

**EDISON SCHMIDT FILHO**

**INFLUÊNCIA DA APLICAÇÃO DE DEJETOS DE SUÍNOS  
INTEGRADA A PRODUÇÃO VEGETAL  
SOBRE O COMPORTAMENTO DO FÓSFORO  
EM QUATRO SOLOS DO PARANÁ.**

Tese apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor em Agronomia, Área de Concentração Produção Vegetal no Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Dr. Luiz A.C. Lucchesi.

Co-Orientador: Dr. Henrique Soares Koehler

CURITIBA  
2006

**EDISON SCHMIDT FILHO**

**INFLUÊNCIA DA APLICAÇÃO DE DEJETOS DE SUÍNOS  
INTEGRADA A PRODUÇÃO VEGETAL  
SOBRE O COMPORTAMENTO DO FÓSFORO  
EM QUATRO SOLOS DO PARANÁ.**

Tese apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor em Agronomia, Área de Concentração Produção Vegetal no Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Dr. Luiz A.C. Lucchesi.

Co-Orientador: Dr. Henrique Soares Koehler

CURITIBA  
2006

Longe estão meus sentimentos pelo longo caminho percorrido até aqui...  
...pela eterna saudade de meus pais amados, sempre distantes.  
Imenso foi o apoio de minha esposa, com sua alegria, seu amor e seu carinho, o maior  
motivo para chegar até aqui é ter seu amor...  
...ainda maior é a felicidade de agora sentir o calor de nossa filha, Giovana,  
...nossa grande vitória...  
...símbolo de nosso amor e dedicação...

*... a meu pai Edison, a minha mãe Lúcia, a minha esposa Tânia...  
...e à nossa linda filha Giovana,*

*Dedico.*

Um grande trabalho é feito por grandes homens. Para a realização desta pesquisa algumas entidades, empresas e muitas pessoas brilhantes colaboraram e a elas agradeço:

- À Minha Esposa Tânia Amarante de Castro: pelo carinho e amor com que sempre me incentivou a seguir adiante e pelos longos dias de trabalho quando esteve sempre presente,
- Aos amigos Rubens C. Secco, Jetro T. Salvador e Uberson Rossa pela colaboração e atenção dada na execução dos trabalhos de campo e de laboratório,
- Especialmente ao meu Orientador Luiz A.C. Lucchesi: pela confiança e credibilidade que sempre teve, por ter guiado minha vida profissional por caminhos melhores por meio da pesquisa e ensino durante 14 anos de incentivo e trabalhos juntos,
- Ao CNPq pelo auxílio com a Bolsa de Estudos de Doutorado que tanto contribuiu para a concretização deste sonho,
- À Fazenda Mutuca, em nome de todos os funcionários e proprietários, que disponibilizaram a área de pesquisa e viabilizaram a implantação do trabalho de campo,
- À OR Sementes, que pelo auxílio na colheita das parcelas com equipamento de colheita,
- À Prof<sup>a</sup>. Maria Cristina Braga pela colaboração e auxílio no Laboratório de Engenharia Ambiental da UFPR,

Enfim, aos estagiários da UFPR e a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para a realização da pesquisa,

Agradeço.

*“Para predirer o que vai acontecer,  
é preciso saber o que ocorreu antes...”*

*Nicolau Maquiavel*

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	ix
<b>LISTA DE GRÁFICOS</b> .....	xii
<b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES</b> .....	xiv
<b>RESUMO</b> .....	xvii
<b>ABSTRACT</b> .....	xviii
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1 OBJETIVO GERAL .....	3
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	3
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	5
2.1 SITUAÇÃO DOS DEJETOS DE SUÍNOS E O MEIO AMBIENTE NO PARANÁ...5	
2.2 FORMAS DE DEJETOS DE SUÍNOS APLICÁVEIS AO SOLO COMO FERTILIZANTES.....7	
2.2.1. Cama sobreposta .....	7
2.2.2. Dejetos Tratados Alcalinamente (NureSoil).....9	
2.2.3. Lodo de Fundo e Líquido Sobrenadante de Lagoas de Decantação..... 10	
2.3. INFLUÊNCIA DO MANEJO DO PLANTEL SOBRE O VOLUME DE DEJETOS E A CONCENTRAÇÃO DE P NOS DEJETOS DE SUÍNOS .....	13
2.4. USO DOS DEJETOS NA AGRICULTURA..... 14	
2.5. APLICAÇÃO DE P NO SOLO E A ABSORÇÃO DE P PELA CULTURA DO TRIGO ( <i>Triticum aestivum</i> L)..... 16	
2.6. PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA E ACÚMULO DE P EM SISTEMAS PRODUTIVOS COM APLICAÇÃO DE DEJETOS DE SUÍNOS..... 17	
2.7. INFLUÊNCIA DA APLICAÇÃO DE DEJETO DE SUÍNO COMO FERTILIZANTE ORGÂNICO SOBRE O P DO SOLO .....	18
2.8. MOBILIDADE E EXTRAÇÃO DE P EM SOLOS RECEPTORES DE DEJETOS DE SUÍNOS.....20	
2.8.1. Relação entre o P disponível no Solo e o P Extraído pela Água de Infiltração20	
2.8.2. Extração de P do Solo por Mehlich 1 .....	21
2.8.3. Extração de P do Solo e de Matéria Vegetal pelo Método de Extração Total Nitroperclórica .....	23
2.9. MÉTODOS DE EXTRAÇÃO DE P DO SOLO E A INFLUÊNCIA DO TEOR DE P DISPONÍVEL NA SUPERFÍCIE DO SOLO SOBRE AS PERDAS LIXIVIAÇÃO23	
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	25
3.1 DEJETOS DE SUÍNOS: FORMAS, ORIGEM, COLETA E CARACTERIZAÇÃO 25	
3.1.1 Caracterização físico-química dos dejetos de suínos empregados nos tratamentos .....	29

3.1.1 Características físico-químicas dos dejetos de suínos .....	29
3.2 SOLOS UTILIZADOS NOS EXPERIMENTOS .....	30
3.2.1 Solo de Arapoti PR utilizado para as Modalidades I, II e III.....	31
3.2.2 Solo de Contenda PR utilizado para a Modalidade I .....	32
3.2.3 Solo de Palmeira PR utilizado para a Modalidade I .....	34
3.2.4 Solo de Ponta Grossa PR utilizado para a Modalidade I.....	35
3.2.5 Textura e Teores de P nos Diferentes Solos Usados nas Modalidades Experimentais I, II e III.....	36
3.3 OS EXPERIMENTOS E SUAS MODALIDADES.....	36
3.3.1 Definição dos Tratamentos.....	37
3.3.1.1 Critérios para o estabelecimento tratamentos .....	37
3.4 MODALIDADE I - Incubação de Solos em Laboratório .....	39
3.4.1 Delineamento Experimental e Tratamentos Adotados nos Experimentos de Incubação.....	39
3.4.2 Preparo e Caracterização dos Solos, Montagem e Instalação dos Experimentos de Incubação.....	40
3.4.2.1 Implementação dos tratamentos a serem incubados .....	41
3.4.2.2 Condução dos experimentos de incubação.....	42
3.4.2.3 Fatores monitorados nos solos incubados .....	44
3.5 MODALIDADE II - Colunas de Percolação em Casa de Vegetação .....	45
3.5.1 Delineamento Experimental e Tratamentos Adotados no Experimento de Colunas de Percolação .....	45
3.5.2 Preparo e Caracterização dos Solos, Montagem das Colunas de Percolação e Instalação do Experimento .....	45
3.5.2.1 Implementação dos tratamentos no experimento com colunas de percolação .....	48
3.5.3 Condução do Experimento de Percolação .....	51
3.5.3.1 Adição da água, coleta e armazenamento da solução percolada .....	51
3.5.3.2 Plantio do trigo nas colunas de percolação, seu manejo e fatores biométricos avaliados .....	52
3.5.3.3 Corte dos tubos de PVC, exposição e amostragem do solo das colunas ....	54
3.5.4 Fatores Avaliados no Experimento com Colunas de Percolação .....	55
3.5.4.1 Fatores avaliados na solução percolada .....	56
3.5.4.2 Fatores biométricos avaliados para o trigo cultivado nas colunas.....	56
3.5.4.3 Fatores avaliados para o solo das colunas após a sua abertura.....	57
3.6 MODALIDADE III - Experimento de Campo .....	58
3.6.1 Delineamento Experimental e Tratamentos Adotados no Experimento de Campo.....	58

3.6.2 Histórico da Gleba e Montagem e Instalação do Experimento de Campo .....	60
3.6.2.1 Implementação dos tratamentos do experimento de campo .....	61
3.6.2.2 Condução do experimento de campo .....	65
3.6.3 Fatores Avaliados no Experimento de Campo .....	66
3.6.3.1 Fatores avaliados para a cultura do trigo .....	66
3.6.3.2 Fatores avaliados para o solo .....	68
3.7 ANALISES ESTATÍSTICAS .....	69
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>70</b>
4.1 RESULTADOS OBTIDOS DA MODALIDADE I - INCUBAÇÃO DE SOLOS EM LABORATÓRIO E SUA DISCUSSÃO .....	70
4.1.1 Teores de P extraível por Mehlich I para os solos incubados nos Experimentos 1, 2, 3 e 4 (Arapoti, Ponta Grossa, Palmeira e Contenda) .....	70
4.1.1.1 Teores de P extraível por Mehlich I do solo de Arapoti (Experimento 1) .....	70
4.1.1.1.1 Variação temporal do P extraível por Mehlich I (Experimento 1 - Solo de Arapoti) .....	70
4.1.1.1.2 Comparação entre os teores de P extraível por Mehlich I em cada tempo de amostragem (Experimento 1 - Solo de Arapoti) .....	73
4.1.1.2 Teores de P extraível por Mehlich I do solo de Ponta Grossa (Experimento 1) .....	74
4.1.1.2 Teores de P extraível por Mehlich I do solo de Ponta Grossa (Experimento 1) .....	75
4.1.1.2.1 Variação temporal do P extraível por Mehlich I (Experimento 1 - Solo de Ponta Grossa) .....	75
4.1.1.2.2 Comparação entre os teores de P extraível por Mehlich I em cada tempo de amostragem (Experimento 1 - Solo de Ponta Grossa) .....	77
4.1.1.3 Teores de P extraível por Mehlich I do solo de Palmeira (Experimento 1) .....	78
4.1.1.3.1 Variação temporal do P extraível por Mehlich I (Experimento 1 - Solo de Palmeira) .....	79
4.1.1.3.2 Comparação entre os teores de P extraível por Mehlich I em cada tempo de amostragem (Experimento 1 - Solo de Palmeira) .....	81
4.1.1.4 Teores de P extraível por Mehlich I do solo de Contenda (Experimento 1) .....	83
4.1.1.4.1 Variação temporal do P extraível por Mehlich I (Experimento 1 - Solo de Contenda) .....	83
4.1.1.4.2 Comparação entre os teores de P extraível por Mehlich I em cada tempo de amostragem (Experimento 1 - Solo de Contenda) .....	85
4.2 RESULTADOS OBTIDOS DA MODALIDADE II – COLUNAS DE PERCOLAÇÃO E SUA DISCUSSÃO .....	88
4.2.1 Teores de P extraível por Mehlich I para o solo percolado no Experimento de Colunas de Percolação .....	88

4.2.1.1 Distribuição em profundidade do solo do P extraível por Mehlich I (Experimento de Colunas de Percolação - Solo de Arapoti) .....	88
4.2.1.2 C dissolvido na solução percolada do solo (Experimento de Colunas de Percolação - Solo de Arapoti) .....	94
4.2.1.3 Condutividade elétrica na solução percolada do solo (Experimento de Colunas de Percolação - Solo de Arapoti) .....	99
4.2.1.4 Matéria seca e concentração de P do trigo ( <i>Triticum aestivum</i> L.) (Experimento de Colunas de Percolação - Solo de Arapoti) .....	104
4.3 RESULTADOS OBTIDOS DA MODALIDADE III - Experimento de Campo e sua discussão .....	106
4.3.1 Teores de P extraível por Mehlich I do solo das parcelas do Experimento de Campo (Arapoti) antes dos tratamentos e depois da colheita do trigo .....	106
4.3.2 Matéria seca e produtividade de trigo ( <i>Triticum aestivum</i> L.) das parcelas do Experimento de Campo (Arapoti) .....	114
<b>5 CONCLUSÕES</b> .....	117
5.1 SUGESTÃO PARA FUTUROS TRABALHOS.....	119
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	119
<b>ANEXOS</b> .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>

## LISTA DE TABELAS

TABELA 01 – ESTIMATIVA RECOMENDADA PARA A AVALIAÇÃO DO VOLUME DE DEJETOS PRODUZIDOS, DE ACORDO COM O TIPO DE GRANJA.....	10
TABELA 02 - PRODUÇÃO MÉDIA DIÁRIA DE ESTERCO, ESTERCO + URINA E DEJETOS LÍQUIDOS POR CATEGORIA ANIMAL.....	10
TABELA 03 - CARACTERÍSTICAS DE DEJETOS FRESCOS DE SUÍNOS PRODUZIDO POR 1.000 KG DE PESO VIVO. ....	11
TABELA 04 — COMPOSIÇÃO DE DEJETOS DE SUÍNOS OBTIDOS DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE DEJETOS DA EMBRAPA SUÍNOS E AVES EM CONCÓRDIA-SC.....	12
TABELA 06 – UMIDADE, TEOR DE SÓLIDOS E DE NUTRIENTES EM BASE UMIDA DOS DEJETOS DE SUÍNOS UTILIZADOS NAS MODALIDADES EXPERIMENTAIS I (INCUBAÇÃO) E II COLUNAS DE PERCOLAÇÃO). MÉDIAS DE 3 REPETIÇÕES.....	29
TABELA 07 – LOCALIZAÇÃO, UNIDADES DE MAPEAMENTO E PROFUNDIDADES COLETADAS DOS SOLOS QUE FORAM UTILIZADOS NAS MODALIDADES EXPERIMENTAIS I (INCUBAÇÃO) E II (COLUNAS DE PERCOLAÇÃO).....	30
TABELA 08 - TEXTURA E TEORES DE P DO SOLO DE ARAPOTI EM CAMADAS DE DIFERENTES PROFUNDIDADE UTILIZADO NOS EXPERIMENTOS DA MODALIDADE II (COLUNAS DE PERCOLAÇÃO) E DA MODALIDADE III (CAMPO).....	36
TABELA 09 - TEXTURA E TEORES DE P DOS SOLOS UTILIZADOS NOS EXPERIMENTOS DA MODALIDADE I (INCUBAÇÃO).....	36
TABELA 10 – DOSES DAS DIFERENTES FORMAS DE DEJETOS DE SUÍNOS E DE N, P E K APLICADOS AOS VASOS DOS EXPERIMENTOS DA MODALIDADE I .....	40
TABELA 11 – UMIDADE RETIDA SOB A TENSÃO DE 0,033 MPA (80 % DA CAPACIDADE DE CAMPO) NOS DIFERENTES SOLOS INCUBADOS.....	42
TABELA 12 – MASSA DE TFSA E DE ÁGUA ADICIONADA PARA SE ELEVAR A UMIDADE DO SOLO A 80 % DA CAPACIDADE DE CAMPO DOS 4 SOLOS (NOS 4 EXPERIMENTOS) .....	43
TABELA 13 – UMIDADE DESEJADA E MASSA DE ÁGUA ADICIONADA PARA SE ELEVAR A UMIDADE DO SOLO A 80 % DA CAPACIDADE DE CAMPO DO SOLO DAS COLUNAS .....	48
TABELA 14 – DOSES DE DEJETOS DE SUÍNOS SOB DIFERENTES FORMAS E DE N, P E K APLICADOS A PARTIR DESTES ÀS COLUNAS DE SOLO DE ARAPOTI PR PERCOLADAS EXPERIMENTALMENTE .	49
TABELA 15 – DOSES DAS DIFERENTES FORMAS DE DEJETOS DE SUÍNOS, DO FERTILIZANTE SUPERFOSFATO SIMPLES E DE ALGUNS DE SEUS CONSTITUINTES APLICADOS ÀS PARCELAS DO	

EXPERIMENTO DE CAMPO DA MODALIDADE EXPERIMENTAL III	61
TABELA 16 – TEORES DE P EXTRAÍVEL DO SOLO DE ARAPOTI PR EM 8 AMOSTRAGENS REALIZADAS DURANTE OS 150 DIAS DE SUA INCUBAÇÃO. MÉDIAS DE 4 REPETIÇÕES	72
TABELA 17 – TEORES DE P EXTRAÍVEL DO SOLO DE PONTA GROSSA PR EM 8 TEMPOS DE AMOSTRAGEM DURANTE OS 150 DIAS DE SUA INCUBAÇÃO. MÉDIAS DE 4 REPETIÇÕES	76
TABELA 18 – TEORES DE P EXTRAÍVEL DO SOLO DE PALMEIRA PR EM 8 TEMPOS DE AMOSTRAGEM DURANTE OS 150 DIAS DE SUA INCUBAÇÃO. MÉDIAS DE 4 REPETIÇÕES	80
TABELA 19 - TEORES DE P EXTRAÍVEL DO SOLO DE CONTENDA PR EM 8 TEMPOS DE AMOSTRAGEM DURANTE OS 150 DIAS DE SUA INCUBAÇÃO. MÉDIAS DE 4 REPETIÇÕES	84
TABELA 20a - DISTRIBUIÇÃO NAS PROFUNDIDADES DE 0 A 50 CM DA MÉDIA DOS TEORES DE P EXTRAÍVEL DO SOLO DO EXPERIMENTO DA MODALIDADE II (COLUNAS DE PERCOLAÇÃO)	89
TABELA 20b - DISTRIBUIÇÃO NAS PROFUNDIDADES DE 50 A 100 CM DA MÉDIA DOS TEORES DE P EXTRAÍVEL DO SOLO DO EXPERIMENTO DA MODALIDADE II (COLUNAS DE PERCOLAÇÃO)	89
TABELA 21 – EVOLUÇÃO DA MÉDIA DO C DISSOLVIDO NA ÁGUA PERCOLADA DO EXPERIMENTO DA MODALIDADE II (COLUNAS DE PERCOLAÇÃO)	95
TABELA 22 – EVOLUÇÃO DA MÉDIA DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA NA ÁGUA PERCOLADA DO EXPERIMENTO DA MODALIDADE II (COLUNAS DE PERCOLAÇÃO)	100
TABELA 23 – QUANTIDADE MÉDIA DE MATÉRIA SECA NAS PLANTAS DE TRIGO COLHIDAS AOS 91 DIAS DO EXPERIMENTO DA MODALIDADE II (COLUNAS DE PERCOLAÇÃO)	104
TABELA 24 - CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE P NA MATÉRIA VEGETAL DA PARTE AÉREA DO TRIGO COLETADO NO EXPERIMENTO DA MODALIDADE II (COLUNAS DE PERCOLAÇÃO)	105
TABELA 25a - MÉDIA DA DISTRIBUIÇÃO EM PROFUNDIDADE DOS TEORES DE P DISPONÍVEL NO SOLO ANTES DA APLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS NO EXPERIMENTO DA MODALIDADE III (CAMPO)	107
TABELA 25b - MÉDIA DA DISTRIBUIÇÃO EM PROFUNDIDADE DOS TEORES DE P DISPONÍVEL NO SOLO DEPOIS DA APLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS NO EXPERIMENTO DA MODALIDADE III (CAMPO)	107
TABELA 26 – MÉDIA DA DISTRIBUIÇÃO DA MATÉRIA SECA DE TRIGO NO EXPERIMENTO DA MODALIDADE III (CAMPO)	114

TABELA 27 – MÉDIA DA DISTRIBUIÇÃO DA PRODUÇÃO DE TRIGO NO EXPERIMENTO DA MODALIDADE III (CAMPO).....	114
---	-----

## LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 01 - VARIAÇÃO DOS TEORES DE P EXTRAÍVEL DO SOLO DE ARAPOTI PR EM 8 TEMPOS DE AMOSTRAGENS REALIZADAS DURANTE OS 150 DIAS DE SUA INCUBAÇÃO. MÉDIAS DE 4 REPETIÇÕES .....	72
GRÁFICO 02 A 09 – TEORES DE P EXTRAÍVEL DO SOLO DE ARAPOTI PR COMPARADOS PELO TESTE DE TUKEY ( $P < 0,05$ ) EM 8 TEMPOS DE INCUBAÇÃO MÉDIAS DE 4 REPETIÇÕES .....	74
GRÁFICO 10 - VARIAÇÃO DOS TEORES DE P EXTRAÍVEL DO SOLO DE PONTA GROSSA PR EM 8 TEMPOS DE AMOSTRAGENS REALIZADAS DURANTE OS 150 DIAS DE SUA INCUBAÇÃO. MÉDIAS DE 4 REPETIÇÕES .....	76
GRÁFICO 11 A 18 – TEORES DE P EXTRAÍVEL DO SOLO DE PONTA GROSSA PR COMPARADOS PELO TESTE DE TUKEY ( $P < 0,05$ ) EM 8 TEMPOS DE INCUBAÇÃO MÉDIAS DE 4 REPETIÇÕES .....	78
GRÁFICO 19 - VARIAÇÃO DOS TEORES DE P EXTRAÍVEL DO SOLO DE PALMEIRA PR EM 8 TEMPOS DE AMOSTRAGENS REALIZADAS DURANTE OS 150 DIAS DE SUA INCUBAÇÃO. MÉDIAS DE 4 REPETIÇÕES .....	80
GRÁFICO 20 A 27 – TEORES DE P EXTRAÍVEL DO SOLO DE PALMEIRA PR COMPARADOS PELO TESTE DE TUKEY ( $P < 0,05$ ) EM 8 TEMPOS DE INCUBAÇÃO MÉDIAS DE 4 REPETIÇÕES .....	82
GRÁFICO 28 - VARIAÇÃO DOS TEORES DE P EXTRAÍVEL DO SOLO DE CONTENDA PR EM 8 TEMPOS DE AMOSTRAGENS REALIZADAS DURANTE OS 150 DIAS DE SUA INCUBAÇÃO. MÉDIAS DE 4 REPETIÇÕES .....	84
GRÁFICO 29 A 36 – TEORES DE P EXTRAÍVEL DO SOLO DE CONTENDA PR COMPARADOS PELO TESTE DE TUKEY ( $P < 0,05$ ) EM 8 TEMPOS DE INCUBAÇÃO MÉDIAS DE 4 REPETIÇÕES .....	86
GRÁFICO 37 A 42 – MÉDIA DOS TEORES DE P EM PROFUNDIDADE DO SOLO DO EXPERIMENTO DA MODALIDADE II (COLUNAS).....	91
GRÁFICO 43 A 48 – MÉDIA DOS TEORES DE P EM PROFUNDIDADE DO SOLO DO EXPERIMENTO DA MODALIDADE II (COLUNAS).....	92
GRÁFICO 49 A 54 – MÉDIA DOS TEORES DE P EM PROFUNDIDADE DO SOLO DO EXPERIMENTO DA MODALIDADE II (COLUNAS).....	93
GRÁFICO 55 E 56 – MÉDIA DOS TEORES DE P EM PROFUNDIDADE DO SOLO DO EXPERIMENTO DA MODALIDADE II (COLUNAS).....	94
GRÁFICO 57 - VARIAÇÃO DE C DISSOLVIDO NA SOLUÇÃO PERCOLADA DO EXPERIMENTO DA MODALIDADE II (COLUNAS DE PERCOLAÇÃO) DURANTE OS 91 DIAS DE PERCOLAÇÃO. MÉDIAS DE 3 REPETIÇÕES .....	95

GRÁFICO 58 A 63 – MÉDIA DA CONCENTRAÇÃO DE CARBONO DISSOLVIDO NO TEMPO DA SOLUÇÃO PERCOLADA DO EXPERIMENTO DA MODALIDADE II (COLUNAS) .....	97
GRÁFICO 64 E 65 – MÉDIA DA CONCENTRAÇÃO DE CARBONO DISSOLVIDO NO TEMPO DA SOLUÇÃO PERCOLADA DO EXPERIMENTO DA MODALIDADE II (COLUNAS) .....	98
GRÁFICO 68 - VARIAÇÃO DA MÉDIA DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DA ÁGUA PERCOLADA NO EXPERIMENTO DA MODALIDADE II (COLUNAS DE PERCOLAÇÃO) .....	100
GRÁFICO 69 A 74 – MÉDIA DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DA SOLUÇÃO PERCOLADA NO TEMPO DO EXPERIMENTO DA MODALIDADE II (COLUNAS) .....	102
GRÁFICO 75 A 78 – MÉDIA DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DA SOLUÇÃO PERCOLADA NO TEMPO DO EXPERIMENTO DA MODALIDADE II (COLUNAS) .....	103
GRÁFICO 79 A 84 – DISTRIBUIÇÃO DOS TEORES DE P EM PROFUNDIDADE PARA OS DIFERENTES TRATAMENTOS DO EXPERIMENTO DE CAMPO DA MODALIDADE III .....	110
GRÁFICO 85 A 91 – TEORES DE P EM PROFUNDIDADE DO SOLO DO EXPERIMENTO DE CAMPO (MODALIDADE III) ANTES DOS TRATAMENTOS .....	112
GRÁFICO 92 A 98 – TEORES DE P EM PROFUNDIDADE DO SOLO DO EXPERIMENTO DE CAMPO (MODALIDADE III) APÓS A COLHEITA DO TRIGO DAS PARCELAS EXPERIMENTAIS .....	113
GRÁFICO 99 - MÉDIA DA PRODUÇÃO DE TRIGO NO EXPERIMENTO DA MODALIDADE II (CAMPO) .....	116

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 01 – FORMAS DOS DEJETOS DE SUÍNOS TESTADAS: 1) LÍQUIDO SOBRENADANTE DE LAGOA DE DECANTAÇÃO (SN); 2) DEJETOS DE FUNDO DE LAGOAS DE DECANTAÇÃO (DF); 3) CAMA SOBREPOSTA (CS); E 4) NURESOIL OU DEJETOS TRATADOS PELO PROCESSO N-VIRO (NS).....	27
FIGURA 02 – ACONDICIONAMENTO DA CAMA SOBREPOSTA (CS), DO LÍQUIDO SOBRENADANTE (SN) E DA DEPOSIÇÃO DE FUNDO DE LAGOA DE DECANTAÇÃO (DF) EM BALDES PLÁSTICOS. ....	28
FIGURA 03 – ASPECTO DAS DIFERENTES FORMAS DE DEJETOS DE SUÍNOS UTILIZADAS NO EXPERIMENTO DE CAMPO: 1) CAMA SOBREPOSTA (CS), 2) NURESOIL OU DEJETOS TRATADOS PELO PROCESSO N-VIRO (NS); (3) DEPÓSITO DE FUNDO (DF) EM PRIMEIRO PLANO E EM SEGUNDO PLANO O SOBRENADANTE (SN) .....	28
FIGURA 04 – VISTA GERAL DA REGIÃO DE COLETA DE SOLO DA FAZENDA MUTUCA. ARAPOTI PR .....	32
FIGURA 05 – TRINCHEIRA ABERTA PARA A COLETA DO SOLO DA UNIDADE LEA6 - LATOSSOLO VERMELHO ESCURO ÁLICO DA FAZENDA MUTUCA. ARAPOTI PR .....	32
FIGURA 06 – VISTA DA REGIÃO DE COLETA DO SOLO, EM CONTENDA PR, UTILIZADO NA MODALIDADE EXPERIMENTAL I (INCUBAÇÃO)..	33
FIGURA 07 – DETALHE DO PONTO DE COLETA DO SOLO LVA01 - LATOSSOLO VERMELHO AMARELO NO MUNICÍPIO DE CONTENDA PR .....	33
FIGURA 08 – VISTA GERAL DO SÍTIO DE COLETA DE SOLO DA FAZENDA BARONESA. PALMEIRA PR .....	34
FIGURA 09 – DETALHE DO PONTO DE COLETA DO SOLO CA23 - CAMBISSOLO ÁLICO DE PALMEIRA PR UTILIZADO NA MODALIDADE EXPERIMENTAL I (INCUBAÇÃO) .....	34
FIGURA 10 – VISTA DO SÍTIO DE COLETA DO SOLO DA REGIÃO DE PONTA GROSSA PR.....	35
FIGURA 11 – DETALHE DO PONTO DE COLETA DO SOLO LEA8 - LATOSSOLO VERMELHO ESCURO ÁLICO UTILIZADO NA MODALIDADE EXPERIMENTAL I (INCUBAÇÃO). PONTA GROSSA PR .....	35
FIGURA 12 – DETALHES DOS EXPERIMENTOS DA MODALIDADE I (INCUBAÇÃO): EXPERIMENTO 1 - SOLO DE ARAPOTI; EXPERIMENTO 2 - SOLO DE PONTA GROSSA; EXPERIMENTO 3 - SOLO DE PALMEIRA; E EXPERIMENTO 4 - SOLO DE CONTENDA .....	41
FIGURA 13 – VISTA GERAL DOS EXPERIMENTOS DE INCUBAÇÃO DE SOLOS NO LABORATÓRIO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO DA UFPR .....	43

