

ANNE HELEN DE PAULA NISHIMURA

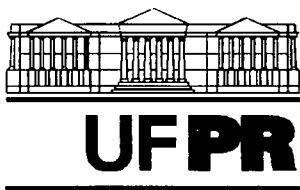
**CONSIDERAÇÕES SOBRE O P NUM SOLO CULTIVADO COM MILHO  
(*Zea mays* L.) SOB PLANTIO DIRETO COM A APLICAÇÃO DE  
BIOSSÓLIDO ALCALINIZADO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Ciência do Solo, do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Agronomia.

Orientador: Prof. Luiz Antonio Corrêa Lucchesi,  
Ph.D.

CURITIBA

2002



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA AGRÍCOLA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA: CIÊNCIA DO SOLO(MESTRADO) e  
MONITORAMENTO, MODELAGEM E GESTÃO AMBIENTAL(DOUTORADO)  
Rua dos Funcionários, 1540-Curitiba/PR-80035-050-Fone/Fax 41-350-5648  
E-mail: [pgcisolo@agrarias.ufpr.br](mailto:pgcisolo@agrarias.ufpr.br)

## P A R E C E R

Os Membros da Comissão Examinadora, designados pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", para realizar a argüição da Dissertação de Mestrado, apresentada pela candidata **ANNE HELEN DE PAULA NISHIMURA**, com o título: **"Distribuição de fósforo em um Cambissolo háplico sob plantio direto com a aplicação superficial de biossólido alcalinizado"**, para obtenção do grau de Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo" do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após haver analisado o referido trabalho e arguido o candidato, são de Parecer pela **"APROVAÇÃO"** da Dissertação, com o conceito **"B"**, completando assim, os requisitos necessários para receber o diploma de **Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo"**.

Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", em Curitiba 28 de novembro de 2002.

Prof. Dr. Luiz Antonio Corrêa Lucchesi, Presidente.

Prof. Dr. Marcelo Cabral Janel, Iº Examinador.

Prof. Dr. Cleverson Vitorio Andreoli, IIº Examinador.



## SUMÁRIO

<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	iv
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	vi
<b>DEDICATÓRIA</b> .....	viii
<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	ix
<b>RESUMO</b> .....	x
<b>ABSTRACT</b> .....	xi
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1 OBJETIVO .....	4
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
1.3 HIPÓTESE .....	6
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	7
2.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE A DISPOSIÇÃO DO LODO DE ESGOTO EM SOLOS AGRÍCOLAS.....	7
2.1.1 <i>Processo N-Viro</i> .....	8
2.1.2 <i>Efeitos do Uso de Lodo de Esgoto Urbano Estabilizado Alcalinamente em Solos Agrícolas</i> .....	10
2.1.21 Efeito da aplicação do biossólido alcalinizado nas propriedades físicas do solo .....	10
2.1.22 Efeito da aplicação do biossólido alcalinizado nas propriedades químicas do solo ...	11
2.1.23 Efeito da aplicação do biossólido alcalinizado nas propriedades biológicas do solo .	11
2.1.3 <i>Fósforo nos Bioossólidos</i> .....	12
2.2 FORMAS DE OCORRÊNCIA DO P NO SOLO .....	14
2.2.1 <i>P da Solução do Solo</i> .....	15
2.2.2 <i>Fósforo Inorgânico (Pi)</i> . .....	17
2.2.3 <i>Fósforo Orgânico (Po)</i> .....	19
2.3 FATORES QUE AFETAM A ADSORÇÃO E/OU DESSORSÃO DO P .....	19
2.3.1 <i>Influência do pH do Solo nos Teores de P</i> .....	20
2.3.2 <i>Influência da Matéria Orgânica (M.O.) nos Teores de P</i> .....	22
2.3.3 <i>Taxa de Mineralização e/ou Imobilização Microbiana</i> .....	25
2.3.4 <i>Tempo de Reação do P com o Solo</i> .....	27

2.3.5 Saturação do Solo em P .....	28
2.3.6 Características do Fertilizante Mineral e Orgânico .....	30
2.3.7 Efeitos Climáticos .....	30
2.3.8 Relação "Fonte-Dreno" de P no Solo .....	31
2.4 IMPORTÂNCIA DA ADUBAÇÃO FOSFATADA .....	33
2.4.1 Fosfato Monoamônio (MAP) .....	35
2.4.2 Avaliação do Efeito Residual da Adubação Fosfatada .....	36
2.5 EFEITO DA CALAGEM NO SOLO .....	36
2.6 IMPORTÂNCIA DO FÓSFORO PARA A PLANTA .....	40
2.7 DISTRIBUIÇÃO DO P NO PERFIL DO SOLO E SEU COMPORTAMENTO EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO .....	42
2.8 O P E SUA CONTRIBUIÇÃO PARA O FENÔMENO DA EUTROFIZAÇÃO.	43
2.9 ANÁLISE DO FÓSFORO NO SOLO .....	45
2.9.1 Considerações sobre Alguns Extratores .....	46
2.9.11 Extrator Mehlich-1 .....	47
2.9.12 Extração do P-Total no biossólido alcalinizado .....	48
2.9.2 Processo de Determinação do P .....	50
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>52</b>
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL .....	52
3.1.1 Localização .....	52
3.1.2 Características Regionais .....	52
3.1.3 Características Climáticas .....	53
3.1.4 Histórico da Área Experimental .....	54
3.1.5 Aptidão do Solo para a Disposição Agrícola de Lodo de Esgoto .....	54
3.2 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO .....	55
3.2.1 Instalação .....	55
3.2.2 Coleta e Análises do Solo .....	57
3.3 OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO LODO DE ESGOTO .....	58
3.4.PROCESSO DE HIGIENIZAÇÃO E ESTABILIZAÇÃO TERMO- ALCALINA DO LODO DE ESGOTO (Processo N-Viro) .....	59
3.5 CARACTERÍSTICA QUÍMICA E FÍSICA DO BIOSSÓLIDO .....	59
3.6 ESTABELECIMENTO DAS DOSES DE BIOSSÓLIDO ALCALINIZADO ...	60

3.7 ESTABELECIMENTO DAS DOSES DOS ADUBOS SINTÉTICOS .....	62
3.8 APLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS E CONDUÇÃO DA CULTURA DE MILHO .....	63
3.9 COLETA DO TECIDO VEGETAL.....	64
3.9.1 <i>Análise Química do Tecido Vegetal</i> .....	64
3.10 ANÁLISES ESTATÍSTICAS .....	65
3.10.1 <i>Testes de Homocedasticidade das Variâncias</i> .....	65
3.10.2 <i>Análises de Correlação</i> .....	65
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>66</b>
4.1 EFEITOS DOS TRATAMENTOS NO SOLO .....	66
4.1.1 <i>Índices de pH CaCl<sub>2</sub> do Solo</i> .....	66
4.1.2 <i>Teores de P-extraível do Solo</i> .....	70
4.1.21 Efeito dos tratamentos nos teores de P do limbo foliar .....	74
4.1.3 <i>Teores de Carbono-Orgânico no Solo</i> .....	77
4.2 EFEITO DOS TRATAMENTOS NA PRODUTIVIDADE DO MILHO .....	80
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>82</b>
5.1 RECOMENDAÇÕES .....	83
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>84</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>98</b>

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1-	CARACTERÍSTICAS E REAÇÕES DOS REATIVOS ALCALINOS ADICIONADOS EM LODOS DE ESGOTO NO “Processo N-Viro” .....	9
TABELA 2-	INTERPRETAÇÃO DOS TEORES DE P DISPONÍVEL EM ALGUNS ESTADOS DO BRASIL .....	18
TABELA 3-	CARACTERÍSTICA MÉDIA DO FOSFATO DE AMÔNIO MONOAMÔNIO (MAP) .....	36
TABELA 4-	TEOR DE P EM DIFERENTES PARTES DO MILHO .....	42
TABELA 5-	EXTRATORES USADOS PARA AVALIAÇÃO PARA TRABALHOS DE ROTINA DO P-“DISPONÍVEL” .....	46
TABELA 6-	CLASSIFICAÇÃO DO SOLO Ca38 PARA APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO .....	55
TABELA 7-	CONSTITUIÇÃO DOS TRATAMENTOS .....	56
TABELA 8-	PARÂMETROS, SOLUÇÕES EXTRATORAS UTILIZADAS, MÉTODO DE DETERMINAÇÃO E METODOLOGIA EMPREGADA PARA ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO .....	57
TABELA 9-	ATRIBUTOS DE PARÂMETROS QUÍMICOS E FÍSICOS DE DIFERENTES CAMADAS DO SOLO .....	58
TABELA 10-	ALGUNS ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO LODO DE ESGOTO ORIUNDO DA ETE-BELÉM DA SANEPAR, ANTES DA ESTABILIZAÇÃO PELO “Processo N-Viro” .....	59
TABELA 11-	ALGUNS ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO BIOSSÓLIDO ALCALINIZADO, COM BASE NO PESO SECO (MÉDIA DE 4 DETERMINAÇÕES) .....	60
TABELA 12-	RECOMENDAÇÕES DE BIOSSÓLIDO ALCALINIZADO ( $Mg\ ha^{-1}$ ) COM BASE NOS MÉTODOS ALUMÍNIO TROCÁVEL, SATURAÇÃO POR BASES (V%) E ÍNDICE SMP DO SOLO .....	61
TABELA 13-	UMIDADE MÉDIA DO BIOSSÓLIDO ALCALINIZADO E DOSES APLICADAS POR HECTARE .....	62

TABELA 14-	FONTE DE NUTRIENTES E GARANTIAS DOS ADUBOS SINTÉTICOS, APLICADOS NOS TRATAMENTOS .....	62
TABELA 15-	DOSES DOS ADUBOS SINTÉTICOS APLICADOS NOS TRATAMENTOS .....	63
TABELA 16-	CONCENTRAÇÃO DE P-TOTAL ( $\text{g kg}^{-1}$ ) DO LIMBO FOLIAR DO MILHO .....	75

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1-	ATUAÇÃO DO BIOSSÓLIDO SOBRE A DISPONIBILIDADE DE P NO SOLO .....	13
FIGURA 2-	DIAGRAMA DO CICLO DO FÓSFORO E SUAS FORMAS .....	15
FIGURA 3-	REPRESENTAÇÃO DAS FORMAS DO FOSFATO NO SOLO EM RELAÇÃO AO pH.....	16
FIGURA 4-	EFEITO DO pH NA ABSORÇÃO OU PRECIPITAÇÃO DO P .....	22
FIGURA 5-	REPRESENTAÇÃO DA LIBERAÇÃO DO FOSFATO PELA SUBSTITUIÇÃO POR ÂNIONS ORGÂNICOS DO SOLO .....	23
FIGURA 6-	INFLUÊNCIA DA LIGNINA E DO HÚMUS EM IMPEDIR A FIXAÇÃO DO FOSFATO.....	24
FIGURA 7-	REAÇÕES DE MINERALIZAÇÃO E DE IMOBILIZAÇÃO DO FÓSFORO E DO NITROGÊNIO .....	27
FIGURA 8-	RELAÇÃO FONTE-DRENO DE P EM SOLOS COM DIFERENTES TEORES DE ARGILA EM DIFERENTES ESTÁDIOS DE INTEMPERISMO .....	32
FIGURA 9-	REAÇÃO DE FORMAÇÃO DO MAP .....	35
FIGURA 10-	MUDANÇA NA SOLUBILIZAÇÃO DO FOSFATO DICÁLCIO DI-HIDRATADO DEVIDO A REAÇÃO COM $\text{CaCO}_3$ .....	38
FIGURA 11-	MÉDIAS MENSAIS DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA EM PONTA GROSSA.....	53
FIGURA 12-	CROQUI DA ÁREA EXPERIMENTAL .....	56



FIGURA 13-	pH CaCl <sub>2</sub> EM DIFERENTES PROFUNDIDADES DO SOLO APÓS A APLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS (MÉDIA DE 4 REPETIÇÕES) .....	67
FIGURA 14-	COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (r) ENTRE DOSES CRESCENTES DE BISSÓLIDO ALCALINIZADO COM pH CaCl <sub>2</sub> DA CAMADA DE 0-5 cm DO PERFIL DO SOLO (MÉDIA DE 4 REPETIÇÕES) .....	69
FIGURA 15-	P-EXTRAÍVEL EM DIFERENTES PROFUNDIDADES DO SOLO APÓS A APLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS (MÉDIA DE 4 REPETIÇÕES) .....	71
FIGURA 16-	COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (r) ENTRE DOSES CRESCENTES DE BISSÓLIDO ALCALINIZADO COM P-EXTRAÍVEL DA CAMADA DE 0-5 cm DO PERFIL DO SOLO (MÉDIA DE 4 REPETIÇÕES) .....	73
FIGURA 17-	COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (r) ENTRE OS TEORES DE P-EXTRAÍVEL NA CAMADA DE 0-5 cm DO SOLO COM A CONCENTRAÇÃO (MÉDIA DE 4 REPETIÇÕES) DE P DO LIMBO FOLIAR DA PLANTA-TESTE DOS TRATAMENTOS .....	75
FIGURA 18-	C-ORGÂNICO OXIDÁVEL EM DIFERENTES PROFUNDIDADES DO SOLO APÓS A APLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS (MÉDIA DE 4 REPETIÇÕES).....	77
FIGURA 19-	COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (r) ENTRE DOSES CRESCENTES DE BISSÓLIDO ALCALINIZADO COM C-ORGÂNICO DA CAMADA DE 0-5 cm DO PERFIL DO SOLO (MÉDIA DE 4 REPETIÇÕES) .....	79
FIGURA 20-	EFEITOS DOS TRATAMENTOS NA PRODUTIVIDADE DO MILHO .....	80

## DEDICATÓRIA

Dedico esta obra aos meus pais,  
*MÁRIO E DARCI,*  
pela compreensão, incentivo e dedicação,

E aos meus irmãos  
*ALEXANDRA, ALINE E ANDRÉ,*  
pelos conselhos, carinho e apoio.

## AGRADECIMENTOS

Professor *Luiz Antonio Corrêa Lucchesi*, sou muito grata por acreditar no meu potencial ao me aceitar como aluna orientada, pelos ensinamentos e pelo rigor exigido durante a execução desta dissertação. O professor fez deste trabalho além de uma especialização, uma lição de vida. Tenho certeza de que esta experiência será muito importante para minha carreira profissional.

Agradeço a *Universidade Federal do Paraná*, respeitosa instituição, que me forneceu as ferramentas básicas para o desenvolvimento deste estudo, e aos empresários *Heitor Calle Filho* e *Antônio Carlos Lacerda*, por fornecerem o espaço físico para a instalação do experimento.

Foi uma grande honra a presença dos professores *Cleverson Vítório Andreoli* e *Marcelo Cabral Jahnel* na banca examinadora. Agradeço-os pelas valiosas sugestões propostas.

Agradeço a todos os professores do Departamento de Solos desta instituição, em especial aos professores que tenho muito respeito, carinho e admiração *Carlos Bruno Reissmann* e *Beatriz Monte Serrat*.

Agradeço aos laboratoristas *Rui, Reginaldo, Roberto e Aldair*, pela grande ajuda e empenho durante as análises químicas. Também agradeço as bibliotecárias, pela atenção e simpatia.

Agradeço aos estagiários, em especial à estagiária *Celina R. Rodriguez*, pela grande ajuda e esforço.

*Charles Carneiro*, fica difícil transpor neste parágrafo a imensurável importância que você teve em todas as etapas desta dissertação. Certamente serei eternamente grata, muito obrigada!

Meus amigos *Marcialene* e *Jetro*, obrigada pelo companheirismo e pelas piadas nos momentos mais tranquilos e nos mais trabalhosos.

Muito obrigada *Ana Paula Baldan*, pela sincera amizade e pelas palavras de “força”, que foram fundamentais.

*DEUS*, muito obrigada por se manifestar indiretamente, colocando em meu caminho amigos, que serviram-me como seu instrumento de paz, ajuda, força e tranquilidade, para vencer esta importante etapa da minha vida.

## RESUMO

Este estudo procurou registrar o efeito da aplicação do lodo de esgoto estabilizado alcalinamente pelo Processo N-Viro (biossólido alcalinizado) sobre a disponibilidade de P-extraível por Mehlich-1 (HCl 0,05N + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,025N), no perfil de um cambissolo háplico, sob plantio direto e alguns parâmetros (pH e C) intervenientes com a disponibilização para a planta. A planta-teste utilizada foi o milho (*Zea mays* L.), em área experimental localizada no município de Palmeira/PR. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com 6 tratamentos e 4 repetições. Os tratamentos foram compostos pela aplicação de diferentes doses de biossólido alcalinizado (0,0, 0,34, 0,68, 1,40, 2,64 e 0,50 Mg ha<sup>-1</sup>), aliadas à aplicação de 120, 98 e 100 kg ha<sup>-1</sup> de uréia, MAP e KCl para todos os tratamentos, à exceção do último que recebeu 70% daquela dose. Após a colheita do milho, foram coletadas amostras compostas do solo, estratificadas em 7 profundidades, onde foram determinados os teores de P-extraível por Mehlich-1, pH CaCl<sub>2</sub> e C-orgânico oxidável. Não foram encontradas diferenças significativas ( $F_{<0,05}$ ) entre os teores médios de P-extraível na camada de 0-5cm do solo, em função das doses crescentes de biossólido alcalinizado. Os valores de pH e C também não mostraram diferenças significativas ( $F_{<0,05}$ ) na camada de 0-5 cm do solo. O fato de não haver diferenças significativas nos teores de P entre os tratamentos pode estar relacionado com os seguintes fatores: i) baixas doses de biossólido; ii) pH da camada superficial do solo, pouco favorável para solubilizar o P; iii) baixa eficiência relativa aliada a aplicação superficial, sem incorporação do biossólido alcalinizado; iv) breve tempo de avaliação. Adicionalmente, não houve correlação significativa entre os teores de P-extraível da camada de 0-5 cm do solo, com o P do limbo foliar do milho. Entretanto foram observadas tendências de aumento dos teores de P-extraível na camada de 0-5 cm em função das doses crescentes de biossólido, constatadas através de correlações significativas ( $r$  0,89).

**Palavras Chave:** P extraível; Processo N-Viro; Biossólido alcalinizado; Plantio direto.

## ABSTRACT

This study intended to evaluate the application effect of a sewage sludge stabilized by the N-Viro Process (N-Viro Soil) on the availability of soil P extracted with Mehlich-1 (HCl 0,05N + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,025N) from the profile of an inceptisol cultivated with corn (*Zea mays* L.) under no-till, and on the soil pH in CaCl<sub>2</sub> and on the soil organic C. The experimental area was conducted at the municipal district of Palmeira, Paraná, Brazil, under a randomized complete block design with 6 treatments and 4 repetitions. The treatments were composed by doses of the N-Viro Soil (0; 0.3; 0.7; 1.4; 2.6 and 0.5 Mg ha<sup>-1</sup>) surface broadcasted with 120, 98 and 100 kg ha<sup>-1</sup> of urea, MAP and KCl respectively, excepting the last treatment which received 70% of those doses. The biosolid was originated from the city of Curitiba PR, Brazil. Samples were taken from 7 depths of the soil profile, before planting and after the crop harvest. The results did not differ significantly ( $F_{<0,05}$ ) among the treatments for pH CaCl<sub>2</sub>, extractable P and C. The reasons for that were probably due to the following factors: i) the low doses of the applied biosolid; ii) the high pH of the soil surface which is not favorable to increase P solubility; iii) the low fineness factor of the N-Viro Soil and its surface application reduced its dissolution rate; iv) the short experimentation time. In addition, there was not significant correlation between the 0-5 cm P extractable levels, and the corn P leaf levels. Although have been observed tendency of increase of contents of extractable P in layer of 0-5 cm in function of the amount of biosolids alkaline, established across of correl (r 0,89).

**Index Words:** Extratable P; N-Viro Process; Sewage sludge; Alkaline; No-till

## 1 INTRODUÇÃO

Esgotos urbanos e industriais, quando não coletados e, ou tratados inadequadamente, oferecem riscos de contaminação da água, do solo, e ainda da população, tornando necessário planejar e adotar técnicas para seu tratamento, estabilização, higienização e disposição final.

O processo de tratamento de esgotos gera ao seu final um resíduo sólido denominado lodo de esgoto, cuja disposição final é problemática em função do grande volume produzido diariamente (LARA, 2001). Atualmente no Brasil, estes resíduos urbanos têm sido descartados em aterros sanitários ou depositados em lagoas, representando um risco de contaminação ambiental e humana. Para tanto, outros destinos podem ser dados a estes resíduos, tais como: a incineração, alternativa que requer alto grau de tecnologia e apresenta alto custo; e a reciclagem na construção civil, assim como em solos agrícolas tornando-se uma promissora opção para auxiliar na diluição de pontos onde estes passivos ambientais encontram-se concentrados (LUCCHESI, 1997).

Conforme orientação da Water Environmental Federation (WEF, 1998), caso os lodos de esgoto apresentarem uma composição predominantemente orgânica e sejam passíveis de terem “utilização benéfica”, podem estes passarem a ser denominados de bioestabilizado de esgoto (ANJOS, 1999; LUCCHESI, 1998; ANDREOLI; PEGORINI, 1998; LUDUVICE, 1998). O grau de estabilização e de higienização deste material pode torná-lo apto à disposição em solos agrícolas. No entanto, para se viabilizar a aplicação dos bioestabilizados de esgotos em solos agrícolas, se faz necessário conhecer os fatores que envolvem tal prática, que em parte diferem-se pelo tratamento (físico, químico ou biológico) a que foram submetidos.

Por falta de conservação, muitos solos brasileiros estão entrando em processo de degradação, com redução significativa dos teores de matéria orgânica, tornando estes solos mais susceptíveis a erosão, responsável por causar impactos ambientais por assorear e contaminar rios e lagos, também diminui a capacidade de produção dos solos, e ainda, é o principal mecanismo do fósforo oriundo de solos agrícolas contaminar as águas superficiais, fenômeno este, que tem se tornado frequente nos reservatórios de água em todo o mundo.

O uso de biossólidos em solos agricultáveis proporciona melhorias nas características químicas (CANZIANI et al., 2001; LUCCHESI, 1997; BURNHAM et al., 1992a), físicas (LOGAN; HARRISON, 1995), e biológicas (ANDREOLI, 1988), dos solos, podendo também promover aumentos na sua produtividade (WIETHÖLTER et al., 1994), desde que estes sejam adequadamente estabilizados e higienizados. Esta prática vem tornando-se uma importante e promissora opção para em parte, sanar o problema de sua disposição final no Estado do Paraná. Porém, para alcançar os benefícios preconizados por esta prática, deve-se evitar a erosão das camadas superficiais do solo.

Sabe-se, que a utilização de resíduos urbanos em solos agrícolas é uma opção para minimizar os problemas de descarte desses resíduos, além de possibilitar melhor aproveitamento de nutrientes pela ação da matéria orgânica. Também diminui os custos de produção pela redução da necessidade de aplicações de fertilizantes minerais no solo, gerando sistemas auto-sustentáveis, utilizando racionalmente os insumos agrícolas.

Em razão disso, muitos estudos avaliando diferentes técnicas de estabilização e higienização, vêm sendo testados, bem como o efeito de sua aplicação ao solo. Dentre estas insere-se o processo de “Estabilização Alcalina Avançada com Subseqüente Secagem Acelerada” (Processo N-Viro), responsável por diminuir significativamente o teor de umidade, alcançar elevado grau de desinfecção e de indisponibilização de metais (BURNHAM et al., 1992; LUCCHESI, 1995).

O custo gerado pela aplicação de bio sólidos em solos agrícolas, poderia ser reduzido quando, estes puderem substituir os fertilizantes minerais e corretivos na neutralização da acidez do solo. Assim tratados, os bio sólidos adicionados aos solos agrícolas, são fontes de matéria orgânica, reagentes alcalinos e de nutrientes para plantas, tanto para solos conduzidos sob sistema de cultivo convencional, como também, para solos sob sistema de cultivo em plantio direto.

Dentre os elementos de valor agrônômico presentes no lodo, o fósforo assim como o nitrogênio, são os nutrientes de grande relevância. O fósforo, objeto deste estudo, é um elemento fundamental e insubstituível para o metabolismo das plantas. Geralmente, os solos paranaenses apresentam baixos teores deste elemento. Desta forma, para viabilizar a produção agrícola nestes solos usualmente adiciona-se elevadas quantidades de fertilizantes fosfatados, aumentando os custos de produção.

Apesar de existir diversos estudos relacionando o comportamento do bio sólido alcalinizado no sistema solo-planta, ainda existem muitas dúvidas e questões a serem testadas, comprovadas e esclarecidas, devido à complexidade do assunto, o que em parte justifica o presente estudo.

Este estudo está inserido em um projeto que visou testar em escala piloto a utilização do bio sólido alcalinizado (N-Viro Soil-Belém/2001), procurando proporcionar condições reais de campo em lavouras altamente produtivas sob sistema de plantio direto, de forma a conhecer a problemática e as ações necessárias para a adoção dessa tecnologia em escala real.



## 1.1 OBJETIVOS

Avaliar o efeito da aplicação superficial de lodo de esgotos estabilizado alcalinamente pelo Processo N-Viro (biossólido alcalinizado), em adição ou substituição parcial a adubos sintéticos, sobre os teores de P-extraível por Mehlich-1, nas camadas do perfil de um cambissolo háplico, bem como sobre o pH  $\text{CaCl}_2$  e teores de carbono-orgânico do solo.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Avaliar a distribuição de P-extraível por Mehlich-1 em 7 camadas do perfil de um cambissolo háplico após a aplicação de biossólido alcalinizado (N-Viro Soil/Belém-2001) e a biodisponibilidade de P neste material, resultante do tratamento de lodo de esgoto pelo “Processo de Estabilização Alcalina Avançada com Subsequente Secagem Acelerada” (Processo N-Viro), em doses crescentes e em substituição parcial a de adubos sintéticos (uréia, KCl e MAP) em área agrícola sob plantio direto.

Avaliar os efeitos da aplicação de biossólido alcalinizado (N-Viro Soil/Belém-2001) nos atributos químicos do solo: pH  $\text{CaCl}_2$  e C-orgânico oxidável.

Correlacionar as doses crescentes de biossólido alcalinizado com o P-extraível por Mehlich-1, pH  $\text{CaCl}_2$  e C-orgânico oxidável da camada de 0-5 cm do solo.

Correlacionar o P-extraível por Mehlich-1 do solo da camada de 0-5 cm com o conteúdo total de P foliar de milho.

Verificar o efeito da aplicação das doses crescentes de biossólido alcalinizado na produtividade do milho.

### 1.3 HIPÓTESE

Aplicando-se doses crescentes de lodo de esgoto tratado pelo Processo N-Viro (biossólido alcalinizado ou N-Viro Soil/Belém-2001), sobre a superfície do solo em área cultivada sob plantio direto, poderá ocorrer a elevação do pH do solo, devido ao elevado poder de neutralização deste material, que lhe é conferido pela alta concentração de Ca, pela presença de hidróxidos, carbonatos e sulfatos de Ca, favorecendo à dessorção e a solubilização de P para a solução do solo. Então, conjectura-se que este material (N-Viro Soil/Belém-2001) poderá ser utilizado como substituto de corretivos da acidez do solo e como fonte complementar à adubação sintética.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE A DISPOSIÇÃO DO LODO DE ESGOTO EM SOLOS AGRÍCOLAS

A Estação de Tratamento de Esgoto Belém de Curitiba (ETE – Belém), produz em média  $70 \text{ Mg dia}^{-1}$  de lodo aeróbio pastoso (SANEPAR, 1997), que fica provisoriamente estocado, para descarte. Segundo ANDREOLI e PEGORINI (1998) o lodo de esgoto apresenta composição variável e alto risco de poluir o ambiente. Algumas alternativas de descarte para lodos de esgoto, como a disposição oceânica, em aterros sanitários ou a incineração, estão sendo limitadas ou até mesmo proibidas em alguns países, por apresentarem riscos de contaminação ambiental. Entretanto, a reciclagem destes resíduos em solos agrícolas, e também na recuperação de áreas degradadas, vem se tornando a melhor opção dentre outras existentes (LUCCHESI, 1998), e vem sendo utilizada pela ETE - Belém.

Tal prática vem se constituindo em promissora solução para reduzir o volume de lodo de esgotos onde muitas vezes hoje, se encontram acumulados em determinadas áreas, contribuindo para diminuir o risco de contaminação ambiental e humana, ao mesmo tempo em que contribui para com a agricultura, ao se melhorar algumas das propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos, e de substituir em parte o uso de adubos (MELO et al., 1994).

Porém, lodo de esgoto deve, antes de ser aplicado ao solo, receber tratamento químico, físico ou biológico, a fim de ser estabilizado e reduzir seu potencial contaminador. A digestão aeróbia e anaeróbia, a estabilização alcalina (LOGAN; HARRISON, 1995; LUCCHESI, 1997; McBRIDE, 1998), a compostagem (LUCCHESI, 1997; BLEY, 1998; ILHENFELD; ANDREOLI; LARA, 1999) e a secagem térmica, destacam-se como principais processos de estabilização e de higienização destes materiais.

Estas técnicas de estabilização do lodo vêm sendo cuidadosamente avaliadas e testadas, quanto ao seu potencial de redução de odores, nível de redução dos patógenos e parasitas, e aos riscos representados pela presença de metais pesados (JAHNEL, 1998). O grau de estabilização do lodo está vinculado ao tipo de destino final que este resíduo irá receber. Na aplicação direta do lodo de esgoto em solos agrícolas, a estabilização está ligada a indicadores que poderão ocasionar problemas de odores e atração de vetores (LUCCHESI, 1998).

### 2.1.1 Processo N-Viro

O Processo N-Viro, também é conhecido como Processo de Estabilização Alcalina Avançada com Subsequente Secagem Acelerada, foi desenvolvido pelo Dr. Jeffrey Burnham e pela N-Viro Energy Systems (BURNHAM et al., 1992a). Este processo baseia-se, segundo YAMAKAWA (1999), McBRIDE (1998), RICHARDS et al. (1997), LOGAN e HARRISON (1995), BURNHAM et al. (1992a), na mistura de lodo de esgoto desidratado mecanicamente com materiais alcalinos, aonde há a secagem acelerada (temperatura entre 52 a 62°C, mantida por 12h), liberação de amônia, aumento na concentração de sais e promoção de microflora indígena. Os principais benefícios deste processo são: pasteurização do lodo, redução dos odores a níveis aceitáveis, alto conteúdo de  $\text{Ca(OH)}_2$  e  $\text{CaCO}_3$ , elevado poder de neutralização; granular, de fácil manipulação, com 63% de sólidos totais, consideráveis teores de N, P, e K, alta carga de compostos orgânicos, reduzida carga de patógenos em razão de seu pH 12,0 (TSUTYA, 2000; LUCCHESI, 1997).

Adicionalmente, o lodo de esgoto quando tratado alcalinamente pelo Processo N-Viro, gera o N-Viro Soil, o qual possui a capacidade de alterar as características físicas e químicas do solo, por aumentar o pH e precipitar  $\text{Al}^{+3}$  para  $\text{Al(OH)}_3$  (McBRIDE, 1998).

No Processo N-Viro, o CKD (pó de fornos de indústrias de cimento) é um dos componentes adicionados ao lodo de esgoto, por conter significativos teores de  $K_2O$  (1-15%), macronutriente vegetal essencial, e que normalmente encontra-se em baixo teor nos lodos, conferindo ao N-Viro Soil, conteúdo de nutrientes mais equilibrados que do lodo antes do tratamento (BURNHAM et al., 1992b).

