	44	---	26	---
	L3 (10t ha <sup>-1</sup> )	---	---	33	---	20	---
1998/99 <sup>(1)</sup>	T (fert. min.)	16,7	60	30	---	30	---
	L1 (2,5t ha <sup>-1</sup> )	---	---	---	---	30	---
	L2 (5,0t ha <sup>-1</sup> )	---	---	---	---	30	---
	L3 (10t ha <sup>-1</sup> )	---	---	---	---	30	---
1999/00 <sup>(2)</sup>	T (fert. min.)	30	110	50	---	50	40
	L1 (2,5t ha <sup>-1</sup> )	---	---	---	---	50	40
	L2 (5,0t ha <sup>-1</sup> )	---	---	---	---	50	40
	L3 (10t ha <sup>-1</sup> )	---	---	---	---	50	40

produtividade esperada (1) = 6-8 t ha<sup>-1</sup>, (2) 10-12 t ha<sup>-1</sup>; classe de resposta a N, média.

#### Amostragem de solo no ano agrícola 1999/2000

A coleta de amostras de terra nas parcelas experimentais foi realizada aproximadamente 60 dias após o início da emergência das plântulas, nas profundidades de 0-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60m, abrindo-se uma trincheira de 0,50m x 0,50m e 0,65m de profundidade na entrelinha central da parcela. As amostras de cada camada foram coletadas retirando-se uma fatia de 0,05m de largura em cada um dos quatro perfis da trincheira. As amostras simples de cada parcela foram transferidas para um recipiente limpo onde foram destorroadas e homogeneizadas, sendo em seguida transferidas para sacos de polietileno identificados com número da parcela, tipo de solo, profundidade e ano de amostragem. As amostras foram encaminhadas para o laboratório e processadas como descrito anteriormente.

## **2.2. Análises químicas nas amostras de terra**

As amostras de terra, depois de secas ao ar e armazenadas em sacos de polietileno, foram submetidas a análises químicas para determinação dos teores de fósforo mineral, fósforo total<sub>(i+o)</sub>, fósforo extraível e fósforo orgânico. Análises biológicas foram realizadas para determinação da atividade de fosfatases.

### *2.2.1. Determinação dos teores de fósforo orgânico e inorgânico no solo*

#### a) Extração

Os teores de fósforo orgânico no solo foram determinados empregando-se o Método da ignição, conforme Saunders & Williams (1955) modificado por Walker & Adams (1958), descrito em OLSEN & SOMMERS (1982) com modificações. O método baseia-se na extração de fósforo mineral com uma solução de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1N em uma amostra de 1g terra, que é agitado por um período de 24h. Uma segunda amostra de mesma massa é levada a um forno mufla por um período de aproximadamente 3h para que todo o material orgânico seja digerido, seguindo com a extração do fósforo com a mesma solução. O método original instrui para centrifugação de uma alíquota do extrato obtido após o período de agitação, o que foi modificado durante a realização deste trabalho. Após a extração, o extrato obtido foi filtrado em papel de filtro resistente a ácido, similar ao Whatman nº 1, e refiltrado quantas vezes foram necessárias no mesmo papel (normalmente 2 vezes) até a obtenção de uma solução amarelada límpida e sem turbidez.

#### b) Procedimento para análise e quantificação dos teores de P no extrato

Uma vez obtido o extrato, os teores de fósforo foram determinados, utilizando-se a metodologia proposta por Murphy & Riley (1962), modificada por WATANABE & OLSEN (1965), descrito em OLSEN & SOMMERS (1982) cujo princípio é a formação de um complexo molibdofosfato em uma matriz de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, que pode ser reduzida com uso de ácido ascórbico. A cor azul formada é estável por um período de 10 minutos a 24h após a reação e sua absorbância é medida a comprimento de ondas de 840 a 880 nm.

O resultado obtido para a amostra não digerida refere-se ao teor de fósforo inorgânico ( $P_i$ ) e aquele observado para a amostra digerida, ao teor de fósforo total por ignição (somatória do fósforo inorgânico e fósforo orgânico da amostra),  $P_{Total(i+o)}$ . Assim, o fósforo orgânico ( $P_o$ ) é calculado subtraindo-se de  $P_{Total(i+o)}$ , o valor de  $P_i$ .

### *2.2.2. Determinação dos teores de fósforo extraível*

O teor de fósforo extraível foi determinado pelo método da resina trocadora de íons, conforme descrito em FERREIRA et al. (1990).

### *2.2.3. Determinação da atividade de Fosfatases*

A atividade da enzima fosfatase ácida foi avaliada empregando-se metodologia proposta por Tabatabai & Bremner (1969) e Eivazi & Tabatabai (1977), modificada. O princípio do método consiste em se incubar amostras de terra em presença de um substrato (p-nitrofenilfosfato - PNP) por um período determinado e avaliar posteriormente, a quantidade de p-nitrofenil liberada, o que se consegue pela incubação em condições idênticas de uma amostra de terra sem o substrato. A diferença de substrato transformado indica a intensidade da atividade da enzima.

### *Soluções*

**Tampão Universal (MUB)** – solução estoque: pesou-se 12,1g de TRIS, 11,60g de ácido maleico, 14,0 g de ácido cítrico e 6,3 g de ácido bórico e colocou-se em béquer de 1000mL. Adicionou-se 500mL de solução de NaOH 1 mol L<sup>-1</sup>, dissolveu-se, transferiu-se para balão volumétrico de 1000mL, completou-se o volume com água deionizada e armazenou-se a 4°C.

**Tampão Universal (MUB)** – pH 6,5: tomou-se 200mL de solução estoque de tampão universal modificada e colocou-se em béquer de 500mL. Adicionou-se, sob agitação constante, solução de HCl 0,1 mol L<sup>-1</sup> até atingir pH 6,5. Transferiu-se para balão volumétrico de 1000mL e completou-se o volume com água deionizada.

**Solução de cloreto de cálcio (0,5M)**: pesou-se 7,35 g de cloreto de cálcio, dissolveu-se e completou-se o volume para 100mL.

**Solução de NaOH (1M):** pesou-se 2,0 g de hidróxido de sódio, dissolveu-se e completou-se o volume para 100mL.

**Solução de p-nitrofosfato de sódio:** pesou-se 5 mg de p-nitrofosfato de sódio e dissolveu-se com 1mL de solução tampão MUB pH 6,5.

#### *Curva de calibração*

Pipetou-se 1 mL da solução padrão de p-nitrofenol ( $1 \text{ g L}^{-1}$ ) para balão volumétrico de 100mL e completou-se o volume com água deionizada.

A 6 frascos erlenmeyer de 50mL, adicionou-se, respectivamente, 0; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 e 2,5mL da solução de p-nitrofenol que estava no balão volumétrico. Adicionou-se a cada frasco, respectivamente, 2,5; 2,0; 1,5; 1,0; 0,5 e 0mL de água deionizada, de forma a serem obtidas soluções de p-nitrofenol de concentrações 0, 2, 4, 6, 8 e  $10 \text{ mg L}^{-1}$ . Adicionou-se ao meio 0,5mL da solução  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$   $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  e 2mL da solução de NaOH  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ .

Em seguida leu-se a absorvância das soluções de p-nitrofenol contidas nos frascos a comprimento de onda de 400nm. Aos resultados obtidos, aplicou-se a regressão linear de forma a se obter a equação da reta, relacionando absorvância com concentração de p-nitrofenol.

#### *Marcha analítica*

Pesou-se 0,5g de TFSA e colocou-se em frasco erlenmeyer de 50mL. Adicionou-se 2mL da solução tampão universal modificada pH 6,5 e 0,5mL da solução de p-nitrofosfato de sódio. Homogeneizou-se o meio e tampou-se a boca do frasco com papel laminado. Em seguida, o frasco foi levado para incubadora tipo BOD mantida a  $37^\circ\text{C}$  por 30 minutos. Após o período de inculbação, adicionou-se ao meio 0,5mL da solução de  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$   $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  e 2mL da solução de NaOH  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ . Agitou-se o material, filtrou-se em papel de filtro Whatman nº 1 ou equivalente e leu-se a absorvância do filtrado em comprimento de onda de 400nm. Para cada amostra de terra, desenvolveu-se uma prova em branco, adicionando-se a solução de p-

nitrofenilfosfato de sódio após a adição da solução de NaOH 0,5 mol L<sup>-1</sup>. Os dados foram transformados em mg PNF h<sup>-1</sup> kg liberado.

#### *Produção de matéria seca e de grãos*

A produção de matéria seca das plantas de milho foi determinada coletando-se aleatoriamente quatro plantas por parcela, que foram levadas ao laboratório, pesadas, lavadas e secas em estufa com circulação forçada de ar regulada para 60-70°C até obtenção de peso constante.

A produção de grãos no ano agrícola 1999/2000 foi determinada coletando-se as espigas de todas as plantas de uma linha, desprezando-se 1 m no início e no final como bordadura. As espigas coletadas no dia 08/05/2000 (com 15% de umidade) foram levadas para o laboratório, debulhadas e os grãos foram pesados, tendo em seguida sua umidade determinada a fim de se realizar sua correção para 11%.

### **3. Resultados e discussão**

Os dados encontrados para formas de fósforo no solo encontram-se apresentadas nas Tabelas de 4 a 14. Os teores de fósforo total (método da ignição) encontram-se apresentados na Tabela 4. De forma geral, verifica-se que os maiores valores de P total concentram-se nas camadas superficiais do solo (principalmente em 0-0,05m e 0,05-0,10m), onde também se concentram os principais efeitos de tratamentos.

De forma geral, os maiores teores de P total no solo foram encontrados na profundidade 0-0,05m. Na medida em que se avança para as camadas mais profundas do perfil do solo, os teores de P total decrescem continuamente de tal forma que os valores das diferentes camadas diferenciaram-se entre si.

Tabela 4. Teores de P Total ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) em um latossolo vermelho distroférico tratado com biossólido e cultivado com milho no ano agrícola 1999/00.