FIGURA 14 – COLUNAS DE PERCOLAÇÃO COM O PERFIL DE SOLO RECONSTRUÍDO E INSTALADO NA CASA DE VEGETAÇÃO.....	46
FIGURA 15 – TUBO COM A TAMPA QUE ABRIGOU AS COLUNAS DO SOLO PERCOLADO.....	47
FIGURA 16 – DETALHE DOS FUNÍIS INSTALADOS NA PARTE INFERIOR DOS TUBOS DE PVC PARA A CAPTAÇÃO DA SOLUÇÃO PERCOLADA ATRAVÉS DAS COLUNAS DE SOLO.....	47
FIGURA 17 – DETALHE DE COMO AS MÁSCARAS DE POEIRA SUSTENTARAM OS FRASCOS DE RECEBIMENTO E ARMAZENAGEM DA SOLUÇÃO PERCOLADA DAS COLUNAS LOCALIZADOS SOB OS FUNÍIS.....	48
FIGURA 18 – APLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS NA SUPERFÍCIE DO SOLO DE ARAPOTI NAS COLUNAS DE PERCOLAÇÃO: 1 - NURESOIL, 2 - CAMA SOBREPOSTA, 3 - SOBRENADANTE E 4 - DEPÓSITO DE FUNDO.....	50
FIGURA 19 – REGA SEMANAL DAS COLUNAS DE SOLO (ARAPOTI PR) PARA SUA PERCOLAÇÃO COM ÁGUA DEIONIZADA.....	51
FIGURA 20 – DETALHE DOS FRASCOS UTILIZADOS PARA A COLETA DA SOLUÇÃO PERCOLADA (GARRAFA COM TAMPA LARANJA) E PARA ARMAZENAGEM EM CONGELADOR (POTE COM TAMPA AMARELA).....	52
FIGURA 21 – ASPECTO DA SEMEADURA DO TRIGO NAS COLUNAS DE PERCOLAÇÃO ANTES DE SUA COBERTURA COM SOLO.....	52
FIGURA 22 – CONTROLE SEMANAL DO CRESCIMENTO DAS TRÊS PLÂNTULAS SELECIONADAS, NESTE CASO AOS 14 DIAS DA SEMEADURA DO TRIGO PARA A TESTEMUNHA (T).....	53
FIGURA 23 – CORTE, DETERMINAÇÃO DA ALTURA DAS PLANTAS E ACONDICIONAMENTO DESTAS EM SACOS DE PAPEL KRAFT PARA SECAGEM EM ESTUFA A 60 °C.....	54
FIGURA 24 – ABERTURA DA COLUNA DE PERCOLAÇÃO PARA AMOSTRAGEM ESTRATIFICADA DE SOLO.....	55
FIGURA 25 – ASPECTO GERAL DA FAZENDA MUTUCA. ARAPOTI PR.....	58
FIGURA 26 - CROQUI DO EXPERIMENTO DE CAMPO INDICANDO A DISTRIBUIÇÃO DOS BLOCOS E TRATAMENTOS, IMPLANTADO NA FAZENDA MUTUCA EM ARAPOTI PR.....	59
FIGURA 27 – VISTA GERAL DO EXPERIMENTO DE CAMPO APÓS SUA LOCAÇÃO E ASPECTO GERAL DO TALHÃO.....	60
FIGURA 28 - RETIRADA DOS DEJETOS NA FORMA DE LODO DEPOSITADO NO FUNDO (DF) E DE LÍQUIDO SOBRENADANTE (SN) DE LAGOA DA FAZENDA RIO DAS CINZAS. ARAPOTI PR.....	62
FIGURA 29 – ASPECTO DO LODO DE FUNDO (DF) E DO SOBRENADANTE (SN) DE LAGOA DE DEJETOS ACONDICIONADOS EM SACOS PLÁSTICOS INSTANTES ANTES DE SUA DISTRIBUIÇÃO NAS PARCELAS EXPERIMENTAIS.....	62

FIGURA 30 – DETALHE DO ASPECTO DA SUPERFÍCIE DO SOLO IMEDIATAMENTE APÓS A APLICAÇÃO DO LODO DEPOSITADO NO FUNDO DE LAGOA DE DEJETOS (DF) EM PARCELA DO EXPERIMENTO DE CAMPO .....	63
FIGURA 31 – DETALHE DO ASPECTO DA SUPERFÍCIE DO SOLO IMEDIATAMENTE APÓS A APLICAÇÃO DO LÍQUIDO SOBRENADANTE (SN) DE LAGOA DE DEJETOS (DF) EM PARCELA DO EXPERIMENTO DE CAMPO .....	63
FIGURA 32 – DETALHE DO ASPECTO DA SUPERFÍCIE DO SOLO IMEDIATAMENTE APÓS A APLICAÇÃO DA CAMA SOBREPOSTA (CS) EM PARCELA DO EXPERIMENTO DE CAMPO .....	64
FIGURA 33 – DETALHE DO ASPECTO DA SUPERFÍCIE DO SOLO IMEDIATAMENTE APÓS A APLICAÇÃO DO NURESOIL (NS) EM PARCELA DO EXPERIMENTO DE CAMPO .....	64
FIGURA 34 - UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DO TRATAMENTO COM SUPERFOSFATO SIMPLES (SS) EM UMA DAS PARCELAS DO EXPERIMENTO DE CAMPO .....	65
FIGURA 35 – COLHEITA MECANIZADA DE UMA DAS PARCELAS DO EXPERIMENTO DE CAMPO .....	66
FIGURA 36 – PLANTAS AMOSTRADAS EM PARCELA DO EXPERIMENTO DE CAMPO PARA AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DE MATÉRIA SECA .....	67
FIGURA 37 – COLETA DAS AMOSTRAS DE SOLO NAS PARCELAS DO EXPERIMENTO DE CAMPO (MODALIDADE III) ANTES DA SEMEADURA DO TRIGO.....	69

## RESUMO

Os dejetos gerados pela suinocultura no Brasil, particularmente no Paraná, vem tendo atenção especial em razão dos problemas ambientais causados pela sua ainda inadequada destinação e armazenamento, dos quais destaca-se o da poluição das águas. Dentre as alternativas para se solucionar tais problemas propõe-se a da reciclagem agrícola em sistemas de produção vegetal, a qual utiliza-se de tais resíduos como fontes de nutrientes e de matéria orgânica para solos cultivados. Faz-se, pois necessário o estabelecimento de critérios para se embasar doses, e de estudos que demonstrem que essa prática não traz efeitos indesejáveis nem para o solo nem para a água das bacias hidrográficas onde a reciclagem ocorre, principalmente quando esta aplicação se dá superficialmente a solos manejados sob plantio direto. Isto se faz importante tanto quando se utiliza dejetos na forma de sobrenadante de lagoas de decantação ou de seu lodo de fundo, quanto quando estes são misturados com cama de maravalha dos animais (cama sobreposta), ou ainda quando são transformados em produto como é o caso do seu tratamento pelo “*Processo de Estabilização Alcalina Avançada com Subseqüente Secagem Acelerada*” (*Processo N-Viro*). Neste contexto, um dos aspectos mais preocupantes refere-se ao transporte de P das áreas de aplicação até os corpos d’água, o que causa o fenômeno da eutrofização. Assim sendo, com vistas a se avaliar o efeito de mesmas doses de P ( $56,76 \text{ kg ha}^{-1}$ ), derivado de 4 fontes de dejetos de suínos (**DF - lodo depositado no fundo** de lagoas de decantação, **SN - líquido sobrenadante** de lagoas de decantação, **CS - cama sobreposta** de maravalha, **NS - NureSoil**, dejetos tratados pelo Processo N-Viro) sobre o teor extraível deste nutriente do solo, sua presença na água de percolação e seu efeito na produtividade conduziu-se 3 experimentos sob delineamento inteiramente casualizado e cujas médias foram submetidas ao teste de Tukey (5%), para comparação. O experimento de incubação em vasos sem plantas foi conduzido com 4 latossolos e 1 cambissolo do Paraná, com distintas origens, teores de argila e de matéria orgânica. Tanto no experimento com colunas de percolação quanto no conduzido a campo utilizou-se do latossolo arenoso sobre o qual cultivou-se trigo (*Triticum aestivum* L.). A disponibilidade de P foi estimada por meio do extrator de Mehlich 1 (HCl 0,05 M + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 M). Os teores de P obtidos para o solo variaram de 2 a 420 mg kg<sup>-1</sup>, os teores encontrados na água de percolação situaram-se abaixo do nível de detecção do equipamento de leitura utilizado, as produtividades alcançadas para o trigo nas diferentes parcelas experimentais variou entre 754,2 e 920,8 kg ha<sup>-1</sup> mas para estes não se pbeve diferenças significativas. Com a aplicação de  $56,76 \text{ kg ha}^{-1}$  de P advindo de dejetos de suínos na forma de líquido sobrenadante de lagoas de decantação sobre a superfície dos solos estudados não se observou transporte de P em profundidade no solo.

Palavras-chave: fósforo, dejetos de suínos, fertilizante orgânico, suinocultura, poluição do solo, qualidade da água

## ABSTRACT

The dejections generated for the swine breeding in Brazil, particularly in the Paraná State, still come having special attention in reason of the environmental problems caused by its inadequate destination and storage, of which are distinguished of the pollution of waters. Amongst the alternatives to solve such problems it of the agricultural recycling in systems of vegetal production is considered, which is used of such residues as sources of nutrients and organic substance for cultivated ground. One becomes, therefore necessary the establishment of criteria to base doses, and of studies that demonstrate that this practical does not bring effect undesirable nor for the ground nor for the water of the hydrographic basins where the recycling occurs, mainly when this application if gives superficially ground management under direct plantation. This if makes in such a way important when dejection in the liquid of decantation of lagoons of decantation or its silt of deep is still used, how much when these are mixed the deep bedding of sawdust (overlapping bed), or when they are transformed into product as it is the case of its treatment for the "Process of Advanced Alkaline Stabilization with Subsequent Sped up Drying" (N-Viro Process). In this context, one of the aspects most preoccupying mentions the transport to it of P of the application areas until the bodies of water, what cause the phenomenon of the eutrofização. Thus being, with sights if to evaluate the effect of same doses, 56,76 kg ha<sup>-1</sup> of P, derivative of 4 sources of swine dejections (DF - silt deposited in the deep one of decantation lagoons, SN - liquid of decantation lagoons, CS - deep bedding, NS - NureSoil, dejections treated for the N-Viro Process) on the pull-out text of this nutrient of the ground, its presence in the water of percolating and its effect in the productivity conducted 3 experiments with DIC submitted to the test of Tukey (5%), for comparison of averages. The experiment of incubation in vases without plants was lead with 4 latosoil and 1 cambisoil of the Paraná State, with distinct origins and texts of clay and organic substance. As much in the experiment with percolating columns how much in lead the field it was used of latosoil on which cultivated wheat (*Triticum aestivum* L.). The availability of P was esteem by means of the extractor of Mehlich 1 (HCl 0,05 M + 0,125 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> M). The texts of gotten P for the ground had varied of 2,0 420 mg kg<sup>-1</sup>, the texts found in the percolating water had been placed below of the level of detention of the used equipment of reading, the productivities reached for the wheat in the different experimental parcels varied between 754,2 and 920,8 kg ha<sup>-1</sup>. With the application of 56,76 kg ha<sup>-1</sup> of P happened of swine dejections in the liquid of decantation of lagoons of decantation on the surface of studied ground did not detect transport of P in depth in the ground.

Key-words: manure, phosphorus, soil pollution, swine wastes, swine breeding, water quality

## 1 INTRODUÇÃO

O Paraná, ao lado dos estados de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul, constitui-se em um dos estados detentores do maior rebanho de suínos do Brasil. Tal atividade possui grande importância econômica e social por gerar divisas, emprego e renda constituindo-se, enquanto sistema de produção animal, também em alternativa para viabilizar pequenas propriedades rurais. Segundo LUDKE e LUDKE (2003), em 2002 o Brasil produziu e exportou respectivamente 2,9 milhões e 475 mil toneladas de carne suína, afirmando que tal atividade vem se expandindo e colocando o País entre os líderes do cenário mundial.

A ABCS - Associação Brasileira de Criadores de Suínos (2003) relata que de dezembro de 2001 a novembro de 2002 as vendas externas de carne suína in natura totalizaram US\$ 458,5 milhões, traduzindo-se em um crescimento de 35,6% quando comparadas com as realizadas no período de 12 meses anterior, as quais então somaram US\$ 338,1 milhões.

Por outro lado, a suinocultura nacional tem trazido problemas ambientais decorrentes da destinação inadequada dos dejetos gerados nas propriedades aonde ocorre a produção primária. Tais problemas, traduzidos principalmente na forma de poluição pontual e difusa de águas pode inclusive levar importadores a imporem restrições à carne produzida sob condições inadequadas, o que consistiria em uma barreira não tarifária às exportações brasileiras. Além do mais os dejetos podem causar a contaminação de fontes de abastecimento público, até porque muitas vezes a disposição ocorre de forma tão irracional que é feita diretamente nas águas da bacia hidrográfica usada como manancial.

Este panorama tem induzido os diversos atores sociais envolvidos na cadeia produtiva da carne suína pertencentes tanto ao governo quanto à iniciativa privada, principalmente pesquisadores, a entender melhor esta complexa questão e a buscar alternativas tecnológicas para resolvê-la da forma mais sustentável possível. Dentre estas destaca-se a da reciclagem agrícola, a qual permite que elementos minerais e a matéria orgânica contidos nos dejetos excretados pelos animais retornem ao solo aonde servirão aos vegetais ali cultivados como nutrientes, trarão benefícios às propriedades químicas, físicas e biológicas dos solos, ao mesmo tempo em que o problema é minimizado.

Vários sistemas de produção vegetal podem ser beneficiados pela reciclagem agrícola dos dejetos de suínos. Exemplo disso são as culturas graníferas como a do milho, da soja e do trigo. No entanto, para que a reciclagem seja viável operacional e economicamente tanto para a atividade geradora (suinocultura) quanto para a recicladora (cultura vegetal), faz-se necessário que os custos relativos ao tratamento, armazenamento, transporte e aplicação possam ser assimilados por estes sistemas. Também, para que a reciclagem agrícola seja aceita pela população e autoridades faz-se necessário que esta não gere efeitos indesejáveis como, por exemplo, a eutrofização das águas de superfície, atribuída principalmente ao carregamento por erosão do P e do N contidos nos dejetos, ou pelo seu escoamento superficial para corpos d'água. Ou ainda, que a reciclagem não promova a contaminação das águas de sub-superfície em razão da percolação de potenciais poluentes aplicados ao solo como a matéria orgânica solúvel em água.

O Paraná possui aproximadamente 135 mil propriedades envolvidas com atividades suinícolas, as quais abrigam um rebanho estimado em 6,07 milhões de animais e que convivem com o problema da destinação dos dejetos, cuja produção diária é estimada por CESCNETO e ROESLER (2003) como sendo 35 milhões de litros de dejetos somente para este estado. Assim, muitos destes suinocultores, às vezes pressionados pelas autoridades de fiscalização ambiental, têm vivenciado o drama do que fazer com os dejetos gerados em suas propriedades e da dúvida quanto à melhor decisão a ser tomada no que concerne ao sistema de criação e de gestão de tais resíduos, mesmo entre aqueles ditos integrados aos grandes frigoríficos. Isto em parte se deve à sazonalidade da atividade agrícola que impede que os dejetos possam ser aplicados ao solo a qualquer época, e ao tamanho das áreas agrícolas e aptidão dos solos das propriedades suinícolas ou daquelas do seu entorno, muitas vezes pequenas e inaptas ao cultivo. Também a forma de cultivo do solo pode gerar dúvida sobre a possibilidade de aplicação de dejetos sobre a sua superfície e sob que forma estes poderiam ser aplicados. Este é o caso do plantio direto.

Assim sendo, o presente trabalho justifica-se pela necessidade de se avaliar o efeito da aplicação de doses das frações de dejetos de suínos originados de lagoas de decantação (lodo de fundo e sobrenadante), de dejetos misturados à cepilhos de madeira (cama sobreposta), e de dejetos tratados e convertido em produto (dejeito de lagoa de decantação tratados pelo Processo N-Viro), em sistema

de produção de grãos manejado sob plantio direto, bem como de se avaliar o comportamento do P elemento considerado como principal causador da eutrofização de corpos d'água em áreas dentro de bacias hidrográficas onde a reciclagem de dejetos é mais intensa.

## 1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral do presente trabalho é o de gerar subsídios para permitir a avaliação e contribuir para a tomada de decisão da escolha de formas de manipulação de dejetos de suínos a serem gerenciados ao nível de propriedades agrícolas e, ou de bacias hidrográficas visando sua reciclagem agrícola.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comparar diferentes formas de dejetos gerados na propriedade e em bacias hidrográficas quanto a disponibilização de P no solo com vistas à sua reciclagem agrícola.

- Avaliar o uso de frações geradas em lagoa pelo método convencional (dejetos líquidos sobrenadante e lodo de fundo semi-sólido) "in natura" em comparação àquelas transformadas por métodos de tratamento como o Processo N-Viro (NureSoil sólido) no que tange a disponibilização e mobilidade de P no solo em função do tempo.

- Avaliação de efeitos da aplicação de dejetos de suínos sob a forma de lodo de fundo e de sobrenadante de lagoa de acúmulo, de cama sobreposta e de NureSoil (lodo de fundo tratado pelo Processo N-Viro) sobre certas propriedades químicas do solo e da água de percolação de colunas de solo, bem como sobre a produtividade de espécies agrícolas cultivadas a campo e em casa de vegetação.

- Avaliação do efeito da aplicação de mesmas doses de P total presente em dejetos de suínos sob diferentes formas (lodo de fundo e sobrenadante de lagoa de acúmulo, cama sobreposta, e NureSoil) sobre os teores de P extraíveis quimicamente de diferentes solos do Paraná, sobre sua biodisponibilidade a

vegetais neles cultivados, e sobre o teor e quantidade total lixiviada na água de percolação.

Como hipótese de pesquisa considerou-se que a adição de diferentes formas de resíduos de suínos como fertilizantes de solos distintos pode contribuir para um incremento na disponibilização de P nesses solos. Portanto, em um período prolongado o uso de dejetos de suínos como fertilizantes de solos poderá influenciar na quantidade de P em solução do solo sem que seja transportado em profundidade no solo onde for aplicado.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. SITUAÇÃO DOS DEJETOS DE SUÍNOS E O MEIO AMBIENTE NO PARANÁ

A atual expansão da suinocultura no Brasil tem como principal característica à alta concentração de animais por área, visando atender ao consumo interno e externo de carne, produtos e derivados dessa atividade. Observa-se, como conseqüência, uma extensa poluição hídrica pela alta carga orgânica e presença de coliformes fecais provenientes dos dejetos, que somada aos problemas de resíduos domésticos e industriais, tem causado sérios problemas ambientais, como a destruição dos recursos naturais renováveis em especial água. Esta situação exige a fixação de parâmetros de emissão cada vez mais rigorosos pelos órgãos de fiscalização. O Brasil possui clima e disponibilidade de área para utilização agrônômica, tem ainda um potencial grande para aumentar seus rebanhos suínos. Nosso maior desafio é encontrar um modo de manejo adequado dos dejetos de suínos para a sobrevivência das zonas de produção intensiva no Brasil, devido aos riscos de poluição das águas superficiais e subterrâneas por nitratos, P e outros elementos minerais ou orgânicos (OLIVEIRA, 2002).

Devido à grande quantidade de efluentes altamente poluentes produzidos e lançados ao solo e nos cursos de água sem tratamento prévio, a suinocultura é considerada como atividade de alto risco para a contaminação da água de bacias hidrográficas. O problema de poluição causada pela suinocultura concentra-se principalmente nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, que juntos concentram cerca de 70% do rebanho suíno do Brasil (EMBRAPA, 1998).

Relata OLIVEIRA, (2002) que as ações para a melhoria da qualidade do ar e redução do poder poluente dos dejetos de suínos a níveis aceitáveis pela legislação requererem investimentos significativos, normalmente acima da capacidade de pagamento do produtor, sendo, portanto o maior problema para a adequação das propriedades às exigências da legislação. Pode-se observar na Região Oeste do Paraná que a maior concentração de suínos aliada à maior produção de dejetos por unidade de área impede um adequado aproveitamento desses resíduos, trazendo sérios problemas de poluição dos recursos naturais, em especial da água.

Segundo TRAMONTINI (1999) a estratégia da armazenagem e distribuição como controle da poluição não tem sido totalmente correta, pois revela um distanciamento da realidade, necessidade e interesse dos produtores. Estudo realizado pela EPAGRI – SC revela que apenas 15% das propriedades suícolas de Santa Catarina possuíam alguma forma de tratamento como esterqueiras ou lagoas, no início da década de 90, mas em 1997 já eram 40% dos produtores integrados a agroindústria e 70% do total em 1999.

A poluição ambiental por dejetos é um problema que vem nos últimos 10 anos se agravando na suinocultura. Levantamentos têm demonstrado um alto nível de contaminação dos rios e lençóis de água superficiais que abastecem tanto o meio rural como o urbano. A capacidade poluente dos dejetos de suínos, em termos comparativos, é muito superior a de outras espécies. Um suíno, em média, equivale a 3,5 pessoas. A causa principal da poluição é o despejo direto do esterco de suínos sem o devido tratamento nos cursos de água, o que acarreta poluição em função da redução do teor de oxigênio dissolvido na água, disseminação de patógenos e contaminação das águas potáveis com amônia, nitratos, P entre outros elementos (PERDOMO, 1999).

Os principais constituintes dos dejetos suínos que afetam as águas superficiais são matéria orgânica, nutrientes, bactérias fecais e sedimentos. Além destes fatores, as emissões de gases originados pelos dejetos podem causar entre outros agravantes, prejuízos nas vias respiratórias do homem e animais, bem com, a formação de chuva ácida por meio de descargas de amônia na atmosfera, além de contribuírem para o aquecimento global da terra (LUCAS et al, 1999).

A utilização dos dejetos de suínos como fertilizantes orgânicos também pode contribuir para a contaminação dos recursos hídricos se as quantidades aplicadas forem superiores à capacidade do solo e das plantas em absorverem os nutrientes presentes nesses resíduos. Dessa forma, poderá haver contaminação das águas superficiais pelo escoamento superficial quando a capacidade de infiltração da água no solo for baixa e a contaminação das águas subterrâneas quando a infiltração da água no solo for elevada (POTE et al., 2001).

## 2.2. FORMAS DE DEJETOS DE SUÍNOS APLICÁVEIS AO SOLO COMO FERTILIZANTES

Nenhum tratamento de dejetos em uso no Brasil é capaz de tratar o resíduo final a ponto de que este seja lançado diretamente nos cursos d'água. Com o aumento constante de suínos em pequenas áreas e, portanto o aumento do volume de dejetos produzidos, gera um aumento proporcional da exigência de áreas de lavouras pelo número de animais em produção. A utilização dos dejetos de suínos como fertilizante para as plantas exigem conhecimentos específicos para cada situação e altos investimentos em armazenagem, transporte e distribuição desses fertilizantes. Investimentos esses que nem sempre estão disponíveis para os pequenos e médios produtores, que normalmente são mais descapitalizados. Para o uso dos dejetos como fertilizantes, recomenda-se o armazenamento e tratamento dos dejetos em esterqueiras, lagoas de decantação ou outros métodos de tratamento para posterior uso em culturas sob diferentes formas de disposição ao solo (OLIVEIRA, 2002).

### 2.2.1. Cama sobreposta

De acordo com OLIVEIRA et al. (2000), a criação suína em cama sobreposta constitui-se num sistema de produção de suínos em leito formado por maravalha ou outro material como serragem, palha, casca de arroz ou sabugo triturado de milho, sobre os quais os dejetos são depositados e então misturados ao substrato.

Segundo OLIVEIRA et al. (1999) a produção de suínos em sistemas *Deep Bedding*, ou cama sobreposta constitui-se em alternativa de manejo onde os dejetos sofrem compostagem "*in situ*", o que reduz riscos de poluição tanto do ar, quanto da água e do solo, e também viabilizando economicamente seu uso como adubo orgânico.

O sistema de criação sobre maravalha foi introduzido no Brasil em 1993 pela Embrapa Suínos e Aves. Algum tempo depois, em função dos resultados alcançados, foram implantadas duas unidades de observação, para as fases de crescimento e terminação, uma em Gaurama RS e a outra em Concórdia SC (OLIVEIRA e SOBESTIANSKY, 1993).

OLIVEIRA et al. (2000) relata que o sistema de criação de suínos em cama sobreposta exige um modelo de edificação totalmente aberto nas laterais para facilitar a ventilação. Como o processo de compostagem é aeróbio são reduzidas as emissões de amônia ( $\text{NH}_3$ ) e odores, bem como ocorre a evaporação da fração líquida contida nos dejetos. Segundo o autor, as vantagens da criação de suínos em cama sobreposta estão associadas principalmente ao seu menor custo de investimento em instalações e manejo de dejetos, melhor conforto e bem estar animal e melhor aproveitamento da cama como fertilizante agrícola devido à concentração de nutrientes e à redução quase total da água contida nos dejetos. A principal vantagem do sistema de criação de suínos sobre cama é que a compostagem desenvolvida permite evaporar quase a totalidade da fração de água contida nos dejetos. Essa evaporação representa em média 5,7 litros de água por suíno por dia, enquanto que a quantidade de água introduzida ou gerada no sistema é de 6,1 litros. Sendo, viabilizado economicamente o transporte do composto final gerado no sistema de criação sobre cama de maravalha para fora da propriedade, pois este dilui os nutrientes dos dejetos na cama que por sua vez é um adubo com maior concentração de nutrientes que a do sistema convencional.

OLIVEIRA et al. (2000) afirma ainda que um sistema de criação de 1000 suínos na fase de terminação, sob cama de maravalha, produzirá em um ano 600 ton de composto orgânico pronto para ser utilizado na agricultura, contendo em sua composição o P.

Outro autor relata que a quantidade de P contido nos dejetos de suínos quando manejados sobre cama de maravalha pode ser maior que outros sistemas e ficam retidos na cama:

“O P excretado pelos suínos se encontra totalmente armazenado nos dejetos líquidos para o caso de sistemas com piso ripado. No sistema da cama de maravalha 58% do P excretado pelos animais é retido na camada com até 15 cm de profundidade da cama...” (OLIVEIRA et al., 2000).

A quantidade de P que podem compor a cama sobreposta varia em função da quantidade desse elemento nos dejetos e da espécie florestal usada como maravalha.

### 2.2.2. Dejetos Tratados Alcalinamente (NureSoil)

Os dejetos de suínos que são usados como fertilizantes no solo podem passar por um processo de tratamento, o processo N-viro que é uma alternativa de tratamento desses dejetos. Essa metodologia apresenta características bem específicas de tratamento, visando melhorar o desempenho do fertilizante como fonte de nutrientes ao solo, bem como oferecer mais segurança de aplicação e preservação ambiental. É um “*Processo de Estabilização Alcalina Avançada com Subseqüente Secagem Acelerada*” (*Processo N-Viro*) desenvolvido pela N-Viro Corporation de Toledo, Ohio, EUA, conforme cita PREISLER (2002).

De acordo com PREISLER (2002), o processo utiliza biossólidos e dejetos desaguados que vem de digestão aeróbia, anaeróbia ou ainda “in natura”, com teores de sólidos entre 15 a 40 %. A esses sólidos são adicionados reagentes alcalinos como ingredientes únicos ou combinados. Após a estabilização dos biossólidos em razão das reações químicas os biossólidos tratados ficam livres de odor e passam a apresentar-se como substância granulada, de cor levemente bege e de fácil manuseio.

Segundo PREISLER (2002), o não revolvimento do solo em plantio direto leva ao acúmulo de resíduos vegetais, corretivos e fertilizantes na sua superfície, promovendo modificações nas características químicas do solo quando comparado com o sistema convencional. Segundo a autora, biossólidos tratados por esse processo e aplicados em superfície do solo irão implicar em alterações no pH, Ca e V%, o que poderá também influenciar na disponibilidade de P do solo.