A aplicação do reagente alcalino  $CaO$ , no lodo de esgoto, reage com a água, formando o hidróxido de cálcio ( $Ca(OH)_2$ ), base que possui pH de equilíbrio em  $H_2O$  de 12,0 ou mais, mas que se carbonata com o tempo, passando para a forma de  $CaCO_3$ , um sal menos solúvel, cujo pH de equilíbrio reduz-se para aproximadamente 8,3. A Tabela 1 relaciona os ingredientes alcalinos adicionados em lodos de esgoto pelo Processo N-Viro.

TABELA 1 - CARACTERÍSTICAS E REAÇÕES DOS REATIVOS ALCALINOS ADICIONADOS EM LODOS DE ESGOTO NO “Processo N-Viro”

INGREDIENTES	REAÇÕES
CKD ( $CaCO_3$ , $CaO$ e $K_2O$ )	
$CaCO_3$ →	$Ca^{+2} + CO_3^{-2} \Rightarrow pH = 8,5$
$CaO + H_2O$ →	$Ca(OH)_2 + calor$
$Ca(OH)_2$ →	$Ca^{+2} + 2^0H^- \Rightarrow pH = 12,5$

FONTE: LOGAN e HARRISON (1995) e BURNHAM et al. (1992b).

O comportamento e a eficiência do biossólido alcalinizado após serem adicionados ao solo, dependem de algumas características, como do processo de estabilização e higienização, da origem do lodo, da natureza química dos neutralizantes, do poder de neutralização, de sua solubilidade e granulometria (VELOSO et al., 1992) e ainda, de seus teores de nutrientes. No entanto, a disponibilidade dos elementos às plantas a partir de lodos aplicados ao solo depende em parte da forma como foram estabilizados.

Para otimizar o uso do lodo de esgoto tratado (biossólido de esgoto) na produção agrícola e ainda, para prevenir problemas ambientais, é necessário realizar frequente monitoramento da área (RAIJ, 1998).

A mineralização do N-orgânico (No) assim como do P-orgânico (Po) é essencial para que estes nutrientes estejam disponíveis para as plantas. Já o K, por apresentar-se de forma inorgânica nos lodos de esgoto, encontra-se prontamente disponível para as plantas (PIERZYNSKI<sup>1</sup>, 1994, citado por DESCHAMPS; FAVARETTO, 2001).

#### 2.1.2 Efeitos do Uso de Lodo de Esgoto Urbano Estabilizado Alcalinamente em Solos Agrícolas

A aplicação em solos agrícolas de lodo de esgoto urbano estabilizado alcalinamente pelo Processo N-Viro (biossólido alcalinizado), traz uma série de benefícios, dentre os quais, destacam-se a promoção de melhorias das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (RAIJ, 1998; PIERZYNSKI<sup>1</sup>, 1994, citado por DESCHAMPS; BETTIOL et al., 1983).

##### 2.1.21 Efeito da aplicação do biossólido alcalinizado nas propriedades físicas do solo

A matéria orgânica (M.O.) advinda do biossólido alcalinizado pode exercer efeitos benéficos ao solo nas propriedades físicas, por promover maior agregação das partículas do solo, por melhorar a capacidade de retenção de água e por aumentar a estabilidade dos agregados, contribuindo com a prevenção à erosão (BOSSCHE et al., 1999; SANCHEZ, 1976).

---

<sup>1</sup>PIERZYNSKI, G.M. Plant nutrient aspects of sewage sludge. In: CLAPP, C.E.; LARSON, W.E. e DOWDY, R.H. Sewage sludge: land utilization and the environment. Madison: American Society of Agronomy, p. 21-25, 1994.

A importância da matéria orgânica na recuperação da produtividade do milho em solos erodidos foi verificada através de um estudo realizado por SPAROVEK et al. (1991), no qual os tratamentos compostos por esterco, materiais alcalinos e fertilizantes minerais, apresentaram melhores resultados na produtividade do milho que os tratamentos que receberam apenas materiais alcalinos e fertilizantes minerais.

#### 2.1.22 Efeito da aplicação do biossólido alcalinizado nas propriedades químicas do solo

Assim tratado, o biossólido alcalinizado pode ser utilizado como um material capaz de corrigir a acidez do solo e precipitar  $Al^{+3}$  para  $Al(OH)_3$  (McBRIDE, 1998), pelo alto conteúdo de  $Ca(OH)_2$  e  $CaCO_3$  e pelo elevado poder de neutralização (TSUTYA, 2000; LUCCHESI, 1997).

A matéria orgânica presente neste material pode controlar a variação do pH do solo, devido a seu efeito tampão, colaborar com a capacidade de troca de cátions do solo e com a capacidade de troca de ânions e por aumentar a disponibilização de macro e micronutrientes importantes para a nutrição das plantas.

Segundo CANZIANI et al. (2001), o lodo de esgoto aeróbio da ETE-Belém, após receber tratamento alcalino apresenta teores médios de N,  $P_2O_5$  e  $K_2O$  na matéria seca respectivamente de 2,5%, 0,9% e 0,2%, e que, 1,25% de N e 0,45% de P estariam disponíveis para as culturas no primeiro ano de aplicação.

#### 2.1.23 Efeito da aplicação do biossólido alcalinizado nas propriedades biológicas do solo

Por fornecer nutrientes elementares para o metabolismo dos microrganismos, desta forma, promovendo o estímulo e o aumento da atividade da biomassa microbiana do solo (LUCHESE; FAVERO; LENZI, 2001).



### 2.1.3 Fósforo nos Biossólidos

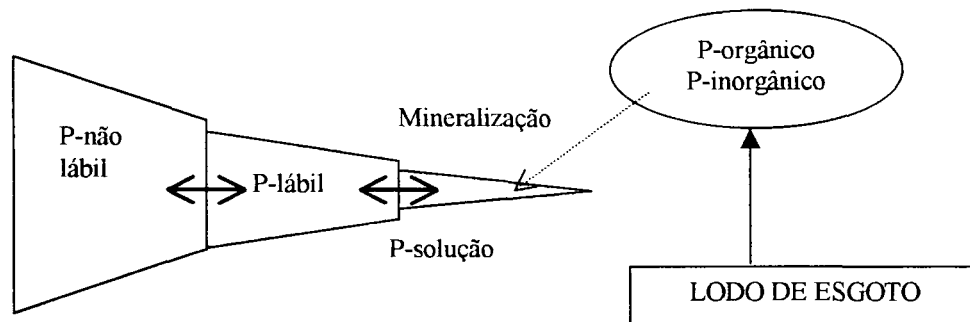
O P pode estar presente nos lodos de esgotos urbanos sob formas orgânicas e inorgânicas e provém de dejetos humanos e de animais, de corpos microbianos e de detergentes e sabões que utilizam os fosfatos como aditivos (ANDREOLI; PEGORINI; FERNANDES, 2001).

Lodos aeróbios apresentam altos teores de P (1,61% de P-total). No entanto, pouco se sabe sobre a quantidade de P que realmente tornar-se-á disponível para as plantas após sua adição ao solo. Por outro lado, a estabilização química de biossólido de esgoto através da adição de componentes alcalinos, pode reduzir significativamente a disponibilidade de P derivado deste resíduo orgânico, através da formação de compostos de P de baixa solubilidade. Normalmente estima-se que a biodisponibilidade de P-total varia de 40 a 80% (FERNANDES et al., 1997). Em geral, assume-se que 20 a 50% do P-total do biossólido de lodos de esgoto esteja disponível para a planta no primeiro ano de cultivo (SANEPAR, 1997).

Diversos estudos sobre o efeito da aplicação de lodos de esgoto sobre as características químicas de diferentes solos têm sido conduzidos considerando-se, tipos e origem de resíduos, dosagens, culturas e condições climáticas (LUCCHESI, 1997, 1995; ANDREOLI, 1998; ANJOS, 1999). MAZUR, SANTOS e VELOSO (1983a) verificaram que a aplicação de composto de lixo urbano ao solo pode aumentar a disponibilidade de P, fato este, relacionado com a diminuição da fixação do P e/ou à mineralização da matéria orgânica. ANDREOLI (1988), em experimento conduzido in vitro, ao se utilizar de lodos de esgoto e de lodo com fosfato natural, não observou diferença na solubilização tanto do P-orgânico ( $P_o$ ) quanto na de P-inorgânico ( $P_i$ ), em razão dos níveis iniciais de P solúvel ou de indução pela rizosfera.

O lodo de esgoto apresenta uma liberação lenta e contínua do P para a solução do solo, podem auxiliar na solubilização do P-mineral, através dos ácidos liberados durante o processo de decomposição da M.O., podem fixar o P presente na solução do solo e podem ainda, revestir os componentes do solo que fixam o P-mineral (ANDREOLI; PEGORINI; FERNANDES, 2001). A Figura 1, ilustra o reservatório de P no solo e a atuação do lodo de esgoto.

FIGURA 1 - ATUAÇÃO DO BIODISSÓLIDO SOBRE A DISPONIBILIDADE DE P NO SOLO



FONTE: ANDREOLI, PEGORINI e FERNANDES (2001) (modificado)

Quanto ao P contido em N-Viro Soils, pode-se dizer que sua maior parte provém dos lodos de esgotos. Devido às características do Processo N-Viro, a disponibilidade do P originado dos biofóssidos é inicialmente reduzida no N-Viro Soil pelo alto pH desse produto, sendo parte deste convertido para fosfatos de Ca (N-VIRO, 1999; BURNHAM et al., 1992a). Segundo YAMAGUCHI (1999) o teor total de P no N-Viro Soil varia de 0,2 a 1,1%, com uma média de 0,4%. Estudos realizados a campo têm mostrado que dosagens de N-Viro Soil para suprir o solo em P pode variar de 4 a 40 Mg ha<sup>-1</sup> (BURNHAM et al., 1992a).

## 2.2 FORMAS DE OCORRÊNCIA DO P NO SOLO

O P elementar é muito reativo quimicamente, desta forma encontra-se na natureza combinado com outros elementos. Segundo LOPES (1989) a disponibilidade de P no solo depende da sua quantidade, tipo de argila, época, forma e fonte do fertilizante fosfatado aplicado, grau de aeração, de compactação, umidade do solo, quantidade de P presente no solo, temperatura, cultura cultivada, presença de outros nutrientes bem como do pH do solo.

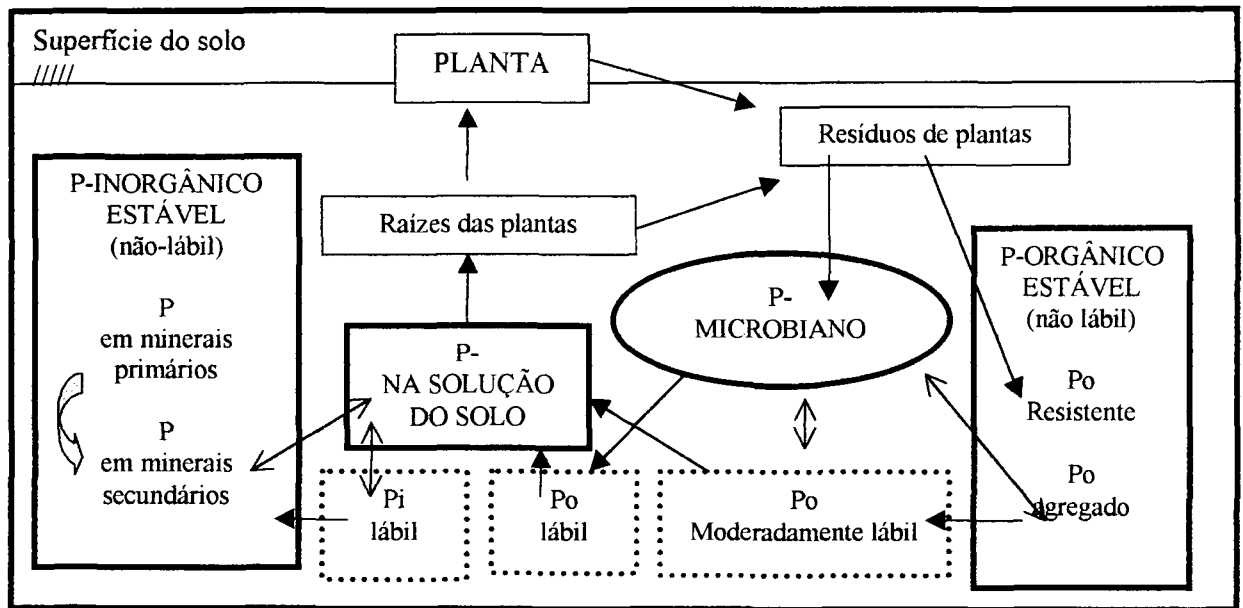
Grandes perdas ocorrem tanto pela erosão das camadas superficiais como pela colheita da cultura. Em geral o ciclo do P se resume a transformações biológicas, inter-relações solo-planta e reações dos fosfatos (STEVENSON, 1986).

Segundo STEVENSON (1986), o P pode estar presente no solo, na formas:

- a) Orgânicas e inorgânicas na solução do solo;
- b) Fracamente adsorvidas (P-lábil);
- c) Fosfatos insolúveis (P-não lábil):
  - Fosfatos de Ca em solos calcáreos ou alcalinos;
  - Fosfatos de Al ou Fe em solos ácidos.
- d) Fosfato fortemente adsorvido ou ocluso pelos hidróxidos de Fe e Al;
- e) Fosfato fixado aos minerais silicatados;
- f) Formas orgânicas insolúveis:
  - Na biomassa ativa do solo;
  - Em resíduos de plantas ou de animais em decomposição;
  - Como parte constituinte da matéria orgânica do solo (húmus).

O termo “lábil” é aplicado para o P-orgânico (Po), facilmente mineralizável e para fosfatos fracamente adsorvidos (Pi). Cerca de 1 a 2 % do P presente no solo ocorre nos tecidos microbianos e mais de 90% do P no solo apresenta-se como formas insolúveis ou fixadas (STEVENSON, 1986). A Figura 2 representa o sistema adotado por STEVENSON (1986), na qual destacam-se as relações entre as frações e reservatórios de formas orgânicas e inorgânicas de P no solo.

FIGURA 2 - DIAGRAMA DO CICLO DO FÓSFORO E SUAS FORMAS



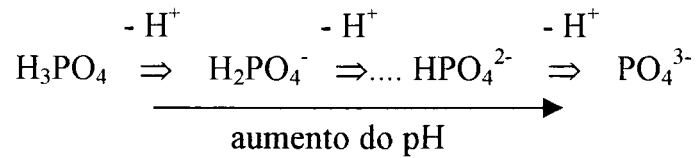
FONTE: STEVENSON, 1986 (modificado)

### 2.2.1 P da Solução do Solo

A solução do solo apresenta baixas concentrações de P ( $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ ), muitas vezes em níveis insuficientes para suprir as necessidades nutricionais das plantas (RAIJ, 1991). A concentração total de P na superfície varia de 0,02 e 0,10% (TISDALE et al., 1985), e a quantidade de P solúvel ou na solução do solo está em equilíbrio com a quantidade de Pi-lábil ou com Po-lábil e pode ser absorvido pelo sistema radicular das plantas, ser imobilizado pelos microrganismos ou fixado. Estas transformações são relativamente rápidas.

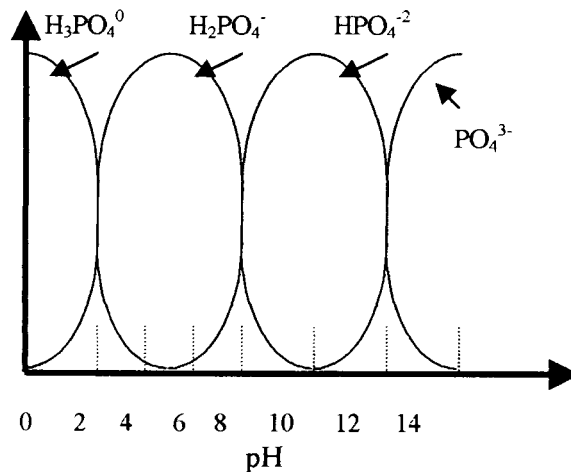
O P presente na solução do solo é afetado pela taxa de mineralização ou imobilização do Po promovido pela ação dos microrganismos ou por certos ácidos orgânicos, resultantes da decomposição de resíduos orgânicos ou pelo equilíbrio químico entre o P da solução e o Pi-lábil (STEVENSON, 1986).

O íon fosfato na solução varia com pH do solo. A dissociação do ácido fosfórico ou as alterações do pH da solução segue a seguinte ação esquemática:



A Figura 3, demonstra variação das formas de fosfato em função do pH do meio.

FIGURA 3 - REPRESENTAÇÃO DAS FORMAS DO FOSFATO NO SOLO EM RELAÇÃO AO pH



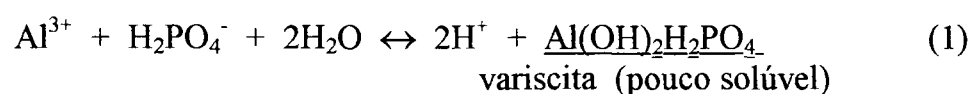
FONTE: STEVENSON (1986)

Sabe-se que a forma predominante de P em solos com pH na faixa 4,0 e 5,0 é  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ . A medida que o pH se eleva tem-se a formação  $\text{HPO}_4^{2-}$  e  $\text{PO}_4^{3-}$ . Aproximadamente 95% do fosfato ocorre na forma iônica  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  em pH 6,0 (STEVENSON, 1986).

### 2.2.2 Fósforo Inorgânico (Pi)

Os minerais fosfatados de natureza primária são as apatitas, um complexo composto por fosfato tricálcico que tem sua fórmula empírica  $3[\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2] \cdot \text{CaX}_2$ , onde representa o  $\text{Cl}^-$  nas cloro-apatitas,  $\text{F}^-$  nas flúor-apatias, o  $\text{OH}^-$  nos hidróxido-apatitas ou o  $\text{CO}_3^{2-}$  nos carbonato-apatitas (MELLO et al., 1984). Grande parte do Pi do solo provém da intemperização da apatita, que libera o ortofosfato em estado oxidado e que, de acordo com as condições do meio, pode então ser adsorvido às partículas coloidais do solo, formar minerais secundários, ou ser absorvido por plantas e microrganismos, passando então para a forma orgânica. A magnitude desta retenção depende da participação da matéria orgânica, do tipo de argila, do grau de cristalização e dos teores de óxidos e hidróxidos de Fe e Al presentes.

A ordem preferencial de adsorção de ânions pelo solo é, segundo PARFITT (1978), a seguinte: fosfato > arseniato > selenito = molibdato > sulfato = fluoreto > cloreto > nitrato. Este tipo de adsorção do fosfato se dá pela substituição de grupos  $\text{OH}^-$  da superfície dos cristais; pela reação com Fe e Al nos bordos dos cristais; pela substituição de hidroxilas da superfície da caulinita por tetraedros de fosfato. Existem altas correlações entre fósforo fixado e teor de argila. As argilas 1:1 teoricamente fixam mais fósforo que as argilas 2:1, devido a maior exposição de grupos  $\text{OH}^-$ . Os óxidos hidratados de Fe, Al, Mn, entre outros, sobretudo os 2 primeiros, podem adsorver os íons fosfato ( $\text{H}_2\text{PO}_4^- / \text{HPO}_4^{2-} / \text{PO}_4^{3-}$ ), assim como o Al e o Fe livres na solução do solo, podem precipitar os fosfatos adicionados ao solo (Equação 1). Argilas silicatadas e solos ricos em  $\text{CaCO}_3$  também podem adsorver os fosfatos (SANCHEZ, 1976).



TISDALE et al. (1985)

Foi verificado por MOREIRA et al. (1991), que a maior parte do P adicionado ao solo foi convertida em formas de P-Al e P-Fe, evidenciando a importância dos sesquióxidos de Fe e Al na adsorção do P. No geral, todo o Pi presente no solo está sob a forma de ortofosfatos, de derivados do ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ) ou como fosfato de Ca, Al e Fe. Ao fracionarem o P inorgânico-total (Pi-total), ADEPETU e COREY (1976), verificaram que o P-Al representava 20%; P-Fe 49%; P-Ca 5% e P-ocluído 26%, e que as ligações de P-Fe são mais importantes em solos tropicais muito intemperizados.

As formas de Pi podem ser divididas segundo SANCHEZ (1976) em 3 frações ativas (P-Ca, P-Al e P-Fe) e 2 formas relativamente inativas (formas oclusas P-Al) e formas solúveis reduzidas (P-Fe). A intensidade da fixação de acordo com a mineralogia é a de óxidos amorfos (alofano), > óxidos cristalinos (gibbsite, goethita) > argilas 1:1 > argilas 2:1.

Na Tabela 2 tem-se a interpretação dos resultados da análise do solo para os teores de P disponível em solos arenosos e argilosos em alguns Estados do Brasil.

TABELA 2 - INTERPRETAÇÃO DOS TEORES DE P DISPONÍVEL EM ALGUNS ESTADOS DO BRASIL

RIO GRANDE DO SUL		OUTROS ESTADOS	
Solo arenoso	Solo argiloso	Qualquer solo	INTERPRETAÇÃO
ppm	ppm	ppm	
0 – 10	0 – 4	-	Muito baixo
10,1 – 20	4,1 – 8	< 10	Baixo
20,1 – 30	8,1 – 12	11 – 30	Médio
> 30	> 12	> 30	Alto

FONTE: MELLO et al. (1984)

### 2.2.3 Fósforo Orgânico (Po)

De 20 a 50% do P-total no solo ocorre em formas orgânicas (SANCHEZ, 1976). Os compostos de P identificados nos resíduos orgânicos são os fosfatos de inositol ou fitinas, fosfolipídeos e ácidos nucleicos (STEVENSON, 1986). O P é o segundo nutriente mais abundante na matéria orgânica do solo. A distribuição do P no perfil do solo pode sofrer alterações pela adição de fertilizantes, tipo de cultivo do solo e por pequenas lixiviações. ENWEZOR (1967) encontrou altas correlações entre o C/Po, verificando que o C e o Po variam juntos no solo.

O Po, exerce grande contribuição na reposição de P na solução do solo, e sua importância na nutrição das plantas depende da taxa de mineralização do Po, pois as plantas absorvem principalmente as frações de  $P_i$ , ou seja,  $H_2PO_4^-$  em solos ácidos e  $HPO_4^{2-}$  em solos não-ácidos (BEAR, 1960). O processo de mineralização ocorre principalmente pela ação da biomassa microbiana do solo ou por certos sistemas enzimáticos.

Cerca de 2 a 5 % do Po faz parte da biomassa do solo, sendo que de 1,5 a 2,5% está presente no tecido das bactérias e 4,8% nos tecidos dos fungos (STEVENSON, 1986).

## 2.3 FATORES QUE AFETAM A ADSORÇÃO E/OU DESSORÇÃO DO P

Basta uma variação na forma de aplicação, nas características físicas, químicas, mineralógicas e no grau de intemperismo do solo, assim como nas condições climáticas, para obter diferentes níveis de fixação ou de solubilização do P. Outros fatores que indiretamente possam afetar o conteúdo de  $P_i$ -lábil é o conteúdo de Fe, de carbonato e de Po (COLE et al., 1978).



Como os mecanismos que governam a dinâmica do P no solo são muito complexos devido aos diversos fatores que condicionam suas reações de fixação ou solubilização, geram dificuldades em se prever quanto de P estará na solução do solo. Para a manter os níveis adequados do P na solução do solo, fatores favoráveis à sua liberação devem ser estabelecidos e controlados, tais como o valor do pH, a presença de cátions e de matéria orgânica (BOYER, 1971). Ocorre, que os fosfatos solúveis reagem com o solo rapidamente passando para formas menos solúveis, resultando no seu acúmulo na superfície do solo (THOMAS; PEASLEE, 1973).

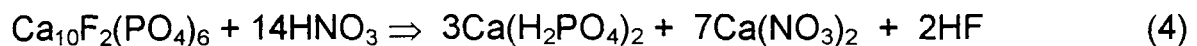
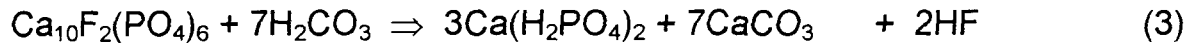
### 2.3.1 Influência do pH do Solo nos Teores de P

O pH do solo exerce influência nas cargas da matéria orgânica e da argila (SANCHEZ, 1976). Conseqüentemente, a reação do solo é governada pelos efeitos diretos e indiretos do pH, pois a concentração dos nutrientes na solução do solo, particularmente a de cátions, é muito influenciada pelo pH (MARSCHNER, 1986).

O aumento do pH do solo, provoca um aumento no número de cargas negativas dos minerais e da matéria orgânica, que resulta na repulsão dos ânions-fosfato pelas superfícies sólidas, resultando em menor adsorção do fosfato, fazendo com que as cargas superficiais das partículas do solo fiquem cada vez mais negativas, aumentando a repulsão (< adsorção) entre o fosfato e a superfície adsorvente, diminuindo o potencial eletrostático ( $\psi_a$ ). Estas reações com geração de cargas, são em sua maioria dependentes do pH. Elas também mostram que o  $H^+$  aumenta, diminuindo o pH e a concentração de  $H_2PO_4$  irá conseqüentemente diminuir (TISDALE et al., 1985).

Diversos fatores podem colaborar com a acidez do solo, tais como, a lixiviação das bases do complexo de troca, permanecendo os íons  $H^+$ , a decomposição de minerais de argila, que aumentam os teores de Al trocável, a oxidação microbiana do N-amoniaco, que resulta na liberação de íons  $H^+$ , pelo equilíbrio eletrostático mantido pelas raízes no processo de absorção de íons, pela matéria orgânica que libera íons  $H^+$  através da dissociação dos seus grupos carboxílicos e fenólicos (MALAVOLTA, 1985).

A solubilidade da fluorapatita, hidroxiapatita, fosfato octocálcico e bicálcico biidratados, estão diretamente relacionados com o pH da solução do solo, e decrescem à medida que o pH aumenta. A solubilidade da apatita é maior solos ácidos (3), ricos em matéria orgânica (4), em água pura (5) ou levemente acidificada pelo CO<sub>2</sub> (MELLO et al., 1984).

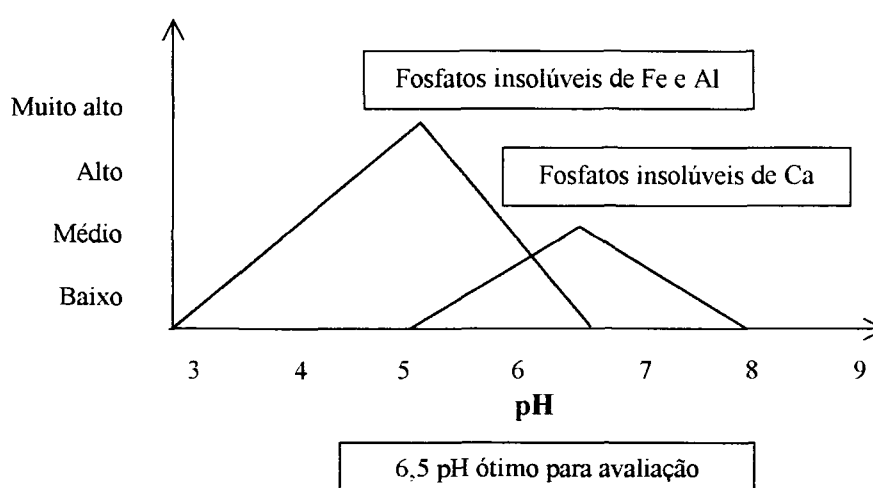


Em solos ácidos, com predomínio de caulinita e óxidos de Fe e Al, são mais importantes as combinações de P com Fe e Al, enquanto que em solos neutros ou calcários, aparecem fosfatos de Ca de ordem elevada e de baixa solubilidade (RAIJ, 1991; TISDALE et al., 1985). A solubilidade dos fosfatos de Fe e Al aumentam com a elevação do pH. Conforme anteriormente citado, a forma de P predominante em solos ácidos é o íon H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>, aparecendo em menores proporções o íon HPO<sub>4</sub><sup>-2</sup>. Solos que receberam adubações fosfatadas, há a formação de compostos de Fe, Al, Ca e através do ciclo biológico de fosfatos orgânicos (RAIJ, 1981).

Diversos estudos mostram que a adsorção do P diminui com o aumento do pH do solo (SMYTH; SANCHEZ, 1976; LOPES; BURHNAM, 1974; OBIHARA; RUSSEL, 1972), devido ao aumento da competição entre o P e OH<sup>-</sup> pelos sítios de adsorção, provocado pelo aumento de cargas na superfície dos colóides fixadores de P (OBIHARA; RUSSEL, 1972). Segundo RAIJ (1991), as relações que os íons em solução podem ter com a superfície das partículas do solo são as indiferentes (Ca<sup>2+</sup> / Mg<sup>2+</sup> / K<sup>+</sup> / NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), as especificamente absorvidos (F<sup>-</sup> / H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> / HPO<sub>4</sub><sup>2+</sup>) e as de íons determinadores de potencial – pH (H<sup>+</sup> / OH<sup>-</sup>).

MARSCHER (1986) e TISDALE et al. (1985), citam que a faixa de pH ideal para a maior concentração de P na solução do solo é de 6,5 e que pH abaixo de 5,5, tem-se a retenção do P aos íons e óxidos de Fe e Al, formando P-Fe, P-Al, FePO e  $\text{AlPO}_4$ , respectivamente (LOPES, 1989). Já em pH próximo de 7,0 o P precipita-se com  $\text{Ca}^{2+}$  (TISDALE et al., 1985). A Figura 4, ilustra a influência das faixas de pH na adsorção do fosfato com íons de Fe, Al e Ca.

FIGURA 4 - EFEITO DO pH NA ABSORÇÃO OU PRECIPITAÇÃO DO P



FONTE: TISDALE et al. (1985), adaptado de Stevenson, Ciclo do Solo, p. 250, 1986.

### 2.3.2 Influência da Matéria Orgânica (M.O.) nos Teores de P

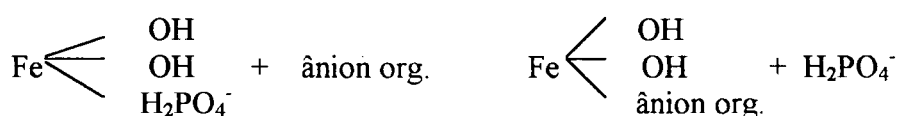
A matéria orgânica do solo desempenha um papel direto muito pequeno na nutrição das plantas, porém contribui com outros fatores importantes para fertilidade do solo como, no auxílio da distribuição e manutenção dos nutrientes inorgânicos, agrega ao solo diversos produtos resultantes de sua decomposição (energia;  $\text{CO}_2$ ;  $\text{CO}_3^{2-}$ ;  $\text{HCO}_3^-$ ;  $\text{CH}_4$ ; C elementar;  $\text{NH}^+$ ;  $\text{NO}_2^-$ ;  $\text{NO}_3^-$ ;  $\text{N}_2$ ;  $\text{H}_2\text{S}$ ;  $\text{SO}_3^{2-}$ ;  $\text{O}_2$ ;  $\text{H}_2$ ;  $\text{K}^+$ ;  $\text{PO}_4^{3-}$ ;  $\text{Ca}^{2+}$ ;  $\text{H}^+$ ;  $\text{OH}^-$ ; o húmus, entre outros), aumenta a capacidade de retenção de água, atua no intercâmbio dos ânions, especialmente dos fosfatos e sulfatos, através da mineralização aumenta a disponibilidade de N, P e S, atua na regulação do pH através de sua capacidade tamponante (BEAR, 1960).