Doses <sup>1</sup>	PROFUNDIDADE (m)					Média	F
	0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40	0,40-0,60		
0	181,06 aB	155,68 abB	132,03 bcA	103,22 cdA	82,79 dA	130,96	15,37 **
2,5	202,78 aB	173,32 abB	135,26 bA	81,71 cA	86,87 cA	135,99	27,75 **
5,0	265,36 aA	185,36 bAB	132,25 cA	103,86 cdA	85,80 dA	154,99	52,02 **
10	304,92 aB	223,63 b A	119,99 cA	84,08 c A	84,95 cA	164,11	92,85 **
MEDIA	238,53 a	184,50 b	129,88 c	93,22 d	85,85 d		
F	19,14 *	4,90 **	0,27 NS	0,85 NS	0,03 NS		

1- doses de biossólido em base seca; Letras minúsculas comparam médias dispostas na horizontal; Letras maiúsculas compara médias dispostas na vertical. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. NS = não significativo ( $P > 0,05$ ); \*\* =  $P < 0,01$ .

Analisando os resultados obtidos nas camadas 0-0,05m e 0,05-0,10m, verifica-se que o uso de doses crescentes de biossólido causou aumentos significativos de fósforo total no solo. Entretanto, quando se considera a camada 0,05-0,10m somente a aplicação de  $10 \text{ t ha}^{-1}$  de biossólido proporcionou teores de P total no solo, superiores aos encontrados nos demais tratamentos.

Analisando-se os resultados em cada um dos tratamentos testados, verifica-se decréscimo dos teores de fósforo total com aumento da profundidade (Figuras 1 e 2). Entretanto, a intensidade desse decréscimo variou de acordo com o tratamento. Assim, os menores acréscimos foram encontrados no tratamento testemunha (T). As parcelas que receberam biossólido apresentaram por sua vez, acréscimos proporcionais às doses empregadas.

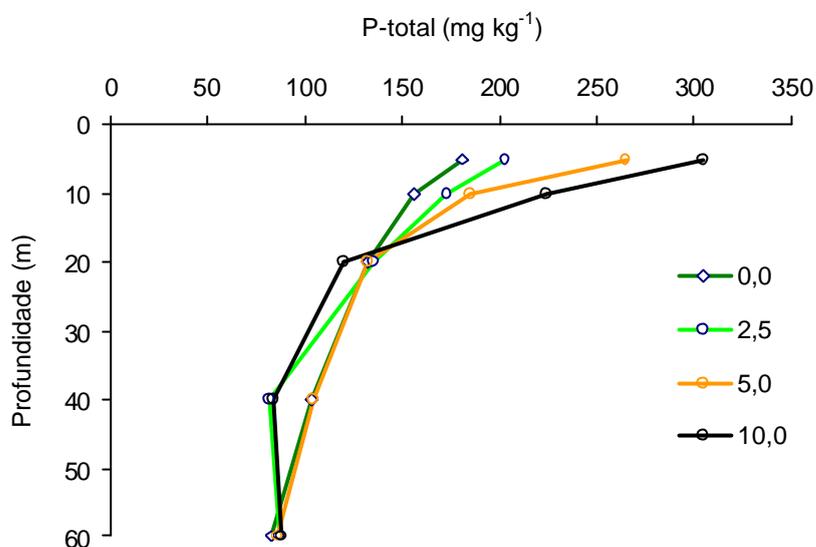


Figura 1. Teores de P Total ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) em um latossolo vermelho distroférico tratado com biossólido e cultivado com milho no ano agrícola 1999/00.

A aplicação de  $5 \text{ t ha}^{-1}$  de biossólido (L1), também apresentou valor significativamente maior na camada 0-0,05m, comparado aos observados nas camadas mais profundas. Exceção deve ser feita ao teor de P total obtido na camada 0,05-0,10m, que mostrou ser semelhante aos das camadas superficial e imediatamente inferior. O aumento da dose de resíduo resultou em aumento na disponibilidade de P total nas duas primeiras camadas. Contudo, esses teores não foram alterados nas camadas mais profundas. Esse fato é forte indicativo de que o P total foi influenciado pelas doses de biossólido apenas nas duas primeiras camadas.

Quando são utilizadas doses maiores de biossólido (L2 e L3), verifica-se comportamento semelhante desta forma de fósforo. Os maiores valores, obtidos na camada 0-0,05m e 0,05-0,10m são superiores aos observados nas demais camadas inferiores. É importante destacar que o valor de P orgânico total na camada 0,10-0,20m no tratamento L2, é maior que o observado na camada 0,40-0,60m.

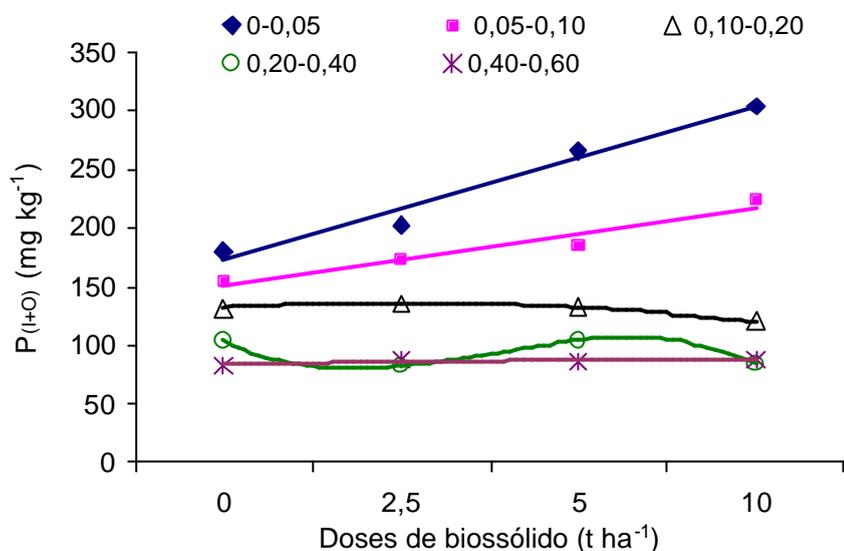


Figura 2. Análise por regressão polinomial entre doses de biossólido e teores de P total em um latossolo vermelho distroférico cultivado com milho no ano agrícola 1999/00.

Em função dos resultados apresentados, pode-se inferir que o fósforo orgânico total oriundo ou associado à aplicação de biossólido movimenta-se mais lentamente para as camadas inferiores. Em se confirmando essa maior lentidão, uma possível explicação a de que a maior parte deste fósforo encontra-se em formas moderadamente lábeis como nas substâncias húmicas ou ácidos fúlvicos, já que a dose de fósforo ( $P_2O_5$ ) aplicada nos tratamentos que receberam o resíduo foi igual à fornecida no tratamento que recebeu apenas fertilização mineral.

A aplicação da análise de regressão polinomial aos dados, apresentada na Tabela 5 e ilustrada na Figura 2, mostra relação linear positiva e significativa, entre as doses de biossólido aplicadas e teores de fósforo orgânico total nas camadas superficiais (0-0,05 e 0,05-0,10m). Este comportamento já era esperado, uma vez que o biossólido foi aplicado em superfície e incorporado apenas superficialmente. A elevação dos teores de matéria orgânica com as doses de biossólido, tendem a causar maiores teores de nutrientes na forma orgânica, inclusive de fósforo.

Tabela 5. Equações das análises de regressão polinomial e coeficientes de correlação para fósforo total ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) nas profundidades estudadas.

Profundidade (m)	Equação	R <sup>2</sup>
0-0,05	$Y = 12,9587 X + 181,8304$	0,9459**
0,05-0,10	$Y = 6,7237 X + 155,0824$	0,9938**
0,10-0,20	$Y = -0,2721 X^2 - 1,4718 X + 132,3706$	0,9896 <sup>NS</sup>
0,20-0,40	$Y = -0,5201 x^3 + 7,3924 X^2 - 23,8323 X + 103,2180$	1,00*
0,40-0,60	$Y = -0,0531 X^2 + 0,9753 X + 83,3292$	0,7603 <sup>NS</sup>

NS=  $P > 0,05$ ; \* =  $P < 0,05$  \*\* =  $P < 0,01$

Em se tratando de relações lineares, como mostrado nas camadas superficiais (0-0,05m e 0,05-0,10m), a dose máxima utilizada ( $10 \text{ t ha}^{-1}$ ) indica a dose que favorece a ocorrência do valor máximo de fósforo total. Entretanto, na profundidade 0,20-0,40m, onde a relação significativa entre os dados é polinomial e de terceiro grau, a dose de resíduo que maximizaria os valores de fósforo total, calculada a partir da equação apresentada na Tabela 5 é  $7,4 \text{ t ha}^{-1}$  em base seca. Este valor é muito próximo dos encontrados em várias situações, já apresentadas no Capítulo II, que indicam doses próximas a  $7 \text{ t ha}^{-1}$  como as mais adequadas para solos com características do utilizado neste experimento.

Os valores de fósforo inorgânico (Pi), obtidos pela extração com  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1N, encontram-se apresentados na Tabela 6. Analisando-se as médias gerais das profundidades de amostragem, verifica-se que a camada superficial (0-0,05m) apresenta o maior valor, diferindo das demais profundidades. O valor de Pi detectado na camada 0,05-0,10m é maior do que aqueles obtidos nas camadas mais profundas. O mesmo pode ser destacado em relação ao fósforo inorgânico na camada 0,10-0,20m, que é maior que os observados nas camadas 0,20-0,40m e 0,40-0,60m. De forma geral, verifica-se que efeitos de tratamentos para Pi aparecem apenas da camada superficial do solo (0-0,05m). Nas comparações realizadas entre os dados do mesmo tratamento para as diferentes profundidades, que se concentraram nas camadas 0-0,05m e 0,05-0,10m, os comportamentos são semelhantes ao mencionado anteriormente.