O NureSoil é um composto que constitui-se em um fertilizante orgânico e conforme NOVAIS (1999) quando um fertilizante orgânico é adicionado ao solo, maior será a sua influência nas características químicas desse solo quanto maior for a dose aplicada. No caso do P, a adição de doses elevadas de compostos orgânicos como fertilizante, poderá ocasionar uma elevação da imobilização desse elemento pela maior atividade microbiana do solo, seguida de uma mineralização gradativa de P e posterior aumento do P trocável do solo. Como o NureSoil (NS) é um composto a base de dejetos de suínos, espera-se que tenha comportamento semelhante aos demais fertilizantes orgânicos usados na pesquisa.

### 2.2.3. Lodo de Fundo e Líquido Sobrenadante de Lagoas de Decantação

A quantidade total de dejetos produzidos por um suíno depende diretamente da relação de peso do animal pelo volume de alimento que ingere. Em média, cada suíno adulto produz de 8,5 a 4,9% de seu peso vivo diariamente para animais entre 15 a 100 kg respectivamente. Ou seja, produz em média 7 a 8 litros de dejetos líquidos diariamente o que equivale ao volume de 0,21 a 0,24 m<sup>3</sup> de dejetos ao mês, de acordo com (OLIVEIRA, 1993).

Existem muitos fatores que podem interferir na quantidade de dejetos produzidos. Dentre estes podemos exemplificar o manejo, o tipo de bebedouro, a frequência de higienização e volume de água utilizada para a limpeza das baias e ainda o número e categorias dos animais criados. Esse volume de acordo com OLIVEIRA (1993) e de uma forma geral, poderá ser estimado com base nos dados da Tabela 01. No entanto, esse autor relata que em granjas onde a limpeza das baias é feita com o uso de água ou existe a perda de água nos bebedouros em quantidade significativa deve-se fazer um ajuste nos dados da Tabela 02 em função de diluição que poderá ocorrer.

TABELA 01 – ESTIMATIVA RECOMENDADA PARA A AVALIAÇÃO DO VOLUME DE DEJETOS PRODUZIDOS, DE ACORDO COM O TIPO DE GRANJA.

Tipo de Granja	Nível de Diluição		
	Pouca	Média	Muita
Ciclo completo (I/Matriz)	100	150	200
UPL (I/Matriz)	60	90	120
UT (I/animal)	7,5	11,2	15

FONTE: PERDOMO et al. (1999).

TABELA 02 - PRODUÇÃO MÉDIA DIÁRIA DE ESTERCO, ESTERCO + URINA E DEJETOS LÍQUIDOS POR CATEGORIA ANIMAL.

Categoria de Suínos	Esterco	Esterco+urina	Dejetos líquidos
25 –100 kg	2,30	4,90	7,00
Porcas em Gestação	3,60	11,00	16,00
Porcas em Lactação	6,40	18,00	27,00
Machos	3,00	6,00	9,00
Leitão desmamado	0,35	0,95	1,40
<b>Média</b>	<b>2,35</b>	<b>5,80</b>	<b>8,60</b>

FONTE: PERDOMO et al. (1999)

ASAE (1993) relata que as características físicas e químicas dos dejetos de suínos normalmente dependem do sistema de manejo dado aos animais e também da qualidade e quantidade das rações usadas na alimentação. Conseqüentemente existe grande variação na concentração de elementos nos dejetos, não só derivados de diferentes produtores, mas também dentro de uma mesma granja. A Tabela 03 apresenta algumas características dos dejetos de suínos frescos sem considerar a sua eventual diluição pela água advinda da limpeza ou dos bebedouros, ou seja dejetos constituídos somente por esterco e urina.

TABELA 03 - CARACTERÍSTICAS DE DEJETOS FRESCOS DE SUÍNOS PRODUZIDO POR 1.000 KG DE PESO VIVO.

<b>Parâmetro</b>	<b>Unidade</b>	<b>Valor</b>	<b>Desvio Padrão</b>
Volume total	kg	84,00	24,00
Urina	kg	39,00	4,80
Densidade	kg/m <sup>3</sup>	990,00	24,00
Sólidos totais	kg	11,00	6,30
Sólidos voláteis	kg	8,50	0,66
DBO	kg	3,10	0,72
DQO	kg	8,40	3,70
pH	-	7,50	0,57
N Kjeldahl (total)	kg	0,52	0,21
N amoniacal	kg	0,29	0,10
P total	kg	0,18	0,10
K total	kg	0,29	0,16

FONTE: ASAE (1993)

A Tabela 04 demonstra os dados obtidos por SILVA (1996) para a composição dos dejetos estimados no Sistema de Tratamento de Dejetos da Embrapa Suínos e Aves, situada em Concórdia SC.

Comparando-se os valores obtidos por ASAE (1993) com os de SILVA (1996) observa-se que a quantidade de P indicada para dejetos frescos por ASAE (1993) é cerca de 2,5 vezes maior que aquele publicado por SILVA (1996). Esse fato indica a existência de uma grande variabilidade na concentração de P em dejetos de suínos a qual pode ser devida a muitos fatores, dentre os quais o manejo e a composição da ração.

Segundo KONZEN (1997), dejetos de suínos podem ser compostos por fezes, urina, água desperdiçada por bebedouros e usada na higienização, resíduos

de ração, pêlos, poeiras e outros materiais. Tais dejetos poderão se apresentar em forma pastosa ou sólida. Quanto à sua composição, estes contêm matéria orgânica, nitrogênio, P, potássio, cálcio, sódio, magnésio, manganês, ferro, zinco, cobre e ainda outros elementos que podem estar presentes nas dietas dos animais.

TABELA 04 — COMPOSIÇÃO DE DEJETOS DE SUÍNOS OBTIDOS DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE DEJETOS DA EMBRAPA SUÍNOS E AVES EM CONCÓRDIA-SC.

Variável	Mínimo	Máximo	Média
	mg L <sup>-1</sup>		
DQO	11530,2	38448,0	25542,9
Sólidos totais	12697,0	49432,0	22399,0
Sólidos voláteis	8429,0	39024,0	16388,8
Sólidos fixos	4268,0	10408,0	6010,2
Sólidos sedimentáveis	220,0	850,0	428,9
N total	1660,0	3710,0	2374,3
P total	320,0	1180,0	577,8
K total	260,0	1140,0	535,7

FONTE: SILVA (1996)

SCHERER (1994), coletou 118 amostras líquidas de dejetos de suínos compostos por esterco e urina em oito municípios da Região Oeste de Santa Catarina e constatou que o teor de matéria seca nos dejetos amostrados foi de 3%. Esse teor de matéria seca ficou muito abaixo do valor usado como referência no Estado de Santa Catarina que é de 6 % e serve de base para a recomendação de adubação orgânica, indicada pela Comissão de Fertilidade do Solo daquele estado.

PERDOMO et al. (1999) relata que em geral as amostras com baixo teor de matéria seca têm uma baixa concentração de nutrientes e segundo esses autores, esse fato diminui seu valor fertilizante. Observaram também estes autores que cerca de 38 % das amostras de esterco tinham menos de 0,5 % de nutrientes e, segundo eles o que é mais preocupante, 27 % do total das amostras apresentavam menos de 0,3 de nutrientes e um teor de matéria seca inferior a 1 %.

Uma alternativa para diminuir o custo quanto para agilizar a interpretação e determinação da composição física e química dos dejetos é determinar a sua densidade:

“O ideal é que fossem coletadas amostras dos dejetos nas esterqueiras e enviadas para análises químicas e físicas nos laboratórios. No entanto, como estas têm um custo elevado, um dos métodos indicados para ser utilizado a campo é o uso do densímetro, que permite a determinação da densidade, sendo possível com isto, estimar a composição em nutrientes e calcular a dose adequada a ser aplicada para uma determinada cultura. Primeiramente, misturam-se os dejetos na esterqueira, agitando-os por alguns minutos, até perfeita homogeneização. Em seguida, com um recipiente adequado, retira-se uma amostra para a determinação da densidade. Para realizar a leitura, mergulha-se o densímetro no recipiente, observa-se até onde ele imerge e registra-se o valor obtido. Os densímetros recomendados devem ter escala de 1000 a 1060 kg m<sup>-3</sup>. Com o valor da densidade, consulta-se a tabela de conversão, obtendo-se às características químicas dos dejetos analisados.

Quando se avalia um esterco mais pastoso, densidade superior a 1030 kg/m<sup>-1</sup>, com teores acima de 6% de matéria seca, o densímetro perde precisão na leitura. Neste caso, deve-se fazer uma nova medição, observando-se o seguinte: diluir o liquame na proporção de 1:1 com água, fazer uma boa homogeneização da amostra, introduzir o densímetro e fazer uma nova leitura “ (PERDOMO et al., 1999).

### 2.3 INFLUÊNCIA DO MANEJO DO PLANTEL SOBRE O VOLUME DE DEJETOS E A CONCENTRAÇÃO DE P NOS DEJETOS DE SUÍNOS

CESCONETO e ROESLER (2003) citam que a elevada concentração de animais em pequenas áreas, aliada ao enorme volume de dejetos gerados, se traduz em potencial fonte de contaminação para o solo quando esses dejetos são aplicados a este como fertilizante.

Segundo LANTMANN (1997) e OLIVEIRA (2001), os suínos excretam na urina e nas fezes de 40 a 60% do nitrogênio que consomem.

Quanto mais elevado for o nível de nitrogênio da dieta maior será a quantidade excretada na urina, relata LUDKE E LUDKE (2003).

OLIVEIRA (2001) comenta que para suínos em crescimento o N excretado corresponde a parte do N alimentar não retido como proteína corporal. Assim dejetos com elevados índices de N e P se lançados em águas podem provocar eutrofização e reduzir drasticamente a concentração do oxigênio na água em razão do desenvolvimento acelerado de algas, o que conseqüentemente pode provocar a mortalidade de peixes.

Em pesquisa desenvolvida em Jaboticabal, SERAFIM e LUCAS JUNIOR (2003) administraram dietas iguais a um plantel de 36 animais em fase de

crescimento e terminação onde a higienização das instalações foi realizada de dois modos distintos: um sistema onde se fez somente a lavagem direta da baia e outro onde se fez a raspagem seguida de lavagem. Os animais submetidos somente ao sistema de lavagem produziram menos dejetos na fase de crescimento, quando comparados com o sistema de raspagem seguida de lavagem.

Tendo em vista que os animais do sistema de raspagem consumiram maiores quantidades de N e P nas duas fases em comparação aos do sistema de lavagem, a recuperação desses nutrientes nas fezes foi mais acentuada no sistema de raspagem o que indica que existiu uma maior e mais eficiente metabolização dos nutrientes fornecidos na dieta. Segundo esses autores, a escolha do manejo a ser dado aos dejetos em uma propriedade deverá considerar a maior concentração de poluentes normalmente encontrada na fase líquida da água de lavagem das baias.

SERAFIM e LUCAS JUNIOR (2003) concluem que as taxas de excreção de P e N foram menores para o sistema de lavagem para animais em fase de crescimento. Observaram que nesse sistema ocorreu uma produção de resíduos menos concentrados em matéria orgânica, N e P, o que os torna menos poluentes. Em razão da diluição o sistema de lavagem produziu um volume maior de dejetos, porém menos concentrados em P e N devido ao maior volume de água usado no processo de higienização das baias. Portanto, os autores citam que é possível reduzir o impacto provocado ao ambiente produzindo resíduos de melhor qualidade a ser utilizado como fertilizante. Portanto, a concentração de P nos dejetos está relacionada ao grau de diluição dos dejetos por ocasião do manejo.

#### 2.4. USO DOS DEJETOS NA AGRICULTURA

O sistema intensivo de criação também chamado de confinamento de suínos origina grandes quantidades de dejetos, os quais necessitam destinação. A alternativa de maior receptividade pelos agricultores tem sido a utilização desses dejetos como fertilizante. Segundo KONZEN (1997), a utilização dos dejetos suínos numa propriedade agrícola permite o desenvolvimento de sistemas integrados de produção que podem corresponder a um somatório de alternativas produtivas que diversificam as fontes de renda, promovendo maior estabilidade econômica e social.

SCHERER et al. (1996) relatam que o esterco de suínos quando utilizado de forma equilibrada constitui um fertilizante capaz de substituir com vantagem parte

ou, em determinadas situações, totalmente a adubação química das culturas. Segundo este autor a reciclagem do esterco como fertilizante, mostra-se economicamente viável, desde que apresente no mínimo 0,5 % de nutrientes, o que só ocorre quando o esterco apresenta uma densidade mínima de 1012 kg m<sup>-1</sup>. A aplicação de dejetos podem influenciar em curto prazo positivamente a produtividade das culturas. No entanto esta utilização é problemática em médio prazo, uma vez que existe um desequilíbrio entre a composição química dos dejetos e a quantidade requerida pelas plantas o que poderá levar ao acúmulo de nutrientes no solo e a efeitos indesejáveis ao ambiente. Desse modo, deve-se assegurar que a quantidade de nutrientes retirada pelas plantas seja repostas por meio de adubações orgânicas ou químicas e que a quantidade de nutrientes adicionada não seja maior do que aquela passível de ser absorvida pelas plantas. Portanto, recomendações técnicas para a utilização dos dejetos, necessitam de dados sobre características físicas e químicas tais como:

- a) Teor de Matéria seca: indica o grau de diluição do dejetos e seu valor fertilizante, uma vez que sua concentração de nutrientes é inversamente proporcional ao seu conteúdo de água e carbono. Esta característica é bastante variável mesmo dentro de um mesmo tipo de criação devido ao tipo de alimentação, idade dos animais e local de amostragem do dejetos.
- b) Densidade: indicada por meio do densímetro ou aerômetro, representa as estimativas dos teores de matéria seca e é um indicativo para a estimativa de N, P e K de dejetos líquidos de suínos.

A concentração de N, P, K, nos dejetos está relacionada com a qualidade dos alimentos consumidos. Em média, 75% do nitrogênio, 80% do P e 85% do K presentes nos alimentos, são excretados. O P está mais presente nos dejetos enquanto que a urina contém apenas traços do elemento. No esterco manejado de forma líquida há necessidade de homogeneização da biomassa, porque o P pode ser fixado no fundo das lagoas e esterqueiras (SCHERER et al., 1996).

Paralelamente à produção de dejetos, há também a excreção de P e N que se encontram principalmente sob formas não assimiláveis pelas plantas. No caso do P, este pode permanecer no solo como formas Não Lábeis, Lábeis ou ainda quando

lançados diretamente no meio ambiente, por exemplo na água, permanecem como componentes dos dejetos onde se tornam agentes poluidores (NOVAIS, 1999).

## 2.5. APLICAÇÃO DE P NO SOLO E A ABSORÇÃO DE P PELA CULTURA DO TRIGO (*Triticum aestivum* L)

O P é tido como um importante fator que limita o crescimento e a produção das culturas e no caso do trigo é tido como uma cultura que extrai quantidades relativamente pequenas de P. No entanto, a sua disponibilidade no solo deverá ser elevada a fim de proporcionar boas produtividades. No Brasil os solos são normalmente deficientes em P disponível, sendo esse um dos fatores que influenciam na potencialidade produtiva agrícola. Para a cultura do trigo nas regiões onde é cultivado e nas consideradas apropriadas para expansão da cultura há, portanto a necessidade de práticas de fertilização de P por formas orgânicas, por exemplo, pela fertilização com dejetos de suínos como reposição da baixa concentração desse elemento disponível no solo (MARCHETTI et al., 2001).

Segundo BEN E ROSA, (1983), os diferentes cultivares de trigo podem apresentar diferenças quanto à capacidade de crescerem em solos com deficiência de P, como nas respostas à adubação fosfatada ou orgânica. Essas diferenças podem indicar a presença de variabilidade genética na cultura para a eficiência no aproveitamento do P (MARCHETTI et al., 2001).

PAVINATO et al. (2003) comparou a adubação mineral para a cultura do trigo no inverno e o reaproveitamento do P remanescente no solo após a colheita e dos restos dessa cultura como fertilizante orgânico para a cultura do milho no verão tendo evidenciado que a produtividade da cultura do trigo foi aumentada com a adubação fosfatada sem haver influência de seu manejo, enquanto que o acúmulo de P não diferiu. A matéria seca acumulada apresentou valores iguais para as duas fertilizações, orgânica e mineral. Segundo esses autores o diferente manejo dos fertilizantes não afetou o desempenho das culturas podendo ser utilizado qualquer manejo sem perda de produção de matéria seca.

MATTA e LOUREIRO (2002) explicam que as plantas precisam continuamente suprir-se de nutrientes que podem ser originados pela intemperização de minerais e da decomposição da matéria orgânica do solo para

desempenhar as atividades metabólicas, mesmo sendo autótrofas. Esses nutrientes vão estar mais prontamente disponíveis às raízes se estiverem dissolvidos na solução do solo, em formas assimiláveis. A taxa de absorção de um determinado nutriente depende da concentração deste na solução do solo em relação ao volume ocupado pelas raízes, considerando também sua taxa específica de difusão ou fluxo em massa. O fosfato ( $\text{PO}_4^{2-}$ ) que tem baixo coeficiente de difusão move-se lentamente na solução do solo, demorando a atingir a superfície radicular daí a necessidade de o solo possuir uma disponibilidade elevada a fim de proporcionar bom desenvolvimento para as plantas e conseqüentemente maiores produtividades.

## 2.6. PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA E ACÚMULO DE P EM SISTEMAS PRODUTIVOS COM APLICAÇÃO DE DEJETOS DE SUÍNOS

O sistema plantio direto, introduzido na década de 70, passou por uma grande expansão no RS e no Brasil na primeira metade da década de 90, após serem superadas as dificuldades que impediam a sua prática, como a falta de equipamentos de semeadura específicas e de herbicidas pós-emergentes. Com o crescimento acentuado surgiram também outros desafios, entre eles a necessidade de um melhor manejo da fertilidade do solo. Uma importante prática para a manutenção das características de fertilidade do solo nesse sistema de cultivo é a utilização do esterco de suínos, sob a forma líquida, de lodo, de formas transformadas ou como cama sobreposta. Em algumas áreas de lavoura de pequenas propriedades esta prática tem sido uma importante se não a única fonte de nutrientes às culturas (CERETTA et al., 2005).

CERETTA et al. (2005), cita que a quantidade de N presente nos dejetos de forma líquida pode ser de duas a sete vezes maior que o P contido nesse tipo de dejetos. Esses dois constituintes, N e P do dejetos são importantes sob o ponto de vista econômico e também ambiental. Representado dessa forma, segundo os autores, além de uma importante prática agrônômica na ciclagem de nutrientes dentro da própria propriedade, também uma forma de descarte desse resíduo.

A eficiência de utilização do N e o P derivado de dejetos de suínos vai depender dos teores disponíveis nesses dejetos também do processo de mineralização. Ao contrário dos fertilizantes solúveis, somente parte do N e do P estão prontamente disponíveis após a aplicação dos dejetos ao solo, sendo o

restante liberado gradualmente ao longo do tempo. Embora essa liberação gradual seja importante ambientalmente, poderá representar uma menor disponibilidade de N e P nos diferentes estádios de demanda das culturas (CERETTA et al., 2005).

TRENTIN et al. (2004), avaliaram a produção de matéria seca acumulada e o acúmulo de N e P na parte aérea das plantas das sucessões das culturas de aveia preta, milho e nabo forrageiro com aplicação de doses crescentes de dejetos líquidos de suínos, de 0, 20, 40 e 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. As doses menores de dejetos de suínos aplicados ao solo como fertilizante proporcionaram maiores incrementos relativos na produtividade de grãos em relação a maiores doses. À medida que ocorre um aumento na dose de dejetos aplicados, principalmente de 40 para 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, se observa uma diminuição na eficiência de absorção pelas plantas, ou seja, um incremento decrescente na produção.

Doses acima de 40 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, além de serem menos eficientes sob o ponto de vista nutricional, podem representar um risco de contaminação às águas superficiais e de subsuperfície pela infiltração de nutrientes no perfil do solo estudado por TRENTIN et al. (2004).

Para a avaliação da matéria seca e acúmulo total de P de sua pesquisa, TRENTIN et al. (2004) efetuaram as determinações de N e P no tecido seguindo metodologia descrita em TEDESCO et al. (1995).

## 2.7. INFLUÊNCIA DA APLICAÇÃO DE DEJETO DE SUÍNO COMO FERTILIZANTE ORGÂNICO SOBRE O P DO SOLO

GRIFFIN et al. (2003) incubaram experimentalmente a camada de 0 a 20 cm de profundidade de um solo que tinha 16,5 mg kg<sup>-1</sup> de P extraído por Mehlich III (CH<sub>3</sub>COOH 0,2 M + NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> 0,25 M + NH<sub>4</sub>F 0,015 M + HNO<sub>3</sub> 0,013 M) coletado em Newport EUA e seco ao ar. O solo foi tratado com dejetos de suínos coletados diretamente de lagoas de decantação com 2 % de P total e também tratado com fertilizante mineral (KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>). Os tratamentos receberam 100 mg P kg<sup>-1</sup> de solo seco e tiveram alíquotas coletadas aos 0, 7, 14, 28, 56 e 84 dias de incubação, quando eram submetidas a extração por Mehlich III. Os autores avaliaram a influência dos tratamentos sobre o teor de fósforo do solo extraível por Mehlich III, comparando com a evolução da disponibilidade de P ao longo de 90 dias de incubação. Esses autores concluíram que o fósforo extraível do solo apresentou picos próximos ao 7º

dia de incubação ocorrendo diferenças significativas devido à interação de fontes de fósforos com o solo ocasionado pela maior solubilização da matéria orgânica, principalmente nos primeiros dias da fertilização, para as fontes orgânicas. Após o 14º dia da incubação até o 21º dia ocorreu uma tendência de queda acentuada e estabilização da quantidade de P disponível no solo, indicando que ocorreu uma rápida sorção de fósforo pelo solo. Os picos de P solúvel indicam que os efeitos da aplicação de dejetos de suínos no solo seguem uma regressão diferente da apresentada por fertilizantes minerais que é mais acentuada e rápida inicialmente em relação à orgânica que é mais lenta.

A principal diferença entre o P advindo de fertilizante mineral e o P de fertilizante orgânico é que o fertilizante mineral tem alta solubilidade inicial e espera-se que este complete a solubilização em um menor tempo quando comparado com o fertilizante orgânico. A eficiência da solubilização das reservas de P do solo tratado com dejetos de suíno elevou os teores de P disponível desse solo para até 750 mg kg<sup>-1</sup> solo em um curto período entre a aplicação e o pico máximo de P em solução, que ocorreu por volta do sétimo dia da aplicação dos fertilizantes no solo (GRIFFIN et al., 2003).

LOBOSKI e LAMB (2003) conduziram um experimento de incubação com 15 solos representativos do Estado de Minnesota EUA divididos em duas séries de sete solos e uma testemunha. Uma das séries historicamente recebia até 112.000 L ha<sup>-1</sup> de dejetos líquidos de suínos como fertilizante desde 1992 e a outra série nunca havia sido tratada com dejetos de suínos. Coletaram a camada de 0 a 15 cm de profundidade e incubaram uma massa de 500 g desses solos com dejetos líquidos de suínos e com fertilizante mineral (KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) durante 9 meses. Usaram para os dois fertilizantes, mineral e dejetos, doses crescentes de 0, 144 e 288 mg kg<sup>-1</sup> de P total. Para o caso dos dejetos líquidos de suínos o volume aplicado foi de 0, 120 e 240 mL por parcela o que segundo os autores seria necessário a campo um volume de 0, 37.300 e 74.500 L respectivamente de dejetos líquidos por hectare para se atingir as doses incubadas, de acordo com a quantidade de P existente no dejetos líquido.

LOBOSKI e LAMB (2003) determinaram os efeitos da adição do dejetos líquido de suínos ao longo do tempo de incubação sobre os teores de P disponível dos solos tratados em comparação com os tratados com fertilizante mineral. Os autores relatam que não encontraram alterações significativas para os testes de fósforo no solo no período de 1 a 9 meses depois da aplicação de dejetos líquidos

de suínos nos solos estudados e que ao longo do período de incubação ocorreu aumento das reações de troca de P disponível em 50% dos casos dos tratamentos que receberam fertilizante mineral, apresentando uma redução do P disponível.

O P advindo dos dejetos se apresentou mais disponível no solo que o P do fertilizante mineral quando aplicado nos solos que historicamente recebiam altas taxas de dejetos líquidos de suínos. O período de melhor disponibilidade de fósforo derivado dos dejetos ocorreu no intervalo do primeiro ao nono mês de incubação e o nono foi o que apresentou melhor disponibilidade de P quando comparado com o primeiro mês de todos os solos, demonstrando então uma crescente disponibilidade ao longo do tempo após a aplicação de dejetos ao solo. Os solos da série que historicamente eram receptores de grandes volumes de dejetos podem ter tido influencia dessas antigas fertilizações na disponibilidade de P das aplicações subseqüentes de dejetos ou de fertilizante mineral. Durante todo o período, 5 dos 7 solos dessa serie tiveram um decréscimo de P disponível tanto nos solos tratados com fertilizante mineral quanto naqueles que receberam dejetos. Os outros solos da série apresentaram incremento de P disponível advindo dos dejetos e também do fertilizante mineral quando comparados com os solos que historicamente nunca receberam dejetos como fertilizantes (LOBOSKI e LAMB, 2003).

Em geral um solo que tenha recebido dejetos por um longo período pode responder no futuro diferentemente a aplicação de fertilizante mineral e de dejetos líquidos de suínos se comparados com solos que nunca receberam dejetos. A aplicação de dejetos líquidos de suínos com fertilizante de solos é considerada a melhor pratica de manejo com relação à eficiência da captura de nitrogênio e redução da degradação ambiental. Esse estudo sugere que a aplicação de dejetos em solos pode criar camadas com alta disponibilidade de P (LOBOSKI e LAMB, 2003).

## 2.8. MOBILIDADE E EXTRAÇÃO DE P EM SOLOS RECEPTORES DE DEJETOS DE SUÍNOS

### 2.8.1. Relação entre o P disponível no Solo e o P Extraído pela Água de Infiltração

ATIA e MALLARINO (2002) coletaram amostras de solo e planta no Estado do Iowa EUA de 1996 a 1998, de um experimento de campo de duração de um ano

tratado com dejetos líquidos de suínos e de 25 fazendas que recebem historicamente quantidades variadas de dejetos de suíno como fertilizante. Os autores avaliaram o P disponível nos solos que recebem dejetos mensurando o P do ponto de vista agronômico e a sua absorção pelas culturas de milho (*Zea mays* L.) e soja (*Glycine max* L.). Os solos tiveram o P extraído por Mehlich III ( $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,2 M +  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  0,25 M +  $\text{NH}_4\text{F}$  0,015 M +  $\text{HNO}_3$  0,013 M), pelo extrator de Bray-P1 ( $\text{NH}_4\text{F}$  0,03 M +  $\text{HCl}$  0,025 M) e pelo extrator de Olsen ( $\text{NaHCO}_3$  0,5 M a pH 8,5) sendo determinado em colorímetro. O P foi também mensurado pelo método da impregnação pelo Óxido de Ferro quando um papel filtro Whatman N°. 50 era mergulhado em solução de solo com  $\text{FeCl}_3$  hexahidratado e extraído com  $\text{CaCl}_2$  0,01 M, pelo método da resina trocadora de ânions e pelo método de extração somente com água deionizada.

O P dos solos que foram extraídos por Bray-P1, Mehlich III e pela resina trocadora de ânions resultaram em valores mais elevados. O P extraído por Olsen e por Óxido de Ferro impregnado em papel filtro tiveram valores intermediários e o P extraído pela água deionizada resultou nos menores valores, tanto para os solos que recebem dejetos como para os que nunca receberam dejetos. Ou seja, apresentaram um incremento da ordem de 115 %, 115 %, 133 %, 79 %, 86 %, e 77 % para cada um dos extratores respectivamente. Os autores relatam que não obtiveram evidências de diferença significativa entre os métodos de extração e determinação de P usados na pesquisa e que a proporcionalidade de P extraído pelos diferentes extratores pode indicar que o P extraído pela água pode ser perdido com a infiltração desta no perfil do solo (ATIA e MALLARINO, 2002).

#### 2.8.2. Extração de P do Solo por Mehlich 1

O P é um elemento amplamente estudado em todo o mundo e esta condição pode ser explicada pela complexidade que envolve sua absorção, devido a forte interação com o solo e pela baixa solubilidade dos compostos formados por essa interação. Desse modo a sua quantificação pode ser feita por meio da utilização de métodos químicos de extração. Neste sentido, vários são os estudos desenvolvidos no intuito de se determinar qual dos métodos atualmente empregados melhor se correlaciona com o P realmente absorvido pelas plantas (NOVAIS, 1999).