HUE (1992) cita que a M.O. pode inativar o Al solúvel, que fica adsorvido ou precipitado com  $\text{OH}^-$ , passando para forma reduzida e que o manejo adequado da M.O., é um fator vital no controle da toxidez de  $\text{Al}^{+3}$  para as plantas cultivadas, pela alta capacidade da M.O. em formar complexos com os cátions trivalentes, como o  $\text{Al}^{+3}$ , mais fortemente que os divalentes, como  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$ . Os compostos orgânicos presentes no solo ainda podem ajudar a retardar os processos de fixação do P (LOPES, 1989), contribuindo com o aumento da disponibilidade de P pela mineralização do Po, pois as reações de mineralização da M.O. humificada do solo, contribui para manutenção do P da solução do solo. Estas reações dos compostos orgânicos são predominantemente de caráter aniônico. Por outro lado, há a imobilização temporária do P da solução do solo pela biomassa microbiana que é aumentada por adição de fonte de C (NOVAIS; SMYTH, 1999).

A liberação do Po para a solução do solo é provocada pelos microrganismos; pelo  $\text{CO}_2$  proveniente da decomposição de resíduos orgânicos que ao combinar-se com a água do solo, forma o ácido carbônico que tem a capacidade de dissolver o fosfato (SEATZ; STERGES; KRAMER, 1959), pela formação de complexos fosfo-húmicos facilmente assimiláveis, pelo revestimento das partículas de argila pelo húmus, que evita o contato entre o fosfato e os sesquióxidos e pela formação de complexos estáveis de ânions orgânicos com Fe e Al evitando a reação com o fosfato.

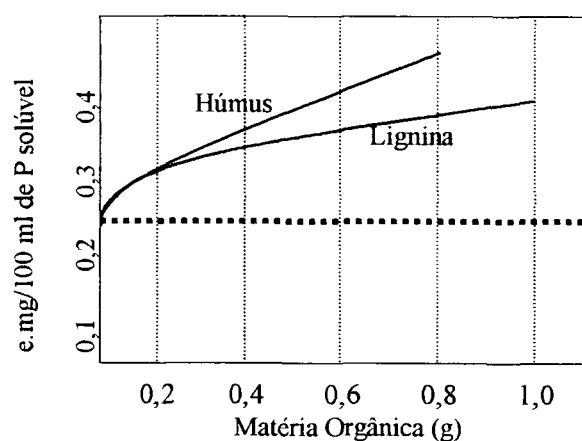
A liberação do fosfato também pode ocorrer por estes ânions orgânicos (Figura 5). Alguns trabalhos mostram a contribuição da M.O. na diminuição da adsorção de P no solo, por meio de ácidos orgânicos adsorvidos, bloqueando sítios de adsorção, como os oxidróxidos (GOEDERT; SOUZA; LOBATO, 1986; BEAR, 1960).

FIGURA 5 - REPRESENTAÇÃO DA LIBERAÇÃO DO FOSFATO PELA SUBSTITUIÇÃO POR ÂNIONS ORGÂNICOS DO SOLO



A M.O., como um todo e especialmente o húmus, exerce grande importância para o solo, pois mesmo sendo de natureza orgânica, o húmus contém vários elementos inorgânicos (P, S, Ca, Mg, K, Al), os quais lhe conferem uma elevada capacidade de troca catiônica (CTC) e representa a fração mais decomposta e ativa da M.O., por auxiliar na melhoria das características físicas, químicas e biológicas do solo. Em solos de clima tropical e subtropical, a M.O. exerce grande influência na CTC do solo (MELO et al., 1994). Com a perda da M.O., e conseqüentemente a redução da CTC, da capacidade de retenção de água, os processos erosivos do solo são acentuados (SOUSA, 1998). A Figura 6 demonstra a capacidade do húmus em liberar P para solução do solo. KIEHL, KINJO, MARCOS (1973) e PRATT (1957), encontraram correlações significativas entre a CTC e o C proveniente da M.O.. Quanto maior for o teor de M.O. humificada, maior será sua resistência às variações de pH, ou seja, maior será o poder tampão deste solo. A taxa de P liberada dos resíduos orgânicos depende do grau de decomposição, do conteúdo de P e da quantidade de resíduos adicionados no solo (STEVENSON, 1986).

FIGURA 6 - INFLUÊNCIA DA LIGNINA E DO HÚMUS EM IMPEDIR A FIXAÇÃO DO FOSFATO



FONTE: THOMPSON (1973)

Outros produtos resultantes da decomposição da M.O., que exercem considerável importância na solubilização de alguns minerais do solo, são os ácidos minerais e orgânicos ( $H_2SO_4$ ;  $HNO_3$ ; R-COOH). O aumento do pH na fase inicial da mineralização de compostos orgânicos e posteriormente o abaixamento nos níveis de pH do solo, pode ser resultado da nitrificação da amônia e de ácidos orgânicos liberados durante o processo (VELOSO et al., 1992; ANDREOLI, 1988).

Por outro lado, a M.O. também pode reduzir os teores de P presente na solução do solo, pela presença de óxidos hidratados de Fe e Al, que imobilizam o fosfato pelo desenvolvimento intenso de microrganismos, que necessitam deste elemento para suas sínteses.

MAZUR, SANTOS, VELOSO (1983a) constataram que a mineralização da M.O., pode favorecer no aumento dos teores de P solúvel. Porém, muitos estudos têm verificado correlações entre os teores e tipo de argila; C-orgânico (Co) e conteúdo de colóides amorfos com a capacidade máxima de adsorção de P (CAMPELLO et al., 1994; HEMWALL, 1957). Esta correlação positiva entre o teor de argila, com a M.O. do solo e a adsorção de P, tem como razão principal, o caráter aniônico da M.O., por via de pontes de cátions, como Al, Fe e Ca à ela adsorvidos, que retiram o P da solução.

Um processo indireto comumente empregado para determinar o índice de M.O. do solo é baseado nos teores de C, pois conforme LOPES e COX (1979) há relação entre seus teores no solo ( $MO\% = C\% \times 1,724$ ).

### 2.3.3 Taxa de Mineralização e/ou Imobilização Microbiana

O processo da decomposição da M.O., ocorre em duas etapas: mineralização e humificação. Estes processos ocorrem principalmente em função da atividade microbiana do solo (LUCHESE; FAVERO; LENZI, 2001), que depende da composição química do substrato, da relação C/N, das condições de temperatura, umidade, aeração e pH do solo, da adição de fertilizantes e da quantidade de nitrogênio (N), P solúvel e enxofre (S) do solo (STEVENSON, 1986; ENWEZOR, 1967).

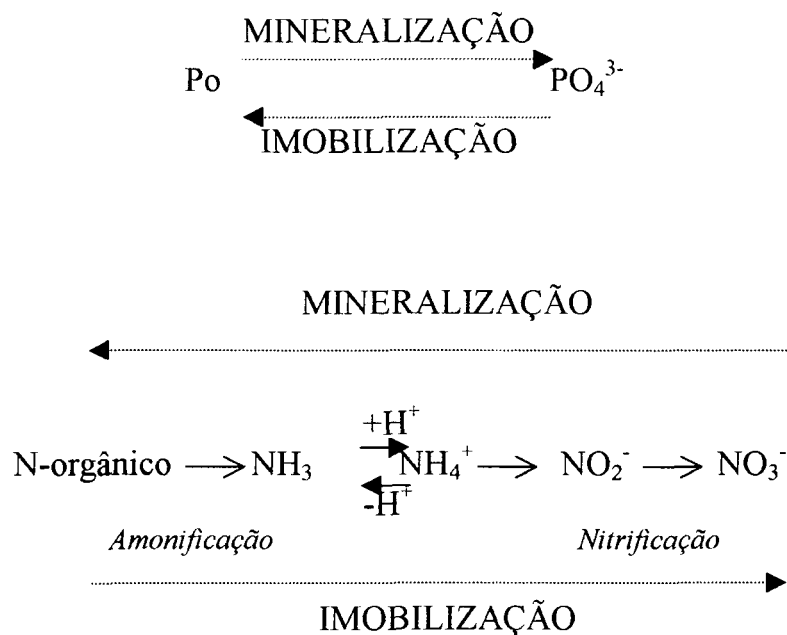
As relações C/N, C/P, C/S, são fatores de extrema importância para a decomposição da M.O., pois determinam a competição entre os nutrientes essenciais para a atividade dos microrganismos (LUCHESE; FAVERO; LENZI, 2001). Os microrganismos utilizam o C como fonte de energia para decompor a M.O. e o N para estruturar suas células. Quando o índice C/N do solo apresenta-se acima de 20, a mineralização do P é favorecida. Em índices C/N abaixo de 30 ocorre a imobilização do P. E ainda, quando o C está em quantidade menor que N, o excesso de N é liberado na forma de amônia. A Figura 7 representa a reação de mineralização e de imobilização do P e do N.

Para desencadear o processo de mineralização do Po presente em resíduos orgânicos, os microrganismos imobilizam o P da solução, convertendo-o temporariamente sob forma orgânica (TISDALE et al., 1985). Em solos ácidos a taxa de mineralização do Po é mais lenta, e a relação N-total/Po em solos é baixa. Porém a medida que o pH do solo aumenta, a mineralização do Po torna-se mais rápida. Os processos de mineralização e de imobilização ocorrem simultaneamente no solo em função dos microrganismos.

A relação entre a mineralização do C/Po e N/Po são mais variáveis que a relação entre C/N. Segundo SANCHEZ (1976), os índices C/N e N/P, são indicativos da deficiência de P no solo para as plantas, e que o P passa para a solução do solo, na forma de  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , através da mineralização do Po. O conteúdo de P presente em resíduos orgânicos em decomposição, pode auxiliar na regulação da quantidade de P da solução do solo e na relação C/Po. A adição de fertilizantes fosfatados pode ser o principal fator para o aumento de Po no solo, pois o P solúvel dos fertilizantes é imobilizado pelos microrganismos, resultando na diminuição do índice de C/Po. SÁ (1994), encontrou correlações altamente significativas entre o Po e a relação C/Po.

Segundo STEVENSON (1986), o conteúdo de P em solos minerais ficam entre 61 a 276, já para solos húmicos a relação é de 141 a 526 e para solos virgens essa relação é de 67 para 311. A relação média de C/Po do solos é de 60:1. Estas variações da relação entre os teores de C e de Po, são relatadas por ENWEZOR (1967). O referido autor, obteve maiores taxas de mineralização do Po com relação C/Po de 678 e imobilização do Pi com relação entre 41 e 34. De maneira geral, segundo STEVENSON (1986), em solos húmicos a relação C/N/P/S pode ser de 140:10:1,3:1,3.

FIGURA 7 - REAÇÕES DE MINERALIZAÇÃO E DE IMOBILIZAÇÃO DO FÓSFORO E DO NITROGÊNIO



FONTE: STEVENSON (1986)

#### 2.3.4 Tempo de Reação do P com o Solo

A superfície de contato é um dos fatores determinantes no aproveitamento do P, pois quanto maior o tempo de contato entre solo e o P, maior será a sua fixação.



Resultados de CABALA e SANTANA (1983), mostraram que, embora haja maior solubilização dos fosfatos naturais com o tempo de contato com o solo, essa reação nem sempre conduz a uma maior disponibilidade do P para a absorção pelo sistema radicular das plantas.

NAKAYAMA et al. (1998), constataram decréscimo na produção de matéria seca e P acumulado pelas plantas, quando ocorreu maior tempo de contato dos fosfatos naturais com o solo, pois quanto maior for o tempo de contato entre o fosfato e o solo, maior será a quantidade de P fixado. E ainda, MOREIRA et al. (1991), verificaram que a disponibilidade de P para o crescimento de mudas de eucalipto, diminui com o aumento do tempo de contato do fertilizante fosfatado com o solo, e que esse efeito pode ser minimizado com o aumento da dose de P, permitindo a maior permanência do P-lábil.

#### 2.3.5 Saturação do Solo em P

O P é o elemento que menos se perde por lixiviação, isto porque é facilmente fixado pelo solo, sendo transformado a partir de formas solúveis ou disponíveis para outras menos solúveis, através de reações com componentes orgânicos ou inorgânicos do solo. STEVENSON (1986), afirma que mais de 90% do P solúvel aplicado ao solo não é absorvido pelas plantas, passando para formas mais insolúveis, e ainda, que uma fração do P residual pode ser utilizado pelas culturas subsequentes e novas aplicações de P solúvel resulta num acúmulo de P no solo, ou seja, aumenta o nível de P no solo. Muitas culturas recuperam de 10 a 30 % do P dos fertilizantes minerais adicionados ao solo no 1º ano após a sua aplicação. Esta recuperação pode variar com o tipo de solo, do fertilizante, da cultura, da forma de aplicação e do clima.

O aumento da concentração de saturação de P na superfície adsorvente resulta numa maior quantidade de P adsorvida, com menor de energia de ligação do elemento com a superfície, ou seja, maior concentração de P-lábil, em situação oposta, com baixas saturações de P na superfície adsorvente, resultará em ligações mais fortes, assim sendo, aumenta a concentração de P-não lábil. Pois a quantidade de P previamente fixada, influi na fixação de novas adições de P (MELLO et al., 1984).

Contudo, comumente recomenda-se a aplicação de elevadas quantidades de P para garantir maior efeito residual (GUNARY; SUTTON, 1967). O excesso de P no solo não gera problemas para planta, que faz o “consumo de luxo”, pois todo o P absorvido em excesso é transferido para polifosfatos e outros fosfatos sem afetar o crescimento (GOEDERT, 1986). Porém, quando a capacidade de fixação de P é satisfeita, o elemento pode ser lixiviado no perfil do solo, podendo ocasionar contaminações de águas de superfície.

Os fertilizantes, assim como os corretivos minerais, por apresentarem certas características físicas e químicas, tais como: maior reatividade; maior solubilidade; concentração de nutrientes; entre outras. Estas características lhes conferem maior ou menor eficiência na nutrição das plantas (ERNANI; GIANELLO, 1982).

Segundo SELL e OLSON<sup>3</sup>, citados por THOMPSON (1973), em um estudo num solo ácido da Geórgia, com alta capacidade de fixação de P, após receberem aplicações superficiais de fosfato e cal, durante dois anos, demonstraram que, quando a capacidade de fixação do P no solo é satisfeita por adição de maiores doses de fertilizantes fosfatados, maior é a quantidade de P solúvel com maior penetração de P no perfil do solo, ou seja, quando os sítios de adsorção do P é satisfeita pela adição de maiores doses de fertilizantes, maior será a quantidade de P solúvel e nas camadas mais sub-superficiais do solo.

---

<sup>3</sup>SELL, O.E. e OLSON, L.C. The effect of surface-applied phosphate and limestone on soil nutrients and pH of permanent pasture, Soil Sci. Soc. Amer. Proc., v11: p 238-245, 1946

### 2.3.6 Características do Fertilizante Mineral e Orgânico

Os resíduos orgânicos, para exercerem essa mesma função de nutrir as plantas, ou de melhorar as características físicas e químicas do solo, dependem de outro fatores, ou seja, taxa de mineralização dada pela ação da biomassa microbiana do solo; clima; tipo e umidade do solo (JONES et al., 1984). Portanto, esses materiais necessitam de maior tempo de contato com o solo (NUERNBERG; STAMMEL; CABEDA, 1986).

Como as plantas absorvem preferencialmente nutrientes na forma mineral, ocorre que, no lodo de esgoto, os nutrientes encontram-se numa forma orgânica e precisam ser previamente mineralizados antes da utilização pelas plantas (BETTIOL; CARVALHO; FRANCO, 1983). Os efeitos dos adubos minerais solúveis na nutrição das plantas são imediatos e por um curto tempo, sendo necessário sua constante reposição, já os resíduos orgânicos, apresentam ações na reposição de nutrientes para a solução do solo, lenta, contínua e gradual, dependendo do tipo de manejo do solo.

MAZUR, SANTOS, VELOSO (1983b), verificaram que as alterações provocadas após a adição de resíduo urbano no solo, dependem da quantidade e qualidade do composto e das características do solo.

### 2.3.7 Efeitos Climáticos

Culturas anuais respondem à adubação fosfatada nos solos, porém, em situação de deficiência hídrica pode afetar a produtividade. A capacidade de retenção de  $H_2O$  do solo é em função da textura, do teor de M.O., densidade e estrutura. Em experimentos com boa precipitação pluvial as produções obtidas foram superiores a  $1.000\text{ kg ha}^{-1}$ , enquanto que em situações de estiagem, as produções não passaram de  $300\text{ kg ha}^{-1}$ . Contudo, o estado de água do solo afeta as suas propriedades devido à influência sobre a intemperização, permeabilidade, erosão e lixiviação de elementos, tais como:  $NO_3^-$ ;  $K^+$ ;  $SO_4^{-2}$  (ESPINOZA; AZEVEDO; REIS, 1980).

Para minimizar os reflexos negativos na produção pela sazonalidade climática e na distribuição das chuvas, de ano para ano, é necessário fazer uma estimativa da probabilidade de ocorrência de seca com base nos dados de longo período. FAGERIA (1980), verificou que, a deficiência hídrica pode aumentar a esterilidade, ou seja, falta de resposta da cultura, mesmo com o incremento dos níveis de P, e que ambos os fatores exercem influência no rendimento da cultura. DICK et al. (1991), verificaram redução no rendimento de grãos quando ocorreram períodos sem chuva, mesmo com elevados teores de P no solo.

A temperatura tem efeito direto no aumento da disponibilidade de P, pois com o aumento da temperatura, há um aumento nos teores de P-lábil. THOMPSON (1973), cita que, a velocidade de decomposição da matéria orgânica é muito influenciada pela temperatura, pois quanto maior for a temperatura, maior será a taxa de mineralização da matéria orgânica. LAL (1976), observou o efeito da interação entre a temperatura e o índice de precipitação na mineralização dos resíduos orgânicos e no acúmulo de nutrientes nas camadas superficiais.

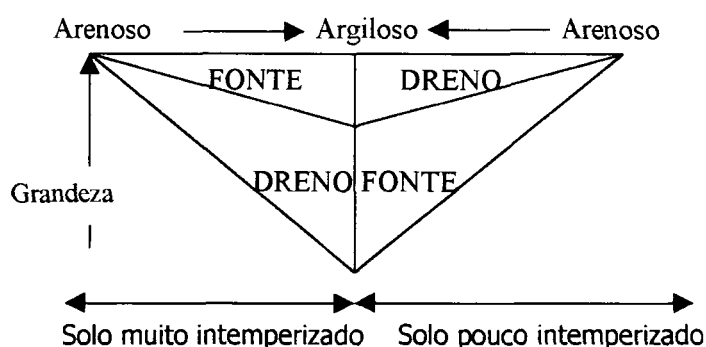
Quanto maior for a umidade do solo, maior será a quantidade de P na solução do solo e maior será a absorção do P pelas raízes das plantas, pois o P é preferencialmente absorvido por difusão (THOMPSON, 1973). Reduzindo a umidade, reduz o conteúdo de P solúvel no solo, provocado pela redução dos fenômenos de solubilização das diversas formas de P. Com o umedecimento do solo, proporciona maior desenvolvimento radicular (ESPINOZA; AZEVEDO; REIS, 1980).

### 2.3.8 Relação "Fonte-Dreno" de P no Solo

A planta como "dreno" de P, tem o solo como sua principal fonte de nutrientes, mas o solo poderá ser naturalmente "fonte" de nutrientes, quando apresentar características nutricionais (reservas) favoráveis e suficientes à planta, mesmo quando há competição entre a planta e o solo, pelo P adicionado como fertilizante.

Para evitar que o solo torne-se “dreno” de P, mas sim “fonte”, exige que nos cálculos de fertilizações fosfatadas, considere-se a sua demanda de “dreno”, que normalmente é maior que a demanda necessária para a planta. Figura 8 demonstra a influência do grau do intemperismo do solo como “fonte” ou “dreno” de nutrientes, descrito por NOVAIS e SMYTH (1999).

FIGURA 8 - RELAÇÃO FONTE-DRENO DE P EM SOLOS COM DIFERENTES TEORES DE ARGILA EM DIFERENTES ESTÁDIOS DE INTEMPERISMO



FONTE: NOVAIS e SMYTH (1999)

À medida que o silicato vai se intemperizando, uma certa quantidade de silício vai se perdendo, aumentando o Fe e Al livres. Um solo que contém uma quantidade elevada de Fe e Al, antes de adicionar fertilizantes fosfatados, deve-se fazer um pré-tratamento com cal e matéria orgânica. A cal diminui a solubilidade do Fe e do Al por aumentar a quantidade de íons  $\text{OH}^-$ , que imobilizam parte do Fe e do Al pela formação de  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  e  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , respectivamente, além de ocupar pontos de troca aniônica dos bordos cristalinos das argilas e aumentar a quantidade de Ca na solução do solo. A matéria orgânica também pode neutralizar parte da capacidade de fixação do P pelo Fe e do Al livres (NOVAIS; SMYTH, 1999).

Solo “dreno”, normalmente apresenta alto grau de intemperismo, ou seja: baixa CTC efetiva, baixa saturação por bases; alta adsorção aniônica (fosfato / sulfato / molibdato). Com o intemperismo do solo, o P-lábil sofre perdas pela adsorção com limitada reversibilidade e o K sofre perdas pela lixiviação, facilitadas por sua baixa energia de adsorção (NOVAIS; SMYTH, 1999).

## 2.4 IMPORTÂNCIA DA ADUBAÇÃO FOSFATADA

O P é um nutriente de grande importância para a agricultura, por exercer funções fundamentais para o crescimento e para o metabolismo das plantas (FISHER et al., 1995). No geral, os solos do Estado do Paraná são predominantemente ácidos, apresentam baixos teores de P solúvel e altos teores de Al, Fe, Mn. Usualmente adiciona-se grandes quantidades de fertilizantes minerais fosfatados para viabilizar a produção agrícola nestes solos, devido à alta capacidade de retenção do P solúvel e das partículas coloidais do solo.

A adubação fosfatada corretiva é realizada com a distribuição do fertilizante solúvel a lanço e incorporado ao solo através da gradagem 60 a 90 dias após a calagem e antes do plantio da cultura anual (LOPES, 1989). A aplicação do fosfato a lanço propicia maior contato do P com o solo e conseqüentemente, uma maior conversão do P solúvel para formas insolúveis (BÜLL, 1989).

O fenômeno de retenção de P, adicionado no solo, ocorre tanto pela precipitação do P solúvel aos ions de Fe, Al e Ca (FIXEN; GROVE, 1990; THOMAS; PEASLEE, 1973), quanto pela adsorção aos colóides de argila e pela adsorção aos óxidos de Fe e de Al, presentes em solos mais intemperizados (NOVAIS; SMYTH, 1999). Esta retenção é vantajosa pela ausência da lixiviação de P, que vai se acumulando ao longo dos anos na camada superficial do solo (NOVAIS; SMYTH, 1999).

Na agricultura brasileira, normalmente aplica-se ao solo fertilizantes minerais fosfatados oriundos de tratamento ácido (solúveis), os termofosfatos e os fosfatos naturais. Entre os primeiros citam-se o superfosfato simples (SS), superfosfato triplo (ST) e os fosfatos de amônia (MAP e DAP) (GOEDERT; SOUZA, 1984). Ao contrário dos fosfatos solúveis em água, a eficiência dos fosfatos naturais nacionais tem sido menor quando se faz a correção da acidez do solo através da calagem (GOEDERT; LOBATO, 1980). Isto pode ser explicado, uma vez que os fosfatos naturais contêm a fluorapatita que se decompõem em meio ácido para formar fosfato monocálcico e outros compostos solúveis (NAKAYAMA et al., 1997).

A adição de resíduos orgânicos (restos culturais, resíduos animais e subprodutos industriais) ao solo, podem servir como fonte complementar de fertilizantes minerais, por incrementar lentamente e gradualmente os teores de P na solução do solo (LUCCHESI, 1997).

A forma e a intensidade de resposta à adubação fosfatada, está relacionada com diversos fatores, tais como, a natureza do fertilizante, o tipo de solo, o sistema de plantio, a espécie vegetal e as condições climáticas (LOPES, 1989; ANDREOLI, 1988). Quanto menor for a granulometria do adubo fosfatado, maior será a superfície de contato aos solventes do solo e conseqüentemente maior será a fração de P na solução (ANDREOLI, 1988).

Outra característica do solo que influi bastante na adubação fosfatada é o pH. GOEDERT e LOBATO (1980) observaram uma tendência de diminuição na eficiência do fosfato natural com o pH. Esse comportamento do pH, em função do efeito imediato e residual para fontes de P pouco solúvel, é de tendência de ordem inversa ou de pouca influência quando comparado com fontes solúveis (GOEDERT; SOUZA, 1984). A quantificação do efeito residual de P no solo é vital para cálculos de suplementação de P no solo, permitindo um manejo econômico da adubação fosfatada, já que os fosfatos aplicados no solo para uma cultura, têm reflexos na produção das culturas subsequentes (SÁ, 1993; PAVAN et al., 1992).

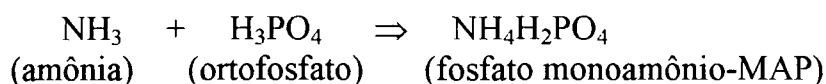
Conforme CAIXETA et al. (1988), GOEDERT, SOUZA, LOBATO (1986), as principais medidas para tornar mais eficiente o aproveitamento do P do solo e dos fertilizantes, são:

- a) Minimização da capacidade de fixação de P, antes de sua aplicação ao solo;
- b) Combinação de doses e de métodos adequados de aplicação de P;
- c) Utilização de fontes alternativas de P;
- d) Desenvolvimento de sistemas de uso da terra eficazes no aproveitamento dos fertilizantes.

#### 2.4.1 Fosfato Monoamônio (MAP)

O fosfato monoamônio (MAP) é um fertilizante completamente solúvel em H<sub>2</sub>O, possui alta concentração de P e N, são produzidos pela amonificação do ácido fosfórico, como demonstra a Figura 9.

FIGURA 9 - REAÇÃO DE FORMAÇÃO DO MAP



FONTE: TISDALE et al. (1985)

SAMPLE e KHASAWNEH (1980), citam que o pH do MAP é de 3,5; P (mol L<sup>-1</sup>) 2,9 e NH<sub>4</sub> 2,9. A Tabela 3 mostra as características químicas do fertilizante MAP, usualmente utilizado em lavouras comerciais.



TABELA 3 - CARACTERÍSTICA MÉDIA DO FOSFATO DE AMÔNIO MONOAMÔNIO (MAP)

MAP (NH <sub>2</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> )		
N %	11 – 12 <sup>a</sup>	12,2 <sup>b</sup>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	48 – 55 <sup>a</sup>	61,7 <sup>b</sup>

FONTE: a LOPES (1998)  
b IFDC/UNIDO (1979)

#### 2.4.2 Avaliação do Efeito Residual da Adubação Fosfatada

Para analisar o efeito residual da adubação fosfatada é necessário conhecer a amplitude de variação entre o P-lábil (orgânico e inorgânico) e o P-total, as relações entre as formas de P e a dimensão desses reservatórios nos solos agricultáveis.

Em sistema de plantio direto, o fosfato aplicado no solo para uma cultura trás reflexos positivos na produção da cultura subsequente (GODERT; SOUZA; LOBATO, 1986), o que explica a necessidade de se avaliar o efeito residual da adubação fosfatada.

#### 2.5 EFEITO DA CALAGEM NO SOLO

Grande parte dos solos agrícolas brasileiros, apresentam índices médios a altos de acidez com pH H<sub>2</sub>O 5,5, que podem refletir em baixas produtividades (VELOSO et al., 1992). As formas de P mais disponíveis para as plantas, encontram-se na amplitude de pH 6,0 a 7,0, havendo a necessidade de realizar a prática da calagem em solos ácidos (LOPES, 1989).

A acidez do solo e as condições químicas que a acompanham, são resultado da falta de bases trocáveis que saturam o complexo sortivo do solo. A quantidade destas bases adsorvidas, controlam a percentagem de saturação de bases determinando a concentração do íon hidrogênio na solução do solo.

As bases comumente usadas para elevar o valor de saturação de bases do solo são: Ca e Mg (DEFELIPO; BORGES; MENDONÇA, 1978).

Convencionalmente, a acidez do solo é corrigida através da aplicação de  $\text{CaCO}_3$  ao solo, que eleva o pH e os níveis de Ca, precipita o Al e o P é suprido pela aplicação de fertilizantes minerais fosfatados (HUE, 1992). O íons fosfato em contato com  $\text{CaCO}_3$ , são precipitados sobre a superfície das partículas desse mineral. A precipitação do P ao  $\text{CaCO}_3$  no solo ocorre com pH 7,8.

O calcário é um produto obtido pela moagem da rocha calcária, seus constituintes são o carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) e o carbonato de magnésio ( $\text{MgCO}_3$ ). Quando adicionado ao solo, as partículas finas de calcário percolam da superfície para a subsuperfície, com o auxílio dos canais formados pelas raízes e pela água da chuva, proporcionando a solubilização do carbonato de cálcio. Através da queima do  $\text{CaCO}_3$  obtém-se o CaO, e da sua hidratação tem-se  $\text{Ca(OH)}_2$ . A cal virgem agrícola é um produto obtido industrialmente pela calcinação ou queima completa do calcário, constituída por óxidos de Ca e Mg, já a cal hidratada é obtida por hidróxido de cálcio -  $\text{Ca(OH)}_2$  e hidróxido de magnésio -  $\text{Mg(OH)}_2$  (ALCARDE, 1992).

O poder de correção da acidez do solo de um determinado material, segundo VELOSO et al. (1992), é dado em função dos constituintes neutralizantes, óxidos, hidróxidos, carbonatos e silicatos de Ca e Mg, os quais são determinados pelo poder de neutralização (PN), quanto maior for o valor do PN do material, maior será sua eficiência na correção da acidez. A solubilidade e a granulometria também são fatores que influenciam a eficiência do material, pois quanto menor for sua granulometria, maior será sua reatividade no solo.

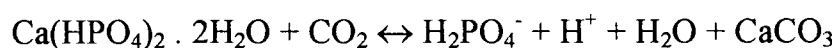
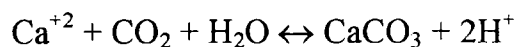
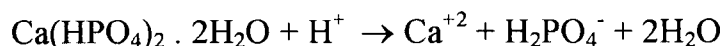
As reações de neutralização da acidez ocorrem pela hidrólise do  $\text{CaCO}_3$ , pelo deslocamento dos íons  $\text{H}^+$ , dos radicais ácidos através da reação com os anions  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{OH}^-$  permitindo que o  $\text{Ca}^{+2}$  tome o lugar anteriormente ocupado pelo  $\text{H}^+$ , pela dissociação do ácido carbônico ( $\text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ ), que fica em equilíbrio com o  $\text{CO}_2$  do ar, pela reação do  $\text{Al}^{+3}$  com o  $\text{OH}^-$ , formando o hidróxido de Al e pela combinação do  $\text{H}^+$  com o  $\text{OH}^-$  que resulta na formação de  $\text{H}_2\text{O}$  (VOLKWEISS; LUDWICK, 1975).

VOLKWEISS e LUDWICK (1975) citam que os benefícios proporcionados ao solo e a cultura quando a calagem é corretamente aplicada ocorre:

- a) Pelo aumento do pH do solo;
- b) Pela neutralização dos elementos tóxicos as plantas (Al e Mn);
- c) Pelo aumento da disponibilidade de P que ainda não está envolvido por capas de óxidos, as quais impedem o contato do fosfato com a solução do solo (P-ocluso), deixando-o muito mais disponível para as plantas. A calagem também pode exercer um grande efeito sobre o aproveitamento do P residual, não ocluso. Outro fator de grande importância na eficiência da calagem em aumentar a quantidade de P-lábil, são as características mineralógicas do solo.
- d) Pela melhoria da vida microbiana, pois através do aumento do pH, a população microbiana ataca a M.O., que será mais rapidamente decomposta e transformada em húmus. Em solos muito ácidos, a ação da M.O. é quase que inexistente para a nutrição das plantas, pois a ação microbiana neste solo é quase nula, devida à forte acidez.
- e) Pelo suprimento em Ca e Mg no complexo sortivo, aumento da capacidade de troca de catiônica (CTC), que retêm certos cátions, principalmente o K, por ser facilmente lixiviado (DEFELIPO; BRAGA, 1983).