Tabela 6. Teores de P inorgânico ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) em um latossoto vermelho distroférico tratado com bio sólido e cultivado com milho no ano agrícola 1999/00.

DOSES <sup>1</sup> ( $\text{t ha}^{-1}$ )	PROFUNDIDADE (m)					Média	F
	0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40	0,40-0,60		
0 <sup>2</sup>	125,68 aB	88,97 abA	71,70bcA	37,77c A	27,95 cA	70,41 A	19,20**
2,5	117,78 aB	103,91 aA	74,89abA	36,06 bA	30,09 b A	72,55 A	18,90**
5,0	211,24 aA	122,4 b A	78,52bcA	40,54cdA	29,23 dA	96,40 A	66,83**
10	217,85 aA	120,3 bA	67,42 cA	40,97 cA	28,38 cA	94,99 A	73,06**
MEDIA	168,14 a	108,92 b	73,13 c	38,13 d	28,91 d		
F	18,02**	1,53NS	0,14 NS	0,03 NS	0,01 NS		

1- dose de bio sólido em base seca; 2- fertilização mineral; Letras minúsculas comparam médias dispostas na horizontal; Letras maiúsculas compara médias dispostas na vertical. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. NS =  $P > 0,05$ ; \*\* =  $P < 0,01$ .

Comparando-se os dados obtidos entre os tratamentos utilizados, verifica-se que houve aumento dos valores de Pi com elevação da dose de bio sólido (Figura 3). Os maiores valores desta forma de fósforo, na camada 0-0,05m, foram observados nos tratamentos que receberam as maiores doses de bio sólido,  $5 \text{ t ha}^{-1}$  (L2) e  $10 \text{ t ha}^{-1}$  (L3), as quais foram superiores aos demais tratamentos.

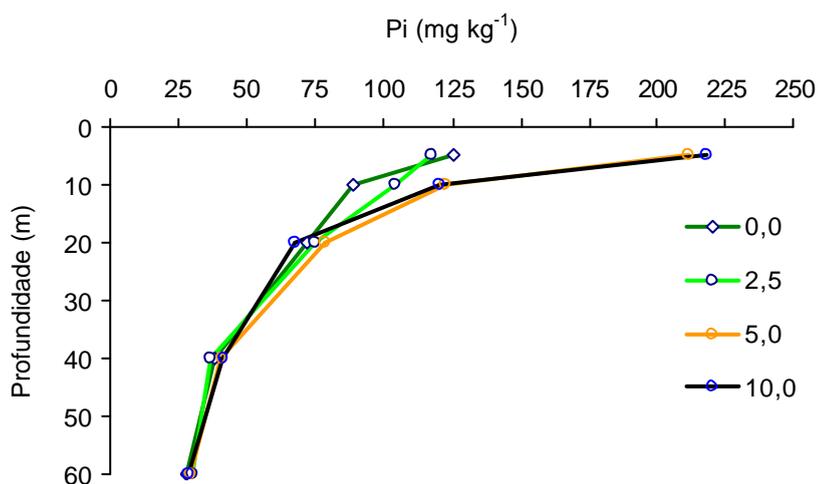


Figura 3. Teores de P inorgânico ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) em um latossoto vermelho distroférico tratado com bio sólido e cultivado com milho no ano agrícola 1999/00.

Analisando-se os dados de cada tratamento nas profundidades estudadas, verifica-se que o tratamento com apenas fertilização mineral (T) apresenta o maior valor na camada 0-0,05m, diferindo estatisticamente das demais camadas. Para a profundidade 0,05-0,10m, o valor de Pi é maior que os observados nas profundidades 0,20-0,40m e 0,40-0,60m, o mesmo acontecendo com o teor de fósforo inorgânico na camada 0,10-0,20m em relação à camada mais profunda.

A adição de  $2,5 \text{ t ha}^{-1}$  de biossólido no solo (L1) proporciona comportamento semelhante do Pi entre as camadas. Os maiores valores são detectados nas camadas 0-0,05m e 0,05-0,10m, cujos valores diferem dos encontrados nas camadas mais profundas (0,20-0,40m e 0,40-0,60m). O Pi na camada superficial do solo (0-0,05m) é também superior quando comparado com o observado na camada 0,10-0,20m.

Analisando-se os dados obtidos nos tratamentos L2 e L3, pode-se observar que o Pi comporta-se de forma semelhante, em relação à distribuição no perfil do solo (Figura 4). Ambos os tratamentos apresentam valores maiores na camada 0-0,05m, quando comparados aos das demais camadas. Os teores de Pi na camada 0,05-0,10m nestes tratamentos também são maiores do que os observados nas camadas mais profundas. Uma pequena diferença na distribuição do fósforo inorgânico no perfil, a partir da camada 0,10-0,20m entre L2 e L3 é observada. A concentração de Pi na camada 0,10-0,20m é maior do que as observadas nas camadas mais profundas (0,20-0,40m e 0,40-0,60m) no tratamento que recebeu  $5 \text{ t ha}^{-1}$  de biossólido, enquanto que esta diferença no tratamento L3 só foi observada em relação à camada mais profunda (0,40-0,60m),

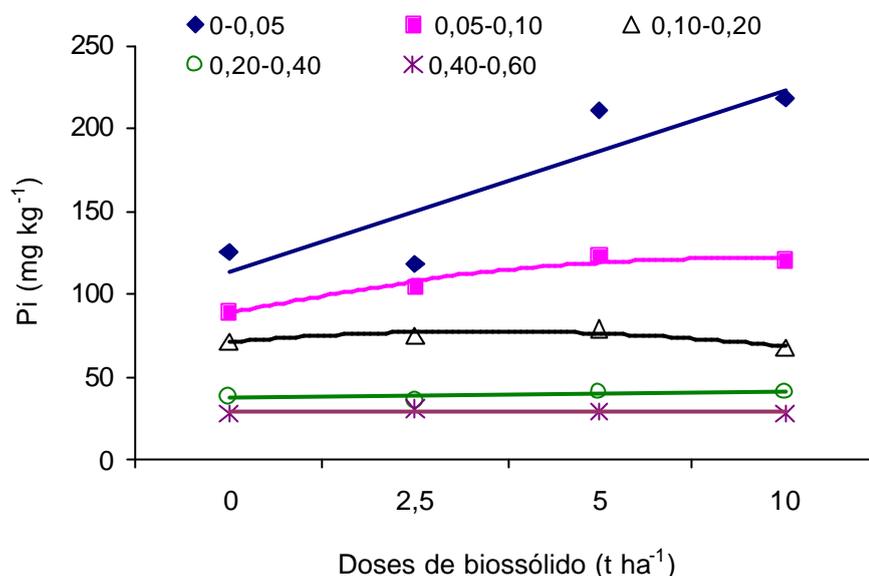


Figura 4 Análise por regressão polinomial entre doses de biossólido e teores de P inorgânico em um latossolo vermelho distroférico cultivado com milho no ano agrícola 1999/00.

Os dados de Pi foram analisados de forma a se verificar possíveis relações entre a forma de fósforo e doses de biossólido aplicadas. Na camada 0-0,05m o fósforo inorgânico do solo correlacionou-se de forma linear, positiva e significativa com as doses do resíduo aplicadas (Tabela 7, Figura 4), diferente do que se observa nas demais profundidades, em que não se demonstrou a existência de correlação significativa, embora se tenha obtido altos coeficientes de correlação para equações de segundo grau.

Utilizando-se das equações de regressão apresentadas na Tabela 7, pode-se calcular a dose de resíduo que maximiza a adição de fósforo inorgânico neste solo. Na profundidade 0,05-0,10m a dose de biossólido que pode maximizar os valores de Pi é 7,7 t ha<sup>-1</sup>, próxima a valores calculados quando se estudaram outras formas de fósforo (Capítulo II).

Tabela 7. Equações das análises de regressão polinomial e coeficientes de correlação para fósforo inorgânico ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) nas profundidades estudadas.

Profundidade (m)	Equação	R <sup>2</sup>
0-0,05	$Y = 10,7293 X + 121,1956$	0,7263 **
0,05-0,10	$Y = -0,6216 X^2 + 9,5349 X + 87,6065$	0,9690 <sup>NS</sup>
0,10-0,20	$Y = -0,3227 X^2 + 2,8712 X + 71,1606$	0,9475 <sup>NS</sup>
0,20-0,40	$Y = -0,1795 X^2 + 1,2499 X + 36,7544$	0,7427 <sup>NS</sup>
0,40-0,60	$Y = -6,0531 X^2 + 0,6122 X + 28,2198$	0,6730 <sup>NS</sup>

\*\* =  $P < 0,01$

Os dados de fósforo inorgânico foram confrontados com os de outras formas de fósforo por análise de regressão linear simples entre os resíduos das variáveis. As equações e os coeficientes de correlação ( $R^2$ ) entre estas variáveis são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Coeficientes de correlação linear simples entre os resíduos das diferentes formas de fósforo em um latossolo vermelho distroférico tratado com biossólido e cultivado com milho no ano agrícola 1999/00.

	P <sub>(I+O)</sub>	Pi	Po	P <sub>res</sub>	Pi/Po	PNF <sup>1</sup>
P <sub>(I+O)</sub>	-	0,5921**	0,5425**	0,6863**	0,0683 <sup>NS</sup>	-0,1907 <sup>NS</sup>
Pi	-	-	-0,3558**	0,5026**	0,6663**	-0,1419 <sup>NS</sup>
Pó	-	-	-	0,2719**	-0,6154**	-0,1076 <sup>NS</sup>
P <sub>res</sub>	-	-	-	-	0,1541 <sup>NS</sup>	-0,2546 <sup>NS</sup>
Pi/Po	-	-	-	-	-	-

1- atividade da fosfatase, análise de regressão entre dados das profundidades 0-0,05m e 0,05-0,10m; \*\* =  $P < 0,01$ ;

As análises de correlação ressaltam a ocorrência de correlação linear positiva e significativa entre Pi e P total, como mostra a Figura 5. O aumento do teor de fósforo orgânico total no solo tende a ser acompanhado pelos teores de fósforo inorgânico,

indicando que parte significativa do P total é mineralizada se tornando disponível para as plantas.