RAIJ (1991) relata que a utilização de diversos métodos de extração nas diferentes regiões do mundo é um reflexo da falta de concordância do que seria o método mais adequado. No Brasil, o extrator Mehlich 1 é utilizado praticamente em todos os laboratórios de rotina do País, exceto nos laboratórios do Estado de São Paulo e alguns do Nordeste que utilizam o método da resina trocadora de íons. O autor cita que são poucos os trabalhos desenvolvidos no sentido de determinar o método de extração que melhor correlacione o teor de P absorvido pelas plantas e o contido no solo. Desse modo, faz-se necessário a padronização dos diferentes métodos de extração, além de sua calibração de acordo com as características edafoclimáticas da região.

A eficiência de extração do P disponível pelo método Mehlich-1 sofre grande influência da capacidade tampão de fosfatos do solo. Por isso, na interpretação da disponibilidade de P, são usadas características que estão relacionadas com a capacidade tampão, como o teor de argila ou o valor do P remanescente. O enxofre disponível, extraído com fosfato monocálcico em ácido acético, semelhantemente, é também afetado pela capacidade tampão de sulfatos do solo. Na interpretação do enxofre disponível de amostras compostas da camada subsuperficial, as classes de fertilidade apresentadas estão de acordo, como para o P disponível, com a concentração de P remanescente (NOVAIS, 1999).

A solução extratora de Mehlich 1, criada em 1953, foi desenvolvida para a Divisão de Teste de Solos Agrícolas do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos. É um versátil extrator usado para determinar quantidades de P, potássio, cálcio, magnésio, zinco, cobre e boro. É feito com uma solução de ácido clorídrico e ácido sulfúrico, e conhecido como extrator “duplo ácido”. É um bom extrator para solos ácidos, de baixa CTC. Esta solução extratora de Mehlich 1, também chamada de solução duplo-ácida ou de Carolina do Norte, é constituída por uma mistura de HCl 0,05 M + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 M. O emprego dessa solução para a extração de P, potássio, sódio e micronutrientes do solo baseia-se na solubilização desses elementos pelo efeito do pH, entre 2 e 3, sendo o papel do Cl<sup>-</sup> o de restringir o processo de re-adsorção dos fosfatos recém extraídos (LIPPERT, 2006).

### 2.8.3. Extração de P do Solo e de Matéria Vegetal pelo Método de Extração Total Nitroperclórica

Segundo REED e MARTENS (1996), a determinação total de P em solos requer solubilização desse elemento da fase sólida. Esta solubilização requer para as determinações a destruição completa das frações orgânicas e inorgânicas ou a destruição parcial para a extração e quantificação propriamente dita de P. As amostras de solo devem previamente receber  $\text{HNO}_3$  para que este oxide e elimine a matéria orgânica presente no solo durante a digestão e evite reações explosivas com a rápida e drástica oxidação pela adição subsequente de  $\text{HClO}_4$ .

O método de digestão total Nitroperclórica é descrito por BAKER e AMACHER (1982).

### 2.9. MÉTODOS DE EXTRAÇÃO DE P DO SOLO E A INFLUÊNCIA DO TEOR DE P DISPONÍVEL NA SUPERFÍCIE DO SOLO SOBRE AS PERDAS LIXIVIAÇÃO

DJODJIC et al. (2004) citam que as perdas de P em solos de lavouras convencionais contribuem para a eutrofização de águas de bacias hidrográficas. O incremento dos teores de P em solos sob cultivo convencional tem demonstrado a necessidade de um estabelecimento de relações entre o P lixiviado e os níveis de P no solo. Esses autores mediram a lixiviação de P total e de P dissolvido do solo durante três anos em colunas de percolação mantidos com irrigação sendo que os tratamentos consideraram as quantidades de P anteriormente adicionadas ao solo e os teores de P na superfície e subsuperfície do solo das colunas por ocasião da instalação do experimento. Usaram para tanto cinco solos coletados na região central da Suécia que havia sido área experimental de longo prazo de aplicação de P entre os anos de 1957 a 1969 com quatro doses crescentes aplicadas anualmente de 0, 13, 34 e 45  $\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$  nos anos de 1957, 1958, 1959 e 1960 respectivamente.

De acordo com DJODJIC et al. (2004) depois de transcorridos os três anos da pesquisa, as perdas de P variaram de 0,03 a 1,09  $\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ , mas não foi encontrada uma correlação entre a concentração de P perdido por lixiviação e o P disponível ou adsorvido no solo. Relatam que os mecanismos de transporte através do solo e as propriedades do subsolo parecem ser mais importantes para a lixiviação do que a quantidade de P na superfície do solo.

Em um dos solos onde o fluxo preferencial foi dominante para a infiltração da água, o P desceu no perfil e foi encontrado adsorvido no subsolo, resultando em altas perdas de P. O P lixiviado dos solos foi baixo apesar da aplicação de altas doses devido à elevada capacidade de adsorção de P no subsolo. Fatores específicos do solo local podem servir de indicadores das perdas de P por lixiviação e devem ser considerados em conjunto com as determinações de P disponível usadas para fins de avaliação da fertilidade do solo (DJODJIC et al., 2004).

MAGUIRE e SIMS (2002) relatam que os caminhos de infiltração para a subsuperfície do solo exercem papel importante sobre as perdas de P na agricultura e podem prejudicar a qualidade da água. Esses autores avaliaram alguns métodos de extração de P do solo sob as perspectivas agrônômica e ambiental com o objetivo de indicar um método adequado a ser utilizado para essas finalidades. Coletaram cinco perfis de solo da região da Península Delmarva EUA e submeteram esses solos à lixiviação com água deionizada em colunas de percolação. Coletaram o lixiviado e analisaram os teores de P dissolvido, de P solubilizado em água deionizada, o P extraído com  $\text{Cl}_2$  0,01 M, extraído por FeO, por Mehlich 1, Mehlich 3.

Segundo MAGUIRE e SIMS (2002), o uso de um único método de extração de P do solo não é suficiente para se fazer previsões a respeito do potencial de perda de P para o subsolo por lixiviação, devido à grande variabilidade química encontrada nos solos agrícolas, por exemplo, em termos de pH, Al, Fe e outros fatores como propriedades hidrológicas que podem afetar a retenção de P e o transporte deste no perfil do solo. Os autores citam que é importante correlacionar vários métodos ou até mesmo um único bom método de extração de P do solo a ser utilizado com as propriedades hidrológicas do solo para a determinação da existência e quantificação de perdas de P no perfil do solo por lixiviação.

Os valores obtidos por Mehlich 1 e Mehlich 3, métodos normalmente usados para a determinação da fertilidade agrônômica de solos se confirmaram como os melhores métodos para a previsão de teores de P disponível para as culturas e são recomendados para a indicação e prevenção das perdas de P por lixiviação no solo, tomando-se o cuidado de estudar o comportamento destes métodos em solos ácidos e pouco ácidos (MAGUIRE e SIMS, 2002).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

Para o presente trabalho foram instalados 3 modalidades de experimentos (Modalidade I – incubação de solo em laboratório; Modalidade II – percolação de colunas em casa-de-vegetação; e Modalidade III – a campo) nos quais testou-se a aplicação de dejetos de suínos sob 4 diferentes formas e seus efeitos sobre as propriedades químicas de solos do Paraná, enfatizando-se principalmente a disponibilidade do fósforo (P) total neles contido, a possibilidade deste vir a ser lixiviado e contaminar a água, e seus efeitos na produção vegetal. A seleção do P como principal fator investigado, deveu-se ao fato deste nutriente ser naturalmente deficitário nos solos do Paraná e a ele ser, ao lado do nitrogênio, atribuída a eutrofização de corpos d'água doce de bacias hidrográficas aonde a suinocultura se faz presente.

Na Modalidade I conduziu-se 4 experimentos de incubação de solos em laboratório (Experimentos 1 a 4), um experimento de incubação para cada um dos 4 solos amostrados, nos quais observou-se a variação do P extraível dos solos adubados com os diferentes dejetos frente ao tempo. Na Modalidade II (percolação de colunas com o cultivo de plantas em casa-de-vegetação) conduziu-se apenas 1 experimento (Experimento 5) o qual foi composto por ensaio conduzido em casa-de-vegetação em que apenas 1 dos solos, reconstituído em coluna a partir de perfil coletado a campo, foi incubado dentro de tubos de PVC aonde foi submetido à percolação com água para se avaliar a lixiviação do P dos dejetos aplicados em superfície pela água movimentada gravitacionalmente, e efeitos nos seus teores extraíveis de P em diferentes profundidades do solo da coluna percolada. E na Modalidade III conduziu-se ensaio a campo também em apenas 1 dos solos (Experimento 6) em local onde se avaliou a influência da aplicação superficial dos diferentes dejetos na produtividade de grãos de trigo (*Triticum aestivum* L.) e sobre características indicativas da fertilidade do solo.

#### 3.1 DEJETOS DE SUÍNOS: FORMAS, ORIGEM, COLETA E CARACTERIZAÇÃO

Os dejetos de suínos utilizados nos experimentos (conduzidos em laboratório, casa-de-vegetação e a campo) foram coletados em 2 empreendimentos que exploram economicamente a suinocultura e onde estes já são reciclados na

agricultura como fertilizantes orgânicos, ainda que enfrentando problemas para o seu armazenamento e aplicação a campo.

As formas sob as quais os dejetos foram coletados são as seguintes: 1) líquido sobrenadante de lagoa de decantação (SN); 2) dejetos na forma de lodo e de outros materiais depositados (predominantemente lodo) no fundo de lagoa de decantação (DF); 3) cama de serragem que recebeu dejetos, em sucessivas camadas sobrepostas (CS); e 4) lodo de lagoa de decantação tratado pelo Processo N-Viro (*“Processo de Estabilização Alcalina Avançada com Subseqüente Secagem Acelerada”*), cujo produto será aqui referido como NureSoil (NS). Os aspectos de tais formas podem ser observados na Figura 01.

Os dejetos sob as formas de líquido sobrenadante (SN), de depósito de fundo (DF) e de cama sobreposta (CS) utilizados nos experimentos de laboratório (Modalidade I – incubação) e de casa-de-vegetação (Modalidade II – colunas) foram coletados de lagoa anaeróbia de uma propriedade agrícola situada a 20 km da cidade de Guarapuava PR (Longitude -51,56710 e Latitude -25,54301), produtora de suínos em ciclo completo. Para esta fase os dejetos foram coletados manualmente. O líquido sobrenadante (SN) foi coletado a aproximadamente 10 cm da superfície da lagoa com a ajuda de um balde e depois transferido para potes novos de polietileno com capacidade de 5,0 litros e com tampa (vide Figuras 02 e 03). Para a coleta do material depositado no fundo da lagoa (DF) utilizou-se pá, após o que este foi então acondicionado em potes de polietileno do mesmo tipo (Figura 03).

Já para o experimento de campo (Modalidade III – campo) os dejetos foram coletados de lagoa anaeróbia de outro empreendimento, situado a 15 km da área experimental, na Fazenda Rio das Cinzas, no município Arapoti PR. Para facilitar o transporte e a aplicação dos dejetos nas parcelas, tanto o líquido sobrenadante (LS) quanto o depósito de fundo foram acondicionados em sacos plásticos de 10 L cada. Para a fase de campo, também a cama sobreposta (CS) foi coletada dessa propriedade, sendo dali foi carregada em um caminhão basculante. O aspecto do líquido sobrenadante (SN), do lodo de fundo (DF) e da cama sobreposta (CS) já ao lado da área experimental de campo antes da aplicação pode ser observado na Figura 03.

Quanto ao NureSoil utilizado em todas as modalidades experimentais, dejetos tratados pelo Processo N-Viro (NS), este foi coletado de um lote produzido experimentalmente em dezembro de 2001 a partir do tratamento de lodo de fundo de

lagoa de decantação de uma Unidade de Produção de Leitões (UPL) localizada no município de Palmeira PR, vide PREISLER (2002), e que ficou armazenado no campo desde então, em sacos de polipropileno trançado protegidos por lona plástica, em propriedade agrícola no município de São José dos Pinhais PR. Na Figura 03 pode-se observar o aspecto do NureSoil (NS), dejetos tratados pelo Processo N-Viro e ensacados, à beira da área experimental de campo na Fazenda Mutuca em Arapoti PR, antes de sua instalação.

FIGURA 01 – FORMAS DOS DEJETOS DE SUÍNOS TESTADAS: 1) LÍQUIDO SOBRENADANTE DE LAGOA DE DECANTAÇÃO (SN); 2) DEJETOS DE FUNDO DE LAGOAS DE DECANTAÇÃO (DF); 3) CAMA SOBREPOSTA (CS); E 4) NURESOIL OU DEJETOS TRATADOS PELO PROCESSO N-VIRO (NS).



FIGURA 02 – ACONDICIONAMENTO DA CAMA SOBREPOSTA (CS), DO LÍQUIDO SOBRENADANTE (SN) E DA DEPOSIÇÃO DE FUNDO DE LAGOA DE DECANTAÇÃO (DF) EM BALDES PLÁSTICOS.



FIGURA 03 – ASPECTO DAS DIFERENTES FORMAS DE DEJETOS DE SUÍNOS UTILIZADAS NO EXPERIMENTO DE CAMPO: 1) CAMA SOBREPOSTA (CS), 2) NURESOIL OU DEJETOS TRATADOS PELO PROCESSO N-VIRO (NS); (3) DEPÓSITO DE FUNDO (DF) EM PRIMEIRO PLANO E EM SEGUNDO PLANO O SOBRENADANTE (SN)



### 3.1.1 Caracterização físico-química dos dejetos de suínos empregados nos tratamentos

Os teores de P total dos dejetos de suínos foram obtidos a partir de sua digestão nitroperclórica de acordo com metodologia descrita por BACKER e AMACHER (1982) adaptada para as particularidades do Laboratório de Química e Fertilidade do Solo da UFPR aonde foram realizadas, e cujo extrato foi quantificado por colorimetria pela absorção da cor azul.

### 3.1.1 Características físico-químicas dos dejetos de suínos

Resume-se na Tabela 05 algumas características físico-químicas dos dejetos de suínos utilizados nos tratamentos implementados nas modalidades experimentais I (incubação) e II (colunas de percolação).

TABELA 05 – UMIDADE, TEOR DE SÓLIDOS E DE NUTRIENTES EM BASE UMIDA DOS DEJETOS DE SUÍNOS UTILIZADOS NAS MODALIDADES EXPERIMENTAIS I (INCUBAÇÃO) E II COLUNAS DE PERCOLAÇÃO). MÉDIAS DE 3 REPETIÇÕES.

ORIGEM E MODALIDADE	CARACTERÍSTICA	SÓLIDOS	UMIDADE	N	P	K	PRNT
		g 10 kg <sup>-1</sup>					
GUARAPUAVA Modalidade I e II	Líquido sobrenadante (SN)	0,16	99,84	0,05	0,07	0,02	-
	Depósito de fundo (DF)	46,9	53,1	0,45	0,12	0,11	-
	Cama sobreposta (CS)	41,95	58,05	0,36	0,17	0,13	-
ARAPOTI Modalidade III	Líquido sobrenadante (SN)	0,22	99,78	0,07	0,09	0,04	-
	Depósito de fundo (DF)	45,84	54,16	0,52	0,15	0,14	-
	Cama sobreposta (CS)	43,84	56,16	0,29	0,16	0,16	-
PALMEIRA Modalidade I, II e III	NureSoil (NS)	92,98	7,02	-	0,16	0,14	43,69

### 3.2 SOLOS UTILIZADOS NOS EXPERIMENTOS

Todas as unidades de solo utilizadas nos experimentos foram coletadas no Paraná em 09/Janeiro/2004. De cada local de amostragem coletou-se apenas o horizonte A, mas a profundidades variáveis conforme o explicitado na Tabela 06. Todos os pontos de amostragem foram escolhidos a partir de visitação e de se ter assumido que estes tiveram pouca interferência antrópica.

TABELA 06 – LOCALIZAÇÃO, UNIDADES DE MAPEAMENTO E PROFUNDIDADES COLETADAS DOS SOLOS QUE FORAM UTILIZADOS NAS MODALIDADES EXPERIMENTAIS I (INCUBAÇÃO) E II (COLUNAS DE PERCOLAÇÃO)

MUNICÍPIO	COORD. GEOGRÁFICAS DOS PONTOS DE COLETA	UNIDADE DE MAPEAMENTO <sup>5</sup>	HORIZ.	PROFUND.
				cm
Arapoti	22J 590133,929 mE 7316087,223 mN	LEa6 <sup>1</sup>	A	0-120
Contenda	22J 661462,626 mE 7154623,543 mN	LVa1 <sup>2</sup>	A	0-20
Palmeira	22J 596061,460 mE 7191264,043 mN	Ca23 <sup>3</sup>	A	0-20
Pontra Grossa	22J 586429,194 mE 7231661,499 mN	LEa8 <sup>4</sup>	A	0-20

<sup>1</sup>LEa6 - Latossolo Vermelho Escuro Álico

<sup>2</sup>LVa1 - Latossolo Vermelho Amarelo Álico

<sup>3</sup>Ca23 - Cambissolo Álico

<sup>4</sup>LEa8 - Latossolo Vermelho Escuro Álico

FONTE: <sup>5</sup>PRADO (1999)

A seleção das áreas donde se coletou os 4 solos para os experimentos da Modalidade I (incubação) e Modalidade II (colunas) deu-se em de diferentes regiões do Estado do Paraná, de forma a permitir-se estimar o efeito dos tratamentos em condições edafoclimáticas e geologicamente distintas de substrato Basalto. Paralelamente a isso, os sítios de coleta foram selecionados de pontos representativos de regiões que já contribuem significativamente para com a suinocultura do Paraná ou que têm potencial para abrigar a sua expansão, uma vez

que estas já abrigam sistemas de produção vegetal e animal. Portanto, a seleção dos sítios e solos coletados se deu em função dos seguintes critérios:

- Solos com ocorrência em regiões com aptidão para a atividade suinícola e, ou presentes em regiões já exploradas com a atividade;
- Que os solos escolhidos tivessem características as mais distintas possíveis, principalmente, no que tange à sua situação geomorfológica, ao seu material de origem ou substrato, à sua mineralogia, textura e propriedades químicas;
- Que os pontos de coleta apresentassem baixa ou imperceptível influência antrópica, como por exemplo, aquelas decorrentes de cortes ou de aterros, da deposição de resíduos e, ou de práticas agrícolas,

### 3.2.1 Solo de Arapoti PR utilizado para as Modalidades I, II e III

O solo aqui denominado de Arapoti PR, pertencente à unidade de mapeamento LeA6 - Latossolo Vermelho Escuro Álico (vide Tabela 06), foi coletado em 08/Janeiro/2005 na Fazenda Mutuca localizada no município de Arapoti PR, em ponto distante cerca de 250 km de Curitiba. Selecionou-se essa propriedade em razão da alta tecnologia nela adotada para o cultivo soja, milho e trigo, de seu histórico de crescentes e altas produtividades, em razão dos investimentos havidos na fertilidade e manejo de seus solos, da qualidade dos serviços agrícolas lá implementados (propriedade detentora de certificação ISO 9000), e em razão de seu tamanho (maior que 1.000 ha) que permitiu a seleção do sítio amostrado que atendeu os critérios estabelecidos.

Para o experimento de incubação (Modalidade I) efetuou-se coleta de solo da profundidade de 0 a 20 cm (horizonte A). Para o experimento conduzido em colunas de percolação (Modalidade II) 300 kg do solo foram coletados de forma estratificada, em camadas de 40 cm, da profundidade de 0 até 120 cm. Também para o experimento conduzido a campo (Modalidade III) utilizou-se do mesmo solo. As Figuras 04 e 05 mostram respectivamente uma vista geral da região de coleta do solo na Fazenda Mutuca, e a trincheira aberta para a coleta do solo propriamente dita.

FIGURA 04 – VISTA GERAL DA REGIÃO DE COLETA DE SOLO DA FAZENDA MUTUCA. ARAPOTI PR



FIGURA 05 – TRINCHEIRA ABERTA PARA A COLETA DO SOLO DA UNIDADE LEA6 - LATOSSOLO VERMELHO ESCURO ÁLICO DA FAZENDA MUTUCA. ARAPOTI PR



### 3.2.2 Solo de Contenda PR utilizado para a Modalidade I

O solo pertencente à unidade de mapeamento LVa01 - Latossolo Vermelho Amarelo, aqui denominado de Contenda, teve seu horizonte A coletado na profundidade de 0 a 20 cm para fins de incubação. O sítio de coleta localiza-se a cerca de 50 km de Curitiba a 10 km da cidade de Contenda, às margens da BR 476, em direção à cidade da Lapa. A região representada consiste predominantemente por propriedades agrícolas com pequenas e médias áreas nas quais se explora diversos sistemas agrícolas de produção (LUCCHESI, 1997).

O solo de Contenda PR usado no experimento da modalidade I apresenta uma característica física específica que o difere dos demais. Este solo tem grande

facilidade de liquidificar-se quando da adição de água deionizada para a incubação. Ou seja, com uma pequena quantidade de água adicionada passa a apresentar grande maleabilidade e elasticidade, características estas que alguns tipos de solos podem apresentar e que não interferem nas suas características químicas (PREVEDELLO, 1996).

A Figura 06 apresenta uma visão parcial do local próximo do coleta, e a Figura 07 mostra detalhe do solo no ponto amostrado.

FIGURA 06 – VISTA DA REGIÃO DE COLETA DO SOLO, EM CONTENDA PR, UTILIZADO NA MODALIDADE EXPERIMENTAL I (INCUBAÇÃO)



FIGURA 07 – DETALHE DO PONTO DE COLETA DO SOLO LVA01 - LATOSSOLO VERMELHO AMARELO NO MUNICÍPIO DE CONTENDA PR



### 3.2.3 Solo de Palmeira PR utilizado para a Modalidade I

Coletou-se solo da unidade de mapeamento Ca23 - Cambissolo Álico na Fazenda Baronesa, propriedade do Exército Brasileiro distante aproximadamente 70 km de Curitiba, e que atualmente vem sendo explorada para a produção de grãos (milho, soja, aveia e trigo). O ponto de coleta foi escolhido em local sem uso agrícola e situa-se nas coordenadas geográficas indicadas na Tabela 06. O solo a ser incubado (Modalidade Experimental I) foi coletado do horizonte A na profundidade de 0 a 20 cm. A Figura 08 mostra uma visão geral do sítio amostrado, e a Figura 09 mostra aspecto do solo coletado .

FIGURA 08 – VISTA GERAL DO SÍTIO DE COLETA DE SOLO DA FAZENDA BARONESA. PALMEIRA PR



FIGURA 09 – DETALHE DO PONTO DE COLETA DO SOLO CA23 - CAMBISSOLO ÁLICO DE PALMEIRA PR UTILIZADO NA MODALIDADE EXPERIMENTAL I (INCUBAÇÃO)



### 3.2.4 Solo de Ponta Grossa PR utilizado para a Modalidade I

O solo pertencente à unidade de mapeamento LeA8 - Latossolo Vermelho Escuro Álico (Tabela 06), foi coletado no município de Ponta Grossa PR, a 100 km de Curitiba, para fins de incubação (Modalidade Experimental I), em região em que se faz presente intensa e diversificada atividade agrícola com predominância de sistemas de produção de grãos (milho, soja, feijão, trigo e aveia) e de produção animal, inclusive de suínos. O ponto de coleta está situado a cerca de 10 km da sede municipal na rodovia de acesso ao Clube Princesa dos Campos. O solo foi coletado do horizonte A na profundidade de 0 a 20 cm. As Figuras 10 e 11 mostram respectivamente aspectos do sítio e do solo amostrado.

FIGURA 10 – VISTA DO SÍTIO DE COLETA DO SOLO DA REGIÃO DE PONTA GROSSA PR



FIGURA 11 – DETALHE DO PONTO DE COLETA DO SOLO LEA8 - LATOSSOLO VERMELHO ESCURO ÁLICO UTILIZADO NA MODALIDADE EXPERIMENTAL I (INCUBAÇÃO). PONTA GROSSA PR



### 3.2.5 Textura e Teores de P nos Diferentes Solos Usados nas Modalidades Experimentais I, II e III

A distribuição dos teores de P extraível por Mehlich 1 das 4 profundidades do solo de Arapoti usado nos experimentos das modalidades II e III são expressos na Tabela 07. Os teores de P extraível nos demais solos usados nos experimentos da modalidade I (incubação) e que foram coletados em Arapoti, Ponta Grossa, Palmeira e Contenda nas profundidade de 0 a 20 cm são mostrados na Tabela 08.

TABELA 07: TEXTURA E TEORES DE P DO SOLO DE ARAPOTI EM CAMADAS DE DIFERENTES PROFUNDIDADE UTILIZADO NOS EXPERIMENTOS DA MODALIDADE II (COLUNAS DE PERCOLAÇÃO) E DA MODALIDADE III (CAMPO)

SOLO	PROFUNDIDADE	P <sup>1</sup>	Areia	Silte	Argila
	cm	mg kg <sup>-1</sup>			
Arapoti	0 a 5	17,6	35	28	37
	5 a 40	0,7	-	-	-
	40 a 80	0,3	-	-	-
	80 a 120	0,7	-	-	-

<sup>1</sup> Média de 3 repetições, extraído por Mehlich 1

TABELA 08: TEXTURA E TEORES DE P DOS SOLOS UTILIZADOS NOS EXPERIMENTOS DA MODALIDADE I (INCUBAÇÃO)

SOLO	PROFUNDIDADE	P <sup>1</sup>	Areia	Silte	Argila
	cm	mg kg <sup>-1</sup>			
Arapoti	0 a 20	2,4	32	27	41
Ponta Grossa	0 a 20	26,6	38	26	36
Palmeira	0 a 20	3,1	28	34	38
Contenda	0 a 20	1,1	26	25	49

<sup>1</sup> Média de 3 repetições, extraído por Mehlich 1

### 3.3 OS EXPERIMENTOS E SUAS MODALIDADES

Ao todo foram conduzidos simultaneamente 6 experimentos sob 3 modalidades experimentais: Modalidade I - experimentos de incubação de solos

laboratório sem o cultivo de plantas; Modalidade II – experimento para a percolação de colunas de solo cultivadas com plantas em casa-de-vegetação; e Modalidade III – experimento com plantas cultivadas a campo. Portanto, cada um dos 6 experimentos conduzidos foi conduzido sobre 1 unidade de solo, que no caso da unidade de Arapoti repetiu-se para as 3 modalidades.

### 3.3.1 Definição dos Tratamentos

Todos os experimentos foram constituídos pelos mesmos tratamentos, ou seja, mesmas doses de P total advindas de dejetos de suínos sob 4 diferentes formas. No entanto, somente na modalidade experimental de campo (Modalidade III) comparou-se tais doses à mesma dose advinda de fertilizante mineral (superfosfato simples). Outro aspecto a ser considerado é o fato de que cada uma das modalidades experimentais (I, II e III) teve diferenças na maneira de incorporação dos dejetos e fertilizante (respectivamente adubos orgânicos e mineral) ao solo. Assim sendo, na Modalidade I (incubação) os adubos foram misturados ao solo, na Modalidade II (colunas de percolação) os adubos não foram misturados ao solo, mas sim aplicados em sua superfície, e na Modalidade III (de campo) os adubos também foram aplicados superficialmente ao solo, e, portanto também não foram incorporados. Os critérios levados em conta para o estabelecimento dos tratamentos e sua identificação estão descritos nos itens a seguir.

#### 3.3.1.1 Critérios para o estabelecimento tratamentos

Os tratamentos em todos as modalidades experimentais consistiram da aplicação ao solo de diferentes tipos de dejetos de suínos e de um fertilizante fosfatado mineral. Ou seja, diferentes fontes de P obtidas a partir da aplicação ao solo de dejetos de suínos foram comparadas entre si e, ou com uma fonte mineral (superfosfato simples - SS). Para o estabelecimento das dosagens dos diferentes dejetos de suínos utilizou-se dos teores totais de P. Já para o fertilizante mineral (superfosfato simples) utilizou-se para o cálculo de sua dose o teor de P contido no produto e especificado no rótulo como garantia mínima do fabricante.

A escolha do superfosfato simples granulado, utilizado apenas na Modalidade I (experimento de campo), deveu-se ao fato deste ser um adubo mineral comumente

encontrado no mercado, e de ter sido considerado o mais adequado para fins de comparação com os dejetos. O superfosfato simples (SS) é uma fonte de P solúvel em água, bem como de Ca (cálcio) e S (enxofre). Os teores de nutrientes assumidos para o superfosfato simples utilizado foram os seguintes: 7,86 % de P; % de S; e % de Ca.