A Figura 10 demonstra as equações que ocorrem com o fosfato juntamente com o carbonato de Ca.

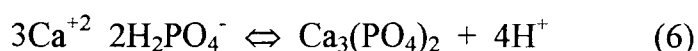
FIGURA 10 - MUDANÇA NA SOLUBILIZAÇÃO DO FOSFATO DICÁLCIO DI-HIDRATADO DEVIDO A REAÇÃO COM  $\text{CaCO}_3$



O fosfato dicálcio di-hidratado dissolve-se e repõe o  $\text{Ca}^{+2}$  na solução do solo, juntamente com o  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , que irão se precipitar em fosfato de Ca, porém quando a dissolução do fosfato dicálcio di-hidratado se dá na presença de  $\text{CO}_2$ , há a formação de  $\text{CaCO}_3$ , que resulta no aumento de  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  na solução do solo.

A prática da calagem e a adubação podem afetar a reação do solo que é governada pelo pH que tem grande importância no grau de solubilização dos diferentes compostos de P no solo, pois a adsorção do P é diminuída em função do aumento do pH do solo e das cargas negativas, resultando em menor adsorção e maior dessorção de P para solução do solo (LOPES; BURHNAM, 1974). Todavia, a calagem quando bem empregada deixa o pH do solo na faixa de 5,5 a 7,0 que colabora com a dessorção do íon fosfato e com a minimização da retenção do P solúvel aplicado no solo, aumentando sua disponibilidade para as plantas (MALAVOLTA, 1985).

A calagem excessiva ocasiona a insolubilização do P solúvel do solo em função do  $\text{CaCO}_3$  (MELLO et al., 1984), colaborando com a CTC do solo e prejudicando a CTA, ocasionando maiores perdas de ânions. A precipitação do fosfato adicionado ao solo é uma das conseqüências de uma supercalagem, este fenômeno é denominado por MALAVOLTA et al. (1976) de retrogradação (Equação 6):



O calcário, óxido e hidróxido de Ca, silicatos de Ca e Mg, tendem a elevar o pH, por outro lado, os adubos amoniacais, compostos sulfurados e a matéria orgânica tendem a baixar o pH. MAZUR, SANTOS, VELOSO (1983a), ao avaliarem o efeito do composto de resíduo urbano, na disponibilidade de P em solo ácido, verificaram que os níveis de P diminuíram após a calagem, possivelmente pela inativação do P-mineral pelos óxidos de Fe e Al recém-formados.

LARSEN (1967) constatou decréscimos nos teores do fosfato mineral após a adição de calcário mineral, que provocou aumento no pH do solo (inicial de 5,8 para 8,0). Esta constatação foi explicada pelo referido autor, pela formação de apatitas minerais, que resultaram na redução dos teores de P-lábil no solo.

SOLTANPOUR, FOX, JONES (1986) verificam aumento nos teores de P na solução do solo com o pH de 5,2 a 5,7, e para valores de pH de 6.2 a 6.6, verificaram decréscimo nos teores de P na solução.

Mesmo que a calagem em alguns casos possa refletir na fixação do P, este efeito pode ser reduzido, desde que outros fatores limitantes à disponibilidade do P sejam controlados (LOPES, 1989).

## 2.6 IMPORTÂNCIA DO FÓSFORO PARA A PLANTA

O P é um elemento que desempenha papel fundamental e insubstituível na transferência e na utilização de energia pelas plantas, além de tornar-se parte numa série de compostos vitais ao metabolismo dos vegetais. Sua deficiência leva a redução dos processos metabólicos, incluindo a divisão celular e expansão, respiração e fotossíntese (MARSCHNER, 1986), promove a formação e o crescimento prematuro das raízes, aumenta a resistência contra as intempéries, acelera a maturidade, melhora a qualidade dos frutos, verduras, culturas graníferas e é vital para a formação de sementes (LOPES, 1989). Sabe-se que não mais de 20% do P adicionado ao solo é prontamente aproveitado pelos vegetais (LOPES, 1989; CAIXETA et al., 1988).

Numa abordagem das formas de P no solo, mais aplicável à nutrição de plantas, reconhece o P em 3 frações:

- a) Fósforo em solução: Os teores de P na solução do solo são geralmente baixos ( $\leq 0.1\text{mg/L}$  de P), o que é decorrência da baixa solubilidade dos compostos de P existente no solo e da alta capacidade de adsorção do elemento pelas partículas do solo.
- b) Fósforo lábil: Está em equilíbrio com o P da solução. Representado por formas meta-estáveis de compostos de P mal formados. É determinada através de troca isotópica com P radioativo.

- c) Fósforo não-lábil: Responsável pela maior parte do P inorgânico do solo. É representado por compostos insolúveis e que só lentamente pode se transformar em fosfatos lábeis.

Segundo GODERT, SOUZA, LOBATO (1986), a absorção de P da solução do solo pelas plantas é desenvolvida em duas etapas: a primeira consiste no movimento do nutriente até à superfície da raiz, o que é influenciado diretamente por algumas propriedades do solo; e a segunda consiste na sua passagem para o interior das raízes, o que depende de características da planta. O aumento da absorção de P pelas plantas pode ocorrer pelo efeito benéfico da calagem, pelo aumento da capacidade de absorção das raízes pela proliferação do sistema radicular; aumento da atividade microbiana na rizosfera; exudação de  $H^+$  e  $OH^-$ .

A principal forma de absorção de P pelas plantas é como íon ortofosfato:  $H_2PO_4^-$  e em menores quantidades como  $HPO_4^{2-}$ , presente na solução do solo, estas formas dependem do pH do solo (TISDALE et al., 1985). Após a absorção do P do solo pelas plantas, é quase que imediatamente incorporado em compostos orgânicos (RAIJ, 1991). A planta absorve o P na solução do solo próximo das raízes por processos de dissolução e difusão (THOMAS; PEASLEE, 1973). O nível de P na zona radicular deve ser suficientemente alto para garantir que haja P disponível, ou seja, em solução durante todos os estágios de crescimento da planta. Então, para se avaliar a fertilidade do solo em relação ao P deve-se ter a habilidade de repor ou fornecer condições favoráveis para a liberação do P em solução (LOPES, 1989). VARGAS, MEURER, ANGHINONI (1983) verificaram que a difusão foi o principal mecanismo de suprimento de P às raízes do milho, ao comparar com a interceptação radicular e o fluxo de massa. E ainda que, solos com maior capacidade de retenção de água, teor de argila e solos que possuem a capacidade de manter a concentração de P na solução próxima à superfície radicular, são características que favorecem o gradiente de difusão.

FERNANDES et al. (1997) citam que a cultura do milho, por apresentar longo período vegetativo e a constante necessidade de nitrogênio, vem obtendo resultados satisfatórios com o uso do bio sólido de esgoto, devido a mineralização da matéria orgânica do lodo com conseqüente liberação de nutrientes, e que, em estudos realizados pelo IAPAR e EMATER-PR, observou-se o aumento de 49-77% na produção do milho devido à incorporação do lodo no solo.

TABELA 4 - TEOR DE P EM DIFERENTES PARTES DO MILHO

PARTE DA PLANTA	P g kg <sup>-1</sup>
Grãos <sup>1</sup>	2,2
Resíduo <sup>1</sup>	1,7
Folha <sup>2</sup>	2,2 – 3,5

FONTE: <sup>1</sup>LOPES (1998)

<sup>2</sup>PAULETTI (1995)

## 2.7 DISTRIBUIÇÃO DO P NO PERFIL DO SOLO E SEU COMPORTAMENTO EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO

O P apresenta alta reatividade com as partículas coloidais do solo e movimentar-se por difusão que depende da umidade do solo (LOPES, 1989). A distribuição percentual de P-lábil em relação ao P-total é muito variável, os teores de P-lábil diminuem nos horizontes subsuperficiais, verificando-se a proporcional redução no teor de matéria orgânica e pH. Mesmo em solos mais arenosos do que argilosos, a perda mais significativa de P é provocada pela erosão das camadas superficiais do solo (LOPES, 1989).

O comportamento do P em sistema de plantio direto está estreitamente relacionado com o acúmulo de resíduos na superfície e o não revolvimento do solo diminui a superfície de contato entre os sítios de adsorção de P. Este acúmulo da palhada na superfície do solo, também proporciona um ambiente favorável para os microrganismos do solo, pois diminui a amplitude térmica (PÖTTKER, 1998).

O acréscimo na concentração dos teores de P nas camadas superficiais também pode ser favorecido pela baixa mobilidade e susceptibilidade as reações de fixação do elemento no solo. DICK et al. (1991) verificaram maior liberação do P solúvel na camada superficial pelo não revolvimento do solo, diminuindo a superfície de contato do elemento com os colóides do solo e pelas condições climáticas, especialmente as distribuições das chuvas. Com isto, PÖTTKER (1998) cita a possibilidade de reduzir em 50% o uso de adubos fosfatados no plantio direto. E ainda, SELLES et al. (1990) aferem a importância da fração orgânica da camada superficial na eficiência do aproveitamento do P pelas plantas. Outro benefício proporcionado pelo plantio direto está no controle da erosão das camadas superficiais do solo (MONDARDO, 1978; RAMOS, 1976).

Contudo, o modo de aplicação, a classe textural, fertilidade, o nível de P no solo e a rotação de culturas podem exercer influências significativas na disponibilidade de P no sistema de plantio direto (SÁ, 1993).

## 2.8 O P E SUA CONTRIBUIÇÃO PARA O FENÔMENO DA EUTROFIZAÇÃO

A drenagem de fertilizantes agrícolas, detergentes de animais e humanos, escoamento superficial e subterrâneo de nutrientes na águas residuárias e tributárias, resulta no excesso de nutrientes nas águas, tais como: P, N, C e as vezes K, Si, causando sérios desequilíbrios com o super povoamento de algas microscópicas que leva a condições de deficiência de oxigênio em lagoas ou cursos de água. LOPES (1989), define este fenômeno como eutrofização.



O processo de eutrofização de lagoas, rios e em reservatórios de águas é caracterizado pelo crescimento excessivo e desordenado de plantas, animais e microrganismos, que consomem grande quantidade de  $O_2$  da  $H_2O$ , formando compostos tóxicos, causando morte de peixes e outros organismos, resultando em um desequilíbrio ambiental e na queda da qualidade da água.

No campo os impactos ambientais relativos a eutrofização de águas de superfície está relacionado com os seguintes fatores: uso indiscriminado de fertilizantes minerais e adubos orgânicos; uso intenso do solo, sem adoção de práticas conservacionistas; redução dos teores de M.O., tornando o solo mais susceptível a processos erosivos.

O P pode ser considerado fator limitante ao desenvolvimento de algas sendo utilizado como principal parâmetro para estabelecer o grau de eutrofização de ambientes lacustres. A erosão das camadas superficiais do solo apresenta-se como o principal fator de perda de P para corpos d' água (CAIXETA et al., 1988), pois apesar da baixa solubilidade dos compostos de P, é um dos nutrientes de maior responsabilidade na contaminação das águas de superfície e subterrâneas (LUCCHESI, 1998). Outro fato, é que a erosão do solo geralmente reflete em baixa produtividade, poluição e assoreamento de mananciais.

O uso do biossólido de esgoto pode contribuir na prevenção da erosão das camadas superficiais, com o aumento no teor de húmus auxiliando na melhoria da infiltração da água para camadas sub-superficiais, aumentando a resistência dos agregados (FERNANDES et al., 1997). Diversos estudos tem avaliado a aptidão dos solos agrícolas paranaenses para aplicação de biossólidos de esgotos (ANDREOLI, 1999; LUCCHESI, 1997).

O biossólido de esgoto tratado pelo Processo N-Viro contém elevados teores de óxidos, hidróxidos e carbonatos, que são responsáveis pela formação de complexos de P de baixa solubilidade (BURNHAM et al. 1992b).

## 2.9 ANÁLISE DO FÓSFORO NO SOLO

Correlacionar o melhor método de extração para um determinado nutriente, numa determinada região, é de extrema importância, pois o método de extração pode interferir na aferição dos valores e conseqüentemente na recomendação de adubação.

A grande variedade de métodos de análise do P é um reflexo da complexidade do comportamento e das formas do P no solo (LARSEN, 1967), assim como a falta de concordância sobre qual seria o método mais adequado (SILVA, 1991; FIXEN; GROVE, 1990; CABALA; SANTANA, 1983; RAIJ, 1978; DALAL; HALLSWORTH, 1976). Alguns extratores usados em laboratórios para quantificar os teores de “P-disponível” do solo estão listados na Tabela 5.

O equilíbrio existente entre o P da solução e o elemento na fase sólida gera muita dificuldade em determinar o que seria “realmente P-disponível” (RAIJ, 1991). O emprego dos conceitos de fator intensidade (I), quantidade (Q), capacidade (C) e difusão podem auxiliar o entendimento sobre o comportamento do P no solo. (NOVAIS; SMYTH, 1999; RAIJ, 1998; TISDALE et al., 1985). Essas relações estão ilustradas na Figura 11.

Os métodos de análise de solo mais utilizados procuram em geral, avaliar preferencialmente o fator quantidade, que é representado pelo P que pode passar para a solução do solo (P-lábil), além de ser o parâmetro do solo mais importante para explicar a maior parte da variação do efeito de P do solo sobre as culturas (RAIJ, 1978), e ainda é o índice mais importante para avaliar a biodisponibilidade do elemento nas amostras de solo (P-lábil  $\Leftrightarrow$  P-solução) para as plantas.

TABELA 5 - EXTRATORES USADOS PARA AVALIAÇÃO PARA TRABALHOS DE ROTINA DO P-“DISPONÍVEL”

NOME DO EXTRATOR	COMPOSIÇÃO DO EXTRATOR	REFERÊNCIA
Ácido Cítrico	1% ácido cítrico	DYER, 1894
Mehlich-1	0,05N HCl + 0,25N H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	MEHLICH, 1953
Resina	R-NH <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	RAIJ e QUAGGIO, 1983
Olsen	0,5N NaHCO <sub>3</sub> a pH 8,5	OLSEN, et al, 1954

### 2.9.1 Considerações sobre Alguns Extratores

A análise química dos nutrientes disponíveis no solo, segue obrigatoriamente duas etapas distintas: extração e determinação.

Soluções mais usadas para a extração do P incluem à água, soluções tamponadas de ácidos fracos, soluções diluídas de ácidos fortes, soluções tamponadas de bases e soluções de sais diversos. Cada mudança na técnica de extração leva a resultados diferentes (pode variar em cada método o pH, a concentração, tempo de agitação, relação solução para solo), o que faz com que haja a necessidade de padronizar cada método de extração e calibrá-lo regionalmente (RAIJ, 1991).

Uma característica importante na seleção de um método de análise de P em solos, é a sua aplicabilidade em diferentes tipos de solos, principalmente no que se refere ao pH (SILVA; RAIJ, 1999). A viabilidade do laboratório e a praticidade do método, são outros fatores que devem ser considerados para eleger uma metodologia.

Outro aspecto a ser considerado na seleção e calibração de método de análise de solo com relação ao P, está nos dados adicionais, tais como a textura, a acidez e os teores de carbono (KOCHHANN; ANGHINONI; MIELNICZUK<sup>4</sup>, 1982, citados por CABALA; SANTANA, 1983).

<sup>4</sup>KOCHHANN, R.; ANGHINONI, I. e MIELNICZUK, J. A adubação fosfatada no Rio Grande do Sul e Santa Catarina, A.J. de, LOURENÇO, S.; GOEDERT, W.J., eds. Adubação fosfatada no Brasil. Brasília, EMBRAPA/DID, p26-60, 1982.

### 2.9.11 Extrator Mehlich-1

O P é removido da fase sólida do solo por ação de solventes de ácidos, onde uma solução com pH 2 a 3 dissolve o fosfato de Ca. Os fosfatos de Fe e de Al também são solubilizados, porém em menor grau. A ordem de maior solubilidade em extratores ácidos é P-Ca>P-Al>P-Fe.

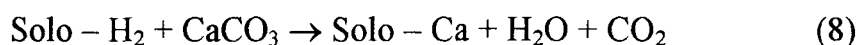
A extração do P na alíquota de solo se dá através de uma solução de ácido sulfúrico e ácido clorídrico diluídos ( $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,025N + HCl 0,05N) desenvolvido por Mehlich, denominado de Mehlich-1 ou Carolina do Norte (RAIJ, 1991), a qual utiliza a proporção de  $10\text{cm}^3$  de terra para 100ml de solução. Esta metodologia tem sido muito bem aceita em laboratórios de rotina de análise química do solo, por apresentar uma marcha analítica simples e rápida, além da obtenção de um extrato límpido.

Existem alguns problemas na utilização dos extratores ácidos, pois na prática, o pH próximo de 2 dos extratores ácidos é inadequado para a solubilização de fosfatos de Fe e Al e é favorável para extração de fosfatos de Ca, em função das características de solubilidade dos fosfatos (LARSEN, 1967), e na grande maioria dos solos brasileiros, os produtos da reação do P no solo são fosfatos de Fe e Al. Além de extrair quantidades relativamente elevadas de P em solos mais ricos em matéria orgânica (GRANDE; CURI; QUAGGIO, 1986).

Tais constatações permitem inferir que os extratores ácidos são menos indicados para solos de regiões tropicais úmidas com predominância de caulinita e de óxidos de Fe e Al na fração argila e fosfatos adsorvidos nesses minerais. Isto é confirmado na prática, pois é comum a obtenção de resultados baixos em solos argilosos que vêm sendo adubados com fosfatos solúveis em água ao longo dos anos e nos quais as culturas produzem bem quando são usados os extratores ácidos; por outro lado, os resultados são excessivamente altos em solos que receberam aplicação de fosfatos naturais (RAIJ et al., 1984; RAIJ; DIEST, 1980).

PAULETTI (1995) e ANDREOLI (1988) não encontraram nenhuma limitação do extrator Mehlich-1 ao verificarem a eficiência do extrator Mehlich-1 na extração do P em solo calcado. GRANDE, CURI, QUAGGIO (1986), verificaram que a eficiência do extrator ácido pode ser aprimorada considerando-se outros fatores, tais como o teor de matéria orgânica e/ou P-total. BATAGLIA e RAIJ (1994), citam que o extrator Mehlich é vantajoso por apresentar marcha analítica simples e por utilizar o mesmo extrato para determinar P e K, porém sua principal desvantagem é a baixa eficiência em aferir a fitodisponibilidade do P em solos.

Os extratores ácidos são mais apropriados para solos ácidos e reagentes contendo bicarbonatos para solos alcalinos, evitando-se reações de neutralização ácido-base, resultando em um sal e água, representada pela equação (7) e a equação (8), que demonstra a neutralização de solos com carbonato de Ca (sal básico).



FONTE: RAIJ, (1981)

#### 2.9.12 Extração do P-Total no Biossólido Alcalinizado

A oxidação do conteúdo orgânico das amostras pode ocorrer com a adição de ácidos minerais concentrados aliada a elevação da temperatura. Os métodos de digestão envolvendo o ácido perclórico são amplamente aplicáveis a um grande número de elementos, comparativamente com os demais métodos, atendendo as mais diversas áreas da química analítica quantitativa (CARNEIRO, 2001).

A digestão através do ácido nítrico e perclórico é uma das metodologias mais testadas e referenciadas (ZAZOSKY; BURAL, 1977; SMITH, 1965) por realizar a oxidação de constituintes orgânicos, por ser rápida, permitir análise em série, obtendo-se um extrato límpido considerado fator fundamental para determinações por colorimetria.

OLSEN e SOMMER (1982), recomendam iniciar a digestão de amostras com alto teor de M.O. com a adição do  $\text{HNO}_3$ , responsável pela promoção do primeiro estágio da oxidação, para depois adicionar  $\text{HClO}_4$  completando a digestão do material. Os autores citam ainda, que este método é apropriado para a determinação do P em um grande número de amostras. JONES e CASE (1990), citam que o  $\text{HNO}_3$  é usualmente incluído na maioria das misturas ácidas, acelerando a digestão.

A oxidação de constituintes orgânicos e a dissolução ácida dos minerais, são processos necessários para a determinação do P-total. A quantificação dos teores totais de P, é um índice inadequado para realizar as recomendações de adubação fosfatada, representando um índice de pouco valor para refletir a resposta das culturas, devido a baixa solubilidade dos compostos de P (TISDALE et al., 1985; JORGE; VALADARES, 1969; CATANI; BATAGLIA, 1957) e por não apresentar boa correlação com a resposta biológica (CABALA; SANTANA, 1983).

Contudo, TISDALE et al. (1995), CABALA e SANTANA (1983), JORGE e VALADARES (1969), CATANI e BATAGLIA (1957), citam que a quantificação dos teores totais de P do solo é um índice inadequado para realizar as recomendações de adubação fosfatada, representando um índice de pouco valor para refletir a resposta das culturas, devido a baixa solubilidade dos compostos e por não apresentar boa correlação com a resposta biológica.

## 2.9.2 Processo de Determinação do P

O processo analítico utilizado para determinar os teores de fósforo extraído da alíquota de um determinado material, foi facilitado pelo desenvolvimento de métodos colorimétricos, pois durante muito tempo eram utilizados métodos menos sensíveis e trabalhosos, tais como a precipitação e a gravimetria (JACKSON, 1970).

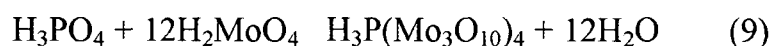
A análise colorimétrica, consiste em determinar a concentração de um determinado elemento em função da cor em que se apresenta, ou em seu estado original, ou mesmo pela adição de corantes específicos. A concentração de um certo elemento é determinada pela medida da quantidade de luz absorvida ou transmitida pelo corpo da amostra.

O colorímetro é bastante utilizado nas determinações do P. Para se obter a medida das extinções de absorbância e transmitância, é necessário um pré-tratamento das amostras e o estabelecimento de curvas de calibração, mediante o uso de soluções padronizadas com concentrações conhecidas, possibilitando a construção de uma curva-padrão, que permite calcular a concentração de P de um determinado extrato a partir de equações analíticas.

O princípio dos métodos de determinação do P baseiam-se em reações do íon ortofosfato. O pré-tratamento das amostras é feito com base em dois métodos: fósforo – cor azul e fósforo – cor amarela. A intensidade da cor nos dois princípios será proporcional à quantidade de P em solução, e a velocidade com que a cor se desenvolve está relacionada à concentração do ácido (CHAPMAN; PRATT, 1961).

O método cor azul baseia-se no princípio de que, em uma solução ácida de molibdato, contendo íons ortofosfatos, forma um complexo fosfomolibdico que pode ser reduzido por ácido ascórbico a um composto de coloração azul. A acidez deve ser mantida, já que ela afeta a intensidade da cor (RAIJ et al., 1984; OLSEN; DEAN, 1965). A intensidade da coloração azul varia com a quantidade de P na solução, mas também pode ser afetada por outras substâncias que influenciam na oxi-redução.

O método ácido ascórbico é mais sensível e a estabilidade da cor permanece por 24h. Porém, a determinação dos teores de P pelo método colorimétrico azul, deve envolver apenas pequenas quantidades do elemento (OLSEN; DEAN, 1965), ou para soluções que possuam polifosfatos e/ou ácidos-lábeis orgânicos e inorgânicos de P. (KURO, 1996). Contudo, segundo JACKSON (1970), quando a concentração de P na amostra for elevada, tem-se a reação do ácido fosfórico com o íon molibdato, formando um complexo amarelo, e quando em alta concentração de P na amostra, forma um precipitado amarelo heteropolimolibdofosfato, demonstrado na Equação (9) e que ao se realizar a dissolução desta amostra, resulta em uma solução com coloração levemente amarelada, quase imperceptível e desta forma, poderá se realizar a determinação de P pela formação da cor azul, por redução.



GUERRA et al. (1996), determinaram os teores totais de P após digestão com ácido perclórico em espectrofotômetro, na faixa do visível (660nm), pelo método azul de molibdênio, utilizando o ácido ascórbico como agente redutor. BOSSECHE et al. (1999) ao avaliarem a perda de P do bio sólido de esgoto em simulações de chuva, determinaram o P-disponível por colorimetria, utilizando o complexo de molibdato de MURPHY e RILEY<sup>5</sup>, citados por BOSSECHE et al. (1999). E ainda, WATANABE e OLSEN (1965), utilizaram o método molibdato de amônio reduzido pelo ácido ascórbico, descrito por MURPHY e RILEY<sup>5</sup>, para determinar o conteúdo de P de um extrato obtido por NaHCO<sub>3</sub>.

---

<sup>5</sup>MURPHY, J; RILEY, J.P. A modified single solution method for determination of phosphates in natural waters. *Anal. Chim. Acta*, v. 27, p. 31-36, 1962



### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

##### 3.1.1 Localização

O experimento foi realizado no município de Palmeira-PR, na Fazenda Santa Terezinha, propriedade da Agropecuária Grão Forte Ltda., localizada na microbacia do Rio Pulgas, entre as latitudes de 25° 23' a 25° 30' S e entre as longitudes de 49° 55' a 50° 05' W de GR, na região denominada de “Campos Gerais do Paraná”, pertencente ao que MAACK (1968) classifica como Segundo Planalto Paranaense.

##### 3.1.2 Características Regionais

A altitude local varia de 800 a 960 metros acima do nível do mar. A topografia em que se insere a área experimental, possui relevo suavemente ondulado e sua geologia consiste no Arenito Furnas, formação que mergulha suavemente no sentido oeste, e que em muitos lugares está coberta por sedimentos flúvio-glaciais, formando o que se denomina de arenito “Vila Velha”, ou seja, tal planalto, em parte é representado pela Folha Quero-quero, que abriga a microbacia em questão e é composto por camadas sedimentares, possuindo suave inclinação no sentido sudoeste (BIGARELLA, 1966).

As rochas da microbacia do Rio Pulgas são pertencentes à formação Furnas e Itararé. Geologicamente, a Formação Itararé é de maior abrangência nesta microbacia, sendo composta por arenitos e por argilitos síltico-conglomeráticos (BIGARELLA, 1966).

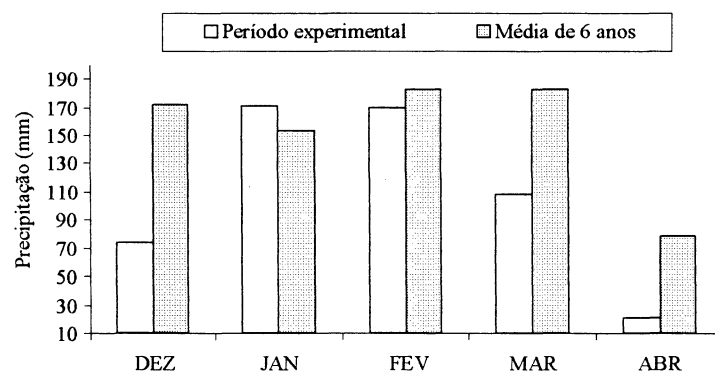
O solo da microbacia pertence a unidade de mapeamento Ca38, associação do cambissolo háplico aluminico com argissolo, ambos A proeminente, de textura média fase campo subtropical, de relevo suave ondulado, com declives entre 4 e 8% e de vertentes curtas (LARACH, et al., 1984), com 34,7% de argila (Apêndice 1), segundo resultados obtidos no laboratório de análises físicas dos solos do Departamento de Solos da UFPR.

### 3.1.3 Características Climáticas

O clima da região segundo a classificação de Köppen é caracterizado como Cfb, ou seja, clima subtropical úmido, mesotérmico, com ventos frescos, com geadas severas frequentes no inverno e sem estação seca definida. A região apresenta temperatura média anual de 19° C e temperaturas mínimas e máximas, médias anuais de respectivamente 13° C e 24° C. A média anual de umidade relativa do ar gira em torno de 80% e sua insolação entre 1800 e 2000 horas ano<sup>-1</sup>. O número de dias com geadas oscila entre 1 a 10, e a direção predominante dos ventos é NE (IAPAR, 1994).

A precipitação média anual é de 1500 mm (IAPAR, 1994), porém, conforme os dados de precipitação (Figura 11) obtidos do Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR, 2002) referentes às chuvas ocorridas na estação meteorológica de Ponta Grossa, no período experimental (18 de dezembro de 2001 à 30 de abril de 2002), observou-se que a precipitação total foi de 543,4 mm.

FIGURA 11 - MÉDIAS MENSAIS DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA EM PONTA GROSSA



### 3.1.4 Histórico da Área Experimental

Anteriormente à instalação do experimento o talhão onde a área experimental foi alocada vinha sendo cultivada com soja (*Glycine max*), milho (*Zea mays*) e aveia preta (*Avena strigosa*) para cobertura.

Como média geral de produtividade obtida nas safras de 1999, 2000 e 2001 para o talhão da Fazenda Santa Terezinha onde o experimento foi alocado, tem-se os seguinte índices: soja 2975, 3446 e 3100 kg ha<sup>-1</sup>; o milho obteve nas safras 1999 e 2000 respectivamente, 6694 e 7934 kg ha<sup>-1</sup> de grãos. A aveia foi usada como cobertura na safra de inverno de 2001.

Na safra 2000/01, para a soja, adubou-se toda a área, inclusive aquela que posteriormente foi utilizada para o experimento, com 300 kg ha<sup>-1</sup> de superfosfato simples (0-18-0) mais 150 kg ha<sup>-1</sup> de KCl em cobertura.

A gleba n.º VIII da Fazenda Santa Terezinha foi cultivada com a seguinte sucessão para a safra 2001/02: aveia preta, soja, aveia, papuã e milho.

### 3.1.5 Aptidão do Solo para a Disposição Agrícola de Lodo de Esgoto

Com base nas características do solo apresentadas na Tabela 6, conforme a normatização do IAP (2002), o solo Ca38 foi classificado como classe III/V no atributo grau de limitação. Entretanto, o solo da área experimental apresentou características físicas satisfatórias para ser utilizado como receptor de lodo de esgoto, ou seja não apresentou limitação para os atributos profundidade e pedregosidade.

TABELA 6 - CLASSIFICAÇÃO DO SOLO Ca38 PARA APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO

ATRIBUTOS	GRAU DE LIMITAÇÃO (CLASSE III/V)	CLASSIFICAÇÃO
Profundidade	2/3	Moderada - com citação de pouca profundidade
Textura	1	Textura argilosa (35-60% de argila)
Erosão	2	Ligeiro – solos argilosos em relevo suave ondulado
Drenagem	0	Nulo - solos bem drenados
Relevo	1	Suave ondulado (3-8%)
Pedregosidade	0/4	Nulo – sem fase pedregosa
Hidromorfismo	0	Solo sem indicação de hidromorfismo

NOTA: Proposta de normatização IAP, 2002

## 3.2 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

### 3.2.1 Instalação

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, composto por 6 tratamentos e 4 repetições, totalizando 24 parcelas experimentais. Cada parcela possuía dimensões de 8,10m x 12,0m, totalizando 97,2m<sup>2</sup>. A área total do experimento foi de 2.362,8 m<sup>2</sup> (Figura 12).