Este comportamento fica mais evidente ao se comparar dados de fósforo orgânico total com aqueles de frações de P menos lábeis como P-SH e P-AF (Capítulo II), que são passíveis de serem transformados em formas disponíveis a curto ou médio prazo. As Figuras 6 e 7 ilustram esta hipótese na medida em que parte do  $P_i$  se encontra disponível para as plantas. Além disso, a fração ácido fúlvico é importante fonte de fósforo para as frações lábeis que suprem o P em solução (Capítulo II).

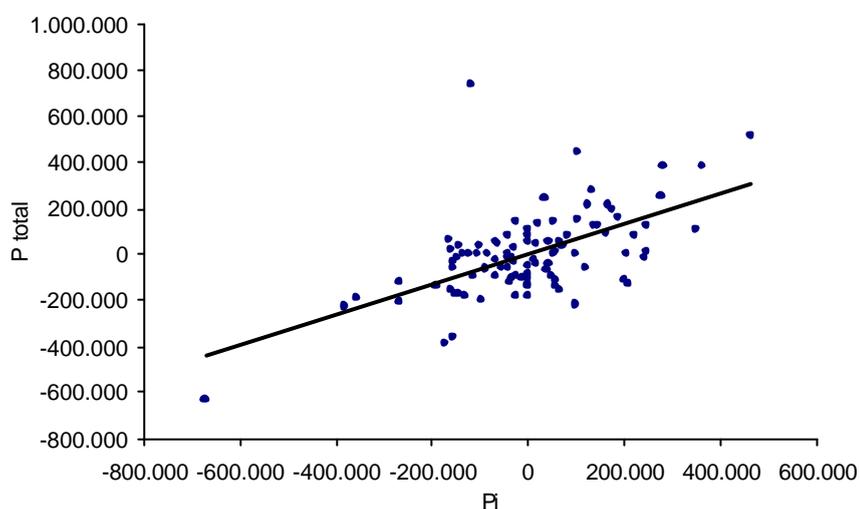


Figura 5. Análise de correlação entre os resíduos das variáveis  $P_i$  e P total em um latossolo vermelho distroférico tratado com bio sólido e cultivado com milho no ano agrícola 1999/00.

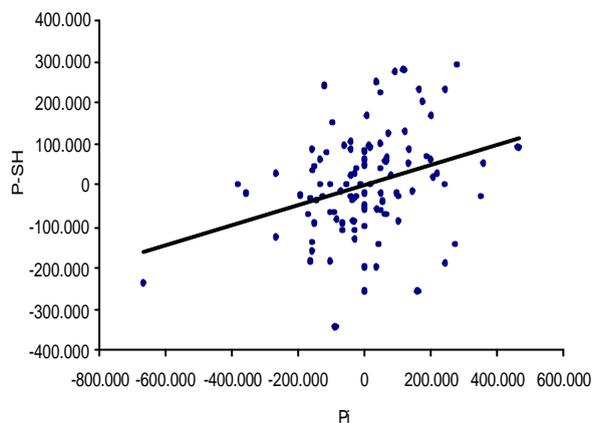


Figura 6. Análise de correlação entre os resíduos das variáveis Pi e P-SH em um latossolo vermelho distroférico tratado com bio sólido e cultivado com milho no ano agrícola 1999/00.

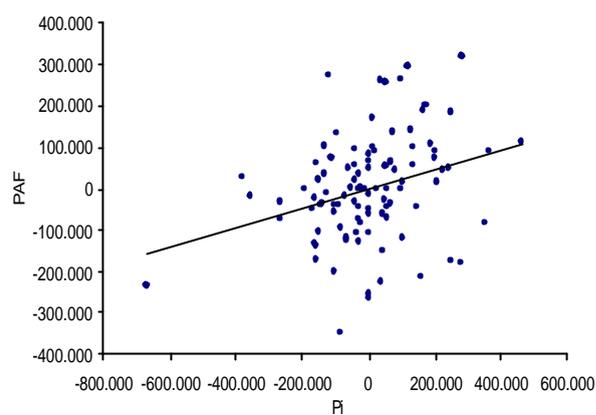


Figura 7. Análise de correlação entre os resíduos das variáveis Pi e P-AF em um latossolo vermelho distroférico tratado com bio sólido e cultivado com milho no ano agrícola 1999/00.

Os valores de fósforo extraível pelo método da resina trocadora de íons ( $P_{resina}$ ) encontram-se apresentados na Tabela 9. As médias gerais para tratamentos indicam aumento dos valores de P resina a partir da aplicação de  $5 \text{ t ha}^{-1}$  de bio sólido, uma vez que os tratamentos que receberam apenas fertilização mineral (T) e a menor dose (L1) mostraram-se inferiores aos valores encontrados nos tratamentos L2 e L3. Verifica-se ainda, para todos os tratamentos, uma drástica redução dos valores de fósforo extraível com aumento da profundidade (Figura 8). Isso é um indicativo da baixa mobilidade dessa forma de P ao longo do perfil de solo. Diferenças significativas só foram observadas nas camadas 0-0,05m e 0,05m-0,10m e quando da adição do resíduo ao solo. O aumento das doses de bio sólido causa elevação dos teores de P extraível nas duas camadas superiores.

Os maiores valores desta forma de fósforo na profundidade 0-0,05m foram observados nos tratamentos L2 e L3, cujos valores encontrados foram superiores aos encontrados nos tratamentos L1 (2,5 t ha<sup>-1</sup> de biossólido) e T (fertilização mineral).

Tabela 9. Teores de fósforo extraível pelo método da resina trocadora de íons (P resina, mg dm<sup>-3</sup>) em um latossolo vermelho distroférrico tratado com biossólido e cultivado com milho no ano agrícola 1999/00.

DOSES <sup>1</sup> (t ha <sup>-1</sup> )	PROFUNDIDADE (m)					Média	F
	0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40	0,40-0,60		
0 <sup>2</sup>	25,0 a C	13,0 ab C	10,0 ab A	3,4 b A	2,2 b A	10,72 B	4,42**
2,5	46,0 a B	38,0 a B	12,2 b A	2,8 b A	2,6 b A	20,32 B	21,84**
5,0	109,0 a A	43,8 b B	20,2 c A	3,6 cd A	2,0 d A	35,72 A	103,29**
10	106,0 a A	81,8 b A	20,0 c A	3,2 cd A	2,6 d A	42,72 A	121,39**
MEDIA	71,5 a	44,2 b	15,6 c	3,25 d	2,35 d		
F	83,78**	37,57**	1,29 <sup>NS</sup>	0,01 <sup>NS</sup>	0,00 <sup>NS</sup>		

1- dose de biossólido em base seca; 2- fertilização mineral; Letras minúsculas comparam médias dispostas na horizontal; Letras maiúsculas comparam médias dispostas na vertical. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey; NS= P > 0,05; \*\* = P < 0,01.

Analisando-se os dados na profundidade 0,05-0,10m, verifica-se o maior valor quando da aplicação de 10 t ha<sup>-1</sup> de biossólido. Os valores encontrados foram superiores aos demais tratamentos. O menor valor de P extraível foi encontrado no tratamento T.

Embora durante a instalação do ensaio as doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> tenham sido fixas para todos os tratamentos, verifica-se que parte do fósforo do resíduo ou a ele associado, se comporta de forma diferente daquele adicionado apenas via fertilizante mineral. O período de decomposição do material orgânico de aproximadamente 60 dias (período entre sua incorporação no solo e a coleta das amostras de terra) parece ter sido suficiente para a liberação de quantidades consideráveis de fósforo extraível para as plantas, em quantidades suficientes para atender às necessidades nutricionais do milho, principalmente quando se adicionaram doses de 5 e 10 t ha<sup>-1</sup> de resíduo.

Entretanto, os valores médios de P extraível, obtidos nos tratamentos que receberam biossólido, se inserem na faixa correspondente a teores médios, segundo RAIJ et al. (1997), o que pode permitir que se reduzam as quantidades de fertilizantes minerais fosfatados na fertilização do solo para a cultura do milho.

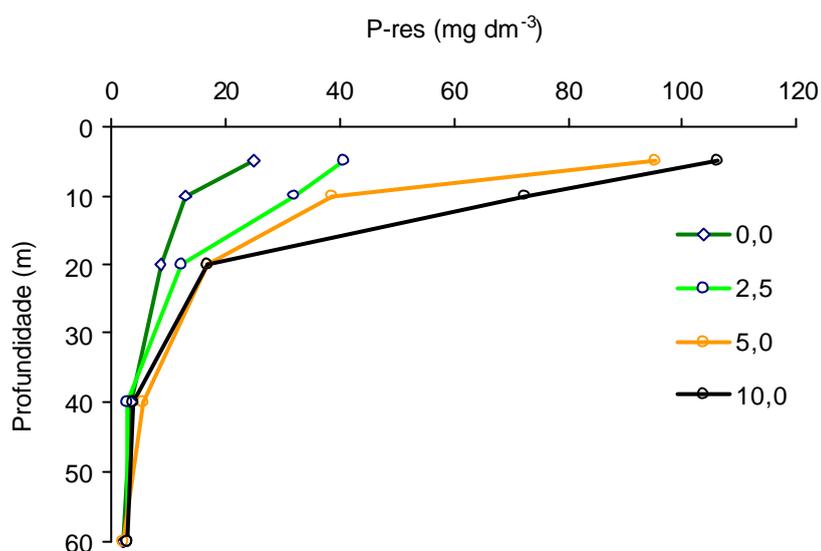


Figura 8. Teores de fósforo extraível pelo método da resina trocadora de íons ( $P_{resina}$ ,  $mg\ dm^{-3}$ ) em um latossolo vermelho distroférico tratado com biossólido e cultivado com milho no ano agrícola 1999/00.