A dose de P aplicada em todos os tratamentos adveio de recomendações agronômicas publicadas em BARTZ et al. (1994), que adaptadas às necessidades do presente estudo foi estabelecida como sendo de 56,76 kg ha<sup>-1</sup> de P.

Por outro lado, tendo em vista que os tratamentos consistiam em mesmas doses de P advindas de dejetos sob diferentes formas e de adubo mineral (superfosfato simples), os quais por sua vez possuíam composições químicas distintas uns dos outros, ficava evidente que, apesar de serem utilizadas mesmas doses de P (estabelecidas com base no teor de P total das fontes e do P do adubo mineral), as doses dos demais nutrientes, da matéria orgânica e de outros elementos neles contidos seriam diferentes para os diferentes tratamentos implementados em razão de sua composição diferenciada, o que poderia influenciar a disponibilidade de P no solo, objeto do presente estudo. No entanto, as doses dos dejetos de suínos foram calculadas com base no teor de P da matéria seca e em seu teor de sólidos.

### 3.4 MODALIDADE I - INCUBAÇÃO DE SOLOS EM LABORATÓRIO

Na modalidade experimental I, foram conduzidos 4 experimentos de incubação de solos no Laboratório de Química e Fertilidade do Solo do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola do Setor de Ciências Agrárias da UFPR. Para tanto, utilizou-se dos solos provenientes de Arapoti, Ponta Grossa, Palmeira e Contenda (vide Tabela 06 do item 3.2) que constituíram respectivamente os seguintes experimentos: Experimento 1 – Arapoti; Experimento 2 – Ponta Grossa; Experimento 3 – Palmeira; e Experimento 4 - Contenda.

#### 3.4.1 Delineamento Experimental e Tratamentos Adotados nos Experimentos de Incubação

Os 4 experimentos de incubação foram instalados sob um delineamento inteiramente casualizado (DIC) com 5 tratamentos e 4 repetições totalizando 20 parcelas por experimento. Os tratamentos foram os seguintes: **T (Testemunha)**; **SN (Líquido sobrenadante)**; **DF (Depósito de fundo)**; **CS (Cama sobreposta)**; e **NS (NureSoil)**.

No tratamento constituído pela Testemunha (T) nada se aplicou. Nos demais tratamentos em que se utilizou de diferentes dejetos (SN - líquido sobrenadante; DF - depósito de fundo; CS - cama sobreposta; e NS - NureSoil) aplicou-se doses destes equivalentes a  $56,8 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}$  que traduziram-se em  $4,3 \text{ g vaso}^{-1} \text{ P}$ . Tais doses estão detalhadas na Tabela 09, as quais foram corrigidas para base seca e aplicados nos vasos que tinham  $1,5 \text{ kg}$  de solo. A Tabela 09 relaciona além das doses dos dejetos também as de N, P e K empregadas em cada um dos 4 experimentos (4 solos).

TABELA 09 – DOSES DAS DIFERENTES FORMAS DE DEJETOS DE SUÍNOS E DE N, P E K APLICADOS AOS VASOS DOS EXPERIMENTOS DA MODALIDADE INCUBAÇÃO

TRATAMENTO NOTAÇÃO	DESCRIÇÃO	DEJETO			N	P	K
		Umido	Umido	Seco			
		kg ha <sup>-1</sup>	g vaso <sup>-1</sup>				
T	Testemunha	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SN	Sobrenadante	36125,1	47,343	0,104	0,17	4,26	0,08
DF	Depósito de Fundo	37548,2	28,161	12,909	0,16	4,26	0,04
CS	Cama Sobreposta	35989,4	26,992	11,833	0,09	4,26	0,03
NS	NureSoil	35934,4	26,950	25,058	0,0	4,26	0,04

Também os resultados do experimento de incubação foram comparados para os tempos de amostragem (sub-parcelas), dentro de cada uma das formas de dejetos aplicadas (parcelas). Ou seja, utilizou-se do artifício de se alterar o delineamento experimental de DIC para Delineamento Inteiramente Casualizado com Parcelas Sub-divididas, permitindo assim a comparação dos resultados entre as épocas de amostragem.

#### 3.4.2 Preparo e Caracterização dos Solos, Montagem e Instalação dos Experimentos de Incubação

Os 4 solos coletados foram secados ao ar, peneirados, pesados e acondicionados em sacos plásticos de polietileno aonde foram umedecidos e incubados. O preparo do solo também foi realizado no Laboratório de Química e Fertilidade do Solo da UFPR de modo a se evitar qualquer contaminação indesejável (domingo quando o movimento era pequeno e não havia poeira). Para tanto o solo, antes da moagem, foi espalhado sobre papel Kraft novo e limpo em área aberta, mas coberta, do laboratório ali permanecendo exposto ao ar em finas camadas (de máximo 2 cm), e que a cada 15 minutos eram revolvidas de modo a se acelerar a evaporação da água até que a secagem fosse concluída.

Após a secagem os solos foram passados em peneira com malha de 2 mm constituída por fios metálicos. Neste procedimento tomou-se o cuidado de apenas se destorroar os agregados eliminando-se o esqueleto do solo e outros materiais. Os solos já peneirados foram então acondicionados em sacos plásticos e identificados com etiquetas coloridas as quais constituíram-se nas unidades experimentais. Cada uma delas recebeu em média 1,5 kg de terra fina seca ao ar (TFSA). Para se evitar erros, atribuiu-se etiquetas às parcelas com cores diferentes para cada um dos 4

experimentos (cada qual representando um solo e diferentes regiões do Paraná). Esse método de identificação muito facilitou a condução do trabalho, haja vista a necessidade de constante se abrir todos os sacos plásticos (unidades experimentais) para permitir a aeração dos solos (vide Figura 12).

Os solos dos experimentos foram caracterizados física (granulometria, densidade dos solos incubados e umidade) (vide Tabelas 07 e 08) e quimicamente (P, K, Na, pH) (vide Tabelas 07 e 08 e anexos) conforme metodologia descrita por SILVA (1999) e por PAVAN (1992).

FIGURA 12 – DETALHES DOS EXPERIMENTOS DA MODALIDADE I (INCUBAÇÃO): EXPERIMENTO 1 - SOLO DE ARAPOTI; EXPERIMENTO 2 - SOLO DE PONTA GROSSA; EXPERIMENTO 3 - SOLO DE PALMEIRA; E EXPERIMENTO 4 - SOLO DE CONTENDA



#### 3.4.2.1 Implementação dos tratamentos a serem incubados

Os dejetos foram aplicados ao solo em 27/abril/2004 nos 4 experimentos, data em que também se adicionou a água para a incubação. Nenhuma das formas de dejetos utilizadas sofreu qualquer modificação em relação àquela encontrada nos

locais de coleta, tendo sido mantidas as suas características originais. Exceção apenas se faz aos dejetos tratados pelo Processo N-Viro cujos grânulos, foram reduzidos em diâmetro com o auxílio de um gral e pistilo de porcelana. Isto se deveu à necessidade de uniformizar a granulometria e o PRNT do material que se empedrou após os 3 anos em que ficou armazenado, entre sua produção em 2001 e utilização em 2004. Contudo, a moagem foi apenas suficiente para atender as condições normalmente alcançadas por aquele processo.

A pesagem dos dejetos foi feita em uma balança digital de precisão. Após a aplicação dos tratamentos, cada saco plástico foi agitado intensamente durante 3 minutos, a fim de proporcionar a melhor homogeneização possível e de forma a se evitar o acúmulo dos dejetos em pontos do volume de solo incubado.

#### 3.4.2.2 Condução dos experimentos de incubação

O início da incubação dos solos propriamente dita iniciou-se em 27/abril/2004, ocasião em que a água deionizada (condutividade  $< 0,5 \mu\text{S m}^{-1}$ ) foi adicionada em quantidade suficiente para que a umidade dos solos fosse elevada a 80 % de suas respectivas capacidades de campo. Tal procedimento ocorreu após o cálculo da capacidade de campo com base na média de 4 repetições do teor de água retida a 0,033 MPa determinado para os diferentes solos incubados, cujas médias podem ser observadas na Tabela 10. A elevação da umidade do solo até a capacidade de campo é importante para que tenha início não só a atividade microbiana do solo mas também para que se iniciem as reações entre o solo e os produtos usados como tratamentos. A Tabela 11 resume, para os experimentos de 1 a 4, a massa de TFSA (terra fina seca ao ar) e massa de água adicionada para se elevar a umidade do solo a 80 % da capacidade de campo de cada um dos 4 solos.

TABELA 10 – UMIDADE RETIDA SOB A TENSÃO DE 0,033 MPA (80 % DA CAPACIDADE DE CAMPO) NOS DIFERENTES SOLOS INCUBADOS

LOCAL DE COLETA DO SOLO	UMIDADE %
Arapoti	13,4
Ponta Grossa	12,8
Palmeira	12,5
Contenda	26,3

TABELA 11 – MASSA DE TFSA E DE ÁGUA ADICIONADA PARA SE ELEVAR A UMIDADE DO SOLO A 80 % DA CAPACIDADE DE CAMPO DOS 4 SOLOS (NOS 4 EXPERIMENTOS)

TRAT.	ARAPOTI		PONTA GROSSA		PALMEIRA		CONTENDA	
	TFSA	Água	TFSA	Água	TFSA	Água	TFSA	Água
	g vaso <sup>-1</sup>							
T	1556,807	166,658	1464,772	150,548	1504,200	150,745	1127,187	237,533
SN	1501,239	160,709	1517,744	155,992	1503,703	150,696	1105,957	233,060
DF	1547,349	165,645	1514,724	155,682	1434,505	143,761	1130,137	238,155
CS	1527,259	163,495	1392,749	143,145	1480,558	148,376	1132,087	238,566
NS	1581,542	169,306	1490,817	153,225	1465,940	146,911	1152,932	242,959

Após a adição da água, com vistas à homogeneização da mistura, cada saco plástico (parcela experimental) foi intensamente agitado por mais 5 minutos, após o que foram fechados em torno de um tubo de plástico (canudo de refrigerante) de 0,5 cm de diâmetro para permitir a troca de gases e se evitar anaerobiose.

Com vistas a se avaliar o efeito dos tratamentos nas propriedades químicas dos solos dos 4 experimentos, principalmente do P extraível, definiu-se uma periodicidade semanal para a amostragem destes, realizada todas as terças-feiras, durante os 150 dias da incubação. Ou seja, efetuou-se 8 tomadas de alíquota dos experimentos durante os 150 dias em que a incubação dos solos foi conduzida. Após a tomada de amostras, estas eram secas em estufa a 60 °C durante 24 horas para posteriormente serem analisadas no Laboratório de Química e Fertilidade do Solo da UFPR. O excedente era arquivado como contra-prova em sacos plásticos, fechados, identificados e datados. A Figura 13 mostra aspecto geral do experimentos de incubação com os 4 solos.

FIGURA 13 - VISTA GERAL DOS EXPERIMENTOS DE INCUBAÇÃO DE SOLOS NO LABORATÓRIO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO DA UFPR



### 3.4.2.3 Fatores monitorados nos solos incubados

As amostras semanalmente tomadas de cada um dos 4 solos (4 experimentos) foram analisadas para os seguintes fatores, conforme metodologia descrita por SILVA (1999);

- a) P extraídos por Mehlich 1 ( $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,0125 M + HCl 0,05 M);
- b) pH em  $\text{CaCl}_2$ ;
- c) pH SMP
- d) K extraído por Mehlich 1;
- e) Na extraído por Mehlich 1.

### 3.5 MODALIDADE II - Colunas de Percolação em Casa de Vegetação

Na modalidade experimental II conduziu-se um experimento com colunas de percolação, com o cultivo de plantas, na casa de vegetação do Departamento Fitotecnia e Fitossanitarismo do Setor de Ciências Agrárias da UFPR. Para este experimento foi utilizado o solo coletado em Arapoti, mais precisamente na Fazenda Mutuca (vide Tabela 06 do item 3.2), de onde foram coletados cerca de 300 kg de solo das profundidades 0 a 120 cm estratificado em camadas de 40 cm para a posterior reconstituição do solo nas colunas de percolação (vide Figura 04 do item 3.2).

#### 3.5.1 Delineamento Experimental e Tratamentos Adotados no Experimento de Colunas de Percolação

Na modalidade II conduziu-se em casa de vegetação experimento com colunas de percolação no qual submeteu-se o solo de Arapoti aos seguintes tratamentos: **T (Testemunha)**; **SN (Líquido sobrenadante)**; **DF (Depósito de fundo)**; **CS (Cama sobreposta)**; e **NS (NureSoil)** (vide 3.3.1). Para tanto, utilizou-se de delineamento inteiramente casualizado com parcelas sub-divididas (DIC-PSD) com 5 tratamentos e 3 repetições totalizando 5 parcelas (tratamentos) e 21 sub-parcelas (profundidades).

#### 3.5.2 Preparo e Caracterização dos Solos, Montagem das Colunas de Percolação e Instalação do Experimento

O solo coletado em Arapoti (vide item 3.1.1) foi seco ao ar, peneirado, pesado e acondicionado em tubos de PVC, perfazendo as colunas a serem percoladas. O preparo do solo se deu como já descrito no item 3.4.2 (Modalidade experimental I), e foi também caracterizado física e quimicamente para os seguintes fatores: granulometria, densidade do solo e umidade, P, K, Na e pH de acordo com SILVA (1999) e PAVAN (1992).

Foram utilizados tubos de PVC novos, com 100 mm de diâmetro e 130 cm de comprimento. Na montagem as camadas foram colocadas no tubo seguindo-se a mesma da estratificação utilizada na sua coleta. Ou seja, depositou-se no fundo dos tubos o solo correspondente à maior profundidade coletada (80 - 120 cm), depois

sobre este a camada de 40 - 80 cm e finalmente a de 0 - 40 cm. A Figura 14 mostra aspecto geral do experimento que foi conduzido na casa de vegetação do Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo da UFPR.

FIGURA 14 – COLUNAS DE PERCOLAÇÃO COM O PERFIL DE SOLO RECONSTRUÍDO E INSTALADO NA CASA DE VEGETAÇÃO



Os tubos foram fechados em sua parte inferior com tampa de PVC, no centro das quais efetuou-se orifício de 1 cm de diâmetro que serviu para escoar a água percolada através da coluna de solo. Na parte interna das tampas instalou-se pedaço de tecido sintético, novo e limpo, que serviu como filtro para a água percolada, evitando-se assim a presença de particulados na solução a ser analisada (Figura 15).

Para facilitar a coleta das amostras da solução percolada, instalou-se na base das colunas, logo abaixo da tampa, funis (Figura 16). A solução percolada foi recebida e armazenada em frascos novos de PVC translúcido. Os frascos foram fixados com o auxílio de uma máscara de poeira (vide Figura 17). As colunas foram dispostas verticalmente sobre uma bancada de tela.

FIGURA 15 – TUBO COM A TAMPA QUE ABRIGOU AS COLUNAS DO SOLO PERCOLADO



FIGURA 16 – DETALHE DOS FUNÍIS INSTALADOS NA PARTE INFERIOR DOS TUBOS DE PVC PARA A CAPTAÇÃO DA SOLUÇÃO PERCOLADA ATRAVÉS DAS COLUNAS DE SOLO



FIGURA 17 – DETALHE DE COMO AS MÁSCARAS DE POEIRA SUSTENTARAM OS FRASCOS DE RECEBIMENTO E ARMAZENAGEM DA SOLUÇÃO PERCOLADA DAS COLUNAS LOCALIZADOS SOB OS FUNÍIS



### 3.5.2.1 Implementação dos tratamentos no experimento com colunas de percolação

Antes da aplicação dos tratamentos, cada coluna recebeu água deionizada (condutividade  $< 0,5 \mu\text{S m}^{-1}$ ) em quantidade suficiente para se elevar a umidade do solo a 80 % da capacidade de campo (vide Tabela 12) e em seguida mais 300 mL de água deionizada para permitir a acomodação do solo na coluna. O procedimento para a determinação da umidade do solo a 0,033 Mpa (capacidade de campo) já foi descrito anteriormente (vide Tabela 10 do item 3.4.2.2).

TABELA 12 – UMIDADE DESEJADA E MASSA DE ÁGUA ADICIONADA PARA SE ELEVAR A UMIDADE DO SOLO A 80 % DA CAPACIDADE DE CAMPO DO SOLO DAS COLUNAS

TRATAMENTOS	TFSA	UMIDADE	ÁGUA
	kg coluna <sup>-1</sup>	%	g coluna
T	17,7	13,38	1894,805
SN	18,1	13,38	1940,301
DF	18,2	13,38	1951,899
CS	16,8	13,38	1801,135
NS	16,6	13,38	1774,372

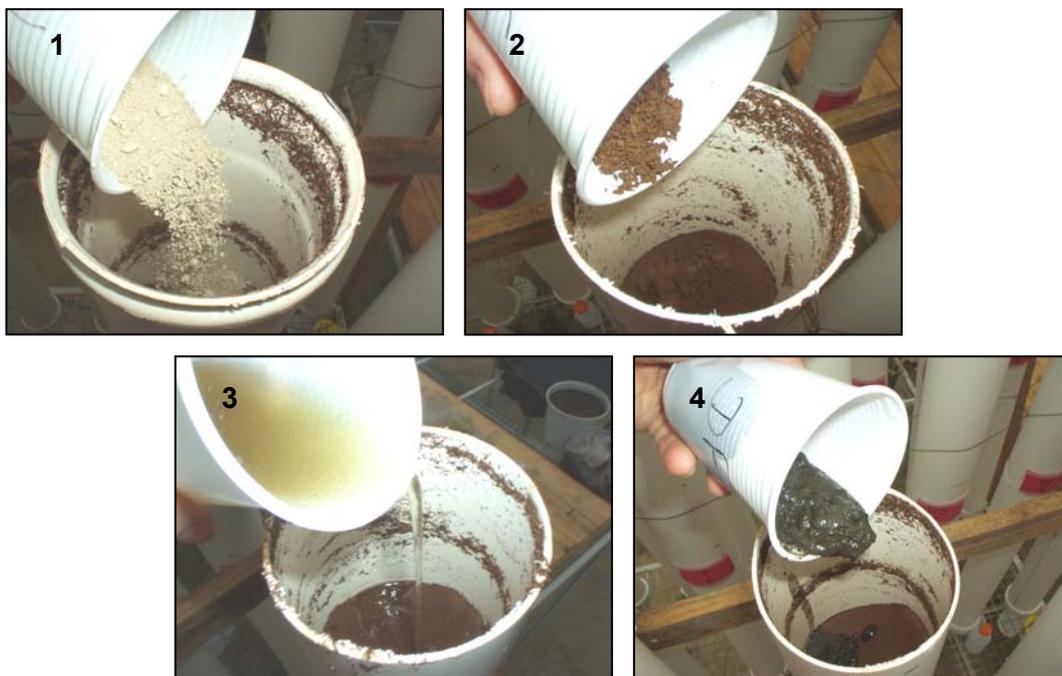
Os tratamentos foram estabelecidos conforme o critério descrito no item 3.3.1, e cujas doses se equivalem àquelas utilizadas na modalidade experimental I de Incubação (vide item 3.4.1). Ou seja, na **T (Testemunha)** nada se aplicou, e nos tratamentos **SN (Líquido sobrenadante)**, **DF (Depósito de fundo)**, **CS (Cama sobreposta)**, e **NS (NureSoil)** aplicou-se dose equivalente a 56,8 kg ha<sup>-1</sup> P cujo valor convertido nas doses, em base úmida e seca, dos dejetos sob as diferentes formas utilizadas e de N e K aplicados estão arroladas na Tabela 13.

TABELA 13 – DOSES DE DEJETOS DE SUÍNOS SOB DIFERENTES FORMAS E DE N, P E K APLICADOS A PARTIR DESTES ÀS COLUNAS DE SOLO DE ARAPOTI PR PERCOLADAS EXPERIMENTALMENTE

TRATAMENTO NOTAÇÃO	DESCRIÇÃO	DEJETO			N	P	K
		Umido	Umido	Seco			
		kg ha <sup>-1</sup>	g vaso <sup>-1</sup>		g vaso <sup>-1</sup>	(g vaso <sup>-1</sup> )*10 <sup>-5</sup>	g vaso <sup>-1</sup>
T	Testemunha	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0
SN	Sobrenadante	81142,8	63,690	0,101	1,81	4,45	0,81
DF	Depósito de Fundo	8443,5	38,028	17,835	1,71	4,45	0,41
CS	Cama Sobreposta	33849,8	26,572	11,147	0,96	4,45	0,34
NS	NureSoil	35934,3	28,208	26,228	0,0	4,45	0,41

Os tratamentos (diferentes dejetos) foram aplicados na superfície do solo das colunas em 04/maio/2004 (Figura 18). Para tanto, efetuou-se a pesagem dos dejetos em balança de precisão digital.

FIGURA 18 – APLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS NA SUPERFÍCIE DO SOLO DE ARAPOTI NAS COLUNAS DE PERCOLAÇÃO: 1 - NURESOIL, 2 - CAMA SOBREPOSTA, 3 - SOBRENADANTE E 4 - DEPÓSITO DE FUNDO



Faz-se importante re-enfatizar que nenhuma das formas sob as quais os dejetos foram utilizados sofreu qualquer modificação por ocasião da implementação dos tratamentos. Ou seja, preservou-se características originalmente encontradas nos materiais a campo. Novamente, exceção foi feita aos dejetos tratados pelo Processo N-Viro cujos grânulos foram reduzidos em diâmetro ( $< 0,5$  cm) com o uso gral e pistilo de porcelana para uniformizar a granulometria e assim aumentar sua reatividade, uma vez que após 3 anos de armazenamento a campo este se encontrava empedrado.

### 3.5.3 Condução do Experimento de Percolação

#### 3.5.3.1 Adição da água, coleta e armazenamento da solução percolada

Após a implementação dos tratamentos, em 04/maio/2004, as colunas receberam a primeira adição de água deionizada a percolá-las e a gerar a primeira bateria de solução percolada (Tempo 1).

Para tanto as colunas de solo (unidades experimentais) foram regadas semanalmente, durante 10 semanas (Tempos 1 a 10) com 600 mL de água deionizada, o que gerou, também semanalmente, em torno de 250 mL de solução. Qualquer excedente percolado foi descartado. A Figura 19 ilustra como se dava a rega semanal.

A solução percolada era então acondicionada em frascos de polietileno novos, e então congelada para permitir que as análises fossem realizadas em outra ocasião, e assim evitando-se reações químicas que pudessem interferir nos resultados (Figura 20).

FIGURA 19 – REGA SEMANAL DAS COLUNAS DE SOLO (ARAPOTI PR) PARA SUA PERCOLAÇÃO COM ÁGUA DEIONIZADA



FIGURA 20 – DETALHE DOS FRASCOS UTILIZADOS PARA A COLETA DA SOLUÇÃO PERCOLADA (GARRAFA) E PARA ARMAZENAGEM EM CONGELADOR (POTE)



### 3.5.3.2 Plantio do trigo nas colunas de percolação, seu manejo e fatores biométricos avaliados

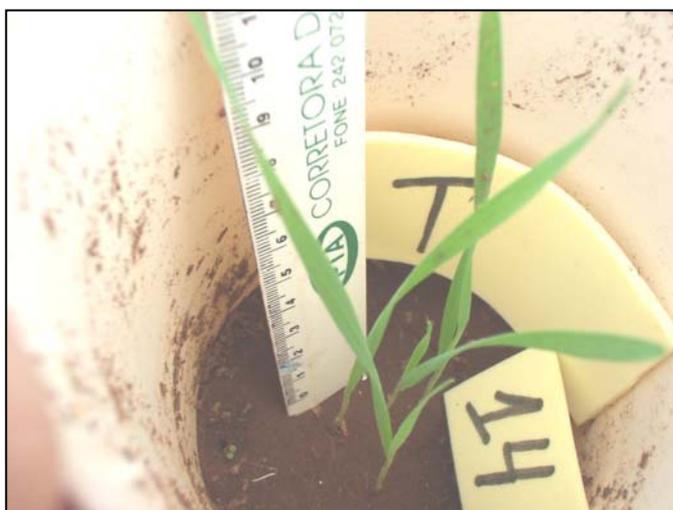
Em 18/Maio/2004, 14 dias após a aplicação dos tratamentos, semeou-se trigo (*Triticum aestivum* L.). Para tanto, cada uma das colunas recebeu 5 sementes que foram incorporadas ao solo úmido a uma profundidade de aproximadamente 1,0 cm da superfície (Figura 21). Não houve compactação do solo que cobriu as sementes. Decidiu-se pela implantação do trigo por esta ser a espécie cultivada no campo (modalidade experimental III - experimento de campo), e por acreditar-se ser este um adequado indicador da qualidade do solo em sub-superfície, visto que o P é um elemento praticamente imóvel no perfil do solo e com isso se encontrado em camadas mais profundas pode indicar o seu transporte no perfil.

FIGURA 21 – ASPECTO DA SEMEADURA DO TRIGO NAS COLUNAS DE PERCOLAÇÃO ANTES DE SUA COBERTURA COM SOLO



Duas semanas após a germinação raleou-se as plântulas emergidas. Destas selecionou-se as 3 mais vigorosas de cada coluna. A partir deste procedimento, e nesta data, iniciou-se avaliação semanal do crescimento das plantas. Para tanto, mediu-se a altura da maior das 3 plantas de cada coluna com o auxílio de uma régua graduada (Figura 22). Este procedimento foi repetido até o início da formação das espigas (estádio reprodutivo RI) para fins de controle e registro da evolução do experimento.

FIGURA 22 – CONTROLE SEMANAL DO CRESCIMENTO DAS TRÊS PLÂNTULAS SELECIONADAS, NESTE CASO AOS 14 DIAS DA SEMEADURA DO TRIGO PARA A TESTEMUNHA (T)



Transcorridos 100 dias da semeadura efetuou-se o corte das plantas cujas folhas e hastes já se apresentavam secas, e cujos grãos praticamente maduros. O corte foi efetuado rente ao solo, para o que se utilizou uma tesoura comum. As plantas coletadas (parte aérea) foram medidas (comprimento), fotografadas, acondicionadas em pacotes de papel Kraft novo e devidamente identificadas (Figura 23). Após este procedimento as plantas foram secas em estufa a 60 °C durante 48 horas, trituradas e pesadas. O material vegetal moído foi então acondicionado em frascos de PVC transparentes e vedados com tampa de rosca para posterior análise e para se evitar umidade e pragas.

Faz-se importante frisar que as colunas continuaram a serem regadas mesmo após o período de coleta da solução percolada. Isto em razão do ciclo do

trigo ter-se estendido para além das 10 semanas utilizadas para tal. Ou seja, o trigo foi colhido 60 dias após a última coleta de solução percolada.

FIGURA 23 – CORTE, DETERMINAÇÃO DA ALTURA DAS PLANTAS E ACONDICIONAMENTO DESTAS EM SACOS DE PAPEL KRAFT PARA SECAGEM EM ESTUFA A 60 °C



### 3.5.3.3 Corte dos tubos de PVC, exposição e amostragem do solo das colunas

Aproximadamente 20 dias após a colheita do trigo os tubos de PVC foram abertos para a retirada do solo e das raízes do trigo. Ou seja, o período compreendido entre a adição inicial de água deionizada e abertura dos tubos de PVC foi de 180 dias, o que correspondeu também a um período de incubação do solo em colunas. Para isso as colunas foram retiradas das bancadas e cuidadosamente dispostas horizontalmente sobre uma mesa forrada com papel Kraft novo que serviu de anteparo para o solo que por ventura se desprendesse quando os tubos fossem abertos lateralmente.

A abertura das colunas se deu com o uso de uma serra elétrica portátil. Cada tubo foi aberto com dois cortes longitudinais, inclusive suas tampas. A tampa inferior foi então removida bem como o filtro de tecido sintético lá instalado.

O solo exposto foi então amostrado em camadas de 5 cm a partir da superfície das colunas. Para facilitar este procedimento, removeu-se apenas meia-cana do tubo cortado, deixando-se a outra apoiando o solo. (vide Figura 24).

A amostragem do solo foi feita com uma espátula de PVC limpa. O solo amostrado foi imediatamente transferido para sacos plásticos novos, identificados

para então ser submetido a secagem em estufa a 60 °C durante 72 horas, sendo então analisado no Laboratório de Química e Fertilidade da UFPR.

FIGURA 24 – ABERTURA DA COLUNA DE PERCOLAÇÃO PARA AMOSTRAGEM ESTRATIFICADA DE SOLO



#### 3.5.4 Fatores Avaliados no Experimento com Colunas de Percolação

Os fatores avaliados (variáveis) compreenderam a medição de fatores da solução percolada, das plantas cultivadas e do solo incubado e percolado nas colunas.