Os tratamentos foram constituídos por uma testemunha (adubação sintética exclusiva – AS), quatro doses crescentes de biofóssido alcalinizado (N-Viro Soil/Belém-2001) resultante da estabilização do lodo de esgoto pelo Processo N-Viro e uma dose intermediária de biofóssido (Tabela 7). No intuito de se avaliar somente o efeito de doses crescentes do biofóssido alcalinizado, aplicou-se doses de adubos sintéticos (uréia, MAP e KCl). iguais para os tratamentos AS, L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>, L<sub>3</sub> e L<sub>4</sub>. No tratamento L<sub>5</sub> testou-se o efeito da redução de 30% nas doses dos adubos sintéticos recomendadas para os demais tratamentos.

FIGURA 12 - CROQUI DA ÁREA EXPERIMENTAL

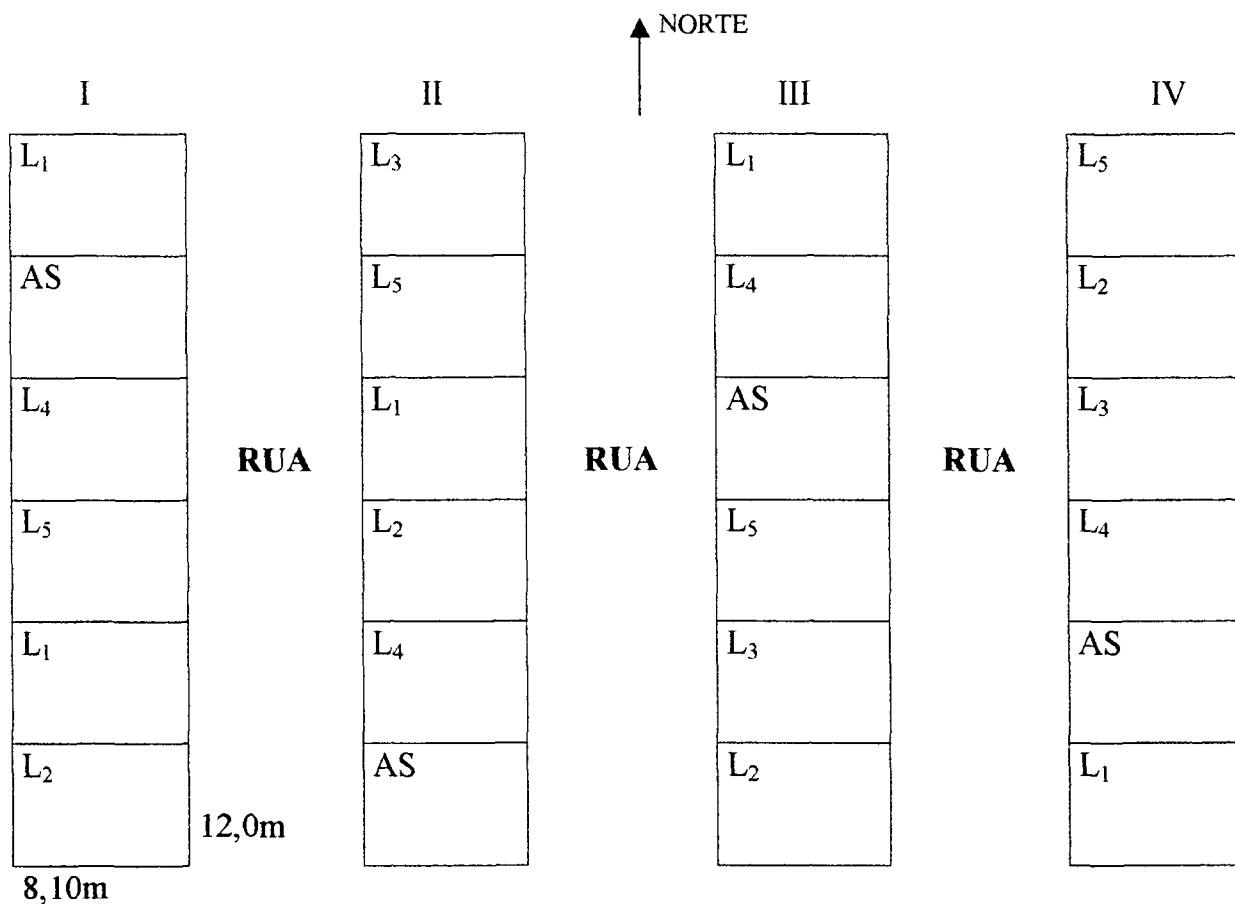


TABELA 7 - CONSTITUIÇÃO DOS TRATAMENTOS

TRATAMENTOS	MATERIAIS
AS	0,00 Mg ha <sup>-1</sup> biossólido alcalinizado + 100% da adubação sintética
L <sub>1</sub>	0,34 Mg ha <sup>-1</sup> biossólido alcalinizado + 100% da adubação sintética
L <sub>2</sub>	0,68 Mg ha <sup>-1</sup> biossólido alcalinizado + 100% da adubação sintética
L <sub>3</sub>	1,40 Mg ha <sup>-1</sup> biossólido alcalinizado + 100% da adubação sintética
L <sub>4</sub>	2,64 Mg ha <sup>-1</sup> biossólido alcalinizado + 100% da adubação sintética
L <sub>5</sub>	0,50 Mg ha <sup>-1</sup> biossólido alcalinizado + 70% da adubação sintética

NOTA: Doses de biossólido alcalinizado com base na matéria seca

### 3.2.2 Coleta e Análises do Solo

Amostras de solo foram retiradas em duas coletas: a primeira coleta ocorreu antes da aplicação dos tratamentos em 14 de novembro de 2001 (Apêndice 2), e a segunda coleta ocorreu 249 dias após a primeira amostragem, em 33 de abril de 2002 (Apêndice 3) ou seja, 3 dias após a colheita do milho. O equipamento utilizado foi o trado holandês. De cada unidade experimental foram retiradas amostras compostas, estratificadas de sete profundidades do solo (0-5, 5-10, 10-15, 15-25, 25-35, 35-45 e 45-55 cm), cada uma composta por sete sub-amostras.

Em seguida, as amostras de solo foram homogeneizadas e encaminhadas ao Laboratório de Fertilidade Química do Solo da Universidade Federal do Paraná, onde foram secas ao ar e passadas em peneira com malha de 2 mm, para caracterização.

TABELA 8 - PARÂMETROS, SOLUÇÕES EXTRATORAS UTILIZADAS, MÉTODO DE DETERMINAÇÃO E METODOLOGIA EMPREGADA PARA ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO

PARÂMETROS	SOLUÇÃO EXTRATORA UTILIZADA	MÉTODO DE DETERMINAÇÃO	FONTE
pH CaCl <sub>2</sub>	CaCl <sub>2</sub> 0,01M	Potenciométrico	PAVAN et al., (1992)
pH SMP	SMP	Potenciométrico	PAVAN et al. (1992)
H + Al	pH SMP	Regressão Linear	PAVAN et al. (1992)
Ca <sup>+2</sup> + Mg <sup>+2</sup> trocáveis	KCl 1M (1:10)	Complexometria com EDTA 0,0125M	PAVAN et al. (1992)
Ca <sup>2+</sup> trocável	KCl 1M (1:10)	Complexometria com EDTA 0,01M	PAVAN et al. (1992)
Al <sup>3+</sup> trocável	KCl 1M (1:10)	Titulação NaOH 0,025N	PAVAN et al. (1992)
P-extraível	Mehlich-1 (HCl 0,05N + H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,025N)	Colorimétrico – azul	PAVAN et al. (1992)
K-extraível	Mehlich-1 (HCl 0,05N + H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,025N)	Fotometria de chama	PAVAN et al. (1992)
C-orgânico oxidável	Dicromato de potássio	Colorimétrico	PAVAN et al. (1992) adaptado

Os parâmetros analisados, assim como as soluções extratoras utilizadas e os métodos de determinação adotados, foram aqueles descritos por PAVAN et al., (1992), adaptados para as condições locais e que estão descritos na Tabela 8.

A Tabela 9, demonstra as características químicas e física do solo antes da aplicação dos tratamentos.

TABELA 9 - ATRIBUTOS DE PARÂMETROS QUÍMICOS E FÍSICOS DE DIFERENTES CAMADAS DO SOLO

Profundidade	pH SMP	Al	H+Al	Ca+Mg	Ca	K	CTC total	P	C	Areia	Silte	Argila
cm		cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>						mg kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	%		
0-5	5,3	0,0	5,5	8,6	5,6	0,2	14,3	22,0	28,6	47,3	20,7	32,0
5-10	5,2	0,2	5,7	7,7	4,7	0,1	13,5	11,4	26,4	46,7	20,0	33,3
10-15	5,0	0,5	6,9	6,7	4,2	0,1	13,7	8,1	25,4	46,7	20,0	34,0
15-25	4,7	0,7	8,1	5,2	3,2	0,1	13,4	7,0	28,6	46,0	20,0	34,0
25-35	4,5	1,7	9,2	3,2	2,0	0,1	12,5	4,9	22,4	46,7	19,3	34,7
35-45	4,4	2,2	9,2	2,0	1,1	0,1	11,3	1,6	17,9	45,3	19,3	35,3
45-55	4,3	2,5	10,0	1,5	0,6	0,1	11,6	1,0	15,2	44,0	18,7	37,3

### 3.3 OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO LODO DE ESGOTO

No presente trabalho foi utilizado lodo de esgoto gerado na Estação de Tratamento de Esgotos-Belém (ETE-Belém) da SANEPAR (Companhia de Saneamento do Paraná) de Curitiba/PR, a partir do qual obteve-se o biossólido alcalinizado aplicado nos tratamentos L<sub>1</sub> a L<sub>5</sub>. Naquela estação, o esgoto é tratado através de sistema de aeração prolongada e posterior desaguamento, produzindo lodo aeróbio. Alguns atributos físicos e químicos do lodo de esgoto estão descritos na Tabela 10 (Apêndice 4).

TABELA 10 - ALGUNS ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO LODO DE ESGOTO ORIUNDO DA ETE-BELÉM DA SANEPAR, ANTES DA ESTABILIZAÇÃO PELO “Processo N-Viro”

Umidade %	Sólidos Totais %	pH CaCl <sub>2</sub>	pH H <sub>2</sub> O	Ca <sup>+2</sup> total g kg <sup>-1</sup>
86,37	13,63	5,6	6,2	3,66

### 3.4 PROCESSO DE HIGIENIZAÇÃO E ESTABILIZAÇÃO TERMO-ALCALINA DO LODO DE ESGOTO (Processo N-Viro)

O processo de estabilização e pasteurização termo-alkalina, que o lodo de esgoto desaguado mecanicamente recebera foi através do “Processo de Estabilização Alcalina Avançada com subsequente Secagem Acelerada” (Processo N-Viro). Este processo caracteriza-se por adicionar ao lodo de esgoto componentes alcalinos, como óxidos, hidróxidos, carbonatos de Ca e pó de fornos de cimento (CKD), provocando a elevação do pH e a redução da umidade. Tendo como produto final, o bio-sólido alcalinizado (N-Viro Soil-Belém/2001) com elevado teor total de Ca<sup>+2</sup>, baixo teor de umidade e odor reduzido.

### 3.5 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E FÍSICA DO BIOSSÓLIDO ALCALINIZADO

As análises físicas do bio-sólido alcalinizado (N-Viro Soil-Belém/2001), seguiram a metodologia proposta por TEDESCO et al. (1995). O procedimento analítico utilizado para a obtenção dos teores totais de P, foi através da digestão nitro-perclórica (JONES; CASE, 1990).



A determinação do conteúdo de P presente no extrato do bio sólido foi pelo método colorimétrico, medindo-se a intensidade da cor do complexo fosfomolibdato de amônio, utilizando o ácido ascórbico como agente redutor. A leitura foi realizada em espectrofotômetro utilizando-se do comprimento de onda de 660 nm. A Tabela 11 apresenta os resultados das análises físicas (Apêndice 5) e químicas (Apêndice 6) do bio sólido alcalinizado.

TABELA 11 - ALGUNS ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO BIOSSÓLIDO ALCANINIZADO, COM BASE NO PESO SECO (MÉDIA DE 4 DETERMINAÇÕES)

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS				
Eficiência Relativa	Poder de Neutralização	Poder Relativo de Neutralização Total	Umidade	Sólidos Totais
..... % .....				
5,25	69,43	3,64	35,19	64,81
CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS				
P total g kg <sup>-1</sup>		Ca <sup>+2</sup> total g kg <sup>-1</sup>	pH H <sub>2</sub> O	
15,40		189,24	12,1	

### 3.6 ESTABELECIMENTO DAS DOSES DE BIOSSÓLIDO ALCALINIZADO

Neste estudo, as doses de bio sólido alcalinizado aplicadas em cada tratamento foram estabelecidas com base no poder de neutralização de 69,43% do produto (Tabela 11) e no arredondamento dos resultados obtidos dos métodos para o cálculo de doses de corretivos da acidez do solo da camada de 0-5 cm (Tabela 9), a saber: método SMP para se atingir pH H<sub>2</sub>O 5,5, 6,0 e 6,5 (BARTZ et al, 1995), pelo método do Al x 2 (TOMÉ, 1997) e pelo método da saturação da CTC por bases para o V<sub>2</sub> atingir 60, 70 e 80% de T (TOMÉ, 1997). Nos cálculos, não foi considerado o PRNT de 3,64% do bio sólido alcalinizado.

Também foi utilizado nos cálculos para recomendação de calcareação as médias das características químicas (pH) e físicas (PN) de 28 N-Viro Soil, publicadas por LOGAN e HARRISON (1995). A Tabela 12 apresenta os resultados dos cálculos obtidos para recomendações de calcareação, já arredondados para serem utilizados no experimento considerando os resultados analíticos para a camada de 0-5 cm como influenciada e corrigida inicialmente pela aplicação do lodo de esgoto tratado pelo Processo N-Viro (média de 24 parcelas).

O tratamento testemunha (AS) foi constituído apenas pela adubação sintética.

TABELA 12 - RECOMENDAÇÕES DE BIOSSÓLIDO ALCALINIZADO ( $Mg\ ha^{-1}$ ) COM BASE NOS MÉTODOS ALUMÍNIO TROCÁVEL, SATURAÇÃO POR BASES (V%) E ÍNDICE SMP DO SOLO

Amostras cm	Al x 2	V% para 60%	V% para 70%	V% para 80%	PH SMP 5,5	pH SMP 6,0	pH SMP 6,5
0 - 5	0,0	0,0	0,5	1,0	0,7	1,3	2,0

Na Tabela 13, tem-se a média de 4 repetições da umidade do bio sólido alcalinizado (Apêndice 7) e a distribuição das dosagens para cada tratamento com base na matéria úmida e matéria seca (Apêndice 8).

TABELA 13 - UMIDADE MÉDIA DO BIOSSÓLIDO ALCALINIZADO E DOSES APLICADAS POR HECTARE

TRATAMENTOS	UMIDADE DO BIOSSÓLIDO	DOSE (BASE ÚMIDA)	DOSE (BASE SECA)
	%	----- kg ha <sup>-1</sup> -----	
AS	----	0,0	0,0
L <sub>1</sub>	32,13	500	339
L <sub>2</sub>	31,66	1000	683
L <sub>3</sub>	30,27	2000	1394
L <sub>4</sub>	34,07	4000	2637
L <sub>5</sub>	32,81	750	503

### 3.7 ESTABELECIMENTO DAS DOSES DOS ADUBOS SINTÉTICOS

O termo, adubos sintéticos (AS), foi empregado para designar os adubos minerais e orgânicos utilizados nos tratamentos (MALAVOLTA, 1979).

O cálculo das doses dos adubos sintéticos aplicados nos tratamentos baseou-se nos resultados da análise química do solo (Tabela 9) e nas recomendações para o milho (*Zea mays* L.), propostos por BARTZ et al. (1995). Os produtos utilizados e as características químicas dos adubos sintéticos utilizados no experimento, encontram-se na Tabela 14. As dosagens dos adubos sintéticos utilizados nos tratamentos estão listados na Tabela 15. Os adubos sintéticos foram todos aplicados manualmente, a lanço na superfície do solo.

TABELA 14 - FONTE DE NUTRIENTES E GARANTIAS DOS ADUBOS SINTÉTICOS, APLICADOS NOS TRATAMENTOS

FONTE	GARANTIAS (%) N - P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - K <sub>2</sub> O
MAP (Fosfato monoamônio)	11 - 52 - 00
Uréia	46 - 00 - 00
KCl	00 - 00 - 60
Uréia + KCl (formulado)	25 - 00 - 25

NOTA: Caracterização química em citrato neutro de amônio, segundo dados do rótulo da saca de adubo procedente da FERTIPAR.

TABELA 15 - DOSES DOS ADUBOS SINTÉTICOS APLICADOS NOS TRATAMENTOS

TRATAMENTOS	FERTILIZANTES SINTÉTICOS		
	Uréia	MAP	KCl
	----- kg ha <sup>-1</sup> -----		
AS	120	98	100
L <sub>1</sub>	120	98	100
L <sub>2</sub>	120	98	100
L <sub>3</sub>	120	98	100
L <sub>4</sub>	120	98	100
L <sub>5</sub>	84	68,6	70

### 3.8 APLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS E CONDUÇÃO DA CULTURA DE MILHO

As doses de biossólido alcalinizado (N-Viro Soil-Belém/2001) foram aplicadas a lanço, 4 dias antes do plantio do milho. Não houve a incorporação deste material ao solo por se tratar de área sob plantio direto.

O plantio do milho foi realizado no dia 22 de dezembro de 2001, utilizando-se da variedade SHS 5050 híbrido triplo, produzida pela empresa de sementes Santa Helena, classificada como super precoce, originada no lote 19/01/BL. O espaçamento entre as linhas utilizado foi de 80 cm, com 4 a 6 plantas por metro linear. A adubação de plantio deu-se imediatamente a este, sendo aplicada a lanço superficialmente a dose total de  $P_2O_5$  e parte do N na forma de MAP. O restante da adubação nitrogenada e potássica, foi realizada em duas coberturas. A 1ª adubação de cobertura, efetuada com uréia e KCl, ocorreu 26 dias após o plantio, quando a planta encontrava-se no estágio V2 (4 folhas totalmente abertas). Nesta mesma oportunidade aplicou-se  $7 \text{ L ha}^{-1}$  do herbicida Primóleo (atrazine  $400 \text{ g L}^{-1}$  + óleo vegetal  $300 \text{ g L}^{-1}$ ), para o controle da *Brachiaria plantaginea* (papuã), em mistura com  $70 \text{ ml ha}^{-1}$  de Talcord 250 CE (Permetrina) e  $300 \text{ ml ha}^{-1}$  do inseticida Match (Lufesuron), para controle da lagarta do cartucho.

Aos 38 dias do plantio do milho, quando a planta encontrava-se no estágio V3, foi realizada monda para eliminação das plantas daninhas não atingidas pelo herbicida. Quando a planta apresentava-se no estágio V3 a V4 (com 9 folhas totalmente abertas), 54 dias após o plantio, aplicou-se a lanço a 2ª cobertura da adubação nitrogenada e potássica com o formulado 25-00-25, na mesma época realizou-se o levantamento do estande. Quando o milho completou 128 dias, foi realizada a colheita manual das parcelas experimentais.

### 3.9 COLETA DO TECIDO VEGETAL

Para as análises foliares coletou-se 15 amostras de folhas diagnose por unidade experimental, quando o milho encontrava-se com mais de 90% das plantas pendoadas, no estágio fenológico R5 e R6 (com 63 dias de idade), retirando-se o terço-médio da folha da base da espiga superior, conforme preconiza MALAVOTA (1997).

As folhas foram acondicionadas em sacos de papel e identificadas. Posteriormente foram levadas à estufa sem lavagem, com temperatura de 65 a 70°C, até atingir peso constante (aproximadamente 48 h), conforme recomendações adaptadas de MALAVOLTA (1997) e RAIJ (1991). Na etapa seguinte, retirou-se as nervuras centrais das folhas, para evitar a possibilidade de superestimar a concentração de nutrientes do limbo. Em seguida, as folhas foram moídas até a consistência de pó, através do moedor Fritsch Pulveruette de 14 a 1000 rpm e peneiradas em malha de 0,5 mm.

#### 3.9.1 Análise Química do Tecido Vegetal

A marcha analítica utilizada para a análise química dos teores totais de P do tecido vegetal, incluiu a digestão via úmida, utilizando-se do ácido nítrico concentrado para obtenção do extrato, segundo metodologia descrita por JONES e CASE (1990).

O conteúdo de P presente no extrato oriundo do material vegetal, foi determinado a partir da formação do complexo fosfomolibdato (cor azul). O aparelho utilizado para leitura da transmitância foi o espectrofotômetro visível, ajustado para 660nm.

A concentração de P-total do limbo foliar foi determinada através da equação logarítmica [ $y = -1,9677 \ln(x) + 9,046$ ], obtida com a construção da curva-padrão, a partir da solução-estoque de 1000 mg kg<sup>-1</sup> de P. A correlação entre a concentração de P (g kg<sup>-1</sup>) e os valores de transmitância foi  $r^2 = 0,9994$  (Apêndice 9).

### 3.10 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

#### 3.10.1 Testes de Homocedasticidade das Variâncias

O delineamento estatístico utilizado foi o de blocos ao acaso. A homocedasticidade das variâncias foi verificada através de uma probabilidade conjunta entre os testes de Bartlett, Cochran, Hartley com o teste de Levene (Apêndice 10).

Na análise de variância foram considerados significativos, os valores alcançados para probabilidades inferiores a 5% (Apêndice 11). As médias que apresentaram diferenças significativas ( $F_{<0,05}$ ) foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância (Apêndice 12).

Os dados foram analisados com o auxílio do programa Statistica 6.0 – StatSoft.

#### 3.10.2 Análises de Correlação

Foram estabelecidas correlações para avaliar o efeito da aplicação superficial das doses crescentes de biossólido alcalinizado ( $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$  e  $L_4$ ), sobre os parâmetros estudados (pH  $CaCl_2$ , P-extraível e C-orgânico oxidável) na camada de 0-5 cm. Correlações entre os teores de P-extraível na camada de 0-5 cm do solo, com os teores totais de P no limbo foliar do milho. E ainda, entre a produtividade do milho com as doses crescentes de biossólido alcalinizado, considerando coeficiente de correlação significativo  $\alpha = >0,85$  (HOEL, 1979).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. EFEITOS DOS TRATAMENTOS NO SOLO

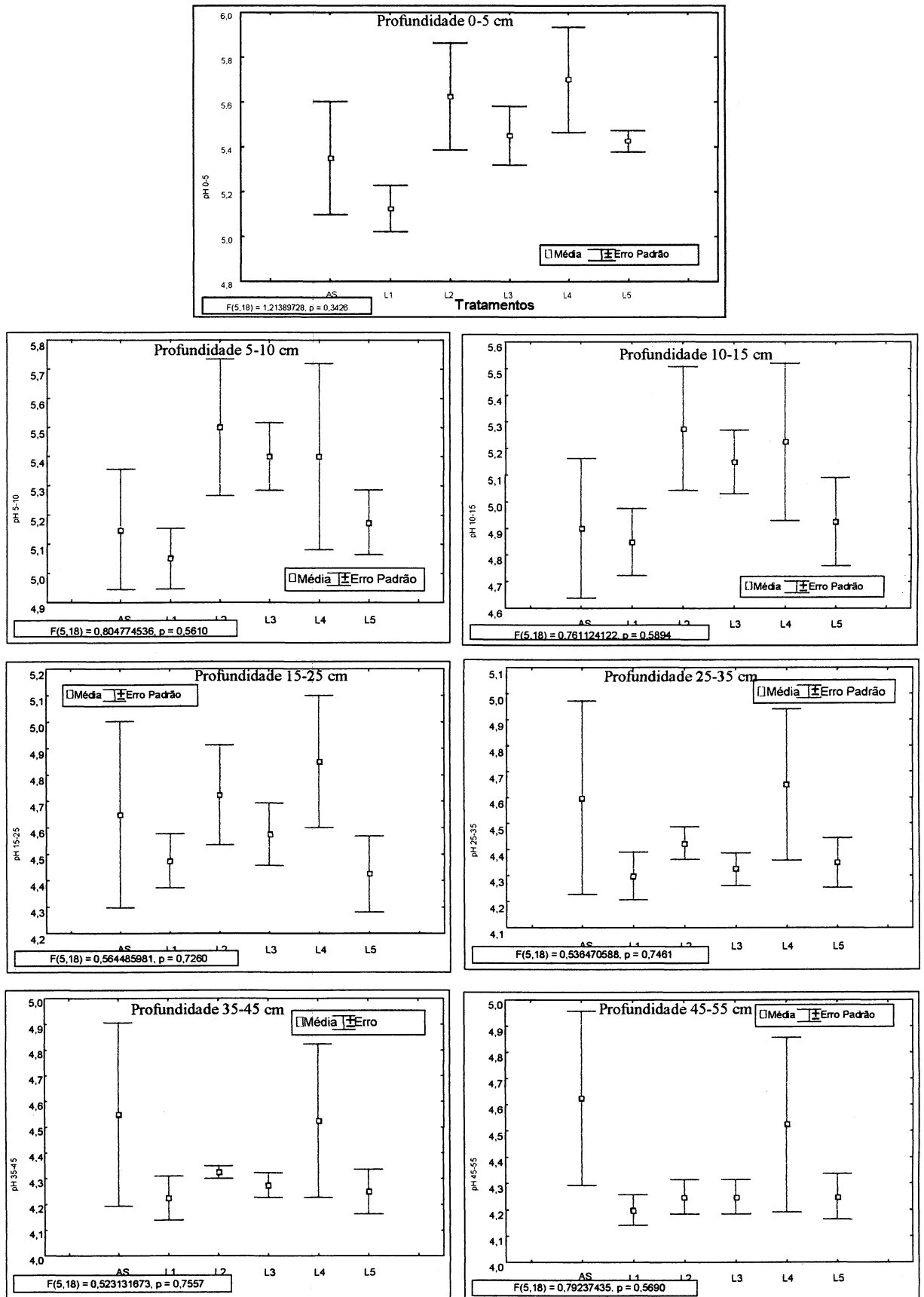
#### 4.1.1 Índices de pH CaCl<sub>2</sub> do Solo

Na Figura 13 verifica-se que 4 meses após a aplicação dos tratamentos sobre a superfície do solo, sem haver a incorporação do bio sólido alcalinizado, estatisticamente, não alterou significativamente os níveis de pH CaCl<sub>2</sub> para nenhuma das camadas avaliadas, nem sequer para a camada de 0-5 cm do solo. No entanto, nota-se para a camada mais superficial uma certa tendência dos índices de pH CaCl<sub>2</sub> serem superiores nos tratamentos que receberam as maiores doses de bio sólido alcalinizado (L<sub>2</sub>, L<sub>3</sub> e L<sub>4</sub>).

A não significância entre os tratamentos nas diferentes camadas do perfil do solo, pode ser atribuída aos seguintes fatores:

- (i) As doses de bio sólido alcalinizado não foram suficientes para aumentar o pH do solo, isto que os cálculos das dosagens deste material foram estabelecidos com base no poder de neutralização (PN=69,43%), o que resultou em baixas doses de bio sólido alcalinizado. Ocorre que na ocasião do planejamento do experimento, supôs-se que o bio sólido alcalinizado poderiam prejudicar o crescimento inicial das plantas de milho;
- (ii) Baixa eficiência relativa do bio sólido alcalinizado. As doses foram estabelecidas com base no PN e não no PRNT (3,64%), que considera tanto o poder de neutralização quanto a eficiência relativa das partículas (5,25%);

FIGURA 13 - pH CaCl<sub>2</sub> EM DIFERENTES PROFUNDIDADES DO SOLO APÓS A COLHEITA DO MILHO (MÉDIA DE 4 REPETIÇÕES)

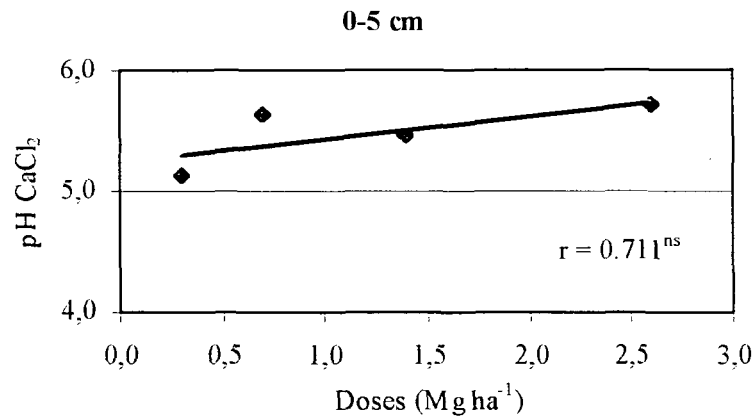




- (iii) Elevada capacidade tamponante do solo pode ter dificultado possíveis variações de pH, devido: ao manejo do solo sob plantio direto, que acumula resíduos orgânicos na superfície em vários estágios de decomposição (LUCHESE; FAVERO; LENZI, 2001; VELOSO et al., 1992; ANDREOLI, 1988; STEVENSON, 1986; MELLO et al., 1984). SOUZA (1998) cita que o processo de acidificação do solo em plantio direto, ocorre de forma localizada, principalmente na camada de 0-5 cm, devido aos ácidos orgânicos liberados durante o processo de mineralização dos restos culturais. SANCHEZ (1976) cita que durante o processo de mineralização, os microrganismos desprendem o  $\text{CO}_2$ , que ao se combinar com a  $\text{H}_2\text{O}$  forma o ácido carbônico, contribuindo com a redução do pH do solo;
- (iv) Ao breve período experimental (4 meses), que acredita-se não ter sido suficiente para que ocorresse a solubilização e a reação total dos grânulos do biossólido alcalinizado com o solo. Fato este verificado por ocasião da colheita do milho, quando muitos foram encontrados sobre a superfície do solo.

Ao se estabelecer correlações entre o pH da camada de 0-5 cm do solo com as doses crescentes de biossólido alcalinizado, conforme mostra Figura 14, verifica-se que o pH não aumentou proporcionalmente em função do incremento das doses de biossólido alcalinizado (N-Viro Soil-Belém/2001).

FIGURA 14 - COEFICIENTE CORRELAÇÃO ( $r$ ) ENTRE DOSES CRESCENTES DE BISSÓLIDO ALCALINIZADO COM pH  $\text{CaCl}_2$ , DA CAMADA DE 0-5 cm DO PERFIL DO SOLO (MÉDIA DE 4 REPETIÇÕES)



NOTA: <sup>ns</sup>Regressão Linear com coeficiente de correlação significativo para  $n = 4 / \alpha = > 0,850$

Diante do exposto, conjectura-se que para o biofóssido alcalinizado reagir com o solo, der-se-ia aplicá-lo pelo menos 3 meses antes do plantio do milho (VOLKWEISS; LUDWICK, 1975). Pois, mesmo com elevado PN, a reatividade do biofóssido alcalinizado tratado pelo Processo N-Viro foi reduzida em decorrência da aplicação superficial e da baixa ER. ANDREOLI (1988), verificou que os efeitos após a adição de resíduo urbano no solo dependem da quantidade e qualidade do composto e quanto maior for a granulometria do fertilizante, menor será sua reatividade.

Ainda, foi possível constatar que a aplicação do biofóssido alcalinizado, sem incorporá-lo ao solo, não causou injúrias ou desbalanços nutricionais às plantas.