Analisando-se os valores de P extraível de cada tratamento nas diferentes profundidades, verifica-se que os maiores valores de  $P_{resina}$  foram detectados nas camadas 0-0,05m e 0,05-0,10m em todos os tratamentos (Figura 8). No tratamento que T (fertilização mineral), os valores obtidos nas camadas 0-0,5m e 0,05-0,10m foram superiores aos observados para as demais camadas de solo estudadas. Os teores de fósforo encontrados neste tratamento encontraram-se em uma faixa de interpretação considerada baixa para a cultura do milho, ou seja, entre 7 e 15  $mg\ dm^{-3}$  (RAIJ et al. 1997). Contudo, os valores encontrados na profundidade 0-0,05m, podem ser considerados como teor médio no solo, segundo os critérios de interpretação (16 a 40  $mg\ dm^{-3}$ ) anteriormente mencionados.

A aplicação de  $2,5 \text{ t ha}^{-1}$  de biossólido demonstra comportamento semelhante ao do tratamento T. Os valores de fósforo extraível encontrados nas camadas superficiais (0-0,05m e 0,05-0,10m) foram superiores aos encontrados nas camadas mais profundas do solo. Os primeiros podem ser classificados como médios e os últimos, como teores baixos pelos critérios já mencionados.

A aplicação de 5 e  $10 \text{ t ha}^{-1}$  de biossólido aumentou consideravelmente os valores da forma de fósforo em estudo, na camada 0-0,05m, como se pode observar na Figura 9. Os valores ali encontrados foram superiores àqueles das camadas mais profundas. Em ambos os tratamentos, os teores de  $P_{\text{resina}}$  na profundidade 0,05-0,10m foram maiores quando comparados aos observados nas três camadas mais profundas.

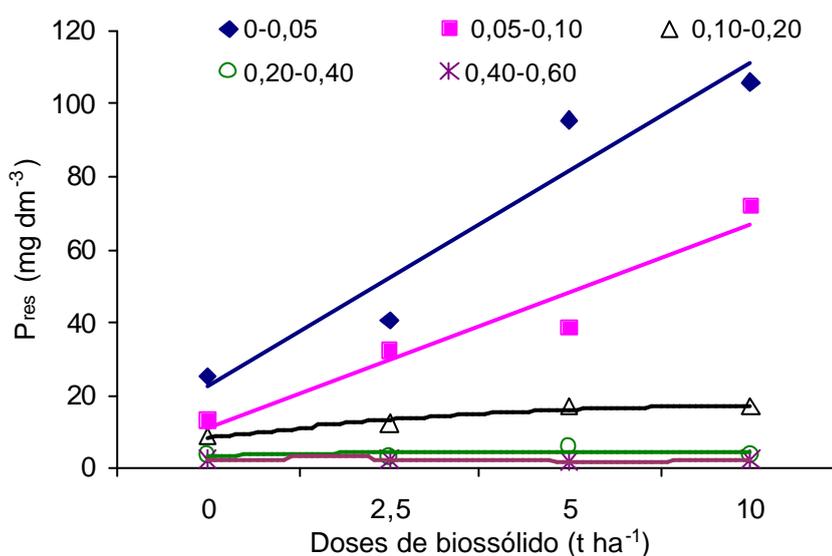


Figura 9. Análise por regressão polinomial entre doses de biossólido e teores de P resina em um latossolo vermelho distroférico cultivado com milho no ano agrícola 1999/00.

Os teores de fósforo na camada 0,10-0,20m, nestes tratamentos, mostraram-se superiores aos observados na camada 0,40-0,60m, indicando que ambos os tratamentos têm comportamentos muito parecidos com relação à distribuição do fósforo

extraível no perfil do solo. Apesar de as formas de distribuição serem semelhantes, as proporções em que ocorrem diferem daquelas encontradas na camada 0,05-0,10m. Os valores encontrados em L2 são considerados altos (40 a 80 mg dm<sup>-3</sup>). A aplicação de 10 t ha<sup>-1</sup> do resíduo apresentou valores de fósforo resina, considerados muito altos pelo mesmo critério de interpretação (maior que 80 mg dm<sup>-3</sup>). Na camada 0-0,05m, tanto o tratamento L2 como L3 apresentaram valores acima de 100 mg dm<sup>-3</sup>, que são teores muito altos para os solos, segundo critérios de interpretação para o Estado de São Paulo.

As análises de regressão entre doses de biossólido e teores de fósforo extraível, cujas equações e coeficientes de determinação encontram-se na Tabela 10, mostram que o aumento da dose de biossólido modificou os teores de P resina nas camadas superficiais (0-0,05m e 0,05-0,10m). Houve uma relação linear positiva e significativa entre as doses e teores de P resina, indicando que a aplicação do resíduo neste solo implementou a transformação de fósforo orgânico para a forma prontamente assimilável pelas plantas. Tão importante quanto esta informação é o fato de este fósforo disponível se concentrar nas camadas superficiais do solo, onde a possibilidade de o mesmo ser absorvido pelas plantas é maior, tendo em vista que é nessa região do solo que se acumula a maior parte do sistema radicular das plantas de milho.

Tabela 10. Equações polinomiais obtidas com as análises de regressão polinomial e coeficientes de correlação para fósforo extraível (mg dm<sup>-3</sup>) em amostras de solo coletadas a diferentes profundidades.

Profundidade (m)	Equação	R <sup>2</sup>
0-0,05	$Y = 8,5989 X + 29,0800$	0,8465 **
0,05-0,10	$Y = 5,7234 X + 13,9600$	0,9818**
0,10-0,20	$Y = -0,1418 X^2 + 2,2825 X + 8,2672$	0,9715 <sup>NS</sup>
0,20-0,40	$Y = -0,0516 X^2 + 0,6011 X + 2,9145$	0,3498 <sup>NS</sup>
0,40-0,60	$Y = 1,2800X^3 - 0,1760 X^2 + 0,5200 X + 2,2000$	1,00*

\* = P < 0,05; \*\* = P < 0,01

Aplicando-se a análise por regressão linear simples entre P extraível e outras formas de P (Tabela 7) pode-se verificar a existência de correlação estatística significativa. O fósforo resina correlacionou-se com o fósforo inorgânico (Figura 10), o que já era esperado, uma vez que parte considerável do P inorgânico é formada por fósforo extraível, prontamente assimilável pelas plantas.

Esta proporção foi, em média, 12,7% para o tratamento T, 19,6% para o L1, 23,7% em L2 e 30,3% no tratamento que recebeu  $10 \text{ t ha}^{-1}$  de biossólido (L3). Os valores de P extraível se correlacionaram de forma positiva e significativa com os teores de P total, como se observa na Figura 11.

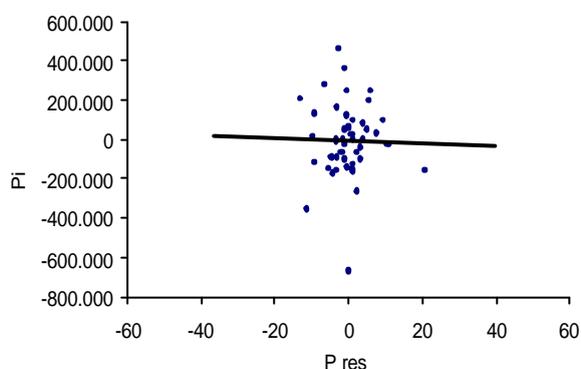


Figura 10. Análise de correlação entre os resíduos das variáveis P resina e  $P_i$  em um latossolo vermelho distroférico tratado com biossólido e cultivado com milho no ano agrícola 1999/00.

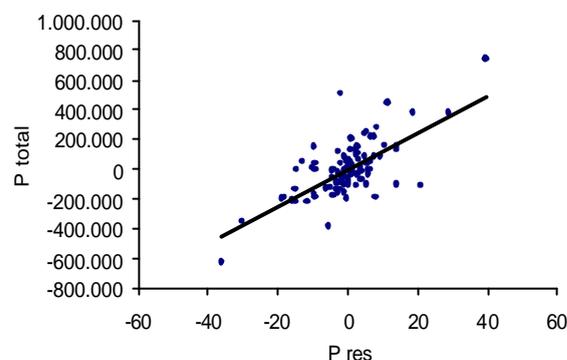


Figura 11. Análise de correlação entre os resíduos das variáveis P resina e  $P_{(I+O)}$  em um latossolo vermelho distroférico tratado com biossólido e cultivado com milho no ano agrícola 1999/00.

O aumento dos teores de P total resultou em aumento nos teores de fósforo extraível, confirmado pela relação entre  $P_i$  e P total e pela correlação positiva e significativa estabelecida.

As correlações entre P resina e outras formas de fósforo, moderadamente lábeis como substâncias húmicas ( $R^2 = 0,3894^{**}$ ) e ácidos fúlvicos ( $R^2 = 0,4186^{**}$ ), apresentadas no Capítulo II, também foram lineares positivas e significativas (Figuras 12 e 13), o que confirma a importância de formas não disponíveis como estas no suprimento de P durante o processo de mineralização do fósforo e o estabelecimento

de equilíbrio químico com a solução do solo. Pelos dados até aqui apresentados, pode-se inferir que a dinâmica de decomposição do resíduo e a mineralização de fósforo é tão mais intensa e complexa quanto importante nas camadas 0-0,05m e 0,05-0,10m, especialmente quando da participação do bio-sólido no sistema solo-planta.