#### 3.5.4.1 Fatores avaliados na solução percolada

As amostras de solução aquosa percolada coletadas semanalmente de cada uma das 15 colunas foram analisadas para os seguintes fatores que foram realizados no Laboratório de Engenharia Ambiental do Centro Politécnico da UFPR.

a) Carbono orgânico dissolvido determinado no equipamento TOC- $V_{CPH}$  (Total Organic Carbon Analyser) da marca Shimadzu, conforme o procedimento número 5310A descrito no Standard Methods (WEF, 1998).

b) P dissolvido extraído com cloreto estanoso e determinado em colorímetro pela cor azul.

As amostras da solução percolada das colunas tiveram o P analisado por colorimetria avaliando-se a intensidade da cor amarela, desenvolvida após reação com cloreto estanoso.

c) Condutividade elétrica conforme método descrito no procedimento número 2510 do Standard Methods (WEF, 1998).

#### 3.5.4.2 Fatores biométricos avaliados para o trigo cultivado nas colunas

As plantas de trigo e amostras vegetais da parte aérea, já moídas de todas as unidades experimentais, foram medidas e analisadas para os seguintes fatores:

a) Altura de plantas com o uso de régua graduada.

b) Massa verde e seca produzida e seu teor de sólidos das plantas inteiras

c) P total das plantas de trigo:

As amostras de tecido vegetal tiveram o P total extraído por digestão nitroperclórica, e quantificação por colorímetro pela intensidade da cor azul. O método empregado foi adaptado de BAKER e AMACHER (1982). Para tanto, tomou-se aproximadamente 2 g (massa exata) de vegetal moído em tubos de ensaio de vidro de 100 mL ao qual adicionou-se 5 mL de  $HNO_3$  concentrado (P.A.). Os tubos foram então colocados em bloco digestor e a temperatura elevada e mantida a 170 °C por 90 minutos, após o que se adicionou 3 mL de  $HClO_4$  concentrado (P.A.),

mantendo-se sempre os tubos cobertos com funis de vidro para se evitar evaporação excessiva. Nesta etapa a temperatura foi elevada até 203 °C e ali mantida por 75 minutos. A seguir os tubos foram resfriados e a solução obtida filtrada em papel Whatman nº 1 lavando-se os tubos com água deionizada, e refiltrando-se o material residual. O filtrado foi então acondicionado em frascos “snap cap” de vidro com tampa de polietileno. O teor de P foi determinado em solução diluída por colorimetria cor azul desenvolvida após a adição de molibdato de amônio e ácido ascórbico.

#### 3.5.4.3 Fatores avaliados para o solo das colunas após a sua abertura

As amostras de solo tomadas de camadas de 5 cm de foram analisadas para os seguintes fatores:

a) P extraídos do solo com Mehlich 1:

Para a extração parcial de P utilizou-se o extrator de Mehlich 1 (HCl 0,05 M + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,125 M) conforme as metodologias propostas por WESTERMAN (1990) e por SILVA (1999) adaptadas às particularidades do Laboratório de Química e Fertilidade do Solo da UFPR. Ou seja, tomou-se alíquota gravimétrica de 10 g de solo em erlenmeyers de 250 mL e receberam 100 mL da solução extratora, agitou-se por 15 minutos a 220 rpm e após 5 minutos decantou-se e filtrou-se a mistura em papel Whatman nº 01. Alíquotas do extrato foram em seguida transferidas para frascos de vidro (snap cap) com tampa de polietileno, previamente lavados com solução de HCl a 4% e secos. A quantificação do P do extrato se deu por colorimetria pela intensidade da cor azul, com o auxílio de padrões com matriz semelhante ao das amostras, ou seja, com Mehlich 1 a 10 %.

b) K e Na extraídos por Mehlich 1 por fotometria de chama.

c) pH em CaCl<sub>2</sub> por potenciometria.

d) pH SMP por potenciometria.

### 3.6 MODALIDADE III - EXPERIMENTO DE CAMPO

Na modalidade experimental III conduziu-se um experimento de campo, em gleba da Fazenda Mutuca, situada no Município de Arapoti, em região de transição entre a dos Campos Gerais e do Norte Pioneiro do Estado do Paraná, e que abriga as coordenadas geográficas UTM 22J 590133,929 mE 7316087,223 mN, à aproximadamente 20 km da sede do município de Ventania PR. Desta propriedade também coletou-se o solo para a instalação dos experimentos das Modalidades I e II (solo Arapoti).

A área experimental está situada em solo classificado como Latossolo Vermelho Escuro Álico (LeA6), em local que apresenta relevo suave ondulado, como mostrado na Figura 25. Detalhes sobre o solo podem ser obtidos na seção 3.2 e 3.2.1.

FIGURA 25 – ASPECTO GERAL DA FAZENDA MUTUCA. ARAPOTI PR

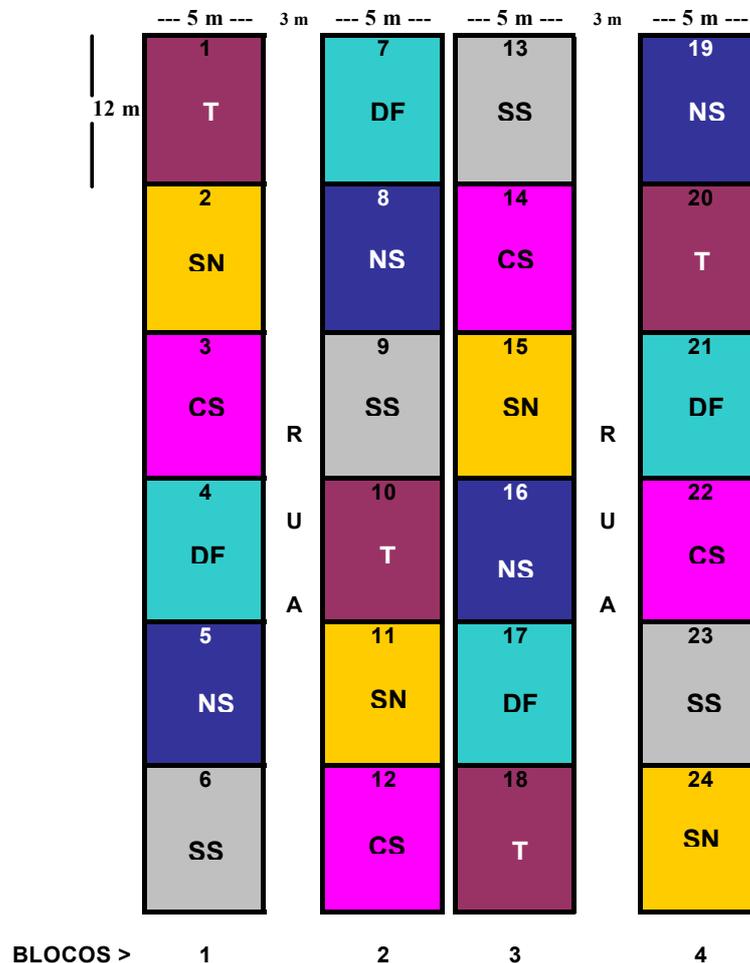


#### 3.6.1 Delineamento Experimental e Tratamentos Adotados no Experimento de Campo

O experimento de campo (Modalidade III) foi instalado sob um delineamento em blocos ao acaso (DBA) com 6 tratamentos distribuídos em 4 repetições (blocos) totalizando 24 parcelas experimentais. Os tratamentos adotados no experimento de campo foram: **T (Testemunha)**; **SN (Líquido sobrenadante)**; **DF (Depósito de fundo)**; **CS (Cama sobreposta)**; **NS (NureSoil)** e **SS Superfosfato Simples**; ou seja, os mesmos adotados nas modalidades experimentais anteriormente relatadas

adicionadas de um sexto, aquele no qual se utilizou de adubação mineral fosfatada. Os critérios para o estabelecimento dos tratamentos estão relatados no item 3.3.1.1. A disposição dos tratamentos e repetições foi feita de modo a minimizar o erro (Figura 26), os blocos foram alocados predominantemente no sentido transversal ao do escoamento das águas, e paralelamente ao sentido do plantio do talhão aonde este foi instalado.

FIGURA 26 - CROQUI DO EXPERIMENTO DE CAMPO INDICANDO A DISTRIBUIÇÃO DOS BLOCOS E TRATAMENTOS, IMPLANTADO NA FAZENDA MUTUCA EM ARAPOTI PR



Também os resultados, para o experimento de campo foram submetidos a delineamento experimental inteiramente casualizado com parcelas sub-divididas permitindo a comparação dos fatores analisados para as diferentes fontes de dejetos (parcelas) entre as profundidades amostradas (sub-parcelas).

### 3.6.2 Histórico da Gleba e Montagem e Instalação do Experimento de Campo

O talhão de 15 ha no qual o experimento foi instalado vem sendo cultivado já há várias safras, sob o sistema de plantio direto, com culturas graníferas (soja, milho, aveia e trigo) as quais perfazem rotação de culturas planejada pela administração da propriedade. Na safra do verão de 2003/2004, que antecedeu a instalação do experimento, o talhão foi cultivado com soja (*Glycine max* L. Merrill), e na safra de inverno de 2004 com trigo (*Triticum aestivum* L.), cultura que foi implantada imediatamente após a alocação do experimento mas dias antes da implementação dos tratamentos. A semeadura do trigo ocorreu em 15/maio/2004.

Portanto, no experimento de campo cultivou-se sempre a mesma cultura adotada no talhão, sendo este também projetado para receber os mesmos tratamentos culturais implementados na cultura comercial, a exceção dos tratamentos.

O experimento foi alocado no terço superior de talhão de 15 ha da Fazenda Mutuca, a qual apresenta relevo suave ondulado, e é protegida por uma floresta nativa em duas de suas laterais (acima e abaixo do talhão) que servem de quebra-vento. A área experimental possuía 2.340 m<sup>2</sup> (32,5 m de largura por 72 m de comprimento), incluindo-se as bordaduras. As parcelas, de 12 m de comprimento por 5 m de largura, possuíam área de 60 m<sup>2</sup>, e foram alocadas de forma a permitir o trânsito de máquinas e equipamentos utilizados na propriedade (tratores, semeadeiras, pulverizadores e colheitadeiras) (Figuras 27).

FIGURA 27 – VISTA GERAL DO EXPERIMENTO DE CAMPO APÓS SUA LOCAÇÃO E ASPECTO GERAL DO TALHÃO



### 3.6.2.1 Implementação dos tratamentos do experimento de campo

Decorridos 60 dias da semeadura do trigo implementou-se os tratamentos em 15/julho/2004 em todas as parcelas. Os tratamentos foram constituídos por testemunha (T) na qual nada se aplicou, por diferentes dejetos (SN - líquido sobrenadante de lagoa de dejetos; DF - lodo depositado no fundo de lagoa de dejetos; CS - cama sobreposta; e NS - NureSoil) e pelo fertilizante mineral superfosfato simples (SS), tratamentos estes que proporcionaram doses de P equivalentes a 56,8 kg ha<sup>-1</sup> P, independentemente de seus teores totais deste nutriente (vide item 3.1).

As doses dos dejetos sob diferentes formas empregadas nos tratamentos, do fertilizante mineral (superfosfato simples), e do N, P e K estão detalhadas na Tabela 14.

TABELA 14 – DOSES DAS DIFERENTES FORMAS DE DEJETOS DE SUÍNOS, DO FERTILIZANTE SUPERFOSFATO SIMPLES E DE ALGUNS DE SEUS CONSTITUINTES APLICADOS ÀS PARCELAS DO EXPERIMENTO DE CAMPO DA MODALIDADE EXPERIMENTAL III

TRATAMENTO NOTAÇÃO	DESCRIÇÃO	DEJETO			N kg parc <sup>-1</sup>	P kg parc <sup>-1</sup>	K kg parc <sup>-1</sup>
		Umido	Umido	Seco			
		kg ha <sup>-1</sup>	kg parc <sup>-1</sup>				
T	Testemunha	0	0,0	0	0,0	0,0	0,0
SN	Sobrenadante	63066,6	378,400	0,832	1,36	0,34	0,60
DF	Depósito de Fundo	37840	227,040	103,200	1,29	0,34	0,31
CS	Cama Sobreposta	35475	212,850	94,600	0,72	0,34	0,26
NS	NureSoil	35475	212,850	200,329	0,0	0,34	0,30
SS	Superfosfato Simples	722,1	0,004	-	-	0,34	-

Todos os tratamentos foram aplicados manualmente de forma a proporcionar um espalhamento homogêneo da superfície do solo das parcelas. Os tratamentos não foram incorporados ao solo, uma vez que o manejo adotado é o do plantio direto.

Os dejetos utilizados nos tratamentos com lodo de fundo (DF) e líquido sobrenadante (SN) foram retirados de lagoa da Fazenda Rio das Cinzas (vide item 3.1) com auxílio de tanque provido de equipamento de aspersão de dejetos líquidos de suínos a campo (Figura 28). Estes, após sua retirada da lagoa, foram acondicionados em sacos de polietileno de alta densidade com capacidade de 10

litros, de forma a possibilitar o transporte até o experimento e permitir que sua correta dosagem nas parcelas. A colocação dos dejetos nos sacos deu-se diretamente a partir da bomba do equipamento utilizado. No entanto, ressalte-se aqui a dificuldade de manipulação dos referidos dejetos e da sua aplicação que foi efetuada manualmente nas parcelas experimentais (vide Figura 29).

FIGURA 28 - RETIRADA DOS DEJETOS NA FORMA DE LODO DEPOSITADO NO FUNDO (DF) E DE LÍQUIDO SOBRENADANTE (SN) DE LAGOA DA FAZENDA RIO DAS CINZAS. ARAPOTI PR



FIGURA 29 – ASPECTO DO LODO DE FUNDO (DF) E DO SOBRENADANTE (SN) DE LAGOA DE DEJETOS ACONDICIONADOS EM SACOS PLÁSTICOS INSTANTES ANTES DE SUA DISTRIBUIÇÃO NAS PARCELAS EXPERIMENTAIS



Para garantir a uniformidade de distribuição tanto do lodo de fundo (DF) quando do líquido sobrenadante (SN) na superfície do solo das parcelas, efetuou-se com um canivete um pequeno corte nos pacotes de forma a permitir o lento escorrimento dos dejetos. As parcelas que foram tratadas com sobrenadante (SN) receberam uma grande quantidade de líquido devido à sua pequena concentração de P (vide Tabelas 05). Detalhes do aspecto da superfície do solo das parcelas que receberam estes tratamentos (DF e SN) são mostrados nas Figuras 30 e 31. A aplicação foi efetuada quando o trigo já se apresentava vegetando (estádio V2).

FIGURA 30 – DETALHE DO ASPECTO DA SUPERFÍCIE DO SOLO IMEDIATAMENTE APÓS A APLICAÇÃO DO LODO DEPOSITADO NO FUNDO DE LAGOA DE DEJETOS (DF) EM PARCELA DO EXPERIMENTO DE CAMPO



FIGURA 31 – DETALHE DO ASPECTO DA SUPERFÍCIE DO SOLO IMEDIATAMENTE APÓS A APLICAÇÃO DO LÍQUIDO SOBRENADANTE (SN) DE LAGOA DE DEJETOS (DF) EM PARCELA DO EXPERIMENTO DE CAMPO



No tratamento com cama sobreposta (CS) utilizou-se de dejetos com maravalha de serraria, que também teve origem na Fazenda Rio das Cinzas (ver item 3.1). Já o NureSoil (NS) aplicado nos tratamentos de mesmo nome teve origem em Palmeira (vide item 3.1). As massas de ambas as fontes foram determinadas por ocasião de sua aplicação a campo por meio de balança de mesa. Tais dejetos, aplicados a lanço nas parcelas experimentais, gerando o aspecto demonstrado nas Figuras 32 e 33.

FIGURA 32 – DETALHE DO ASPECTO DA SUPERFÍCIE DO SOLO IMEDIATAMENTE APÓS A APLICAÇÃO DA CAMA SOBREPOSTA (CS) EM PARCELA DO EXPERIMENTO DE CAMPO



FIGURA 33 – DETALHE DO ASPECTO DA SUPERFÍCIE DO SOLO IMEDIATAMENTE APÓS A APLICAÇÃO DO NURESOIL (NS) EM PARCELA DO EXPERIMENTO DE CAMPO



O superfosfato simples (SS) teve a massa determinada no laboratório de Química e Fertilidade do Solo da UFPR em balança de precisão e foi também aplicado a lanço sobre a superfície das parcelas (vide Figura 34).

FIGURA 34 - UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DO TRATAMENTO COM SUPERFOSFATO SIMPLES (SS) EM UMA DAS PARCELAS DO EXPERIMENTO DE CAMPO



### 3.6.2.2 Condução do experimento de campo

O experimento de campo recebeu todos os tratos culturais aplicados pelo restante do talhão que o abrigava. Com isso o trigo das parcelas ficou sujeito às mesmas condições de campo da cultura explorada comercialmente na fazenda.

A colheita dos grãos do trigo cultivado nas parcelas foi mecanizada, realizada com uma máquina colhedora de parcelas da marca Wintersteiger Auto-limpante gentilmente cedida pela empresa “OR Sementes”, proporcionando excelente qualidade aos grãos colhidos, principalmente em termos de limpeza, além de baixíssima perda de grãos pela colheita (Figura 35).

FIGURA 35 – COLHEITA MECANIZADA DE UMA DAS PARCELAS DO EXPERIMENTO DE CAMPO



### 3.6.3 Fatores Avaliados no Experimento de Campo

Os fatores avaliados compreenderam variáveis medidas para a cultura do trigo e para o solo.

#### 3.6.3.1 Fatores avaliados para a cultura do trigo

##### a) Produtividade de matéria seca:

Em 22/outubro/2004, data em que se colheu o trigo, coletou-se 10 plantas em pontos aleatórios de cada parcela com o intuito de se determinar a matéria seca produzida. Para tanto, antes da colheita, como critério selecionou-se visualmente plantas que aparentavam maior vigor, maior porte e cachos mais densos (Figura 36).

As amostras de plantas de trigo foram acondicionadas em sacos de papel Kraft identificados, e levados ao Laboratório de Química e Fertilidade do Solo da UFPR para secagem em estufa a 60<sup>0</sup>C por 48 horas. Após esse procedimento as

plantas foram trituradas em um moinho específico para matéria vegetal no Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas da UFPR para essa finalidade e pesadas em uma balança digital de precisão para estimativa da produtividade da matéria seca.

FIGURA 36 – PLANTAS AMOSTRADAS EM PARCELA DO EXPERIMENTO DE CAMPO PARA AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DE MATÉRIA SECA



b) Produtividade da cultura para as diferentes parcelas:

Logo após a coleta das amostras de plantas das parcelas para avaliação da matéria seca iniciou-se a colheita mecanizada das parcelas experimentais. A máquina colheu apenas a faixa central de 2,00 m de largura deixando o restante da parcela como bordadura (1,50 m para cada lado). A cada parcela colhida eliminou-se possíveis contaminações do equipamento por meio de mecanismo auto-limpante. Os grãos colhidos de cada parcela foram embalados em sacos plásticos, trazidos ao Laboratório de Química e Fertilidade do Solo da UFPR onde foram pesados e estimou-se a produtividade. A porção que sobrou no campo foi colhida com automotriz comum com picador e espalhador de palha, e foi descartada para fins experimentais.

c) P extraído pelas plantas:

Do material vegetal moído e seco tomou-se alíquota que foi digerida em bloco digestor por meio da mistura nitroperclórica, conforme o já descrito no item 3.5.4.2, do que se obteve a concentração de P na matéria seca vegetal determinada no Laboratório de Química e Fertilidade do Solo da UFPR em colorímetro pela intensidade da cor azul.

### 3.6.3.2 Fatores avaliados para o solo

O solo foi avaliado antes (Inicial) e depois (Final) da implementação dos tratamentos de forma a se avaliar a uniformidade da área e os efeitos dos tratamentos propriamente ditos. As amostras coletadas foram levadas ao Laboratório de Química Fertilidade do Solo da UFPR e secadas em estufa a 60 °C durante 48 horas e submetidas a análise física (granulometria, densidade dos solos e umidade) e química ( P, K, Na, pH). As metodologias utilizadas foram as seguintes: granulometria, o P (vide item 3.5.4.3), K e Na extraíveis por Mehlich 1 ( $H_2SO_4$  0,125 M + HCl 0,05 M) foram determinados por colorimetria (P) que é objeto de estudo do presente trabalho e por emissão atômica (K e Na); e o pH em  $CaCl_2$  e o pH SMP foram determinados potenciométricamente conforme o que preconizam SILVA (1999) e PAVAN (1992)

a) Amostragem do solo inicial:

O solo de cada uma das parcelas foi amostrado antes da semeadura do trigo, em 16/maio/2004, de forma estratificada, das seguintes profundidades: 0 a 5 cm; 5 a 10 cm; 10 a 15 cm; 15 a 25 cm; 25 a 35 cm; 35 a 45 cm; e 45 a 50 cm. Para tanto se coletou amostras compostas por 10 sub-amostras cada (Figura 37). Esta amostragem foi realizada antes de se aplicar os tratamentos. A amostragem foi realizada com trados do tipo holandês e contou com o auxílio de alunos do Curso de Agronomia da UFPR.

FIGURA 37 – COLETA DAS AMOSTRAS DE SOLO NAS PARCELAS DO EXPERIMENTO DE CAMPO (MODALIDADE III) ANTES DA SEMEADURA DO TRIGO



b) Amostragem do solo final:

Encerrada a colheita dos grãos de trigo efetuou-se nova amostragem do solo em 17/dezembro/2004 de todas as parcelas seguindo-se a mesma metodologia descrita para a amostragem inicial.

### 3.7 ANALISES ESTATÍSTICAS

Todos os dados obtidos de todos os experimentos foram submetidos à Análise de Variância comparando-se os tratamentos por solo, época, lixiviação e profundidade nos experimentos de incubação, de colunas de percolação e de campo. Em todas as ocasiões em que o teste de F mostrou significância, submeteu-se também os dados ao teste de Bartlett, com o objetivo de se detectar a homogeneidade das médias, para em seguida compará-las pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Para tanto, utilizou-se do software SPSS 12.0 Eval. (SPSS, 2004). Os valores relativos aos fatores avaliados para cada uma das unidades experimentais foram organizados em tabelas dispostas no anexo. As médias dos tratamentos foram sempre convertidas ou em tabelas, ou em gráficos e estão dispostas na seção de resultados e discussão.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos nos experimentos das modalidades experimentais I (incubação), II (colunas de percolação) e III (campo) são apresentados a seguir.

### 4.1 RESULTADOS OBTIDOS DA MODALIDADE I - INCUBAÇÃO DE SOLOS EM LABORATÓRIO E SUA DISCUSSÃO

Os resultados das análises procedidas nas alíquotas coletadas semanalmente (8 tempos de amostragem) durante os 150 dias em que a incubação foi procedida foram agrupados separadamente para os Experimentos 1, 2, 3 e 4 conduzidos respectivamente para os solos de Arapoti, Ponta Grossa, Palmeira e Contenda. No entanto, somente os resultados para o P foram aqui discutidos, constando os demais como anexos.

#### 4.1.1 Teores de P extraível por Mehlich I para os solos incubados nos Experimentos 1, 2, 3 e 4 (Arapoti, Ponta Grossa, Palmeira e Contenda)

Os teores de P extraível pelo “extrator duplo-ácido” de Mehlich I ( $H_2SO_4$  0,125 M + HCl 0,05 M) para os 4 experimentos de incubação dos solos provenientes de Arapoti, Ponta Grossa, Palmeira e Contenda serão apresentados a seguir nesta ordem.

##### 4.1.1.1 Teores de P extraível por Mehlich I do solo de Arapoti (Experimento 1)

###### 4.1.1.1.1 Variação temporal do P extraível por Mehlich I (Experimento 1 - Solo de Arapoti)

As médias dos teores de P extraível do solo de Arapoti para cada um dos tratamentos e para cada um dos 8 tempos em que se efetuou amostragens durante os 150 dias de condução do experimento de incubação estão resumidas no Gráfico 01 e na Tabela 15. Observa-se variação nos teores entre os tempos de amostragem (8 tempos), sendo a mais evidente aquela sofrida pelo tratamento DF (lodo de fundo) para o qual houve um evidente incremento no teor de P extraível do tempo 1 (7 dias de incubação) para o tempo 2 (14 dias de incubação), seguido de um

acentuado decréscimo até o tempo 6 (42 dias de incubação) quando a partir de então a curva tende novamente a se elevar mais suavemente até o tempo 8 (150 dias de incubação).

Para os demais tratamentos (SN, CS e NS) nota-se a mesma tendência. Destes o tratamento CS (cama sobreposta) apresentou tendência mais evidente, e o SN (líquido sobrenadante) a menos evidente. Quanto ao T (testemunha), a quase imperceptível variação observada é atribuída à mineralização do P presente na matéria orgânica do solo.

Note-se ainda do Gráfico 01 e Tabela 15 que também o tratamento CS gerou pico notável no tempo 3 (21 dias) sendo que o tratamento NS (NureSoil) foi o que apresentou curva mais estável em todo o período.

Desse modo, assumindo-se ter aplicado mesmas doses de P a partir dos dejetos sob diferentes formas (vide item 3.3.1) esperava-se que, à exceção da testemunha, os tratamentos levassem o solo a apresentar teores semelhantes de P extraível e mesmo comportamento no decorrer do tempo, o que não aconteceu. Disso conclui-se que, ou as doses de P não foram exatamente iguais, ou as formas sob as quais o P encontra-se nos diferentes dejetos é diferente.

Interessantemente, o tratamento SN (sobrenadante) apresentou comportamento muito semelhante ao do T (testemunha). Isto provavelmente ocorreu pela maior facilidade de retenção do P pelo solo, indicando que este passa à forma lábil e ou não lábil rapidamente. O que indica que o P do sobre nadante (SN) tenha sido retido imediatamente pelo solo em um curto período após a aplicação desse tratamento. Desta forma, não é expressiva a quantidade de P que fica em solução do solo a partir da aplicação desse produto em superfície do solo como fertilizante.

GRÁFICO 01 – VARIAÇÃO DOS TEORES DE P EXTRAÍVEL DO SOLO DE ARAPOTI PR EM 8 TEMPOS DE AMOSTRAGENS REALIZADAS DURANTE OS 150 DIAS DE SUA INCUBAÇÃO. MÉDIAS DE 4 REPETIÇÕES

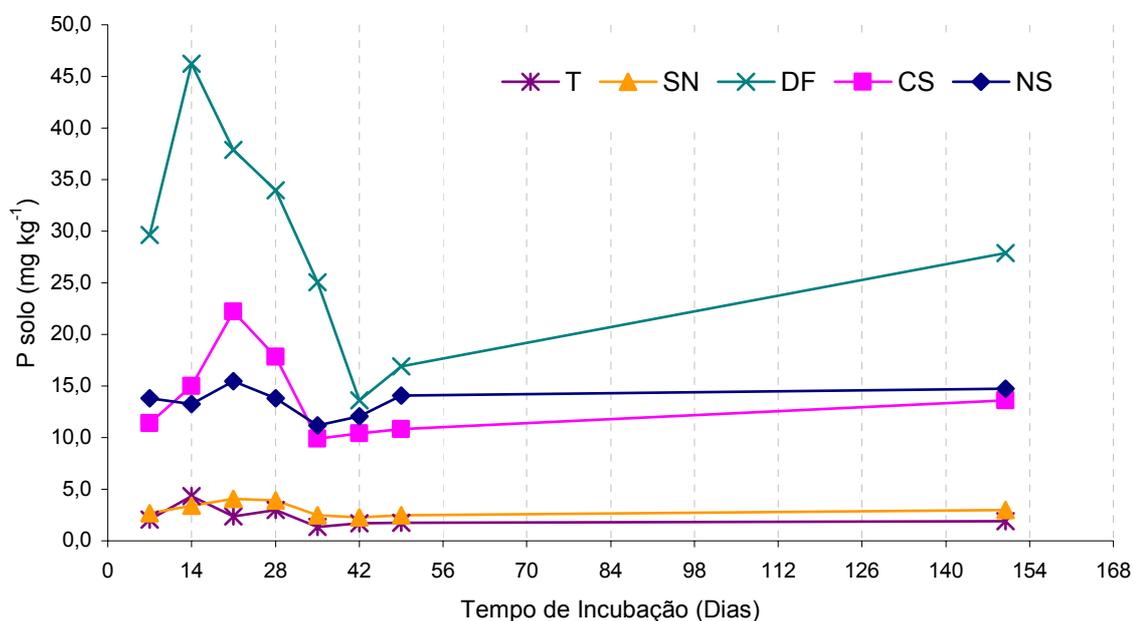


TABELA 15 – TEORES DE P EXTRAÍVEL DO SOLO DE ARAPOTI PR EM 8 AMOSTRAGENS REALIZADAS DURANTE OS 150 DIAS DE SUA INCUBAÇÃO. MÉDIAS DE 4 REPETIÇÕES

SOLO	TRAT.	Tempo (Dias)							
		1 (7)	2 (14)	3 (21)	4 (28)	5 (35)	6 (42)	7 (49)	8 (150)
		P (mg kg <sup>-1</sup> )							
Arapoti	T	2,1	4,4	2,4	3,0	1,4	1,7	1,8	1,9
	SN	2,7	3,4	4,1	3,9	2,5	2,3	2,5	3,0
	DF	29,7	46,2	37,9	34,0	25,1	13,6	16,9	27,9
	CS	11,4	15,0	22,2	17,8	9,9	10,4	10,8	13,6
	NS	13,8	13,2	15,5	13,8	11,2	12,1	14,1	14,8

Pelo Gráfico 01, pode-se inferir que o P presente no lodo (depósito de fundo) provavelmente encontra-se em quantidade e ou espécie química (qualidade) mais adequada ao uso do dejetos na agricultura. Assim, por apresentar maior teor de matéria orgânica e maior quantidade de P total em comparação aos demais produtos testados, esse material manteve por maior tempo o equilíbrio de P no solo incubado.