#### 4.1.2 Teores de P-extraível do Solo

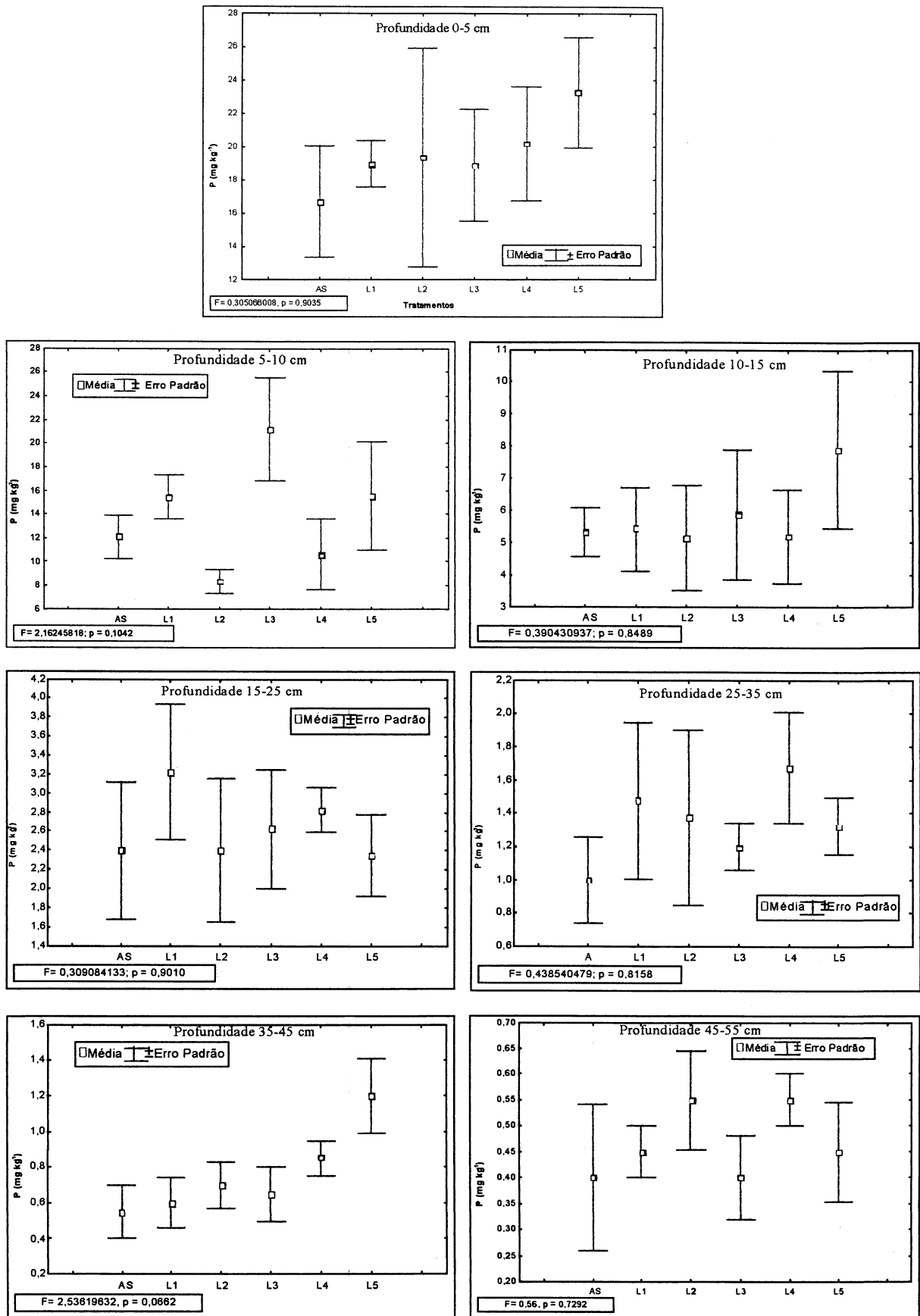
Os resultados obtidos para os teores de P-extraível do solo por Mehlich-1 para as diferentes camadas do perfil do solo amostradas após a colheita do milho estão apresentados na Figura 15. A análise de variância não demonstrou haver diferenças significativas ( $F_{<0.05}$ ) entre os tratamentos para as diferentes camadas do perfil do solo para os teores de P-extraível (Figura 15).

Por se tratar de uma área manejada sob plantio direto e ainda, pela forma de aplicação (à lanço sobre a superfície do solo) dos tratamentos, esperava-se que os teores de P-extraível fossem superiores nos tratamentos que receberam maiores doses de biofósforo alcalinizado, especialmente na camada de 0-5 cm do solo, o que também não ocorreu.

Acredita-se que os tratamentos não apresentaram diferenças estatísticas significativas para os teores de P-extraível na camada de 0-5 cm, em decorrência dos seguintes fatores:

- (i) Período experimental de 4 meses, no qual não foi suficiente para que o biofósforo alcalinizado reagisse satisfatoriamente com o solo e liberasse o P nele contido. NOVAIS e SMYTH (1999) citam que os fertilizantes orgânicos e minerais necessitam de maior tempo de contato com o solo para haver maior mineralização e/ou solubilização do P ao solo. WIETHÖLTER et al. (1994), verificaram aumentos significativos nos teores de P-lábil do solo ao avaliar o efeito de fertilizantes organominerais e minerais em diferentes épocas de amostragem;
- (ii) O pequeno número de sub-amostras (7) coletadas de cada parcela experimental provavelmente não foi suficiente para representar o nível de fertilidade das parcelas experimentais, não permitindo a detecção de diferenças significativas para os parâmetros avaliados neste estudo;
- (iii) Baixa precipitação pluviométrica durante o período experimental, a qual pode ter exercido relativa influência na solubilização de P (LOPES, 1989; ESPINOZA, AZEVEDO e REIS, 1980; THOMPSON, 1973);

FIGURA 15 - P-EXTRAÍVEL EM DIFERENTES PROFUNDIDADES DO SOLO APÓS A APLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS (MÉDIA DE 4 REPETIÇÕES)

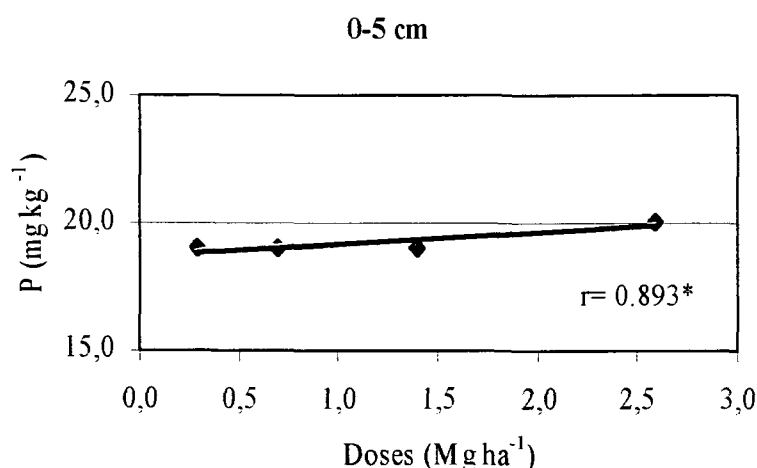


- (iv) Baixo teor de P-total (Tabela 11) e possivelmente de P-solúvel no biossólido tratado pelo Processo N-Viro, uma vez que a tecnologia utilizada para o tratamento do lodo de esgoto, promove a elevação do pH do produto final, em razão da presença de carbonatos, de hidróxidos de Ca e de silicatos de Ca e Mg, levando à insolubilização e à menor disponibilização de P no produto final causada pela formação de compostos de P de baixa solubilidade (LUCCHESI, 1997; BURNHAM et al., 1992b). O comportamento e a eficiência do biossólido alcalinizado após serem adicionados ao solo, depende de algumas características, como do processo de estabilização e higienização, da origem do lodo, da natureza química dos neutralizantes, do poder de neutralização, de sua solubilidade e granulometria (VELOSO et al., 1992) e ainda, de seus teores de nutrientes;
- (v) O pH médio na camada de 0-5 cm do solo após a aplicação dos tratamentos manteve-se na faixa de 5,3, o que poderia estar sendo pouco favorável à promover aumento nos teores extraíveis de P (MARSCHER, 1986; TISDALE et al, 1985; MALAVOLTA, 1985);
- (vi) As doses de P, contido nos tratamentos que receberam biossólido alcalinizado, não foram suficientes para aumentar os teores de P-extraível, quando aplicados num solo já com consideráveis teores de P-total (SÁ, 1993; COLE et al., 1978). De acordo com BURNHAM et al. (1992a), para se suprir o solo em P a partir de N-Viro Soil, deve-se adotar doses de até 40 Mg ha<sup>-1</sup> do produto ao solo. Além do mais, NOVAIS e SMYTH (1999) afirmam que quando o P solúvel se precipita com íons de Ca, Fe e, ou Al, ou se adsorve aos óxidos de Fe e Al, este adquire uma constituição de menor disponibilidade, podendo sofrer processo de dessorção caso haja abaixamento no teor de P da solução do solo, mantendo o “equilíbrio entre o P-lábil com o P da solução”. A forma de aplicação, a classe textural, a fertilidade, o nível de P do solo e a rotação de culturas, podem exercer influências significativas na disponibilidade de P no plantio direto (SÁ, 1993; COLE et al., 1978).

PÖTTER (1998) verificou que lavouras sob vários anos em plantio direto tendem a acumular nutrientes na camada superficial, especialmente na de 0-5 cm. DICK et al. (1991) constataram que a distribuição do P-lábil diminui nos horizontes sub-superficiais do solo. As constatações observadas por estes autores vêm ao encontro daquelas obtidas neste trabalho como demonstra a Figura 15.

Houve correlação (Figura 16) entre os teores de P-extraível da camada de 0-5 cm do solo com as doses crescentes de biofóssido alcalinizado ( $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$  e  $L_4$ ), indicando uma certa tendência dos teores de P-extraível aumentarem em função do incremento das doses de biofóssido alcalinizado

FIGURA 16 - COEFICIENTE CORRELAÇÃO ( $r$ ) ENTRE DOSES CRESCENTES DE BIOSSÓLIDO ALCALINIZADO COM P-EXTRAÍVEL ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) DA CAMADA DE 0-5 cm DO PERFIL DO SOLO (MÉDIA DE 4 REPETIÇÕES)



NOTA: \*Regressão Linear com coeficiente de correlação significativo para  $n = 4 / \alpha = > 0,850$

Sob enfoque agrícola, o N-Viro Soil, caso fosse utilizado como fonte de P, para suprir a necessidade da cultura, deveria ser aplicado em elevadas quantidades, o que poderia levar o solo ter sua fertilidade desequilibrada, sendo mais adequado considerá-lo como fonte complementar deste nutriente, pelo seu baixo teor de P-solúvel.

Mesmo não sendo estatisticamente significativa, o tratamento L<sub>5</sub>, (32,81 kg de biossólido + 70% da adubação sintética), tendeu a apresentar maiores teores de P-extraível na camada de 0-5 cm, conforme mostra a Figura 14.

Conjectura-se se que a possibilidade de em havendo a incorporação do biossólido alcalinizado, ser possível haver maior alteração dos teores de P do solo, devido à maior solubilização e reação deste material com o solo.

#### 4.1.21 Efeitos dos Tratamentos nos Teores de P no Limbo Foliar

Nenhum tratamento resultou em alterações na concentração foliar de P. Durante o período experimental, as plantas de milho não apresentaram sintomas de deficiência em P, conforme os resultados apresentados na Tabela 16, visto que as concentrações de P no limbo foliar do milho estavam adequadas em todos os tratamentos.

Verifica-se que os teores de P presente no limbo foliar foram muito semelhantes entre os tratamentos. GOEDERT, SOUZA e LOBATO (1986), afirmam que a forma e a intensidade da resposta da cultura à adubação fosfatada estão estreitamente relacionadas com diversos fatores, como a natureza do fertilizante, o tipo de solo, a espécie e variedade vegetal e as condições climáticas.

Outra possível explicação para os teores de P-total da folha do milho serem muito semelhantes entre os tratamentos, se dá ao fato de que as plantas em níveis ótimos ou em excesso de P fazem “consumo de luxo” (GOEDERT, 1986), e todo o P absorvido em excesso, acumula-se na forma de polifosfatos e outros fosfatos sem afetar o crescimento da planta.

Os teores médios de P-extraível nas camadas de 0-15 cm do solo variaram de 11,0 (L<sub>2</sub>) a 15,6 (L<sub>5</sub>) mg kg<sup>-1</sup>, sendo considerado segundo ROLAS (1984), teores de médio a suficiente para a cultura do milho.

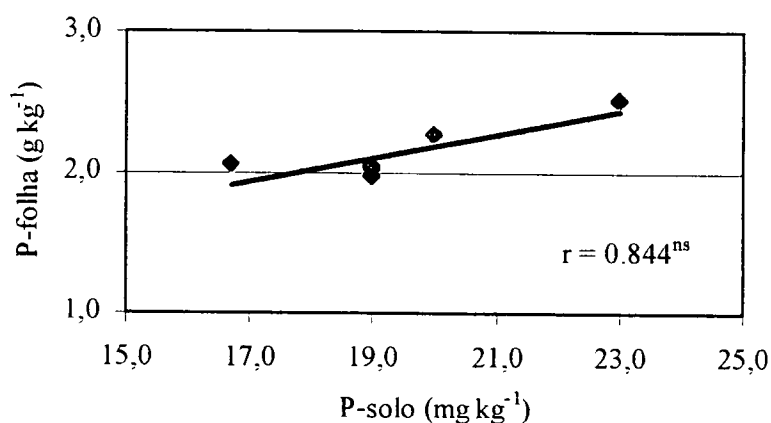
TABELA 16 - CONCENTRAÇÃO FOLIAR DE P-TOTAL ( $\text{g kg}^{-1}$ ) EM MILHO

TRATAMENTOS	REPETIÇÕES				TOTAL	MÉDIA*
	I	II	III	IV		
	----- $\text{g kg}^{-1}$ -----					
AS	1,4	2,8	2,6	1,3	8,1	2,0
L <sub>1</sub>	1,9	2,8	2,0	1,1	7,8	2,0
L <sub>2</sub>	2,3	2,5	1,8	1,6	8,2	2,1
L <sub>3</sub>	3,1	1,9	1,7	1,5	8,2	2,1
L <sub>4</sub>	2,2	2,5	2,0	2,3	9,0	2,3
L <sub>5</sub>	2,0	3,2	2,6	2,3	10,1	2,5

NOTA: \*Valores médios de P-total da folha não apresentaram diferenças significativas ( $F_{<0,05}$ ) entre os tratamentos

Os teores de P-extraível por Mehlich-1, da camada de 0-5 cm, não se correlacionaram significativamente com as concentrações de P-total do limbo foliar do milho, apresentados na Figura 17.

FIGURA 17 – COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO ENTRE OS TEORES (MÉDIA DE 4 REPETIÇÕES) DE P-EXTRAÍVEL NA CAMADA DE 0-5 cm DO SOLO COM A CONCENTRAÇÃO (MÉDIA DE 4 REPETIÇÕES) DE P DO LIMBO FOLIAR DA PLANTA-TESTE DOS TRATAMENTOS



NOTA: <sup>ns</sup>Regressão linear com coeficiente de correlação significativo para  $n=6 / \alpha = > 0,850$



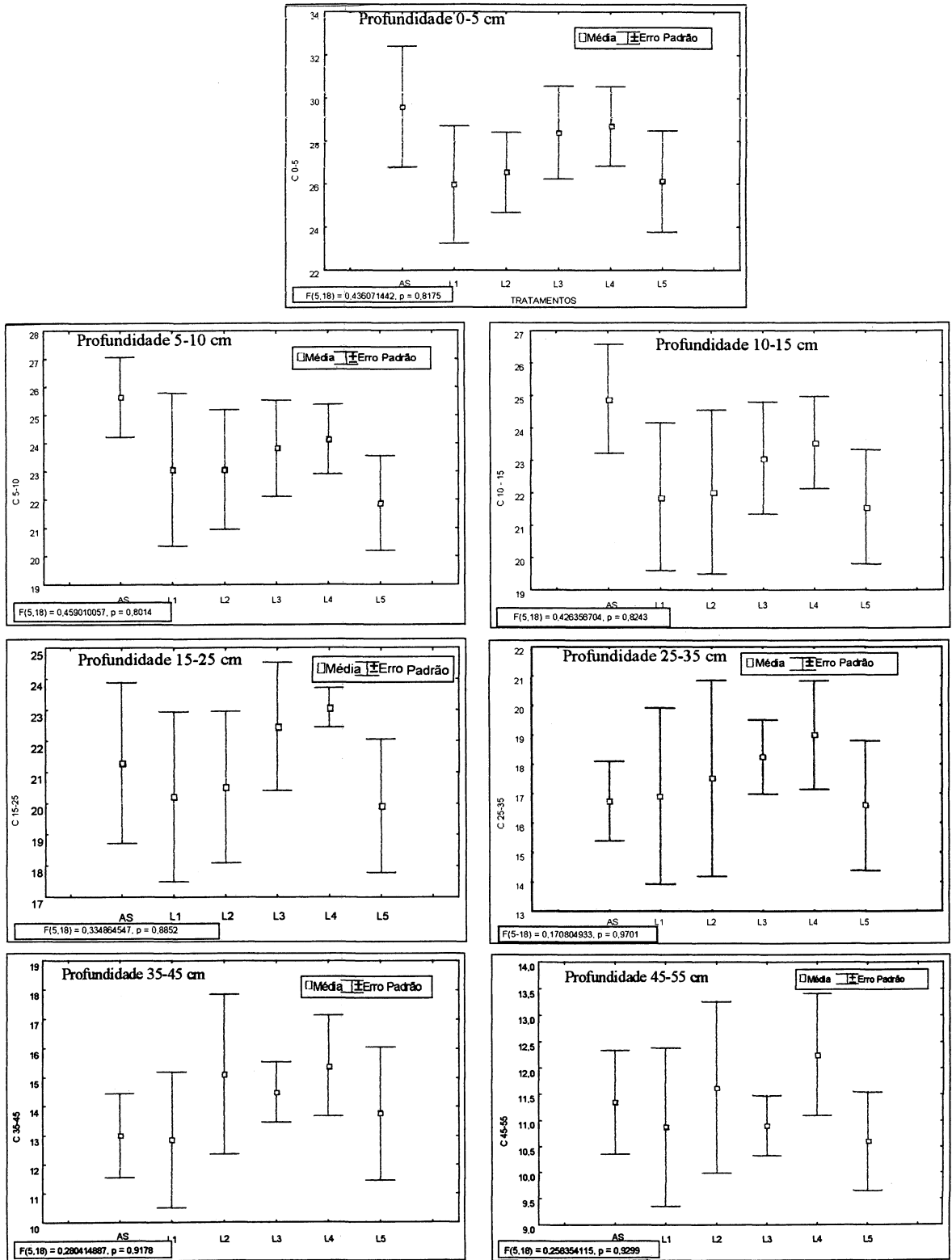
Diante do exposto, acredita-se que áreas sob plantio direto e com alta produtividade, são propícias para receberem doses agronomicamente calculadas de biossólido alcalinizado. Vale ressaltar que a adoção de práticas efetivas para a conservação das camadas superficiais do solo é importante para minimizar o processo de eutrofização das águas superficiais, causado pelo P oriundo da agricultura.

Contudo, o uso do biossólido de esgoto pode contribuir na prevenção da erosão das camadas superficiais, com o aumento no teor de húmus auxiliando na melhoria da infiltração da água para camadas sub-superficiais, aumentando a resistência dos agregados (FERNANDES et al., 1997). E ainda, o biossólido de esgoto tratado pelo Processo N-Viro contém elevados teores de óxidos, hidróxidos e carbonatos (BURNHAM et al. 1992b), que são responsáveis pela formação de complexos de P de baixa solubilidade. LUCCHESI (1997), relata que o P apresenta menor mobilidade no lodo estabilizado pelo Processo N-Viro quando comparado com a compostagem. No ponto de vista ambiental, esta retenção do P é muito propícia, pois permite aplicar maiores doses  $\text{kg ha}^{-1}$  de N-Viro Soil, já que o P é um dos fatores limitantes para a disposição do biossólido de esgoto em solos agrícolas. Isto parece ser muito favorável para sanar, em parte, o problema da distribuição do lodo de esgoto tratado em sistemas agrícolas, maximizando o uso dos nutrientes e minimizando as perdas destes nutrientes para lençol freático ou cursos de água.

#### 4.1.3 Teores de Carbono-orgânico no Solo

Conforme mostra a análise de variância (Figura 18) para os teores de C-orgânico, não houveram diferenças significativas ( $F_{<0,05}$ ) entre os tratamentos nas diferentes camadas do perfil do solo.

FIGURA 18 - C-ORGÂNICO OXIDÁVEL EM DIFERENTES PROFUNDIDADES DO SOLO APÓS A COLHEITA DO MILHO (MÉDIA DE 4 REPETIÇÕES)



Estes resultados podem ser atribuídos às baixas doses do biossólido alcalinizado, que não foram suficientes para elevar os teores de C do solo a níveis detectáveis. MELO et al. (1994) obtiveram aumento nos teores de C no solo nos tratamentos onde foram aplicadas doses de 16 e 32 Mg ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto, doses estas muito superiores às utilizadas no presente trabalho.

Ao comparar os teores de C antes e após a aplicação dos tratamentos constatou-se uma sensível redução dos teores de C após a aplicação dos tratamentos. De acordo, SÁ (1994) verificou redução nos teores C em função do tempo sob sistema de plantio direto e JOHNSTON<sup>6</sup>, citado por LUCCHESI (1988), cita que os teores de C do solo podem reduzir com culturas de ciclo anual e que as rotações de culturas de curta duração, não mantêm e nem elevam os teores de C no solo.

Assim o biossólido alcalinizado (N-Viro Soil) quando adicionado ao solo juntamente com os fertilizantes minerais que continham N e P prontamente disponíveis, poderia fomentar aumento da população e da atividade microbiana do solo. De acordo com STEVENSON (1986), a adição de M.O. ao solo pode estimular a decomposição do húmus, pelo aumento da atividade microbiana do solo. LUCHESE, FAVERO, LENZI (2001) e MELLO et al. (1984) citam que as relações C/N, C/P e C/S determinam a competição entre os nutrientes essenciais para a atividade microbiana do solo.

Como os resíduos vegetais que na época da aplicação dos tratamentos encontravam sobre a superfície do solo (restos da cultura de aveia) têm alta relação C/N e ao se adicionar os fertilizantes nitrogenados (MAP e uréia), possivelmente houve um incremento na atividade microbiana, e conseqüentemente, um aumento no consumo de N e P solúvel para seus processos metabólicos, o que acabou por não se traduzir em diferenças significativas para os teores de C-orgânico no solo, mesmo nos tratamentos que receberam doses mais altas de biossólido alcalinizado (Figura 18).

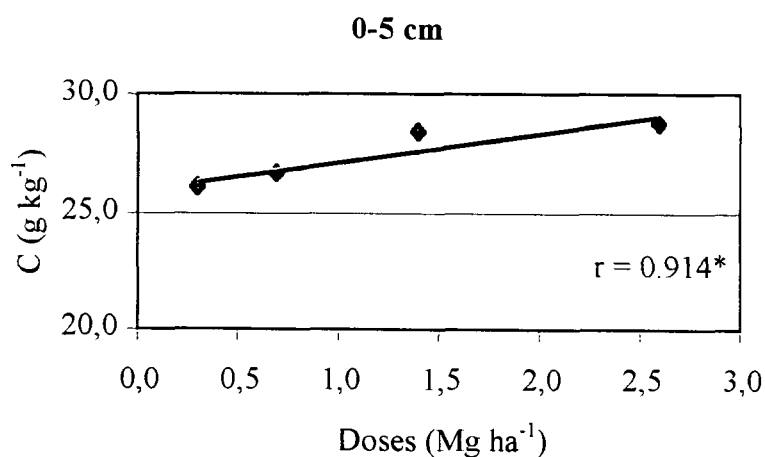
---

<sup>6</sup>JOHNSTON, J.R.; BROWING, G.M. E.; RUSSEL, M.B. The effect of cropping practices on aggregation, organic matter contend, and loss of soil water in the Marshall silt loam. **Soil Sci. Society of American Procced.** v. 15, p. 105-107, 1942.

Mesmo não sendo estatisticamente significativo (Figura 18), na camada de 0-5 cm, nota-se que uma pequena redução nos teores de C-orgânico nos tratamentos que receberam doses crescentes de biossólido alcalinizado + adubos sintéticos em comparação ao tratamento que recebeu apenas a adubos sintéticos. Este fato pode ser atribuído ao aumento da massa e da atividade microbiana oriunda do lodo e do solo.

Contudo, a Figura 19 mostra que os teores de C-orgânico oxidável na camada de 0-5 cm apresentaram correlação significativa com as doses crescentes de biossólido alcalinizado.

FIGURA 19 - COEFICIENTE CORRELAÇÃO ENTRE DOSES CRESCENTES DE BIOSÓLIDO ALCALINIZADO COM C-ORGÂNICO ( $\text{g kg}^{-1}$ ) DA CAMADA DE 0-5 cm DO PERFIL DO SOLO (MÉDIA DE 4 REPETIÇÕES)

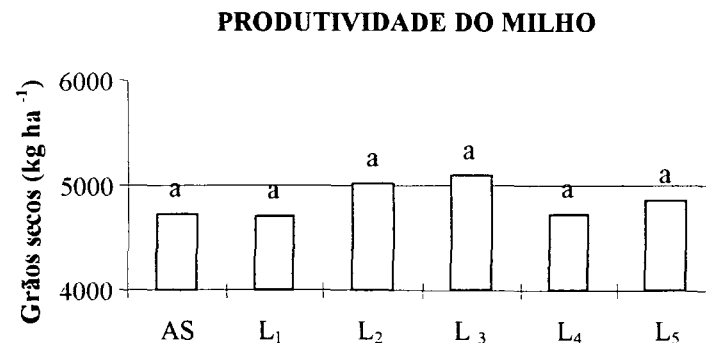


NOTA: \*Regressão Linear com coeficiente de correlação significativo para  $n = 4 / \alpha = > 0,850$

## 4.2 EFEITOS DOS TRATAMENTOS NA PRODUTIVIDADE DO MILHO

Os resultados de produtividade (Apêndice 13) obtidos na cultura do milho (Figura 20) mostram que tratamentos que receberam biossólido alcalinizado não se diferiram de modo significativo entre si e em relação ao tratamento composto exclusivamente da adubação sintética.

FIGURA 20 - EFEITOS DOS TRATAMENTOS NA PRODUTIVIDADE DO MILHO



NOTA: As médias seguidas de mesma letra não se diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância

Não houve correlação entre a produtividade do milho com as doses crescentes de biossólido alcalinizado ( $r = 0,134^{ns}$ ). Adicionalmente foi observada tendência ao aumento da produtividade nos tratamentos L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub> e L<sub>3</sub> (4703, 5025 e 5100 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente).

O tratamento L<sub>5</sub>, no qual testou-se a redução de 30% da adubação sintética aplicada aos demais tratamentos com uma dose intermediária de biossólido alcalinizado apresentou valores superiores na produtividade (Figura 20), quando comparado ao tratamento composto exclusivamente pela adubação sintética.

SOUZA, et al (1998) ao comparar o efeito da adição de lodo de esgoto em dois tipos de solos (LR e LVE), obteve diferenças significativas na produção de matéria seca do milho no tratamento que recebeu 9,94 Mg ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto e correlação significativa entre a produção de matéria seca com as doses de lodo de esgoto no LR, já no LVE, não houveram diferenças significativas entre os tratamentos.

Contudo, os efeitos estatisticamente inertes da aplicação de biossólido alcalinizado sobre a produtividade do milho são principalmente atribuídos as baixas doses de biossólido alcalinizado estabelecidas por tratamento, a baixa eficiência relativa deste material, a forma de aplicação (a lanço e sem incorporação) do biossólido e ao breve período experimental. E pelas condições acima citadas seria necessário maior período para avaliações, o que permitiria maior tempo para o biossólido alcalinizado reagir com o solo.

## 5 CONCLUSÕES

Não foram constatados aumentos significativos nos níveis de pH CaCl<sub>2</sub>, P-extraível e C-orgânico oxidável nas diferentes camadas do perfil do solo em função das doses crescentes de biossólido alcalinizado (N-Viro Soil-Belém/2001), provavelmente pelas baixas doses deste material estabelecidas por tratamento, aliada à baixa eficiência relativa e ao breve período experimental.

Não foi observada mudança nos teores de P-extraível no perfil do solo em função da aplicação dos tratamentos no cambissolo háplico, provavelmente pelas baixas doses de biossólido alcalinizado.

O tratamento L<sub>5</sub>, no qual foi testado a capacidade do biossólido alcalinizado servir como substitutivo parcial à adubação sintética, pareceu ser eficiente, já que mesmo tendo sido reduzida a dose de P oriundo dos adubos sintéticos, a planta de milho apresentou níveis adequados de P e a produtividade foi superior ao tratamento composto exclusivamente por adubos sintéticos.

Os resultados desse estudo foram parcialmente prejudicados pelo curto período experimental. Para produzir resultados livres de tendências ao se avaliar fertilizantes orgânicos oriundos de estações de tratamento de esgotos urbanos, o tempo de avaliação deve ser suficiente para que este resíduo reaja satisfatoriamente com o solo.

Mesmo que os incrementos de P-extraível com o uso de biossólido alcalinizado (N-Viro Soil-Belém/2001), sejam iguais ou similares aos resultados obtidos com adição de adubos minerais, deve-se incentivar a adoção do uso destes resíduos orgânicos em sistemas agrícolas, pois os fatores positivos não podem ser desconsiderados. Dar um destino adequado ao lodo de esgoto é hoje um problema mundial.

## 5.1 RECOMENDAÇÕES

O histórico da área é sempre relevante em estudos sob plantio direto, por fornecer informações que possam auxiliar na interpretação dos resultados da análise do solo, já que os trabalhos de calibração normalmente são realizados em áreas de plantio convencional.

Diante do exposto, acredita-se que a quantificação do efeito residual da adubação fosfatada seja imprescindível para o manejo e a economia destes fertilizantes, caracterizando a dimensão dos reservatórios de P em solos agricultáveis sob sistema de plantio direto. Monitorar uma área agrícola em longo prazo, é necessário especialmente formar um diagnóstico claro do movimento e das formas de P no perfil do solo.

A elaboração e a continuidade de projetos de pesquisa que avaliem fontes alternativas de fertilizantes (biossólido de lodo de esgoto) em diferentes sistemas agrícolas, aliadas à práticas conservacionistas do solo, têm sua importância por gerar bases para o uso consciente e adequado desses insumos, evitando desta forma, a contaminação da água e do meio ambiente como um todo.



## REFERÊNCIAS

ADEPETU, J.A.; COREY, R.B. Organic phosphorus as a predictor of plant-available phosphorus in soils of Souther Nigeria. **Soil Science**. Baltimore, v. 122, n. 3, p. 122-159, 1976.

ALCARDE, J.C. Corretivos da acidez dos solos: Características e interpretações técnicas. 2ª ed. São Paulo, ANDA. **Boletim técnico** n.6, 1992. 26p.

ALKALINE STABILIZATION OF AGRICULTURAL WASTES. Annual report. P. 1-13. Disponível em: <<http://www.nviro.com/facilities/facs/beltsville-uplantio/diretoate-htm>>. Acessado em 05 de novembro 1999.

ANDREOLI, C. V. Efeitos “In Vitro” do biossólido de esgoto e composto de lixo urbano, em alguns parâmetros da população microbiana do solo e solubilização de fosfatos. Curitiba, 1988. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia, Fertilidade do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

ANDREOLI, C. V. Uso e manejo do biossólido de esgoto na agricultura e sua influência em características ambientais no agrossistema. Curitiba, 1999. **Tese** (Doutorado em Agronomia, Fertilidade do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

ANDREOLI, C.V.; CASTRO, L. A. R.; PICINATTO, A. G.; PEGORINI, E. S. **Effect of the employment of biosolids as recovery agent for degraded areas**. In: Specialized Conference on Sludge Management: regulation, treatment, utilization and disposal. Acapulco, México. International Water Association. p. 410-417, 2001.