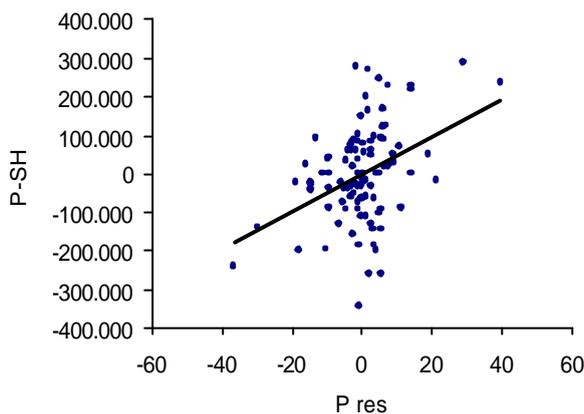


Figura 12. Análise de correlação entre os resíduos das variáveis P resina e P-SH em um latossolo vermelho distroférico tratado com bio-sólido e cultivado com milho no ano agrícola 1999/00.

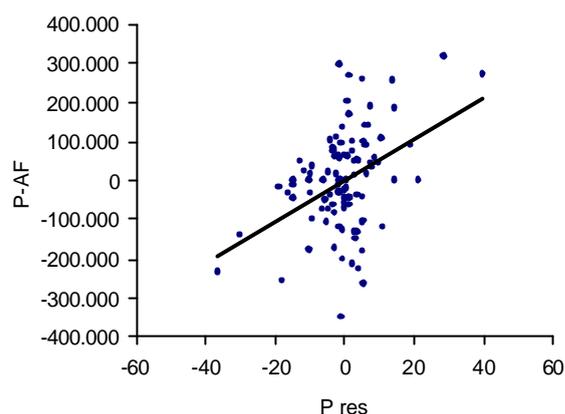


Figura 13. Análise de correlação entre os resíduos das variáveis P resina e P-AF em um latossolo vermelho distroférico tratado com bio-sólido e cultivado com milho no ano agrícola 1999/00.

Os valores de fósforo orgânico encontram-se apresentados na Tabela 11 e ilustrados na Figura 14. De forma geral, os valores de fósforo orgânico não apresentaram alterações significativas entre os tratamentos utilizados, mas pode-se observar maior concentração de  $P_o$  nas camadas superficiais do solo (0-0,05m e 0,05-0,10m). O maior valor médio (na profundidade 0,05-0,10m), diferiu dos encontrados nas camadas mais profundas, conforme tendência observada para os tratamentos.

Os dados encontrados quando da aplicação de fertilização mineral e  $5 \text{ t ha}^{-1}$  de bio-sólido (L2) mostraram diferenças não significativas, contrariamente ao que se observou para o tratamento L1, que mostrou valor de  $P_o$  maior em 0-0,05m quando comparado com os valores das camadas mais profundas (0,20-0,40m e 0,40-0,60m). O uso de  $10 \text{ t ha}^{-1}$  do resíduo (L3) proporcionou valor de  $P_o$  maior na camada 0,05-0,10m

quando comparado aos obtidos nas camadas mais profundas (0,10-0,20m, 0,20-0,40m e 0,40-0,60m).

Tabela 11. Teores de P orgânico ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) em um latossolo vermelho distroférico tratado com biossólido e cultivado com milho no ano agrícola 1999/00.

DOSES <sup>1</sup> ( $\text{t ha}^{-1}$ )	PROFUNDIDADE (m)					Média	F
	0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40	0,40-0,60		
0 <sup>2</sup>	55,38 a AB	66,71 a B	60,34 a A	65,45 a A	54,84 a A	60,54	0,40 <sup>NS</sup>
2,5	85,00 a AB	69,41 ab B	60,36 ab A	45,66 b A	56,79 ab A	63,44	2,90*
5,0	54,12 a B	62,89 a B	53,73 a A	63,32 a A	56,57 a A	58,12	0,29 <sup>NS</sup>
10	87,07 ab A	103,30 a A	52,56 c A	43,11 c A	59,57 bc A	69,12	8,43**
MÉDIA	70,39 ab	75,57 a	56,75 b	54,38 b	56,94 b		
F	4,39**	4,68**	0,24 <sup>NS</sup>	1,82 <sup>NS</sup>	0,05 <sup>NS</sup>		

1- dose de biossólido em base seca; 2- fertilização mineral; Letras minúsculas comparam médias dispostas na horizontal; Letras maiúsculas compara médias dispostas na vertical. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. NS =  $P > 0,05$ ; \* =  $P < 0,05$ ; \*\* =  $P < 0,01$ .

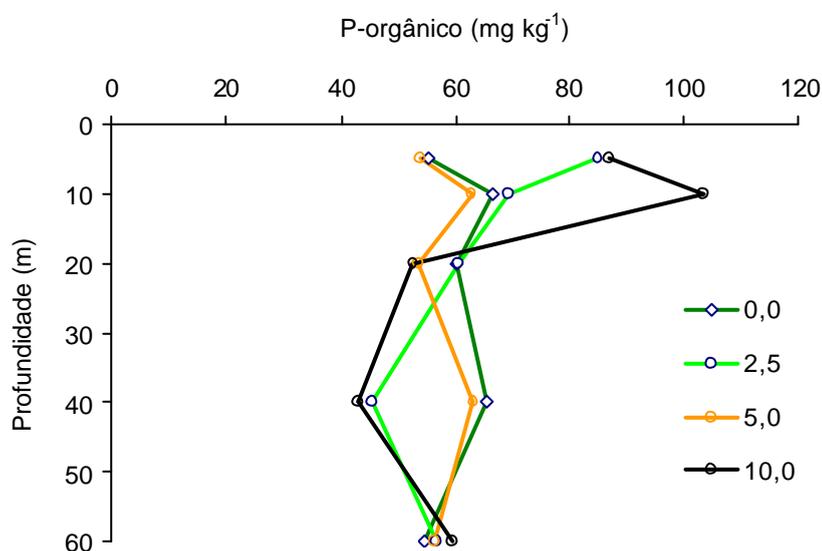


Figura 14. Teores de P orgânico ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) em um latossolo vermelho distroférico tratado com biossólido e cultivado com milho no ano agrícola 1999/00.

As diferenças entre os tratamentos utilizados só foram observadas nas camadas superficiais do solo, 0-0,05m e 0,05-0,10m. O maior valor de  $P_o$  na camada 0-0,05m foi encontrado quando se aplicou  $10 \text{ t ha}^{-1}$  de biossólido (L3). Esses valores foram diferentes do detectado no tratamento L2. Na profundidade 0,05-0,10m, o maior valor também foi observado no tratamento L3, cujos valores diferem de todos os demais tratamentos.

A análise dos dados por regressão polinomial (Figura 15), cujas equações e coeficientes de correlação ( $R^2$ ) encontram-se na Tabela 12, ilustram a discussão acima, indicando que o aumento das doses de biossólido causam elevação dos valores de fósforo orgânico na camada 0,05-0,10m.

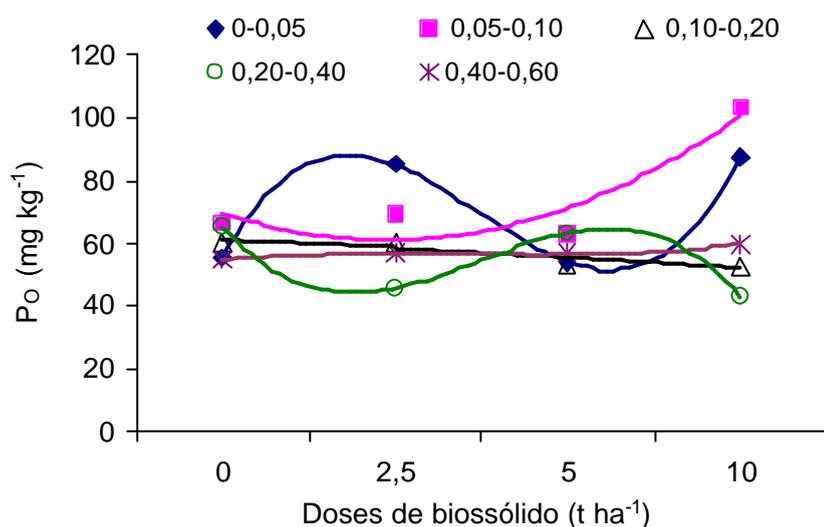


Figura 15. Análise por regressão polinomial entre doses de biossólido e teores de P orgânico em um latossolo vermelho distroférico cultivado com milho no ano agrícola 1999/00.

Quanto às relações significativas observadas nas profundidades 0-0,05m e 0,20-0,40m, somente a camada mais profunda parece estar mais coerente com os demais resultados. Na camada superficial, é possível que este comportamento tenha alguma relação com a disponibilidade de fósforo, já que o  $P_o$  demonstra que se correlaciona (de forma negativa e significativa) com  $P_i$  (Figura 16).

Tabela 12. Equações das análises de regressão polinomial e coeficientes de correlação para fósforo orgânico ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) nas profundidades estudadas.

Profundidade (m)	Equação	R <sup>2</sup>
0-0,05	$Y = 0,7365 X^3 - 10,3638 X^2 + 33,1516 X - 55,3840$	1,0*
0,05-0,10	$Y = 0,7372 X^2 - 4,0079 X + 68,9199$	0,9428 <sup>NS</sup>
0,10-0,20	$Y = 5,0705 X^2 - 1,4013 X + 618,2150$	0,8221 <sup>NS</sup>
0,20-0,40	$Y = 0,4477 X^3 + 6,3546 X^2 + 21,0049 X + 65,4480$	1,0*
0,40-0,60	$Y = 0,0073 X^2 + 0,3636 X + 55,1094$	0,9217 <sup>NS</sup>

\* =  $P < 0,05$ ; \*\* =  $P < 0,01$

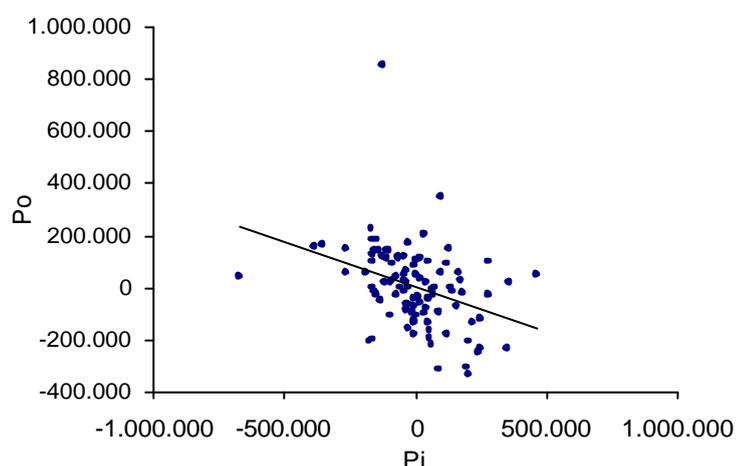


Figura 16. Análise de correlação entre os resíduos das variáveis Pi e Po em um latossolo vermelho distroférico tratado com biossólido e cultivado com milho no ano agrícola 1999/00.