#### 4.1.1.1.2 Comparação entre os teores de P extraível por Mehlich I em cada tempo de amostragem (Experimento 1 - Solo de Arapoti)

Os gráficos a seguir (Gráficos 02 a 09) expressam os resultados do teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) que permitiu a comparação entre as médias obtidas para os tratamentos em cada um dos 8 tempos de amostragem. Observa-se diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos para os teores de P extraível por Mehlich I em todas as épocas.

Nota-se que o tratamento DF (depósito de fundo) sempre gerou os maiores teores de P extraível do solo, e como esperado, o T (testemunha) os mais baixos. Já o tratamento SN (sobrenadante) apresentou valores sempre muito próximos aos obtidos para T (testemunha), não diferindo estatisticamente da testemunha em nenhum momento da amostragem.

Por outro lado, os teores de P extraível por Mehlich I para os tratamentos CS (cama sobreposta) e NS (NureSoil) apresentaram-se sempre em patamares intermediários, entre os obtidos para DF e os obtidos para T e SN. Note-se que para todas as épocas os valores extraíveis para CS e NS foram muito próximos entre si.

Ao final do experimento, no tempo 8 (150 dias do início da incubação), enquanto os teores médios de P extraível por Mehlich I dos tratamentos CS (cama sobreposta) e NS (NureSoil) foram em torno de 7 a 8 vezes os do T (testemunha), aqueles relativos ao tratamento DF apresentaram-se 14 vezes mais P extraível. Tal tendência repetiu-se em todas as épocas. Disso conclui-se que mesmas doses de P advindas de dejetos sob diferentes formas são discriminadas pelo extrator de Mehlich I de maneira diferente.

GRÁFICO 02 A 09 – TEORES DE P EXTRAÍVEL DO SOLO DE ARAPOTI PR  
 COMPARADOS PELO TESTE DE TUKEY ( $P < 0,05$ ) EM 8 TEMPOS  
 DE INCUBAÇÃO MÉDIAS DE 4 REPETIÇÕES

GRÁFICO 02- Tempo 1 (7 dias)

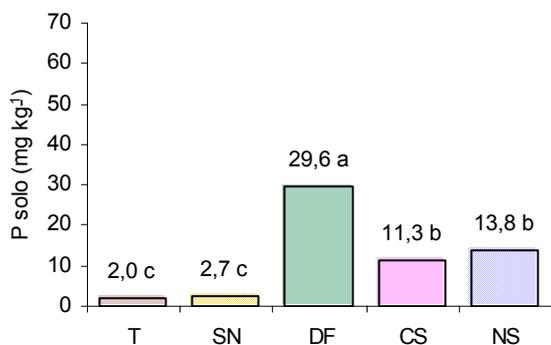


GRÁFICO 03 - Tempo 2 (14 dias)

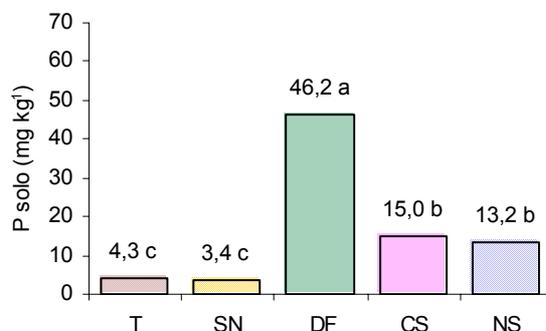


GRÁFICO 04 - Tempo 3 (21 dias)

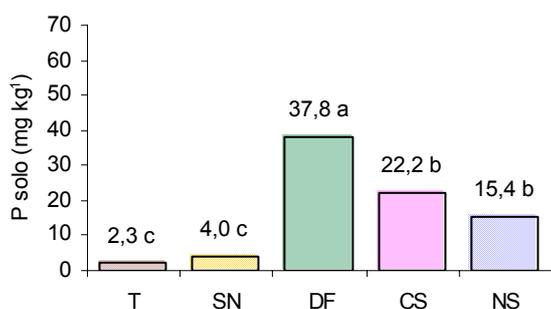


GRÁFICO 05 - Tempo 4 (28 dias)

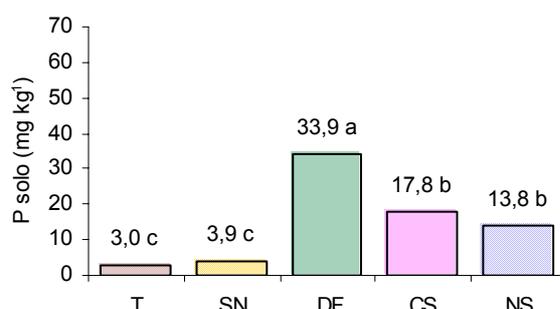


GRÁFICO 06 - Tempo 5 (35 dias)

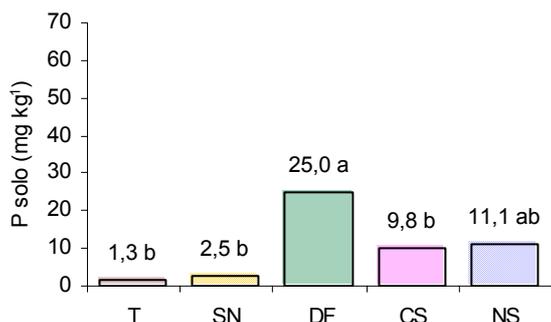


GRÁFICO 08 - Tempo 7 (49 DIAS)

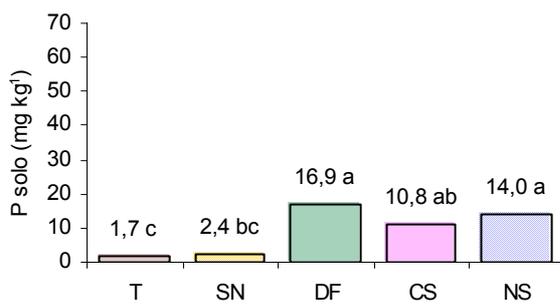


GRÁFICO 08 - Tempo 7 (49 dias)

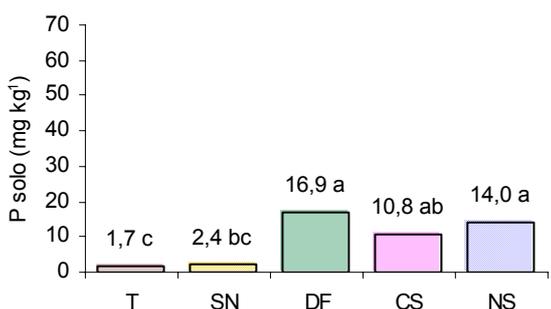
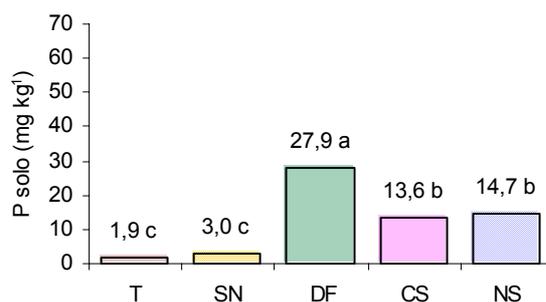


GRÁFICO 09 - Tempo 8 (150 dias)



#### 4.1.1.2 Teores de P extraível por Mehlich I do solo de Ponta Grossa (Experimento 1)

##### 4.1.1.2.1 Variação temporal do P extraível por Mehlich I (Experimento 1 - Solo de Ponta Grossa)

Os resultados de P extraível do solo de Ponta Grossa distribuídos ao longo do tempo de incubação de 150 dias (8 tempos de amostragem) estão resumidos no Gráfico 10 e na Tabela 16. Observa-se ali uma maior variação para o tratamento DF (lodo de fundo) para o qual houve um evidente incremento no teor de P extraível do tempo 1 (7 dias de incubação) para o tempo 2 (14 dias de incubação), seguido de um acentuado decréscimo até o tempo 6 (42 dias de incubação) quando a partir de então a curva tende novamente a se elevar mais suavemente até o tempo 8 (150 dias de incubação).

Para os demais tratamentos (SN, CS e NS) nota-se a mesma tendência. Destes tanto o tratamento CS (cama sobreposta) quanto o NS (NureSoil) evidenciaram picos. No entanto, o pico para NS ocorreu no tempo 3 (21 dias de incubação) e o para CS no tempo 2 (14 dias de incubação).

Também os tratamentos T (testemunha), e SN (líquido sobrenadante) apresentaram picos no tempo 2 (14 dias), ainda que bem menores que os anteriores, e com curvas praticamente coincidentes.

Desse modo, assumindo-se ter aplicado mesmas doses de P a partir dos dejetos sob diferentes formas (vide item 3.3.1) esperava-se, à exceção da testemunha, que os tratamentos levassem o solo a apresentar teores semelhantes de P extraível e mesmo comportamento no decorrer do tempo, o que não aconteceu. Disso conclui-se que, ou as doses de P não foram exatamente iguais, ou as formas sob as quais o P encontra-se nos diferentes dejetos são diferentes, e portanto podem apresentar distintas taxas de disponibilização.

Por outro lado, nota-se para o T (testemunha) um mesmo padrão de variação do P extraível. No entanto, como este tratamento não recebeu qualquer adição de P, mas somente água deionizada, o pico observado provavelmente adveio de formas lábeis de P presentes no próprio solo, possivelmente orgânicas, as quais também contribuíram para com o teor extraível de P dos outros tratamentos nos quais se adicionou dejetos de suínos sob diferentes formas.

De acordo com NOVAIS (1999), a adição de fertilizantes orgânicos no solo poderá nos primeiros dias elevar rapidamente a quantidade de P extraível, no

entanto, em pouco tempo ocorrerá uma imobilização temporária do P da solução do solo pela sua incorporação à biomassa microbiana, aumentada pela adição de um substâncias ricas em carbono. Este é possivelmente o caso observado neste experimento com os dejetos de suínos.

GRÁFICO 10 – VARIAÇÃO DOS TEORES DE P EXTRAÍVEL DO SOLO DE PONTA GROSSA PR EM 8 TEMPOS DE AMOSTRAGENS REALIZADAS DURANTE OS 150 DIAS DE SUA INCUBAÇÃO. MÉDIAS DE 4 REPETIÇÕES

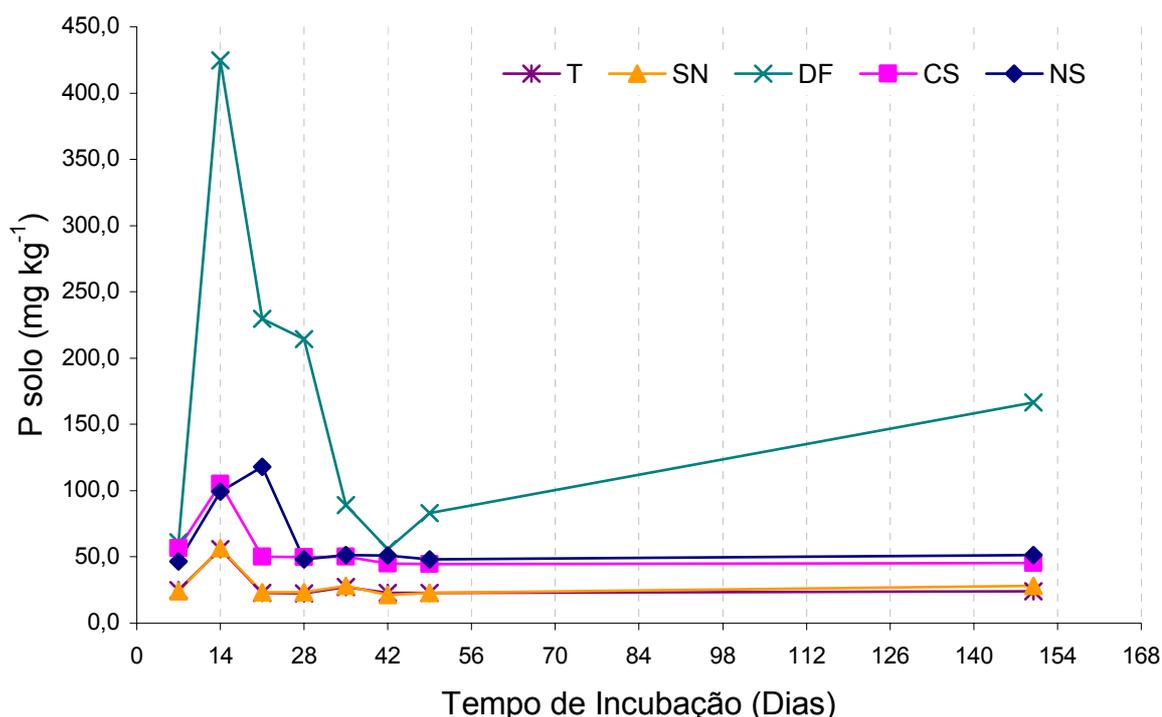


TABELA 16 – TEORES DE P EXTRAÍVEL DO SOLO DE PONTA GROSSA PR EM 8 TEMPOS DE AMOSTRAGEM DURANTE OS 150 DIAS DE SUA INCUBAÇÃO. MÉDIAS DE 4 REPETIÇÕES

SOLO	TRAT.	Tempo (Dias)							
		1 (7)	2 (14)	3 (21)	4 (28)	5 (35)	6 (42)	7 (49)	8 (150)
		P (mg kg <sup>-1</sup> )							
Ponta Grossa	T	24,8	56,0	22,9	22,6	27,3	22,7	22,7	24,0
	SN	24,0	56,7	23,3	23,2	28,0	21,2	23,0	28,0
	DF	61,0	424,7	229,6	214,5	89,0	55,8	83,0	166,8
	CS	56,6	105,2	50,1	49,6	50,1	45,1	44,4	45,3
	NS	46,6	99,2	118,2	48,2	51,3	51,2	48,4	51,4

#### 4.1.1.2.2 Comparação entre os teores de P extraível por Mehlich I em cada tempo de amostragem (Experimento 1 - Solo de Ponta Grossa)

Os gráficos a seguir (Gráficos 11 a 18) permitem a comparação das médias dos teores de P extraível por Mehlich I pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) para cada um dos 8 tempos de amostragem do solo de Ponta Grossa. Observa-se lá ter havido diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos para todas as épocas avaliadas.

As comparações entre médias indicaram que o tratamento DF (lodo depositado no fundo da lagoa) foi o que apresentou maiores teores de P extraível do solo em todos os 8 tempos de amostragem, e como esperado, o T (testemunha) os mais baixos. Já o tratamento SN (sobrenadante) apresentou valores sempre muito próximos aos obtidos para T (testemunha). Por outro lado, os teores de P extraível por Mehlich I para os tratamentos CS (cama sobreposta) e NS (NureSoil) também para este solo apresentaram-se sempre em patamares intermediários, ou seja, entre aqueles obtidos para DF e os obtidos para T e SN. Note-se que para quase todas as épocas os valores extraíveis para CS e SN foram muito próximos entre si, exceção se faça ao tempo 3 (21 dias de incubação).

Ao final do experimento, no tempo 8 (150 dias do início da incubação), enquanto os teores médios de P extraível por Mehlich I dos tratamentos CS (cama sobreposta) e NS (NureSoil) permaneceram em torno do dobro dos obtidos para a T (testemunha), aqueles relativos ao tratamento DF apresentaram-se em torno de 7 vezes mais P extraível. Tal tendência repetiu-se em quase todas as épocas, com exceção do tempo 6 quando os teores para DF, CS e NS se equivaleram. Disso conclui-se que mesmas doses de P advindas de dejetos sob diferentes formas são extraídas por Mehlich I de maneira diferente.

Em todos os tempos de amostragem os teores de P extraível do solo nos tratamentos DF (lodo de fundo), CS (cama sobreposta) e NS (NureSoil) apresentaram grande incremento em relação à T (testemunha) e à SN (sobrenadante), indicando possibilidade de ter havido para estes tratamentos (DF, CS e NS) elevação na disponibilidade de P no solo, elevação esta provavelmente advinda das fontes utilizadas. Esse fato mais intenso para o tratamento DF (lodo de fundo) aos 14 dias de incubação indicando, portanto que nesse material o P poderia ser mais rapidamente solubilizado ou disponibilizado.

GRÁFICO 11 A 18 – TEORES DE P EXTRAÍVEL DO SOLO DE PONTA GROSSA PR COMPARADOS PELO TESTE DE TUKEY ( $P < 0,05$ ) EM 8 TEMPOS DE INCUBAÇÃO MÉDIAS DE 4 REPETIÇÕES

GRÁFICO 11 - Tempo 1 (7 dias)

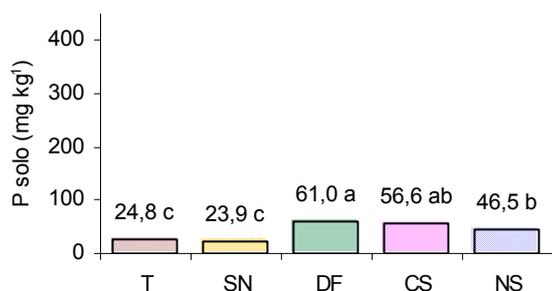


GRÁFICO 12 - Tempo 2 (14 dias)

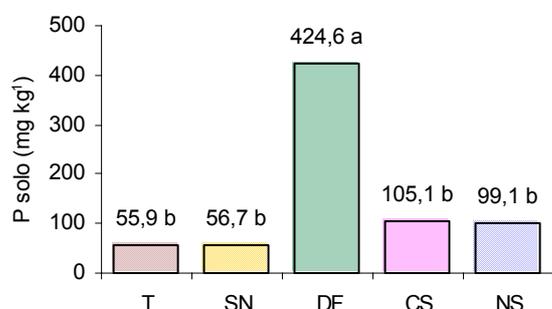


GRÁFICO 13 - Tempo 3 (21 dias)

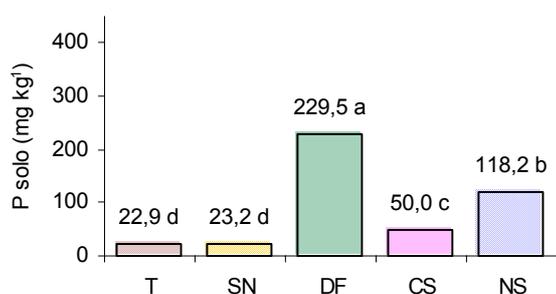


GRÁFICO 14 - Tempo 4 (28 dias)

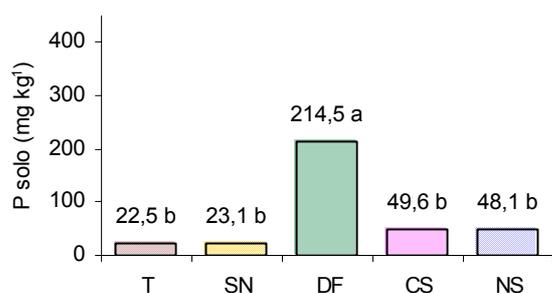


GRÁFICO 15 - Tempo 5 (35 dias)

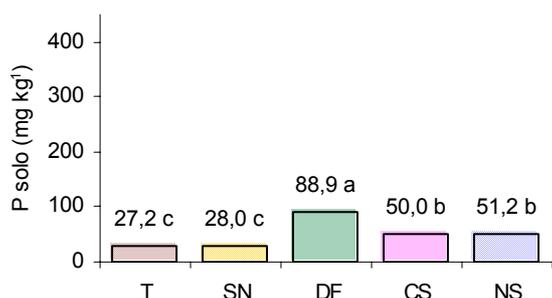


GRÁFICO 16 - Tempo 6 (42 dias)

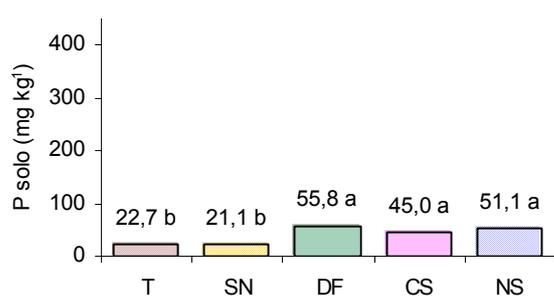


GRÁFICO 17 - Tempo 7 (49 dias)

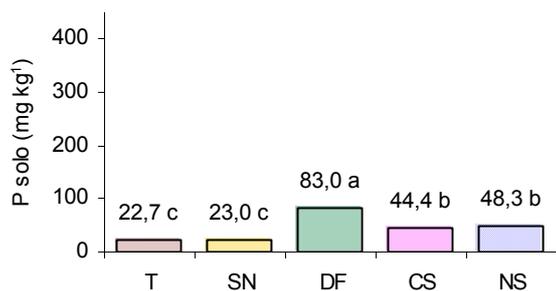
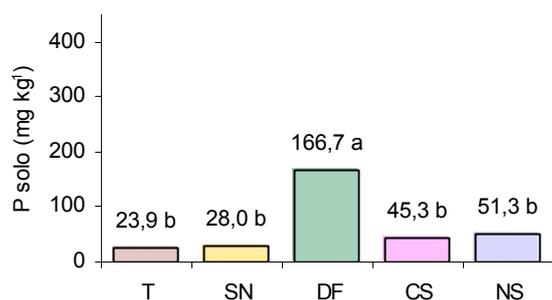


GRÁFICO 18 - Tempo 8 (150 dias)



#### 4.1.1.3 Teores de P extraível por Mehlich I do solo de Palmeira (Experimento 1)

##### 4.1.1.3.1 Variação temporal do P extraível por Mehlich I (Experimento 1 - Solo de Palmeira)

A distribuição dos teores de P extraível por Mehlich I do solo de Palmeira ao longo dos 8 tempos de incubação (Gráfico 19) mostram uma elevação nos primeiros dias da incubação seguida de uma queda acentuada no período entre o tempo 1 (7 dias) e tempo 3 (21 dias) para todos os tratamentos, sendo mais evidente para o depósito de fundo (DF) e menos evidente para o sobrenadante (SN) e testemunha (T).

O tratamento cama sobreposta (CS) gerou teores de P extraível no tempo 2 (14 dias) aproximadamente duas vezes maior quando comparados com os teores do tratamento NureSoil (NS) no mesmo tempo. O elevado pH do NureSoil (NS pode ter influenciado na extração de P do solo, pois este produto é um composto alcalino e conseqüentemente como o Mehlich 1 é um extrator duplo-ácido pode ter então extraído menos P do solo apresentando valores inferiores aos que eventualmente iriam indicar o P disponível do solo (Gráfico 19).

O tratamento Depósito de fundo (DF) apresentou um crescimento gradativo dos teores de P extraível do solo após o tempo 6 (42 dias) até o tempo 8 (150 dias), mostrando um incremento de P extraível em relação ao início da incubação. Para o caso dos tratamentos NureSoil (NS) e cama sobreposta (CS) não ocorreu esse comportamento e no tempo 8 (150 dias) os teores de P extraível foram menores que os do início do experimento (Gráfico 19 e Tabela 17).

GRÁFICO 19 – VARIAÇÃO DOS TEORES DE P EXTRAÍVEL DO SOLO DE PALMEIRA PR EM 8 TEMPOS DE AMOSTRAGENS REALIZADAS DURANTE OS 150 DIAS DE SUA INCUBAÇÃO. MÉDIAS DE 4 REPETIÇÕES

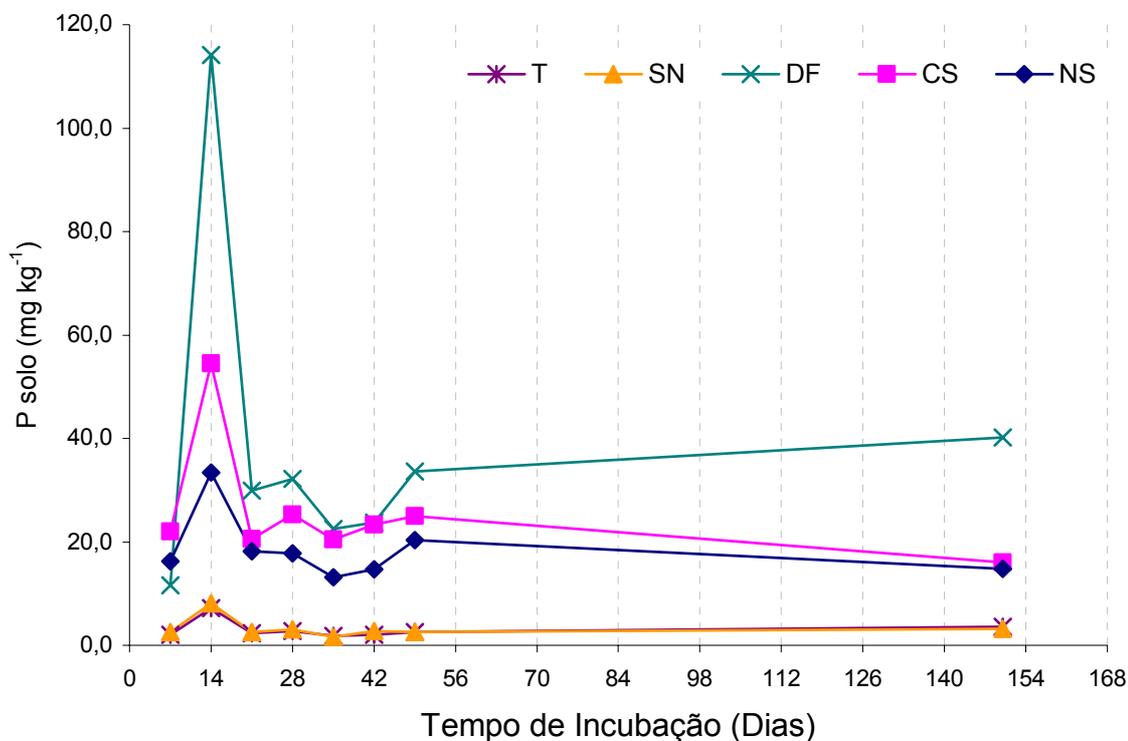


TABELA 17 – TEORES DE P EXTRAÍVEL DO SOLO DE PALMEIRA PR EM 8 TEMPOS DE AMOSTRAGEM DURANTE OS 150 DIAS DE SUA INCUBAÇÃO. MÉDIAS DE 4 REPETIÇÕES

SOLO	TRAT.	Tempo (Dias)							
		1 (7)	2 (14)	3 (21)	4 (28)	5 (35)	6 (42)	7 (49)	8 (150)
		P (mg kg <sup>-1</sup> )							
Palmeira	T	2,1	7,2	2,4	2,7	1,9	2,1	2,5	3,6
	SN	2,6	8,1	2,5	3,1	1,7	2,8	2,5	3,2
	DF	11,6	114,2	29,9	32,2	22,6	23,8	33,6	40,2
	CS	22,0	54,5	20,6	25,3	20,5	23,3	25,0	16,1
	NS	16,2	33,5	18,2	17,8	13,2	14,7	20,4	14,8

#### 4.1.1.3.2 Comparação entre os teores de P extraível por Mehlich I em cada tempo de amostragem (Experimento 1 - Solo de Palmeira)

Comparando-se as médias dos teores de P extraível do solo para cada um dos 8 tempos de incubação nos diferentes tratamentos observa-se que no tempo 1 (7 dias) os tratamentos mais significativos foram cama sobreposta (CS) e NureSoil (NS) (Gráfico 20). Nos tempos 2 (14 dias), 3 (21 dias) e 4 (28 dias) o mais significativo foi depósito de fundo (DF) sendo mais evidente no tempo 2 (Gráficos 21, 22 e 23).