ANDREOLI, C.V.; FERNANDES F., DOMASZAK C. S. **Reciclagem agrícola do biossólido de esgoto: estudo preliminar para definição de critérios para uso agrônômico e de parâmetros para normatização ambiental e sanitária**. 2ª ed. rev. Curitiba: SANEPAR, 1999. 300p.

ANDREOLI, C.V.; PEGORINI, E.S., FERNANDES F. **Proposta de roteiro para elaboração de planos de distribuição de lodo**. In: I Seminário Sobre Gerenciamento de Biossólidos do Mercosul, Curitiba. **Anais**. Curitiba: SANEPAR / ABES, p. 291-300, 1998.

ANDREOLI, C.V.; PEGORINI, E.S., FERNANDES F. **Disposição do lodo no solo.** In: ANDREOLI, V.C.; SPERLING, M.V., FERNANDES, F. (eds.) *Biossólido de esgotos: tratamento e disposição final.* Belo Horizonte: DESA – UFMG – SANEPAR. p. 319 – 397, 2001.

ANJOS, A.R.M. Lixiviação de espécies químicas em latossolos sucessivamente tratados com biossólido e disponibilidade de metais pesados para plantas de milho. Piracicaba, 1999. 191 p. *Tese (Doutorado em Agronomia) – Departamento de Ciência do solo.* Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

BARTZ, H.R.; BISSANI, E.E.; SHERER, E.E.; TASSINARI, G.; SIQUEIRA, O.J.W.; FELTRACO, L.; WITHOLTER, S. **Recomendações de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.** 3ª ed. Passo Fundo. SBCS, Núcleo Regional Sul, 1995. 224p.

BATAGLIA, O.C.; RAIJ, B. van. Soluções extratoras na avaliação da fitodisponibilidade do Zn em solos. *Revista Brasileira Ciência do Solo.* Campinas. v. 18, p. 457-461, 1994.

BEAR, F.E. **Chemistry of the soil.** Reinhold Publishing Corporation. Advertising Management of American Chemical Society. New York, 1960. 373p.

BETTIOL, W.; CARVALHO, P.C.T.; FRANCO, B.J.D.C. Utilização do biossólido de esgoto como fertilizante. *O Solo.* Piracicaba, v. 75 (1), p. 44-54, 1983.

BIGARELLA, J.J.(Ed.) Nota explicativa da folha geológica de quero-quero. **Boletim da Universidade Federal do Paraná,** n.19, 1966. 21p.

BLEY, C. Estabilização e higienização de biossólidos. In: I Seminário Sobre Gerenciamento de Biossólidos do Mercosul, Curitiba. *Anais.* Curitiba: SANEPAR/ABES, p. 51-63, 1998.

BOSSCHE, H.V.; AUDIC, J.M.; HUYARD, A.; ODOUX, C.G.; TROLARD, F.; BOURRIÉ, G. Phosphorus losses from sewage sludge disposed on a field: evidence from storm event simulations. **Specialized Conference on Disposal and Utilization of Sewage Sludge: Treatment Methods and Application Modalities.** Athens, Greece, v. 13, n. 15, 1999.

BOYER, J. *Propriedades dos solos e fertilidade.* Salvador: Universidade Federal da Bahia, 1971. 196p.

BRAGA, R.N.; MASCARENHAS, H.A.A.; BULISANI, E.A.; RAIJ, B van. FEITOSA, C.T. e HIROCE, R. Eficiência agrônômica de nove fosfatos em quatro cultivos sucessivos de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, p. 315-319, 1991.

BULL, L.T. Interpretação de análise química de solo e planta para fins de adubação. Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisa Agrícolas e Florestais, p. 75-95, 1989.

BURNHAM, J.C., DONOVAN, J.F., FORSTE, J., GSHWIND, J., LOGAN, T.J., ZENZ, D.R. Production and distribution of municipal sewage sludge products. In: LUE-HING, C., ZENZ, D.R., KUCHENRITHER, R. (eds). **Municipal sewage sludge management library**. v. 4, Technomic Pub. Lancaster, Pennsylvania, p. 479-529, 1992a.

BURNHAM, J.C.; HATFIELD N.; BENNET G.F.; LOGAN, T.J. Use of quicklime and cement or lime kiln dust of municipal sludge pasteurization and stabilization with the N-Viro Soil Process. In: WALKER, D.D.; HARDY, Jr., T.B.; HOFFMAN, D.C.; STANLEY, D.D. **American Society for Testing and Materials**. Symp. On Innovations and Uses for Lime. Philadelphia, p. 128-141, 1992b.

CABALA, F.P.; SANTANA, M.B.M. Disponibilidade e diagnose de fósforo pela análise química do solo com referência ao Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.7, n. 2, p.109-118, 1983.

CAIXETA, D.A.; RODRIGUES, J.H.; JUNIOR, J.M.; CARVALHO, M.L.M.; BRIGAGÃO, M.P.L. **Curso de atualização em fertilidade do solo**. Machado: POTAFOS/ANDA, 1988.

CAMARGO, M.N., JACOMINE, P.K.T; CARVALHO, A.P., LARACH, J.O.I., SANTOS, H.G. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3ª ed. EMBRAPA. SNLCS. Rio de Janeiro, RJ, 1988. 122p.

CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES J. M. A. S. Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônômico de Campinas. 1996 n.106. **Boletim técnico**.

CAMPELLO, M.R.; NOVAIS, R.F.; FERNANDEZ, R.; FONTES, M.P.F.; BARROS, N.F. Avaliação da reversibilidade de fósforo não lábil em solos com diferentes características. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, p.157-165, 1994.

CANZIANI, J.R.; PEGORINI, E.S.; MASSARDO, M.; OSAKI, M. Aspectos sócio-econômicos. In: ANDREOLI, V. C.; LARA A.I.; FERNANDES F. (eds.) **Reciclagem de biossólidos: Transformando problemas em soluções**. 2ª ed. Curitiba: SANEPAR, FINEP. p. 239-260, 2001.

CARNEIRO, C. Comparação de cinco métodos de análise química foliar utilizando erva-mate (*Ilex paguariensis* St. Hill) como matriz analítica. Curitiba, 2001. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia, Fertilidade do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

CATANI, R.A.; BATAGLIA, O.C. Formas de ocorrência do P no solo latossolo roxo. **Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**. Piracicaba, v.25, n.1, p. 99-119, 1957.

CHAPMAN, H.D.; PRATT, P.F. Methods of analysis of soils, plants and waters. Univ. Calif. Division of Agric. Sciences. Berkeley, 1961.

COLE, C.V.; ELLIOT, E.T.; HUNT, H.W.; COLEMAN, D.C. Trophic interactions in soils as they affect energy and nutrient dynamics. V. Phosphorus transformations **Microb. Ecol.** New York, v. 4, p. 381-387, 1978.

DALAL, R.C.; HALLSWORTH, E.G. Evaluation of the parameters of soil phosphorus availability factors in predicting yield response and P uptake. **Soil Sci. Soc. Am. J.** Madison, v.40, p. 541-546, 1976.

DEFELIPO, B.V.; BRAGA, J.M. Influência da calagem e fontes de potássio na adsorção de potássio em latossolos em Minas Gerais. **Revista Brasileira Ciência do Solo**. Campinas, v.7, p. 119-122, 1983.

DEFELIPO, B.V.; BORGES, R.E.; MENDONÇA, B.M. Adubos fosfatados na correção da acidez dos solos. Viçosa: **Seiva**, v. 38, n. 86. 1978.

DEFELIPO, B.V.; NOGUEIRA, A. V. Eficiência agrônômica do lodo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**. Campinas, v.15, p. 389-393. 1991.

DESCHAMPS, C.; FAVARETTO, N. Projeto interdisciplinar para o desenvolvimento de critérios sanitários, agrônômicos e ambientais para implantação da reciclagem agrícola do biossólido de esgoto. **Relatório Técnico** – Núcleo Agrônômico. Curitiba: SANEPAR, 1997.

DICK, W.A.; MCCOX, E.L.; EDWARDS, W.M.; LAL, R. Continuous application of no-tillage to Ohio soils. **Agro. Journal**. Madison, v.23, p. 65-73. 1991.

EMATER. Recomendações técnicas para a cultura do milho no Estado do rio Grande do Sul. Porto Alegre. EMATER/FECOAGRO. **Boletim técnico**, n.6, 1999

EMBRAPA. Recomendações técnicas para cultura do milho no Estado do Rio Grande do Sul. **Boletim Técnico**, n. 6. Porto Alegre. FEPAGRO, EMATER, CEACOAGRO/RS. 1999.

ENWEZOR, W.O. Significance of the C:organic P ratio in the mineralization of soil organic phosphorus, **Soil Science**, v.103, n.1, 1967.

ERNANI, P.R. Influencia do pH na adsorção de P pelo milho e nos parâmetros de solo e da planta que afetam a disponibilidade aos vegetais. In: XX Reunião brasileira de fertilidade do solo e nutrição de plantas. **Anais**. Piracicaba-SP, p. 26-31, 1992.

ERNANI, P.R.; GIANELLO C. Efeito imediato e residual de materiais orgânicos, adubo mineral e calcário no rendimento vegetal. **Revista Brasileira Ciência do Solo**. Campinas, v.6, p. 119-124, 1982.

ESPINOZA, W.; AZEVEDO, J.A.; REIS, E.G. Variação do regime hídrico em dois solos sob cerrados LVE e LVA em função da cobertura vegetal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v 15, p 283-295, 1980.

FAGERIA, N.K. Deficiência hídrica em arroz de cerrado e resposta ao fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v 15, p 259-265, 1980

FERNANDES, F; ANDREOLI, C. A; DOMASZAK, S. C.; LARA, A.I. **Manual técnico para utilização agrícola do biossólido de esgoto no Paraná**. Curitiba: SANEPAR,. p.17-18, 1997.

FERNANDES, M. F.; RUIZ, H. A.; NEVES, J. C. L.; MUCHOVEJ. Crescimento e absorção de fósforo em plantas de *Eucalyptus grandis* Associadas a fungos micorrízicos em diferentes doses de fósforo e potenciais de água do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa/MG,v. 23, p. 617-255, 1999.

FISHER, T.R.; MELACK, J.M.; GROBBELAAR, J.U.; HUWARTH, R.W. Nutrient limitation of phytoplankton and eutrophication of island, estuarine and marine waters. In: **Phosphorus in the global environment**, TIESSEN, H. (ed), p. 301-322, 1995.

FIXE; GROVE. Testing soils for phosphorus. In: WESTERMAN et al (eds.) **Soil testing and plant analysis**, 3<sup>a</sup> ed. SSSA Book Series, n. 3, Madison. Wisconsin, p. 141-159, 1990.

GOEDERT, W.J. **Solos dos Cerrados: Tecnologias e estratégias de manejo**. São Paulo: Nobel, 1986. Brasília: EMBRAPA, Centro de Pesquisas Agropecuária dos Cerrados. p. 129-165.

GOEDERT, W.J.; LOBATO, E. Eficiência agrônômica de fosfatos em solos de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 15, n.3, p. 311-318, 1980.

GOEDERT, W.J.; PATELLA, J.F.; MORAES, J.F.V. Formas de P num planossolo no Rio Grande do Sul e sua disponibilidade para a cultura do arroz irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Séria Agrônômica, v. 6; p. 39-43, 1971.

GOEDERT, W.J.; SOUZA, D.M.G. Uso eficiente de fertilizantes fosfatados. In: Simpósio sobre fertilidade da agricultura brasileira. Brasília, 1984. **Anais**. Brasília: EMBRAPA.ANDA-POTAFOS, p.255-289, 1984.

GOEDERT, W.J.; SOUZA, D.M.G.; LOBATO. Fósforo. In: **Solos dos Cerrados: Tecnologias e estratégias de manejo**. São Paulo: Nobel, 1986.; Brasília: EMBRAPA. Centro de Pesquisas Agropecuária dos Cerrados. p. 129-165.

GOMES, F.P. **Curso de estatística experimental**. 12<sup>a</sup> ed. Piracicaba/SP. 1987.

GRANDE, M.A.; CURL, N.; QUAGGIO, J.A. Disponibilidade de fósforo pelos extratores de Mehlich e resina, em solos cultivados com arroz irrigado. **Revista Brasileira Ciência do Solo**. Campinas, v. 10, p. 45-50, 1986.

GUERRA, J.G.M.; ALMEIDA, D.L.; SANTOS, G.A.; FERNANDES, M.S. Conteúdo de P orgânico em amostras de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 31, n. 4, p. 291-299, 1996.

GUNARY, D.; SUTTON, G.D. Soil factors affecting plant uptake the phosphate. **Journal Soil Science**. Oxford, v. 18, n. 1, p. 167-173, 1967

HEMWALL, J.B. The role of soils clay minerals in phosphorus fixation. **Soil Science**, v. 83, n. 2, p. 101-107, 1957.

HOEL, P.G. **Estatística Elementar**. Ed. Atlas, São Paulo, 1979, 430p.

HUE, N.V. Correcting soil acidity of a highly weathered ultisol with chicken manure and sewage sludge. **Communication Soil Science Plant Analysis**, v 23 (3-4), p. 241-264, 1992.

IAP. Proposta de normatização do IAP para reciclagem agrícola de Biossólido de esgoto, 2002 (não publicado).

IAPAR. **Cartas Climáticas do Estado do Paraná**. Londrina, doc. 18, 1994. 49p.

IFDC/UNIDO. **Fertilizer Manual**. Alabama, USA, IFDC/UNIDO, 1979, 353p.

ILHENFELD, R.G.K.; ANDREOLI, C. V.; LARA, A. Higienização do biossólido de esgoto. In: Programa de Saneamento Básico Uso e Manejo do Lodos de Esgoto na Agricultura. Rio de Janeiro, 1999 PROSAB. p. 34-45.

JACKSON, M.L. **Análisis química de suelos**. 2ª ed. Barcelona. Cap. 7. 1970, 191.p.

JAHNEL, C.M. Degradação de lodo ativado de curtume em solos. In: I Seminário Sobre Gerenciamento de Biossólidos do Mercosul, Curitiba. **Anais**. Curitiba-PR: SANEPAR/ABES, p. 57-63, 1998.

JONES JR, J.B.; CASE, V. W. Sampling, handling, and analyzing plant tissue samples. In: WESTERMAN et al (eds.) **Soil testing and plant analysis**, 3ª ed. SSSA Book Series, n. 3, Madison, p. 389-427, 1990.

JONES, C.A.; COLE, C.V.; SHARPLEY, A.N.; WILLIAMS, J.R. A simplified soil and plant phosphorus model: I Documentation. **Soil Science Society of American Journal**. Madison, v 48, p. 800-804, 1984.

JORGE, J.A.; VALADARES, J. Formas de P em solos do Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas/SP, v.28, n.2, p.23-30, 1969.

KIEHL, E.J.; KINJO, T.; MARCOS, Z.Z. Caracterização e interpretações das propriedades do solo. **Apostila**. 2ª ed., Escola Superior de Agronomia. "Luiz de Queiroz". Piracicaba, 1973. 119p.

KUO, S. Phosphorus. **Soil Science of America and American Society of Agronomy**, 677 S. Madison, USA. Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods – SSSA, 1996.

LAL, R. No-tillage effects on soil properties under different crops in Western Nigeria. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 40, p. 762-768, 1976.

LARA, I.A. Antecedentes (Intro.). In: ANDREOLI, C.V.; LARA, I.A.; FERNANDES, F. (Ed.) **Reciclagem de biossólidos: transformando problemas em soluções**. 2. ed. Curitiba: Sanepar, Finep, 2001. 300p.

LARACH, J.O.I., CARDOSO, A., CARVALHO, AP, HOCHMULER, DP, FASOLO, P.J., RAUEN, M.J. Levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Paraná. Tomos I and II. EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Boletim Técnico**, v. 57. Londrina, 1984. 791p.

LARSEN, S. Soil phosphorus. **Advances in Agronomy**. San Diego. V19, p. 151-210, 1967.

LOGAN, T.J., HARRISON, B.J. Chemical and physical properties of 28 N-Viro Soils from facilities in the U.S., U.K. and Austrália Department of Agronomy. Ohio State University. Columbus, OH. 68p.

LOGAN, T.J.; HARRISON, B.J. Physical characteristics of alkaline stabilized sewage sludge (N-Viro Soil) and their effects on soil physical properties. **Journal Environmental Quality**. V. 24, p. 153-164, 1995.

LOPES, A.S. **Manual de fertilidade do solo**. 2ª ed. Piracicaba : ANDA / POTAFOS, 1989.

LOPES, A.S.; COX F.R. Relação de características físicas, químicas e mineralógicas com fixação de fósforo em solos sob cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v 3, p.82-88, 1979.

LOPES, H.D.; BURHNAM, C.P. The effect of pH on phosphate adsorption in soils. **Journal Soil Science**. Oxford, v.25, n.2, p 207-216, 1974.

LUCCHESI, L.A.C. Características dos biossólidos e efeitos de sua reciclagem em ambientes edáficos com ênfase na dinâmica de elementos traço. In: I Seminário Sobre Gerenciamento de Biossólidos do Mercosul, Curitiba. **Anais**. Curitiba-PR: SANEPAR/ABES, p. 77-84, 1998.

LUCCHESI, L.A.C. Influência de sucessões de culturas forrageiras e adubações sobre a recuperação de algumas características de um solo degradado pela mineralização do xisto e sobre a mesofauna edáfica (Acari e Collembola). Curitiba, 1988. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia, Fertilidade do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 217p.

LUCCHESI, L.A.C. The effects of two processed sewage sludges on the characteristics of 3 soils from Paraná, Brazil and the behavior of sludge zinc. Columbus, 1997. 362f. **Tese** (Doutorado) - Ohio State University.

LUCCHESI, L.A.C. Utilização de lodos de esgoto processados (N-Viro Soil e Composto) na recuperação de três solos degradados do Paraná com ênfase na dinâmica do zinco. **Projeto Prêmio Jovem Cientista**, CNPq e Fundação Roberto Marinho 1995.

LUCHESE, E.B., FAVERO, L.O.B., LENZI, E. **Fundamentos da química do solo**. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 2001. 153p.

MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. Curitiba-PR. Editor Banco de Desenvolvimento do Paraná. UFPR-Universidade Federal do Paraná: IBPT-Instituto de Biologia e Pesquisas Tecnológicas., 1968. 442p.



- MALAVOLTA, E. **ABC da adubação**. 4 ed. São Paulo: Ceres, 1979. 255p.
- MALAVOLTA, E. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. Piracicaba: Potafos, 1997. 319p.
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 1985. 251 p.
- MALAVOLTA, E.; HAAG, H. P.; MELLO, F.A. F.; BRASIL SOBRINHO, M. O. C.; **Nutrição Mineral e Adubação de Plantas Cultivadas**. Editora Livraria Pioneira 1976.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. Institute of Plant Nutrition, London: Academic Press, 1986. 674p.
- MAZUR, N.; SANTOS, A.; VELOSO, A.C.X. Efeito do composto de resíduo urbano na disponibilidade de fósforo em solo ácido. **Revista Brasileira Ciência do Solo**. Campinas, v.7, n. 2, p 153-156, 1983a.
- MAZUR, N.; SANTOS, A.; VELOSO, A.C.X. Efeito do composto de resíduo urbano no pH e alumínio trocável em solo ácido. **Revista Brasileira Ciência do Solo**. Campinas, v.7, n. 2, p 157-159, 1983b.
- McBRIDE, M.B. Soluble trace metals in alkaline stabilized sludge products. **J. Environmental Quality** v. 27, p. 578-584, 1998.
- MELLO, F.A.F.; SOBRINHO, M.O.C.; ARZOLLA, S.; SILVEIRA, R.I.; NETTO, A.C.; KIEHL, J.C. **Fertilidade do solo**. 2ª ed. Piracicaba-SP, 1984.
- MELO, W.J.; MARQUES, M.O.; SANTIAGO, G.; CHELLI, R.A.; LEITE, S.A.S. Efeito de doses crescentes de biossólido de esgoto sobre frações na matéria orgânica e CTC de um latossolo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira Ciência do Solo**. Campinas, v.18, p. 449-455, 1994.
- MONDARDO, A. Resultados de pesquisa. In: II Encontro Nacional de Pesquisa sobre Conservação do Solo. Passo fundo, 1978. **Anais**, Passo Fundo: EMBRAPA – CNPTrigo, p. 249-252.
- MOREIRA, J.F.; BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L. e LEAL, P.G.L. Efeito do tempo de contato do fósforo com o solo sobre sua disponibilidade para mudas de eucalipto. **Revista Brasileira Ciência do Solo**. Campinas, V15, p.203-308, 1991.

NAKAYAMA, L.; CACERES, N.; ALCARTE, J.; MALAVOLTA, E. Eficiência relativa de fontes de P de diferentes solubilidades na cultura do arroz. **Sci. Agric**, v. 55, n. 2, Piracicaba, 1998.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa, MG:UFV, DSP, 1999. 399p.

NUERNBERG, N.J.; STAMMEL, J.G.; CABEDA, M.S.V. Efeito de sucessões de culturas e tipos de adubação em características físicas de um solo da encosta basáltica Sul-riograndense. **Revista Brasileira Ciência do Solo**. Campinas, v. 10, p.185-190, 1986.

OBIHARA, C.H.; RUSSEL, E.W. Specific adsorption of silicate and phosphate by soils. **Journal Soil Science**, v. 23, n. 1, p. 105-107, 1972.

OLSEN, S.R.; SOMMERS, L.E. Phosphorus. In: PAGE, A.L., MILLER, R.H. e KEENY D.R. (ed). **Methods of soil analysis**. Part 2. 2<sup>a</sup> ed. ASA. SSSA. Madison, USA, p 403-430, 1982.

OLSEN, S.R.; DEAN, L.A. Phosphorus. In: BLACK C.A. et al (eds.). **Methods of soil analysis. Part 2 Chemical and microbiological properties**. In: Series Agronomy American Society of Agronomy. Inc: Publisher Madison. Wisconsin. n. 9; p. 1035-1049, 1965.

PARFITT, R.L.; ATKINSON, R.J.; SMART, R.S.T.C. The mechanism of phosphate fixation by ions oxides. **Soil Science Society of American Proc**. Madison, v. 36, n. 5, p. 837-841, 1975.

PAULETTI, V. Avaliação nutricional de 2 cultivares de milho (*Zea mays* L.) sob diferentes níveis de alumínio no solo. Curitiba. 1995. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia, Fertilidade do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

PAVAN, M.A.; BLOCH, M.F.; ZEMPULSKI, H.C.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER, D.C. Manual de análise química de solo e controle de qualidade. Londrina: IAPAR, **Circular**. n.76, 1992. 40p.

PÖTTKER, D. Manejo da fertilidade do solo no sistema de plantio direto. In: Simpósio sobre fertilidade do solo em plantio direto. 1997. Dourados-MS. **Anais...** Dourados: EMBRAPA – CPAO, 1998. 124p.

PRATT, P.F. Effect of fertilizers and organic materials on the cation-exchange capacity of an irrigated soil. **Soil Science**, v.23, n.2, p.85-89, 1957.

RAIJ, B. van. **Avaliação da fertilidade do solo**. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, p.79-108, 1981.

RAIJ, B. van. Fertilidade do solo e adubação. **Boletim Técnico**. IAC, Instituto Agrônômico de Campinas. Campinas: Ed. Agrônômica Ceres, 1991. 343p.

RAIJ, B. van. Seleção de métodos de laboratório para avaliar a disponibilidade de fósforo em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.2, n.1, p. 1-9, 1978.

RAIJ, B. van. Uso agrícola de biossólidos. In: I Seminário Sobre Gerenciamento De Biossólidos do Mercosul. **Anais**. Curitiba: SANEPAR/ABES, p. 147-152, 1998.

RAIJ, B. van.; DIEST, A. van. Phosphate supplying power of rock phosphates in Oxisol. **Plant and Soil**, Hague, v. 104, p. 55-104, 1980.

RAIJ, B. van.; MIYAZAWA, M.; TSUNETTA, M; KISHINO, A.Y.; Extração de nutrientes em folhas de frutíferas de clima tropical, subtropical e temperado pelo método sem digestão. **Circular IAPAR**, 1984.

RAIJ, B. van.; QUAGGIO, J.A. Métodos de análise de solo para fins de fertilidade. **Boletim técnico n. 81**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1983. 31p.

RAMOS, M. Sistemas de preparo mínimo do solo : técnicas e perspectivas para o Paraná. Ponta Grossa : EMBRAPA, **Comunicado técnico**, n.1, 1976. 23p.

RICHARDS, B.K.; PEVERLY, J.H.; STEENHUIS, T.S.; LIEBOWITZ, B.N. Effect of processing mode on trace elements in dewaterd sludge products. **Journal Environmental Quality**, v. 26, p. 782-788, 1997.

ROLAS. **Tabelas de adubação**. EMATER-RS, 1984.

SÁ, J. M. C. **Manejo da fertilidade do solo no plantio direto**.Castro: Fundação ABC, p. 49-52, 1993.

SÁ, J. M. C. Métodos de preparo e calagem pré-implantação ao plantio direto em um solo dos Campos Gerais, Centro-Sul do Paraná: Variações das frações de P e resposta do milho. Curitiba, 1994. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia, Fertilidade do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

SAMPLE. In: KHASAWNEH, F.E. et al (eds.). The role phosphorus in agricultura. Madison. Wiscon. **American Society of Agronomy**, 1980. 275p.

SANCHEZ, P.A. Properties and management of soils in the tropics. JOHN WILEY – Interscience publication, New York. London, 1976. 618p.

SANEPAR. Companhia de Saneamento do Paraná. Manual técnico para utilização agrícola do biossólido de esgoto no Paraná. ANDREOLI, C.V.; FERNANDES, F. (coords.) Curitiba: SANEPAR, 1997. 96p.

SEATZ, L.F.; STERGES, A.J.; KRAMER, J.C. The influence of organic matter additions on rock phosphate availability to crops. **Soil Science Society of American Proc.**, v. 23, n.5, 1959.

SELLES, F; ZENTNER, R.P.; KOCHHANN, R.A.; FAGANELLO, A.; DENARDIN, J.E. Effects of tillage on the forms and distribution of P in Oxisol in Southern Brazil. In: International Workshop on conservation tillage systems. Passo Fundo, p.86-95, 1990.

SOUZA, W.J.O.; MELO, W.J.; MARQUES, M.O.; TSUTIYA, M.T. Efeito da aplicação de lodo de esgoto sobre a produção de matéria seca e rendimento de grãos pela cultura do milho em 2 tipos de solo. In: I Seminário Sobre Gerenciamento de Biossólidos do Mercosul, Curitiba. **Anais**. Curitiba-PR: SANEPAR/ABES, p. 313-314, 1998.

SILVA, F.C. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. EMBRAPA, Brasília, DF, 1991.

SILVA, C.F.; RAIJ, B. van. Disponibilidade de fósforo em solos avaliada por diferentes extratores. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, EMBRAPA, v.34, n.2, p.267-288, 1999.

SIMEPAR. Dados de precipitação pluviométrica da estação de Ponta Grossa. Curitiba-PR: **Comunicação Pessoal**, junho, 2002.

SLOAN, J.J.; BASTA, N.T. Remediation of acid soils by using alkaline biosolids. **Journal Environmental Quality**. v.24, p. 1097-1103, 1995.

SMITH, G.F. Perchloric acid. 4<sup>a</sup> ed., v.1 Columbus, Ohio, 1940.

SMITH, G.F. The wet chemical oxidation of organic compositions employing perchloric acid (with or without added  $\text{HNO}_3 - \text{HClO}_4 - \text{H}_2\text{SO}_4$ ). Ohio, 1965. 105p.

SMYTH, T.J.; SANCHEZ, P.A. Effects of lime silicate and phosphorus sorption and ion retention. **Soil Science Society of American Journal**. Madison, v.44, p.500-505, 1980.

SOLTANPOUR, P.N.; FOX, R.L.; JONES, R.C. A quick method to extract organic phosphorus from soils. **Soil Science Society of American Journal**. Madison, v 51, p. 255-256, 1986.

SOUSA, . Manejo da fertilidade do solo no sistema de plantio direto. In: Simpósio sobre fertilidade do solo em plantio direto. 1997. Dourados-MS. **Anais**. Dourados: EMBRAPA – CPAO, 1998. 124p.

SPAROVEK, G.; TERAMOTO, E.R.; TORETA, D.M.; ROCHELE, T.C.P.; SHAYER, E.P.M. Erosão simulada e a produtividade da cultura do milho. **Revista Brasileira Ciência do Solo**. Campinas, v.15, p. 363-368, 1991.

STEVENSON, F.J. The phosphorus cycle. In: **Cycles of soil: Carbon, Nitrogens, Phosphorus, Sulfur, Micronutrients**. New York, c. 7, p. 231-284, 1986.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. Análise de solo, plantas e outros materiais. **Boletim Técnico**, n.5, 2ª ed., Porto Alegre: UFRGS, 1995. 171p.

THOMAS, G. W.; PEASLEE, D. E. Testing Soils for phosphorus, In: **Soil Testing and Plant Analysis**. Soil Science Society of America, Inc. Madison,/Wisconsin USA, p.115-130, 1973.

THOMPSON, L.M. **Soils and soil fertility**, 3ª ed. New York, Mc Graw Hill, 1973.

TISDALE, S.L.; NELSON, W.L.; BEATON, J.D.; HAVLIN J.L. **Soil Fertility and Fertilizers**. 4ª ed. New York: MacMilan Publishing Com. Inc, 1985, 754p.

TOMÉ, J.B. **Manual para interpretação de análise do solo**. Editora Agropecuária. Guaíba, 1997, 247p.

TSUTYA, M.T. Alternativas de disposição final de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgotos. In: Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. (coord.), Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, p. 69-105, 2000.

VARGAS, R.M.B.; MEURER, E.J.; ANGHINONI, I. Mecanismos DE suprimento de P, K, Ca e Mg às raízes do milho em solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira Ciência do Solo**. Campinas, v.7, n.2, p. 143-148, 1983.

VELOSO, C.A.C.; BORGES, A.L.; MUNIZ, A.S.; VEIGAS, J.M. Efeito de diferentes materiais no pH do solo, **Scientia Agrícola**., Piracicaba, v.49, n.1, p. 123-128, 1992.

VOLKWEISS, S. J.; LUDWICK, A.E. **O melhoramento do solo pela calagem.** UFRGS, 1975. 30 p.

WATANABE, F.S.; OLSEN, S.R. Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and  $\text{NaHCO}_3$  extract from soil. **Soil Science Society of American Proc**, v. 29, p. 677-678, 1965.

WATER ENVIRONMENT INTERNATIONAL. Accessing the risks of recycling to land. **Bull Water Environ. Fed**, v.7, n.5, 1998. 55p.

WIETHÖLTER S.; SIQUEIRA, Q.J.F.; PERUZZO, G.; BEN, J.R. Efeito de fertilizantes minerais e organominerais nos rendimentos de culturas e em fatores de fertilidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v 29, n. 5, p 713-724, 1994.

YAMAKAWA, I. Effects of aging on leachate characteristics of alkaline stabilized biosolids. Ohio, 1999, 160f. **Tese** (Degree Doctor of Philosophy) – The Ohio State University.

ZASOSKI, R.J.; BURAL, R.G.A Rapid nitric-perchloric acid digestion method for multi-element tissue analysis. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 8(5), p. 425-436, 1977.