A disponibilidade de fósforo no solo pode ser verificada com auxílio, também, da relação fósforo inorgânico/fósforo orgânico ( $P_i/P_o$ ). Valores maiores desta relação podem indicar a ocorrência de duas situações: a) o conteúdo de  $P_o$  diminui em favor de formas minerais mais lábeis, fazendo com que a relação aumente, e b) os teores de fósforo orgânico se mantêm relativamente constantes e ocorre elevação dos teores de

fósforo disponível, em função de processos de adição via fonte externa (fertilizantes minerais ou orgânicos) ou mineralização de fontes recém chegadas ao solo, não afetando os teores de  $P_o$  já existentes.

No caso em estudo, os valores de relação  $P_i/P_o$ , mostrados na Tabela 13 e ilustrados na Figura 17, indicam efeitos relacionados a ambas as hipóteses, uma vez que os teores de fósforo orgânico variaram nas camadas superficiais do solo, mas não apresentaram diferenças significativas marcantes entre os tratamentos nas camadas mais profundas.

Tabela 13. Relação  $P_i/P_o$  em um latossolo vermelho distroférico tratado com bio-sólido e cultivado com milho no ano agrícola 1999/00.

Doses <sup>1</sup> (t ha <sup>-1</sup> )	PROFUNDIDADE (m)					Média	F
	0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40	0,40-0,60		
0 <sup>2</sup>	2,07 a B	1,34 ab A	1,20 ab A	0,59 b A	0,43 b A	1,13	4,24 **
2,5	1,87 a B	1,65 ab A	1,31 ab A	0,82 ab A	0,53 b A	1,24	3,10*
5,0	4,52 a A	1,61 b A	1,23 b A	0,65 b A	0,53 b A	1,71	26,41**
10	2,57 a B	1,75 ab A	1,34abc A	1,13 bc A	0,48 c A	1,40	5,92**
MÉDIA	2,75 a	1,59 b	1,27 bc	0,80 cd	0,49 d		
F	12,10 **	0,25 <sup>NS</sup>	0,03 <sup>NS</sup>	0,49 <sup>NS</sup>	0,02 <sup>NS</sup>		

Letras minúsculas comparam médias dispostas na horizontal; Letras maiúsculas comparam médias dispostas na vertical. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey; NS=  $P > 0,05$ ; \*=  $P < 0,05$ ; \*\*=  $P < 0,01$ .

Considerando-se os dados da Tabela 13, verificaram-se efeitos de tratamentos apenas na camada 0-0,05m, e que esses efeitos somente ocorreram no tratamento que recebeu 5 t ha<sup>-1</sup> de bio-sólido, em que foi maior a relação  $P_i/P_o$ . Este dado pode ser explicado em função de vários fatores, como maiores valores de P total (Tabela 4), de  $P_i$  (Tabela 6) e menores valores de  $P_o$  (Tabela 11), deste tratamento na camada 0-0,05m, o que, em suma, indica maior quantidade de fósforo em formas inorgânicas.

Observando-se os dados de cada tratamento, verifica-se que todos os tratamentos mostraram maior relação  $P_i/P_o$  na camada 0-0,05m, diferindo dos valores

observados nas camadas mais profundas. No caso do tratamento T, a referida relação, na camada 0-0,05m, foi maior do que a observada nas camadas mais profundas (0,20-0,40m e 0,40-0,60m). Para o tratamento L1 as relações  $P_i/P_o$  são muito semelhantes. Porém a camada superficial só foi maior que a camada 0,40-0,60m. Quando se aplicou  $5 \text{ t ha}^{-1}$  de bio sólido (L2), verificou-se relação  $P_i/P_o$  maior em 0-0,05m, comparados aos valores obtidos para todas as outras camadas.

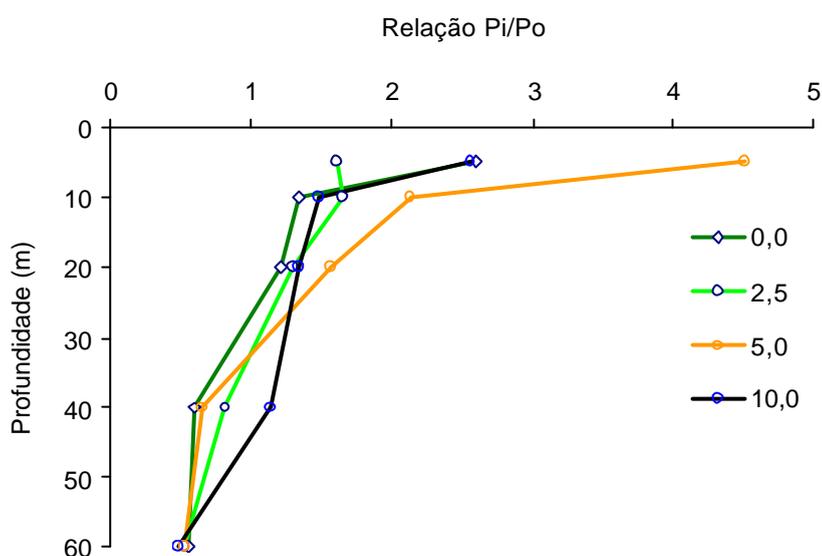


Figura 17. Relação  $P_i/P_o$  em um latossolo vermelho distroférrico tratado com bio sólido e cultivado com milho no ano agrícola 1999/00.

Comportamento semelhante é observado quando se aplicou  $10 \text{ t ha}^{-1}$  do resíduo, cuja maior relação (0-0,05m) diferiu daquelas observadas nas camadas 0,20-0,40m e 0,40-0,60m. A segunda maior relação  $P_i/P_o$  ocorreu na camada 0,05-0,10m, que é maior apenas que a observada na camada mais profunda (0,40-0,60m).

Os valores de atividade de fosfatase ácida encontram-se expostos na Tabela 14. De acordo com os dados encontrados, não se detecta efeito de tratamentos com relação à atividade da enzima fosfatase. As análises de correlação também indicam que as formas de fósforo estudadas neste trabalho não se relacionam de forma direta com a atividade enzimática em pautas (Tabela 7).

Tabela 14. Atividade de fosfatase ácida (mg PNF h<sup>-1</sup> kg) em um latossolo vermelho escuro tratado com biossólido e cultivado com milho no ano agrícola 1999/00.

Doses <sup>1</sup>	PROFUNDIDADE (m)		
	0-0,05	0,05-0,10	Média
0 <sup>2</sup>	105,72	109,23	107,48
2,5	88,81	97,13	92,97
5,0	75,98	96,62	86,30
10	81,34	73,25	77,29
MÉDIA	87,96	94,06	

F TRAT = 2,33 (P > 0,05); F PROF = 1,69 (P > 0,05); F TxP = 1,61 (P > 0,05); CV = 28,98%

1- doses de biossólido em base seca; 2- fertilização mineral;

Embora não se tenha verificado efeito de tratamentos para a atividade de fosfatase ácida, os dados apresentados na Tabela 14 mostraram tendência de redução de atividade da enzima com aumento das doses de biossólido aplicadas, como ilustrado na Figura 18. Na profundidade 0,05-0,10m esta relação é linear, negativa e significativa ( $Y = -3,4304 X + 109,0672$ ;  $R^2 = 0,9473^*$ ). Na camada superficial, a relação entre atividade de fosfatase e doses de biossólido pode ser descrita por uma relação polinomial de segundo grau não significativa ( $Y = 0,6676 X^2 - 9,1827 X + 106,2313$ ;  $R^2 = 0,9936^{NS}$ ), mas, da mesma forma indicou uma clara tendência de redução na atividade da enzima com elevação das doses do resíduo.

Os dados encontrados corroboram com os da literatura, que indica a redução de atividade enzimática com a aplicação de biossólido. MARTENS et al. (1992) adicionaram 25 t ha<sup>-1</sup> (base seca) de esterco de aves, biossólido, palha de cevada e alfafa verde durante quatro anos a um solo areno-argiloso do Canadá. Observaram que o biossólido foi consistentemente, dentre os materiais aplicados, o que menos estimulou a atividade enzimática do solo, o que atribuíram à presença de metais pesados no resíduo.

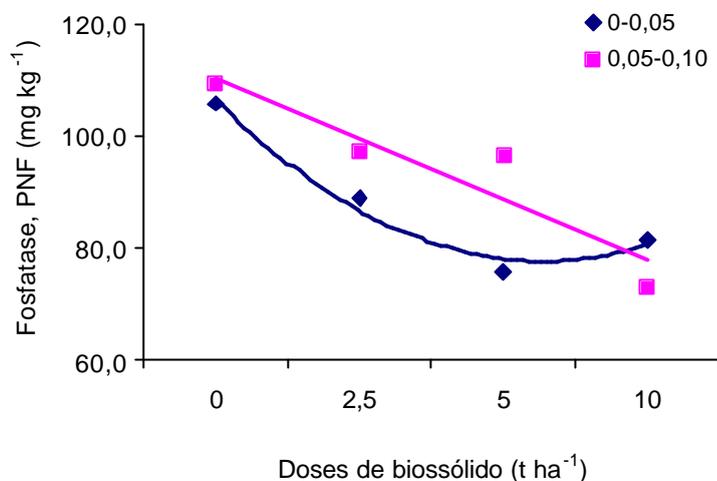


Figura 18. Análise por regressão polinomial entre doses de biossólido e atividade de fosfatase ácida em um latossolo vermelho distroférico cultivado com milho no ano agrícola 1999/00.

FORTUN et al. (1997) aplicaram resíduos sólidos urbanos a três solos semi-áridos (Vertisol, Calcisol e Luvisol) e observaram que a atividade de fosfatase aumentou no Vertisol, decresceu no Luvisol e não se alterou no Calcisol, indicando que a adição do resíduo associada ao tipo de solo também podem causar efeitos inibitórios sobre a atividade enzimática.

A produção de matéria seca pela cultura do milho (Figura 19), bem como a de grãos (Figura 20) no ano agrícola 1999/2000 não apresentaram diferenças entre os tratamentos, indicando que as doses de biossólido utilizadas não foram suficientes para alterar as variáveis analisadas. Entretanto, verifica-se tendência de maior produção no tratamento que recebeu 10 t ha<sup>-1</sup> de biossólido (L3), como mostrado pela regressão entre produção de grãos e doses do resíduo ( $Y = 0,00178 X^2 + 0,0674 X + 6,0874$ ;  $R^2 = 0,9778^{NS}$ ). Assim, pode-se inferir que pode haver aumentos de produtividade com aplicações de biossólido em anos seguintes, sobretudo devido a efeitos residuais das aplicações anteriores, com liberação de nutrientes para as plantas de milho.

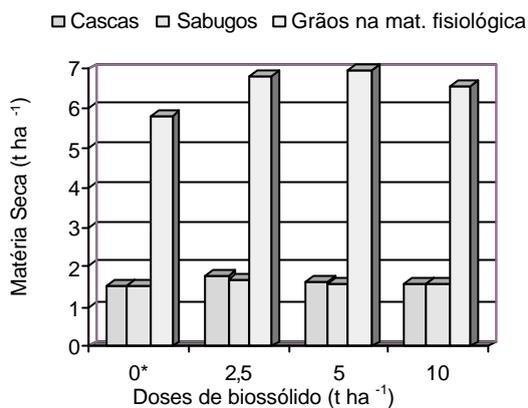


Figura 19. Produção de matéria seca pela parte aérea da cultura do milho ( $t\ ha^{-1}$ ), cultivada em latossolo vermelho distroférico tratado com doses crescentes de biossólido, no ano agrícola 1999/2000; \* = fertilização mineral.

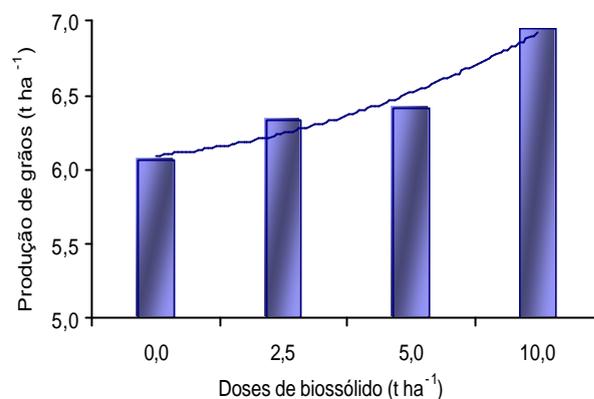


Figura 20. Produção de grãos ( $t\ ha^{-1}$ , 11% de umidade) pela cultura do milho, cultivada em latossolo vermelho distroférico tratado com doses crescentes de biossólido, no ano agrícola 1999/2000; \* = fertilização mineral.

Embora os dados obtidos no trabalho tenham causado efeitos não significativos na produção, tanto de grãos como de matéria seca, estudos indicam que a médio e longo prazo a produção pode se elevar. ALGUZ (1993), verificou elevação significativa na produção de matéria seca de plantas de sorgo granífero com a aplicação de doses crescentes de biossólido. A maior produção foi obtida com a aplicação de  $16\ t\ ha^{-1}$  do resíduo. VOLPE (1995) encontrou maior produção de matéria seca por Azevém com a aplicação de  $20\ t\ ha^{-1}$  de biossólido, porém menores quando a dose do resíduo foi elevada para  $80\ t\ ha^{-1}$ . ANDRÉ (1994), estudando a aplicação de biossólido na produção de grãos de sorgo, verificou que a planta apresentou a maior produção quando se aplicou  $64\ t\ ha^{-1}$  de resíduo, Entretanto, CUNNINGHAM et al. (1975) observaram diminuição na produção de milho e centeio pela adição de  $63\ t\ ha^{-1}$  de biossólido com elevados teores de Cu e Zn, cuja interação influi de forma negativa na produção.

A produção de grãos e de matéria seca pode variar com a dose do resíduo aplicada, com a constituição química do bio-sólido, bem como de acordo com a planta que responde de forma diferente, inclusive quando em solos diferenciados.

#### **4. Conclusões**

Nas condições em que o ensaio foi conduzido e com base nos dados obtidos, seguintes conclusões podem ser tiradas:

Os teores de fósforo extraível e fósforo mineral concentraram-se nas camadas superiores (até 0,10m), independente do tratamento utilizado;

Houve correlações positivas e significativas entre o valor de P total  $_{(i+0)}$  e P inorgânico, e entre P total  $_{(i+0)}$  e P extraível, nas camadas superficiais (0-0,05m e 0,05-0,10m).

A atividade de fosfatase foi influenciada pela aplicação de bio-sólido.

## 5. Referências Bibliográficas

- ALGUZ, E.S. (1993) **Produção de matéria seca e absorção de nutrientes pelo sorgo granífero cultivado em solo que recebeu lodo de esgoto**. Jaboticabal: Faculdade de Ciências Agrária e Veterinárias, universidade Estadual Paulista. 104p. Trabalho (Graduação em Agronomia).
- ANDRÉ, E.M. (1994) **Atividade biológica do solo e disponibilidade de nutrientes e metais pesados para a cultura do sorgo granífero em solo acrescido de lodo de esgoto**. Jaboticabal: Faculdade de Ciências Agrária e Veterinárias, universidade Estadual Paulista. 123p. Trabalho (Graduação em Agronomia).
- BETTIOL, W.; CARVALHO, P.C.T. (1982b) Lodo de esgoto como fertilizante para a cultura do milho (*Zea mays* L.) híbrido HMDO 7974. **Fertilizantes**, São Paulo, v.4, n.31, p.9-11.
- BONMATI, M. et al. (1985) Chemical properties, populations of nitrite oxidizers, urease and phosphatase activities in sewage sludge-amended soils. **Plant Soil**, Netherlands, v.84, n.1, p.79-91.
- CUNNINGHAM, I.D.; KEENEY, D.R.; RYAN, J.A. (1975) Yield and metal composition of crop and rye grown on sewage ammended soil. **J. Environ. Qual.**, Madison, v.4, p.448-454.
- EMBRAPA, Centro Nacional de de Pesquisa de Solos **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasilia: EMBRAPA Produção de Informação; Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 1999, 412p.
- FARDEAU, J. C. Le phosphore assimilable des sols: as représentation par un modèle fonctionnel à plusieurs compartments. **Agronomie**, v.13, p.317-331, 1993.
- FERREIRA, M. E, CRUZ, M.C.P., FERREIRA JUNIOR, M. E. Avaliação da fertilidade empregando o sistema IAC de análise de solo. Jaboticabal FCAV, 1990. 94p.
- FORTUN, C., FORTUN, A., CECCANTI, B. Changes in water-soluble and EDTA-extractable cations enzymatic activities of soils treated with a composites soil urban waste. **Arid Soil Research Rehabilitation**, v.11, n.3, p.265-76, 1997.

- FRANKENBERGUER, W. T., JOHANSON Jr., J. B., NELSON, C. O. Urease activity in sewage sludge-amended soils. **Soil Biol. Biochem.**, v.15, p.543-549, 1983.
- KIRKHAM, M. B. Agricultural use of phosphorus in sewage sludge. **Adv. Agron.**, v.35, p.129-164, 1982.
- MARTENS, D. A., JOHANSON, J. B., FRANKENBERGER Jr., W. T. Production and persistence of soil enzymes with repeated addition of organic residues. **Soil Science**, v.153, n.1, p.53-61, 1992.
- OLSEN, S. R., SOMMERS, L. E. Phosphorus. In: PAGE, A. L., MILLER, R. H., KEENEY, D. R. *Methods of soil analysis: chemical and microbiological properties*. 2° ed. Madison: ASA/SSSA. 1982. p.407-414.
- RAIJ, B. van. (1991) Avaliação da Fertilidade do solo. In:\_\_\_\_. *Fertilidade do solo e adubação*. São Paulo, Piracicaba: Ceres, Potafos. p.89-115.
- RAIJ, B. van et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas, Instituto Agrônomo, 1997. p.56-61 (Boletim Técnico, 100).
- ROS, C.O. et al. (1993) Lodo de esgoto: efeito imediato no milheto e residual na associação aveia-ervilhaca. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v.17, n.2, p.257-261.
- SILVA, F.C. et al. (1998) Cana-de-açúcar cultivada em solo adubado com lodo de esgoto: nutrientes, metais pesados e produtividade. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v.33, n.1, p.1-8.
- TEDESCO, M.J.; STAMMEL, J.G. (1986) Reciclagem de nutrientes contidos em resíduos orgânicos. In: CURSO DE ATUALIZAÇÃO EM FERTILIDADE DO SOLO SOB CONDIÇÕES DE CULTIVO REDUZIDO. Santa Maria, 1986. Anais.... Santa Maria, UFSM. p.1-40.
- VOLPE, A. **Absorção de NPK por azevém e atividade enzimática de um latossolo tratado com lodo de esgoto e contaminado com cádmio**. Jaboticabal. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 1995. 74p. Trabalho de graduação.