## APÊNDICES

- APÊNDICE –1 ANÁLISE FÍSICA DO SOLO ONDE O EXPERIMENTO FOI INSTALADO
- APÊNDICE –2 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO SOLO ANTES DA APLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS
- APÊNDICE –3 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO SOLO APÓS A APLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS
- APÊNDICE –4 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E FÍSICA DO LODO DE ESGOTO PROVENIENTE DA ETE-BETÊM
- APÊNDICE –5 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DO MATERIAL RESULTANTE DO PROCESSO N-VIRO
- APÊNDICE –6 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO MATERIAL RESULTANTE DO PROCESSO N-VIRO (N-VIRO SOIL-BELÉM/2001)
- APÊNDICE –7 UMIDADE DO MATERIAL RESULTANTE DO PROCESSO N-VIRO (N-VIRO SOIL-BELÉM/2001)
- APÊNDICE –8 UMIDADE DO BISSÓLIDO ALCALINO E DOSES FINAIS APLICADAS NAS PARCELAS EXPERIMENTAIS
- APÊNDICE –9 MARCHA ANALÍTICA PARA EXTRAÇÃO E DETERMINAÇÃO DOS TEORES DE P-TOTAL DO LIMBO FOLIAR DO MILHO E EQUAÇÃO DA CURVA-PADRÃO
- APÊNDICE –10 TESTE DE HOMOCEDASTICIDADE DAS VARIÂNCIAS
- APÊNDICE –11 ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS TEORES DE P-EXTRAÍVEL, pH E DE CARBONO DE UM DELINEAMENTO EM BLOCOS AO ACASO
- APÊNDICE –12 TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS (TUKEY 5%)
- APÊNDICE –13 DETERMINAÇÃO DA PRODUTIVIDADE



APÊNDICE 1 – ANÁLISE FÍSICA DO SOLO ONDE O EXPERIMENTO FOI  
 INSTALADO

AMOSTRA	PROFUNDIDADE	AREIA	SILTE	ARGILA
	cm			
1	0-15	50	18	32
2	0-5	50	16	34
3	5-10	50	16	34
4	10-15	48	16	36
5	15-30	48	16	36
6	30-45	48	16	36
7	45-60	46	14	40
8	0-15	50	14	36
9	0-5	44	24	32
10	5-10	42	22	36
11	10-15	42	22	36
12	15-30	42	24	34
13	30-45	40	24	36
14	45-60	40	24	36

APÊNDICE 2 - ANÁLISE DO SOLO ANTES DA APLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS

Trat	Prof.	pH CaCl <sub>2</sub>	pH SMP	P	K	Al	H + Al	Ca+Mg	Ca	C	CTC Total	CTC Efetiva %	V
				mg kg <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>				g kg <sup>-1</sup>				
AS	0-5	5.4	5.9	16.7	0.28	0.1	5.7	9.0	6.1	29.6	15.0	9.4	62.8
	5-10	5.2	5.8	12.1	0.14	0.3	6.1	7.5	4.7	25.7	13.7	8.0	56.5
	10-15	4.9	5.6	5.3	0.12	0.7	7.2	6.3	3.8	24.9	13.6	7.1	48.3
	15-25	4.4	5.2	2.4	0.09	2.2	9.5	3.2	1.5	21.3	12.7	5.5	26.5
	25-35	4.3	5.2	1.0	0.08	2.6	9.1	2.1	0.9	16.8	11.2	4.7	19.8
	35-45	4.2	5.1	0.6	0.08	2.7	9.8	1.7	0.7	13.0	11.4	4.4	16.0
	45-55	4.3	5.2	0.4	0.07	2.8	9.4	1.6	0.8	11.4	11.1	4.5	16.0
L <sub>1</sub>	0-5	5.1	5.9	19.0	0.21	0.1	4.6	7.6	4.8	26.0	12.4	8.0	66.6
	5-10	5.1	5.7	15.5	0.15	0.3	6.3	7.2	4.7	23.1	13.6	7.5	53.7
	10-15	4.9	5.5	5.4	0.11	0.6	7.3	5.6	3.4	21.9	13.0	6.4	44.1
	15-25	4.5	5.2	3.2	0.11	1.6	9.3	3.9	2.1	20.2	13.3	5.6	29.6
	25-35	4.3	5.1	1.5	0.08	2.5	10.1	2.9	1.4	16.9	13.1	5.4	22.5
	35-45	4.2	5.1	0.6	0.07	2.6	9.8	2.0	1.0	12.9	11.8	4.6	16.8
	45-55	4.2	5.1	0.5	0.07	2.7	10.0	1.9	1.0	10.9	11.9	4.6	16.2
L <sub>2</sub>	0-5	5.6	6.0	19.4	0.21	0.0	5.6	9.5	6.1	26.6	15.2	9.7	64.9
	5-10	5.5	6.1	8.4	0.11	0.1	6.1	8.9	5.4	23.1	15.1	9.0	61.5
	10-15	5.3	5.8	5.2	0.09	0.2	6.3	7.4	4.4	22.0	13.8	7.7	55.8
	15-25	4.7	5.4	2.4	0.08	1.3	8.2	5.3	2.9	20.5	13.5	6.6	40.7
	25-35	4.4	5.2	1.4	0.07	2.4	9.4	2.9	1.5	17.5	12.3	5.3	24.9
	35-45	4.3	5.2	0.7	0.07	2.6	9.8	2.1	1.0	15.1	11.9	4.8	19.3
	45-55	4.3	5.2	0.6	0.06	2.7	9.3	1.8	0.9	11.6	11.2	4.6	18.2
L <sub>3</sub>	0-5	5.5	6.0	18.9	0.2	0.0	5.0	9.4	5.8	28.4	14.6	9.6	66.1
	5-10	5.4	5.9	21.2	0.1	0.0	5.4	8.6	5.5	23.8	14.1	8.7	62.2
	10-15	5.2	5.7	5.9	0.1	0.3	6.4	7.5	4.7	23.1	14.0	7.9	54.9
	15-25	4.6	5.2	2.6	0.1	1.6	9.2	4.1	2.3	22.5	13.4	5.8	32.7
	25-35	4.3	5.0	1.2	0.1	2.5	10.5	2.1	1.0	18.3	12.6	4.7	17.8
	35-45	4.3	5.1	0.7	0.1	2.6	10.2	1.8	0.8	14.5	12.0	4.4	15.4
	45-55	4.3	5.1	0.4	0.1	2.7	9.9	1.2	0.5	10.9	11.1	4.0	11.9
L <sub>4</sub>	0-5	5.5	6.1	20.2	0.2	0.0	4.8	9.2	6.0	28.7	14.2	9.4	66.5
	5-10	5.2	5.9	10.6	0.1	0.3	5.7	8.2	5.2	24.2	14.0	8.5	59.2
	10-15	4.9	5.6	5.2	0.1	0.7	6.8	6.1	3.7	23.6	12.9	6.9	47.6
	15-25	4.6	5.4	2.8	0.1	1.4	8.1	4.3	2.4	23.1	12.5	5.8	34.8
	25-35	4.3	5.2	1.7	0.1	2.1	8.9	2.5	1.2	19.0	11.5	4.7	22.4
	35-45	4.2	5.1	0.9	0.1	2.5	9.6	1.9	0.8	15.4	11.5	4.4	16.8
	45-55	4.2	5.2	0.6	0.1	2.6	9.3	1.6	0.7	12.3	11.0	4.3	15.3
L <sub>5</sub>	0-5	5.4	6.1	23.3	0.2	0.0	4.8	8.2	5.6	26.1	13.2	8.4	63.4
	5-10	5.2	5.8	15.6	0.1	0.2	5.7	7.2	4.6	21.9	13.0	7.4	55.8
	10-15	4.9	5.6	7.9	0.1	0.6	6.8	5.7	3.5	21.6	12.6	6.3	46.2
	15-25	4.4	5.2	2.4	0.1	1.9	9.6	3.4	1.8	19.9	13.0	5.4	27.1
	25-35	4.4	5.1	1.3	0.1	2.2	9.6	2.7	1.5	16.6	12.3	4.9	22.0
	35-45	4.3	5.1	1.2	0.1	2.4	9.6	2.1	1.0	13.8	11.8	4.5	18.4
	45-55	4.3	5.2	0.5	0.1	2.4	9.4	1.7	0.8	10.6	11.2	4.1	16.0

APÊNDICE 3 - ANÁLISE DO SOLO APÓS DA APLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS

Trat	Prof.	pH CaCl <sub>2</sub>	pH SMP	P mg kg <sup>-1</sup>	K	Al	H + Al	Ca+Mg	Ca	C g kg <sup>-1</sup>	CTC Total	CTC Efetiva %	V
AS	0-5	5.2	5.8	24.4	0.3	0.1	6.0	9.1	5.9	28.4	15.4	9.5	61.5
	5-10	5.2	5.8	11.7	0.1	0.3	6.3	8.0	4.8	27.5	14.4	8.5	57.1
	10-15	5.0	5.5	4.8	0.1	0.8	7.9	6.2	3.7	24.0	14.1	7.1	45.9
	15-25	4.5	5.2	6.0	0.1	1.1	9.2	4.8	2.9	28.3	14.1	6.0	34.8
	25-35	4.4	5.0	3.8	0.1	1.9	10.6	3.5	2.2	21.1	14.2	5.5	25.3
	35-45	4.4	5.2	2.4	0.1	2.3	9.2	2.4	1.3	18.9	11.6	4.7	21.2
	45-55	4.3	5.0	1.4	0.1	2.5	10.4	1.8	0.8	15.9	12.3	4.4	15.2
L <sub>1</sub>	0-5	5.1	5.8	17.7	0.2	0.1	5.8	8.1	5.1	27.2	14.2	8.4	59.2
	5-10	5.1	5.8	9.3	0.1	0.3	6.2	6.9	4.1	24.3	13.3	7.4	53.6
	10-15	5.0	5.6	5.1	0.1	0.7	6.8	5.2	3.3	22.6	12.1	6.0	44.4
	15-25	4.5	5.3	5.7	0.1	0.7	8.9	4.6	2.5	26.0	13.6	5.4	34.6
	25-35	4.4	5.2	4.7	0.1	1.9	9.5	2.7	1.7	19.8	12.2	4.6	23.0
	35-45	4.3	5.2	1.6	0.1	2.0	9.0	1.8	0.9	17.2	10.9	3.8	17.6
	45-55	4.4	5.2	1.6	0.1	2.3	9.2	1.6	0.7	14.2	10.8	3.9	14.9
L <sub>2</sub>	0-5	5.4	6.1	12.3	0.2	0.1	4.8	9.0	6.1	30.2	14.0	9.3	66.0
	5-10	5.4	6.0	9.4	0.1	0.1	5.1	8.9	5.5	25.5	14.1	9.1	64.3
	10-15	5.3	5.9	6.0	0.1	0.4	5.9	7.2	4.5	26.4	13.2	7.6	56.1
	15-25	5.1	5.8	6.3	0.1	0.9	6.3	5.9	3.7	28.1	12.2	6.9	48.6
	25-35	4.6	5.3	4.3	0.1	1.6	7.7	3.6	2.1	22.5	11.4	5.3	33.5
	35-45	4.5	5.2	1.5	0.1	2.0	9.9	2.4	1.4	17.8	12.4	4.5	22.3
	45-55	4.3	5.2	1.0	0.1	2.2	9.6	1.7	0.8	15.3	11.4	4.0	16.3
L <sub>3</sub>	0-5	5.4	5.9	27.4	0.2	0.0	5.4	9.0	5.8	31.1	14.6	9.2	63.2
	5-10	5.2	5.9	14.6	0.1	0.1	5.5	8.0	5.2	25.5	13.6	8.2	59.8
	10-15	4.9	5.5	9.2	0.1	0.4	7.5	7.0	4.4	24.0	14.5	7.5	49.1
	15-25	4.7	5.3	6.4	0.1	0.4	8.7	6.2	3.6	24.5	15.0	6.7	41.6
	25-35	4.4	5.2	5.2	0.1	1.6	9.4	3.7	2.4	22.2	13.2	5.4	28.5
	35-45	4.5	5.3	2.0	0.1	2.0	8.8	2.2	1.3	16.9	11.0	4.2	20.0
	45-55	4.2	5.1	1.0	0.1	2.5	10.0	1.6	0.6	15.9	11.6	4.1	13.7
L <sub>4</sub>	0-5	5.2	5.9	16.6	0.3	0.1	5.6	8.5	5.5	31.3	14.4	8.9	61.4
	5-10	5.3	6.0	14.0	0.1	0.1	5.4	7.3	4.4	24.3	12.8	7.5	58.4
	10-15	5.0	5.6	9.2	0.1	0.6	7.0	6.2	4.1	24.0	13.3	6.9	47.9
	15-25	4.7	5.3	7.8	0.1	0.6	8.4	5.1	3.4	26.0	13.6	5.8	38.8
	25-35	4.4	5.2	4.0	0.1	1.9	9.4	2.8	1.5	22.0	12.2	4.7	22.8
	35-45	4.4	5.2	0.8	0.0	2.6	9.2	1.6	0.8	18.1	10.8	4.2	14.9
	45-55	4.3	5.1	0.9	0.1	2.3	9.8	1.4	0.7	15.9	11.3	3.8	13.0
L <sub>5</sub>	0-5	5.4	6.0	16.4	0.2	0.0	5.1	8.1	5.1	26.3	13.5	8.4	62.0
	5-10	5.3	6.0	7.8	0.1	0.1	5.9	7.1	4.3	27.3	13.1	7.3	55.3
	10-15	4.9	5.5	5.2	0.1	0.5	7.2	6.0	3.9	24.0	13.2	6.5	45.8
	15-25	4.8	5.6	4.5	0.1	0.6	7.0	4.8	2.8	25.5	11.9	5.5	41.9
	25-35	4.5	5.2	4.7	0.1	1.4	8.9	3.2	2.3	22.2	12.1	4.7	27.4
	35-45	4.3	5.2	1.1	0.1	2.1	8.9	1.6	0.7	17.2	10.5	3.7	15.3
	45-55	4.3	5.1	0.7	0.0	2.3	9.5	1.4	0.5	13.9	11.0	3.7	13.2

APÊNDICE 4 - CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E FÍSICA DO LODO DE ESGOTO PROVENIENTE DA ETE-BELÉM

Amostra	Umidade (%)	pH CaCl <sub>2</sub>	pH H <sub>2</sub> O (Metodologia Residuo e Solo)	Ca <sup>2+</sup> (g kg <sup>-1</sup> )	Mg <sup>2+</sup> (g kg <sup>-1</sup> )
1	86,46	5,6	6,2	3,406	0,670
2	86,34	5,6	6,2	3,804	0,852
3	86,26	5,5	6,1	-	-
4	86,15	5,5	6,1	4,287	0,749
5	86,39	5,7	6,4	3,629	0,712
6	86,61	-	-	3,001	0,705

APÊNDICE 5 - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DO MATERIAL RESULTANTE DO PROCESSO N-VIRO

DIÂMETRO PENEIRA (mm)	PESO MATERIAL (g)	EFICIÊNCIA RELATIVA (%)
2	88,02	
0,85	6,97	
0,30	2,88	
Residual	2,13	
TOTAL	100	5,25

APÊNDICE 6 - CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO MATERIAL RESULTANTE DO PROCESSO N-VIRO

Amostra	pH H <sub>2</sub> O	E.R.	PN	PRNT	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
			----- (%) -----		(g kg <sup>-1</sup> )	(g kg <sup>-1</sup> )
1	12,1	5,25	67,44	3,54	176,029	49,211
2	12,1	5,23	67,59	3,53	197,962	52,091
3	12,1	5,26	73,09	3,84	189,917	66,902
4	12,1	5,25	69,52	3,65	193,074	56,202

APÊNDICE 7 - UMIDADE DO MATERIAL RESULTANTE DO PROCESSO N-  
VIRO

AMOSTRA	UMIDADE	AMOSTRA	UMIDADE	AMOSTRA	UMIDADE
	(%)		(%)		(%)
1	33,14	8	21,01	15	33,03
2	26,42	9	35,22	16	31,78
3	33,13	10	32,60	17	34,54
4	33,54	11	31,51	18	33,51
5	33,39	12	32,40	19	33,93
6	32,08	13	33,41	20	32,23
7	33,29	14	33,59		

APÊNDICE 8 - UMIDADE DO MATERIAL APLICADOS NAS PARCELAS E RESPECTIVAS DOSES FINAIS APLICADAS NAS PARCELAS

TRATAMENTOS	REPETIÇÕES	UMIDADE PARCELA %	DOSE APLICADA kg ha <sup>-1</sup>	DOSE APLICADA MÉDIA kg ha <sup>-1</sup>
L 1	1	33,14	334,28	339,35
	2	32,08	339,60	
	3	31,51	342,44	
	4	31,78	341,08	
L 2	1	26,42	735,81	683,38
	2	33,29	667,11	
	3	32,40	676,03	
	4	34,54	654,57	
L 3	1	33,13	1337,42	1394,66
	2	21,01	1579,73	
	3	33,41	1331,72	
	4	33,51	1329,78	
L 4	1	33,54	2658,23	2637,14
	2	35,22	2591,07	
	3	33,59	2656,36	
	4	33,93	2642,89	
L 5	1	33,39	499,57	503,91
	2	32,60	505,51	
	3	33,03	502,26	
	4	32,23	508,29	



## APÊNDICE 9 - PROCEDIMENTO ADOTADO PARA A DIGESTÃO ÁCIDA NO TECIDO VEGETAL DE MILHO E EQUAÇÃO DA CURVA - PADRÃO

---

### DIGESTÃO ÁCIDA

#### HNO<sub>3</sub>

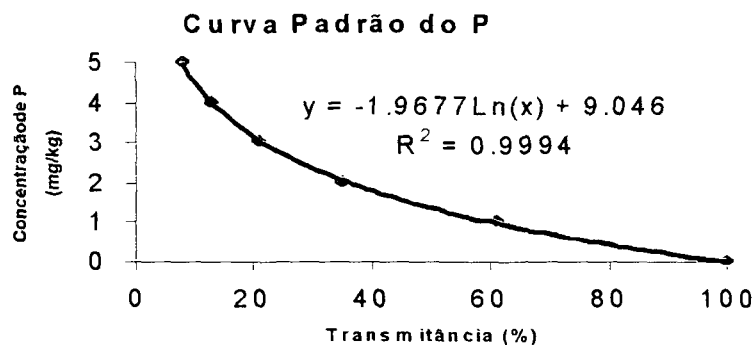
---

##### PROCESSO DE EXTRAÇÃO:

- Pesar 0,5g da amostra em tubo de digestão;
- Adicionar 5mL de HNO<sub>3</sub> concentrado;
- Colocar sob o tubo um funil;
- Aguardar 01 noite;
- Colocar os tubos no bloco digestor;
- Atingir temperatura de 125°C no bloco, deixar por 4 horas;
- Deixar esfriar;
- Filtrar e anotar o volume final do extrato.

##### DETERMINAÇÃO (P-AZUL):

- Pipetar 5ml de alíquota em tubos de 30ml
  - Adicionar 10ml de molibdato de amônio;
  - Pitada de ácido ascórbico e agitar até a dissolução total;
  - Após 30 minutos, efetuar a leitura em espectrofotômetro visível (lâmpada de tungstênio), com comprimento de onda ajustado para 660nm.
- 



APÊNDICE 10 - TESTES DE HOMOCEASTICIDADE DAS VARIÂNCIAS (pH CaCl<sub>2</sub>, P e C) POR CAMADA DO PERFIL DO SOLO

	Hartley F-max	Cochran C	Bartlett - X <sup>2</sup>	GL	Probabilidade*	Probab. Levene
pH 0-5 cm	28,000	0,310	7,889	5	0,162	0,138
P 0-5 cm	23,006	0,479	5,769	5	0,329	0,194
C 0-5 cm	2,289	0,242	0,846	5	0,974	0,841
pH 5-10 cm	9,385	0,431	5,743	5	0,332	0,216
P 5-10 cm	20,428	0,371	7,505	5	0,186	0,140
C 5-10 cm	4,767	0,348	2,177	5	0,824	0,835
pH 10-15 cm	6,162	0,327	3,635	5	0,603	0,513
P 10-15 cm	10,127	0,353	3,650	5	0,601	0,596
C 10-15 cm	3,157	0,285	1,231	5	0,942	0,851
pH 15-25 cm	11,686	0,464	5,918	5	0,314	0,221
P 15-25 cm	10,157	0,253	3,872	5	0,568	0,575
C 15-25 cm	18,319	0,254	4,672	5	0,457	0,618
pH 25-35 cm	34,947	0,558	15,611	5	0,008	0,023
P 25-35 cm	13,865	0,379	6,460	5	0,264	0,217
C 25-35 cm	7,018	0,350	4,050	5	0,542	0,437
pH 35-45 cm	204,000	0,544	22,012	5	0,001	0,014
P 35-45 cm	4,909	0,331	1,752	5	0,882	0,736
C 35-45 cm	6,784	0,306	2,968	5	0,705	0,758
pH 45-55 cm	33,187	0,460	17,683	5	0,003	0,021
P 45-55 cm	8,000	0,400	4,156	5	0,527	0,431
C 45-55 cm	8,063	0,312	3,261	5	0,660	0,766

NOTA: \*Probabilidade conjunta entre os testes de: Hartley F-max; Cochran e Bartlett - X<sup>2</sup>  
 Probabilidade > de 5% apresentam variâncias homogêneas.

APÊNDICE 11 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO pH CaCl<sub>2</sub>, P-EXTRAÍVEL E C-ORGÂNICO OXIDÁVEL POR CAMADA DO SOLO EM FUNÇÃO DOS TRATAMENTOS

		pH CaCl <sub>2</sub> 0-5 cm				P 0-5 cm				C 0-5 cm			
	GL	SQ	QM	F	p	SQ	QM	F	p	SQ	QM	F	p
Tratamento	5	0,837	0,167	1,214	0,343	91,983	18,397	0,305	0,903	47,033	9,407	0,436	0,818
Erro	18	2,483	0,138			1085,5	60,304			388,285	21,571		
Total	23	3,320				1177,5				435,318			
		pH CaCl <sub>2</sub> 5-10 cm				P 5-10 cm				C 5-10 cm			
	GL	SQ	QM	F	p	SQ	QM	F	p	SQ	QM	F	p
Tratamento	5	0,632	0,126	0,805	0,561	409,353	81,871	2,162	0,104	32,328	6,466	0,459	0,801
Erro	18	2,828	0,157			681,480	37,860			253,550	14,086		
Total	23	3,460				1090,8				285,878			
		pH CaCl <sub>2</sub> 10-15 cm				P 10-15 cm				C 10-15 cm			
	GL	SQ	QM	F	p	SQ	QM	F	p	SQ	QM	F	p
Tratamento	5	0,677	0,135	0,761	0,589	22,254	4,451	0,390	0,849	31,993	6,399	0,426	0,824
Erro	18	3,203	0,178			205,193	11,400			270,140	15,008		
Total	23	3,880				227,446				302,133			
		pH CaCl <sub>2</sub> 15-25 cm				P 15-25 cm				C 15-25 cm			
	GL	SQ	QM	F	p	SQ	QM	F	p	SQ	QM	F	p
Tratamento	5	0,503	0,101	0,564	0,726	2,304	0,461	0,309	0,901	32,662	6,532	0,335	0,885
Erro	18	3,210	0,178			26,833	1,491			351,138	19,508		
Total	23	3,713				29,136				383,800			
		pH CaCl <sub>2</sub> 25-35- cm (log)				P 25-35 cm				C 25-35 cm			
	GL	SQ	QM	F	p	SQ	QM	F	p	SQ	QM	F	p
Tratamento	5	0,018	0,004	0,512	0,763	1,068	0,214	0,439	0,816	18,063	3,613	0,171	0,970
Erro	18	0,128	0,007			8,770	0,487			380,715	21,151		
Total	23	0,146				9,838				398,778			
		pH CaCl <sub>2</sub> 35-45 cm (log)				P 35-45 cm				C 35-45 cm			
	GL	SQ	QM	F	p	SQ	QM	F	p	SQ	QM	F	p
Tratamento	5	0,017	0,003	0,488	0,781	1,148	0,230	2,536	0,066	22,980	4,596	0,280	0,918
Erro	18	0,125	0,007			1,630	0,091			295,020	16,390		
Total	23	0,142				2,778				318,000			
		pH CaCl <sub>2</sub> 45-55 cm (log)				P 45-55 cm				C 45-55 cm			
	GL	SQ	QM	F	p	SQ	QM	F	p	SQ	QM	F	p
Tratamento	5	0,027	0,005	0,773	0,581	0,093	0,019	0,560	0,729	7,338	1,468	0,258	0,930
Erro	18	0,127	0,007			0,600	0,033			102,255	5,681		
Total	23	0,154				0,693				109,593			

APÊNDICE 12 - TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS (TUKEY 5%)

CAMADA 0-5 cm					
TRATAMENTO	pH	TRATAMENTO	P	TRATAMENTO	C
T1	5,1 a	AS	16,7 a	T1	26,0 a
AS	5,4 a	T3	18,9 a	T5	26,1 a
T5	5,4 a	T1	19,0 a	T2	26,6 a
T3	5,5 a	T2	19,4 a	T3	28,4 a
T2	5,6 a	T4	20,2 a	T4	28,7 a
T4	5,7 a	T5	23,3 a	AS	29,6 a

CAMADA 5-10 cm					
TRATAMENTO	pH	TRATAMENTO	P	TRATAMENTO	C
T1	5,050 a	T2	8,375 a	T5	21,875 a
AS	5,150 a	T4	10,625 a	T2	23,075 a
T5	5,175 a	AS	12,100 a	T1	23,075 a
T4	5,400 a	T1	15,475 a	T3	23,825 a
T3	5,400 a	T5	15,575 a	T4	24,150 a
T2	5,500 a	T3	21,150 a	AS	25,650 a

CAMADA 10-15 cm					
TRATAMENTO	pH	TRATAMENTO	P	TRATAMENTO	C
T1	4,850 a	T2	5,150 a	T5	21,575 a
AS	4,900 a	T4	5,200 a	T1	21,875 a
T5	4,925 a	AS	5,325 a	T2	22,025 a
T3	5,150 a	T1	5,425 a	T3	23,075 a
T4	5,225 a	T3	5,875 a	T4	23,550 a
T2	5,275 a	T5	7,900 a	AS	24,900 a

CAMADA 15-25 cm					
TRATAMENTO	pH	TRATAMENTO	P	TRATAMENTO	C
T5	4,425 a	T5	2,350 a	T5	19,925 a
T1	4,475 a	T2	2,400 a	T1	20,225 a
T3	4,575 a	AS	2,400 a	T2	20,525 a
AS	4,650 a	T3	2,625 a	AS	21,300 a
T2	4,725 a	T4	2,825 a	T3	22,475 a
T4	4,850 a	T1	3,225 a	T4	23,075 a

CAMADA 25-35 cm					
TRATAMENTO	pH - raiz	TRATAMENTO	P	TRATAMENTO	C
T1	1,458 a	AS	1,000 a	T5	16,600 a
T3	1,464 a	T3	1,200 a	AS	16,750 a
T5	1,469 a	T5	1,325 a	T1	16,925 a
T2	1,487 a	T2	1,375 a	T2	17,525 a
AS	1,517 a	T1	1,475 a	T3	18,250 a
T4	1,531 a	T4	1,675 a	T4	19,000 a

CAMADA 35-45 cm					
TRATAMENTO	pH - log	TRATAMENTO	P	TRATAMENTO	C
T1	1,440 a	AS	0,550 a	T1	12,850 a
T5	1,446 a	T1	0,600 a	AS	13,000 a
T3	1,453 a	T3	0,650 a	T5	13,750 a
T2	1,464 a	T2	0,700 a	T3	14,500 a
T4	1,504 a	T4	0,850 a	T2	15,100 a
AS	1,507 a	T5	1,200 a	T4	15,400 a

CAMADA 45-55 cm					
TRATAMENTO	pH - log	TRATAMENTO	P	TRATAMENTO	C
T1	1,435 a	T3	0,400 a	T5	10,600 a
T5	1,446 a	AS	0,400 a	T1	10,875 a
T3	1,447 a	T5	0,450 a	T3	10,900 a
T2	1,447 a	T1	0,450 a	AS	11,350 a
T4	1,502 a	T4	0,550 a	T2	11,625 a
AS	1,524 a	T2	0,550 a	T4	12,250 a

APÊNDICE 13 - DETERMINAÇÃO DA PRODUTIVIDADE\*

Parcela	Tratamentos	Bloco	Espigas úmidas	Grãos secos nas espigas	Grãos úmidos	Umidade	Grãos secos	Grãos secos
			kg/parcela	%	kg/parcela	%	kg/parcela	kg/ha
1	L <sub>2</sub>	I	65,7	75,6	49,6	31,0	39,0	6021
2	AS	I	63,9	73,3	46,9	33,1	35,8	5519
3	L <sub>4</sub>	I	56,5	66,7	37,7	32,9	28,8	4446
4	L <sub>5</sub>	I	59,1	67,5	39,9	32,5	30,7	4734
5	L <sub>1</sub>	I	59,0	70,8	41,8	33,5	31,7	4893
6	L <sub>3</sub>	I	47,1	73,5	34,6	33,6	26,2	4047
7	L <sub>3</sub>	II	62,5	76,1	47,5	31,4	37,2	5736
8	L <sub>5</sub>	II	55,9	76,1	42,5	35,4	31,3	4832
9	L <sub>1</sub>	II	53,4	68,3	36,5	30,8	28,8	4443
10	L <sub>2</sub>	II	50,0	69,4	34,7	31,9	26,9	4153
11	L <sub>4</sub>	II	50,1	71,8	35,9	28,2	29,4	4544
12	AS	II	45,5	77,8	35,4	31,8	27,5	4244
13	L <sub>1</sub>	III	56,9	75,6	43,0	34,0	32,3	4991
14	L <sub>4</sub>	III	51,5	76,9	39,6	32,1	30,6	4727
15	AS	III	53,5	72,7	38,9	31,8	30,3	4670
16	L <sub>5</sub>	III	55,3	73,2	40,5	32,6	31,1	4797
17	L <sub>3</sub>	III	53,5	81,1	43,5	30,9	34,2	5277
18	L <sub>2</sub>	III	53,3	71,8	38,3	30,2	30,5	4704
19	L <sub>5</sub>	IV	56,8	76,2	43,3	32,5	33,3	5134
20	L <sub>2</sub>	IV	56,6	76,2	43,1	31,2	33,8	5222
21	L <sub>3</sub>	IV	58,4	76,1	44,4	31,7	34,6	5340
22	L <sub>4</sub>	IV	54,7	76,9	42,1	29,6	33,8	5217
23	AS	IV	53,0	69,2	36,7	30,4	29,1	4493
24	L <sub>1</sub>	IV	52,3	71,4	37,3	31,8	29,0	4483

\*Metodologia utilizada: Pesagem de 10 espigas por unidade experimental; debulhagem e pesagem dos grãos (peso úmido e peso seco em estufa à 105°C por 72h) para determinação do teor de umidade dos grãos.

Parcelas de 10m x 6,48m = 64,8m<sup>2</sup>

Tratamentos	I	II	III	IV	MÉDIA
AS	5519	4244	4670	4493	<b>4731</b>
L <sub>1</sub>	4893	4443	4991	4483	<b>4703</b>
L <sub>2</sub>	6021	4153	4704	5222	<b>5025</b>
L <sub>3</sub>	4047	5736	5277	5340	<b>5100</b>
L <sub>4</sub>	4446	4544	4727	5217	<b>4734</b>
L <sub>5</sub>	4734	4832	4797	5134	<b>4874</b>