No período de incubação correspondente aos tempos 5 (35 dias), 6 (42 dias) e 7 (49 dias) não houve diferenças entre os tratamentos depósito de fundo (DF), cama sobreposta (CS) e NureSoil (NS) que apresentaram os maiores patamares (Gráficos 24,25 e 26).

O tratamento com depósito de fundo (DF) foi significativo em relação aos teores de P extraível do solo incubado no tempo 8 (150 dias) (Gráfico 27).

O tratamento sobrenadante (SN) apresentou comportamento semelhante a testemunha (T).

GRÁFICO 20 A 27 – TEORES DE P EXTRAÍVEL DO SOLO DE PALMEIRA PR COMPARADOS PELO TESTE DE TUKEY ( $P < 0,05$ ) EM 8 TEMPOS DE INCUBAÇÃO MÉDIAS DE 4 REPETIÇÕES

GRÁFICO 20 - Tempo 1 (7 dias)

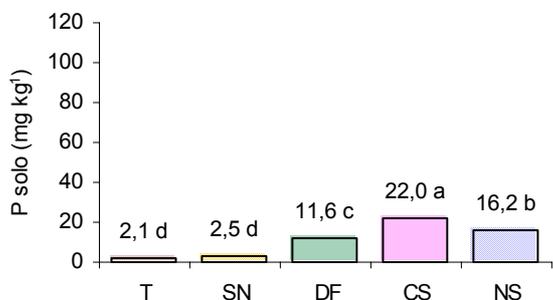


GRÁFICO 21 - Tempo 2 (14 dias)

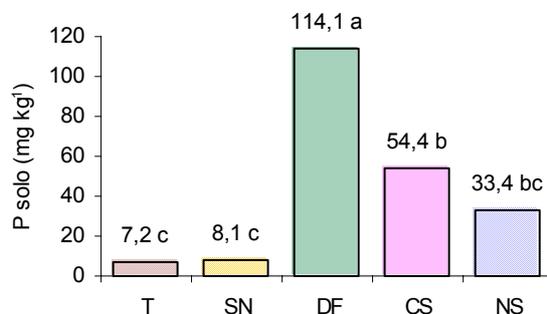


GRÁFICO 22 - Tempo 3 (21 dias)

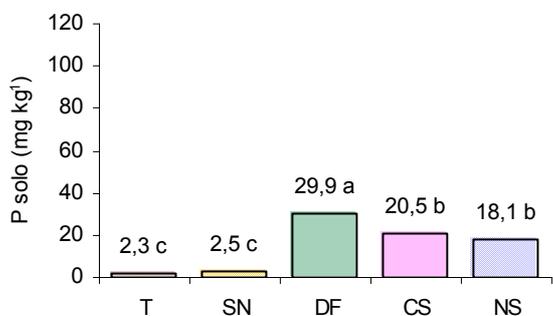


GRÁFICO 23 - Tempo 4 (28 dias)

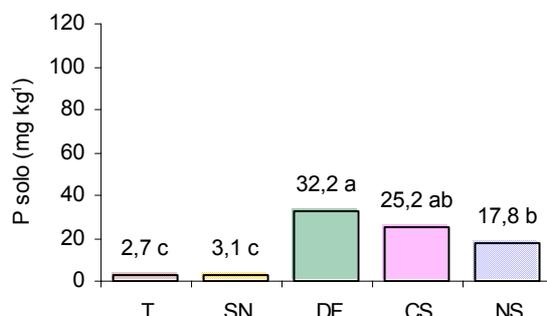


GRÁFICO 24 - Tempo 5 (35 dias)

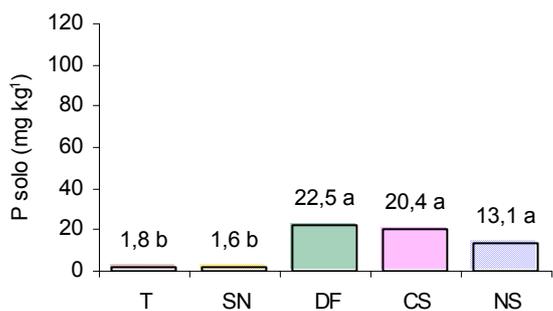


GRÁFICO 25 - Tempo 6 (42 dias)

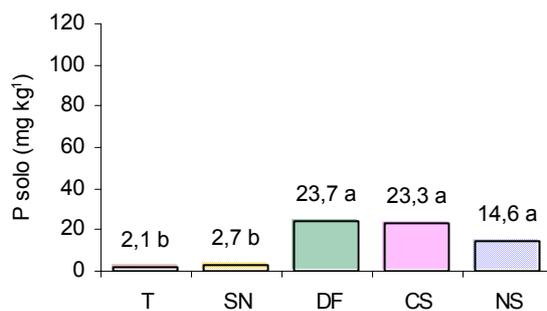


GRÁFICO 26 - Tempo 7 (49 dias)

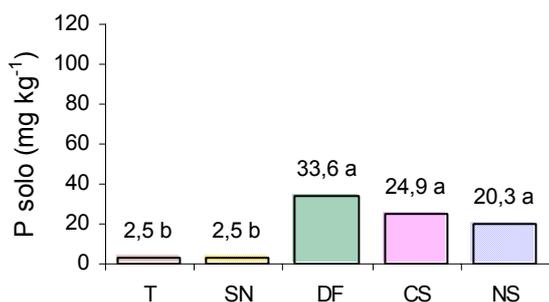
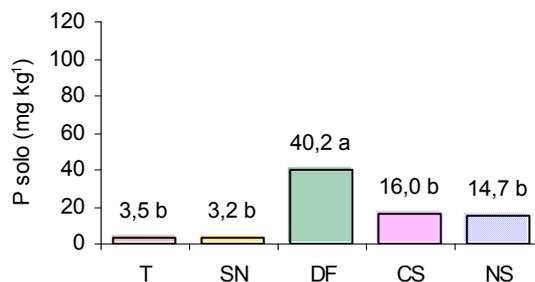


GRÁFICO 27 - Tempo 8 (150 dias)



#### 4.1.1.4 Teores de P extraível por Mehlich I do solo de Contenda (Experimento 1)

##### 4.1.1.4.1 Variação temporal do P extraível por Mehlich I (Experimento 1 - Solo de Contenda)

Observando-se a distribuição das médias de P extraível do solo de Contenda nos 8 tempos de amostragem do experimento de incubação (Gráfico 28) nota-se nos primeiros dias de incubação uma grande elevação dos teores de P extraídos por Mehlich I, principalmente entre o tempo 1 (7 dias) e tempo 3 (21 dias) de incubação. No entanto provavelmente devido à maior maleabilidade e elasticidade desse solo, devido provavelmente à maior quantidade de argila, (vide item 3.2.2 e Tabela 08) o tratamento com Depósito de fundo (DF), apresentou um incremento dos teores de P no início da incubação (entre o tempo 1 e tempo 3) e neste caso o período em que esses maiores teores de P extraível manteve-se elevado foi muito mais extenso que o apresentado para os demais experimentos de incubação. Ou seja, praticamente nas primeiras horas que se seguiram após a adição do depósito de fundo (DF) ao solo incubado já teve início uma elevação acentuada de P extraível do solo e que se manteve até o tempo 6 (42 dias) da incubação (Gráfico 28). Esse comportamento distinto pode ter ocorrido em função do aumento do tempo de imobilização do P pela atividade microbiana do solo devido à alta elasticidade do solo. Como esse processo ocorreu por um período mais longo, a mineralização seguida de imobilização de P também foi mais lenta. No entanto o início da fase de incremento gradativo de P extraível se deu exatamente no tempo 6 (42 dias) e de forma semelhante para todos os tratamentos.

O tratamento cama sobreposta (CS) apresentou maior quantidade de P extraível em relação ao tratamento NureSoil (NS) o que pode novamente ter sido influenciado pelo pH maior deste último. Ao término dos 150 dias de incubação, o solo tratado com Depósito de fundo (DF) apresentou uma quantidade de P seis vezes maior que os tratamentos com NureSoil (NS) e Cama sobreposta (CS). Já o Sobrenadante (SN) manteve mais uma vez o padrão semelhante ao da testemunha (T).

GRÁFICO 28 – VARIAÇÃO DOS TEORES DE P EXTRAÍVEL DO SOLO DE CONTENDA PR EM 8 TEMPOS DE AMOSTRAGENS REALIZADAS DURANTE OS 150 DIAS DE SUA INCUBAÇÃO. MÉDIAS DE 4 REPETIÇÕES

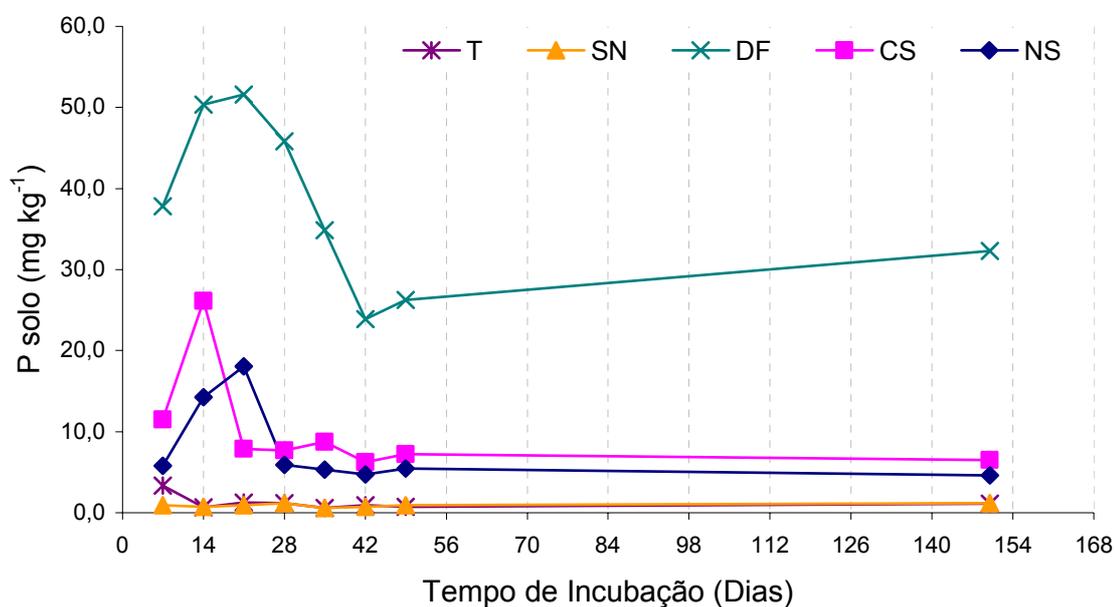


TABELA 18 - TEORES DE P EXTRAÍVEL DO SOLO DE CONTENDA PR EM 8 TEMPOS DE AMOSTRAGEM DURANTE OS 150 DIAS DE SUA INCUBAÇÃO. MÉDIAS DE 4 REPETIÇÕES

SOLO	TRAT.	Tempo (Dias)							
		1 (7)	2 (14)	3 (21)	4 (28)	5 (35)	6 (42)	7 (49)	8 (150)
		P (mg kg <sup>-1</sup> )							
Contenda	T	3,3	0,7	1,2	1,2	0,6	0,9	0,7	1,1
	SN	1,0	0,7	1,0	1,2	0,6	0,7	1,0	1,2
	DF	37,8	50,3	51,6	45,9	34,9	23,9	26,3	32,3
	CS	11,5	26,1	7,9	7,7	8,7	6,3	7,3	6,5
	NS	5,8	14,3	18,1	5,9	5,3	4,8	5,5	4,6

#### 4.1.1.4.2 Comparação entre os teores de P extraível por Mehlich I em cada tempo de amostragem (Experimento 1 - Solo de Contenda)

Comparando-se os teores de P extraível do solo dentro de cada tempo de incubação, o tratamento depósito de fundo (DF) foi o mais significativo para todos os tempos de incubação do solo de Contenda. Nos tempos 1 (7 dias) e 2 (14 dias) os tratamentos NureSoil (NS) e cama sobreposta (CS) foram iguais entre si (Gráficos 29, 30 e 31), porém no tempo 3 (21 dias) o tratamento com NureSoil (NS) apresentou-se mais significativo que o tratamento com cama sobreposta (CS) (Gráfico 31).

A exceção do tratamento depósito de fundo (DF), os demais mostraram uma uniformidade dos teores de P extraível do solo de Contenda.

O depósito de fundo (DF) foi o tratamento que mais contribuiu em termos de P extraível do solo estudado, seguido dos tratamentos NureSoil (NS) e cama sobreposta (CS) (Gráficos 32, 33, 34, 35 e 36).

GRÁFICO 29 A 36 – TEORES DE P EXTRAÍVEL DO SOLO DE CONTENDA PR COMPARADOS PELO TESTE DE TUKEY ( $P < 0,05$ ) EM 8 TEMPOS DE INCUBAÇÃO MÉDIAS DE 4 REPETIÇÕES

GRÁFICO 29 - Tempo 1 (7 dias)

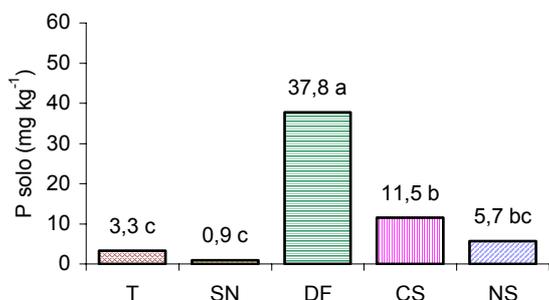


GRÁFICO 30 - Tempo 2 (14 dias)

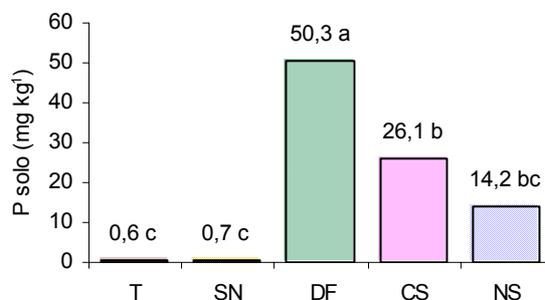


GRÁFICO 31 - Tempo 3 (21 dias)

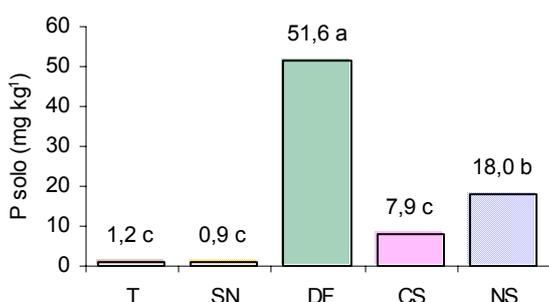


GRÁFICO 32 - Tempo 4 (28 dias)

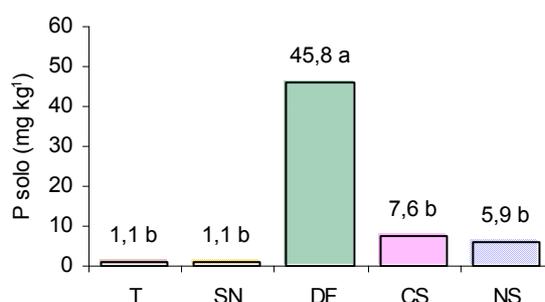


GRÁFICO 33 - Tempo 5 (35 dias)

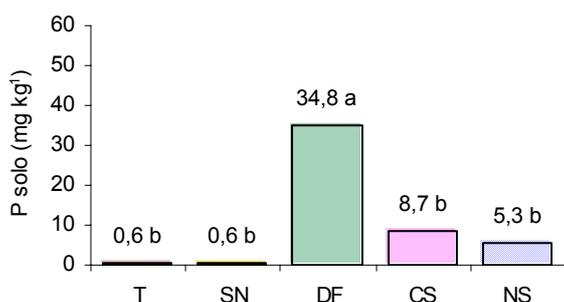


GRÁFICO 34 - Tempo 6 (42 dias)

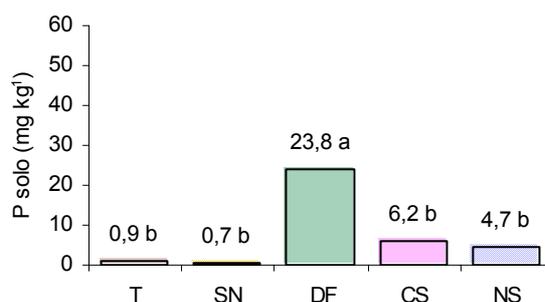


GRÁFICO 35 - Tempo 7 (49 dias)

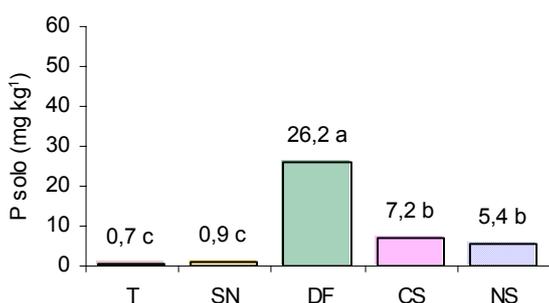
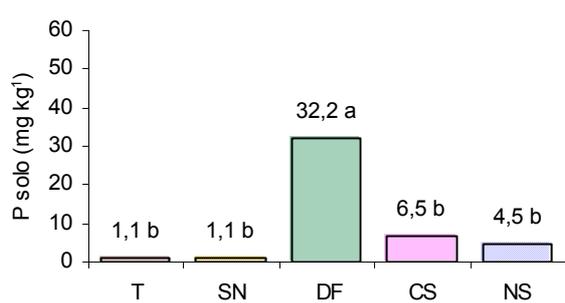


GRÁFICO 36 - Tempo 8 (150 dias)



Em uma breve comparação entre os resultados dos experimentos 1, 2, 3 e 4 da modalidade I em relação ao tempo de incubação fica claro que logo após a aplicação de 56,76 kg de P ha<sup>-1</sup> dos tratamentos (SN, DF, CS e NS) teve-se inicialmente uma elevação de P extraível do solo. Tal elevação provavelmente deve-se à mineralização do P orgânico e que foi seguida de imobilização de P pelo solo reduzindo os teores de P extraível até o período de aproximadamente 40 dias da aplicação e na seqüência uma elevação gradativa da disponibilidade de P no solo até o 150º dia estudado e que deve com o tempo estabilizar-se.

## 4.2 RESULTADOS OBTIDOS DA MODALIDADE II – COLUNAS DE PERCOLAÇÃO E SUA DISCUSSÃO

### 4.2.1 Teores de P extraível por Mehlich I para o solo percolado no Experimento de Colunas de Percolação

Os teores de P extraível por Mehlich I ( $H_2SO_4$  0,0125 M + HCl 0,05 M) para o experimento de colunas de percolação do solo proveniente de Arapoti são apresentados nas Tabelas 19a e 19b.

#### 4.2.1.1 Distribuição em profundidade do solo do P extraível por Mehlich I (Experimento de Colunas de Percolação - Solo de Arapoti)

Os teores de P extraível do tratamento depósito de fundo (DF) para a profundidade 0 a 5 cm foram os mais elevados, seguido dos tratamentos cama sobreposta (CS), NureSoil (NS) e sobrenadante (SN) respectivamente.

Para a profundidade 5 a 10 cm notam-se menores teores de P, indicando que esse elemento ficou retido na superfície do solo (Tabela 19a).

Isto se deve à imobilização do P pelo solo como o que ocorreu nos experimentos da modalidade I provocando o decréscimo acentuado de P extraível do solo daqueles experimentos.

Todos os tratamentos apresentaram para as profundidades maiores que 10 a 15 cm teores de P extraível muito baixos e uniformes indicando que não ocorreu o transporte de P no perfil do solo das colunas (Tabela 19b).

O tratamento com NureSoil (NS) teve um leve incremento de P em relação ao sobrenadante (SN), quando extraído por Mehlich I para a profundidade 0 a 5 cm, mas que pode ter sido influenciado pelo alto pH e que, portanto pode interferir na capacidade de extração de P pelo Mehlich I.

À medida que a profundidade aumenta, os teores de P dos tratamentos com depósito de fundo (DF), NureSoil (NS) e cama sobreposta (CS) decresce rapidamente e tendem a se equilibrar até a maior profundidade das colunas, indicando que a aplicação desses tratamentos não influenciou nos teores de P em profundidades maiores que 20 cm. O tratamento com sobrenadante (SN) apresentou até a profundidade de 60 cm um decréscimo de P em menor intensidade quando comparado aos demais tratamentos. Esse fato pode ser conseqüente do grande

volume de sobrenadante (SN) requerido e necessário para atingir a quantidade de 56,8 kg ha<sup>-1</sup> de P aplicado. Isso indica que essa forma de dejetos de suínos, provavelmente pela quantidade de água que apresenta, torna o P de sua constituição mais prontamente disponível que os demais possibilitando uma maior mobilidade desse elemento no perfil do solo, neste caso até a profundidade de 60 cm quando então passa a se equilibrar aos demais tratamentos, sem riscos de atingir a profundidade de 100 cm das colunas experimentais de percolação (Tabela 19a e 19b). Isto indica que houve uma retenção de P pelo solo até essa profundidade, demonstrando que com a dose aplicada de 56,8 kg ha<sup>-1</sup> de P advindo de dejetos de suínos não houve risco de transporte desse elemento no perfil do solo carregado pela ação da infiltração da água (Tabela 19b). Isto irá justificar mais adiante a ausência de P na água de percolação dos tubos experimentais.

TABELA 19a – DISTRIBUIÇÃO NAS PROFUNDIDADES DE 0 A 50 CM DA MÉDIA DOS TEORES DE P EXTRAÍVEL DO SOLO DO EXPERIMENTO DA MODALIDADE II (COLUNAS DE PERCOLAÇÃO)

TRAT.	Profundidade (cm)									
	0 a 5	5 a 10	10 a 15	15 a 20	20 a 25	25 a 30	30 a 35	35 a 40	40 a 45	45 a 50
P (mg kg solo <sup>-1</sup> )										
T	20,1	7,7	0,8	0,5	0,7	0,6	0,5	0,5	0,2	0,3
SN	24,8	13,0	1,2	0,8	1,1	1,0	1,0	1,0	0,7	0,5
DF	210,5	26,3	1,1	0,7	0,7	0,6	0,7	0,3	0,3	0,3
CS	80,7	40,7	1,4	1,1	0,7	0,7	0,8	0,5	0,4	0,4
NS	33,7	15,5	1,2	0,8	0,9	0,9	0,8	0,5	0,4	0,3

TABELA 19b – DISTRIBUIÇÃO NAS PROFUNDIDADES DE 50 A 100 CM DA MÉDIA DOS TEORES DE P EXTRAÍVEL DO SOLO DO EXPERIMENTO DA MODALIDADE II (COLUNAS DE PERCOLAÇÃO)

TRAT.	Profundidade (cm)									
	50 a 55	55 a 60	60 a 65	65 a 70	70 a 75	75 a 80	80 a 85	85 a 90	90 a 95	95 a 100
P (mg kg solo <sup>-1</sup> )										
T	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,5
SN	0,5	0,5	0,6	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2
DF	0,2	0,6	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
CS	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,5	0,4	0,3	0,3
NS	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,4	0,3

Comparando-se estatisticamente as médias dos teores de P extraível do solo percolado da modalidade II (Colunas) extraídos por Mehlich I para as camadas estratificadas de 5 cm apresentados nas Tabelas 19a e 19b o tratamento depósito de fundo (DF) foi o mais significativo para a profundidade de 0 a 5 cm. Na profundidade 5 a 10 cm, o tratamento cama sobreposta (CS) foi significativo em relação aos demais tratamentos (Gráficos 37 e 38).

Para as profundidades 10 a 15, 15 a 20, 20 a 25, 25 a 30 e 30 a 35 cm não foram detectadas nenhuma diferença estatística com teste aplicado para todos os tratamentos (Gráficos 39, 40, 41, 42 e 43).

O tratamento com sobrenadante (SN) foi significativo para as profundidades 35 a 40 e 40 a 45 cm indicando que o P extraível aplicado ao solo das colunas a partir desse dejetos atingiu essas profundidades após 180 dias de percolação nas colunas (Gráficos 44, 45).

Para as demais profundidades (45 a 50, 50 a 55, 55 a 60, 60 a 65, 65 a 70, 75 a 80, 80 a 85, 85 a 90, 90 a 95 e 95 a 100 cm), até o máximo de 100 cm, não existiram diferenças estatísticas entre os tratamentos indicando que o P oriundo dos dejetos não foi transportado por percolação até essas profundidades ou que ficou retido pelo solo em camadas mais superficiais.

GRÁFICO 37 A 42 – MÉDIA DOS TEORES DE P EM PROFUNDIDADE DO SOLO DO EXPERIMENTO DA MODALIDADE II (COLUNAS)

GRÁFICO 37 - Prof. 0 a 5 cm

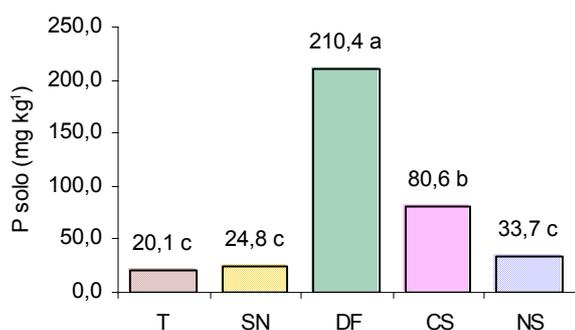


GRÁFICO 38 - Prof. 5 a 10 cm

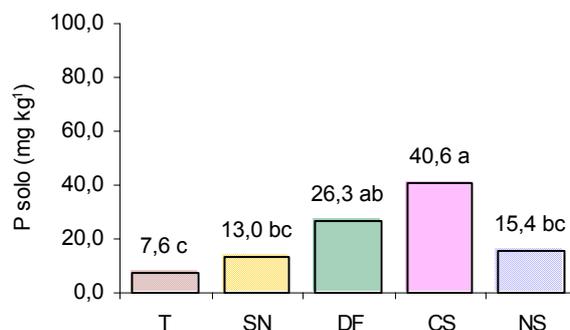


GRÁFICO 39 - Prof. 10 a 15 cm

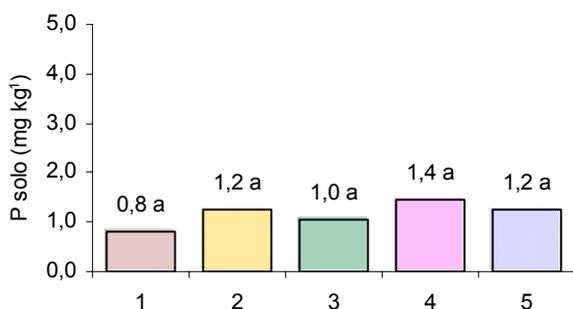


GRÁFICO 40 - Prof. 15 a 20 cm

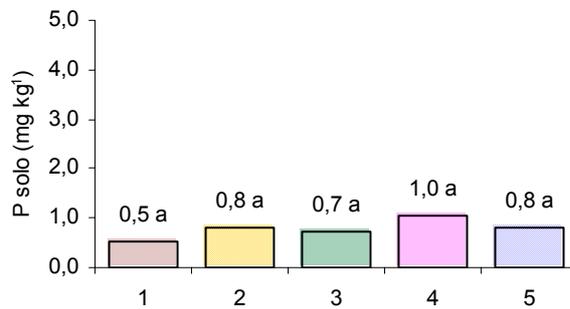


GRÁFICO 41 - Prof. 20 a 25 cm

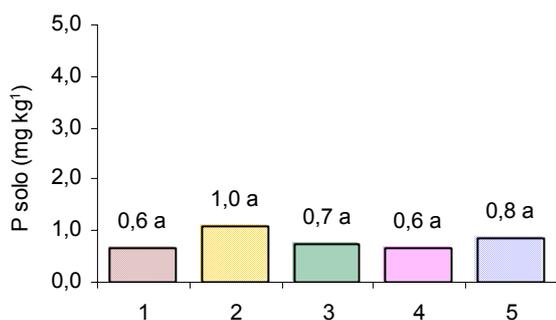


GRÁFICO 42 - Prof. 25 a 30 cm

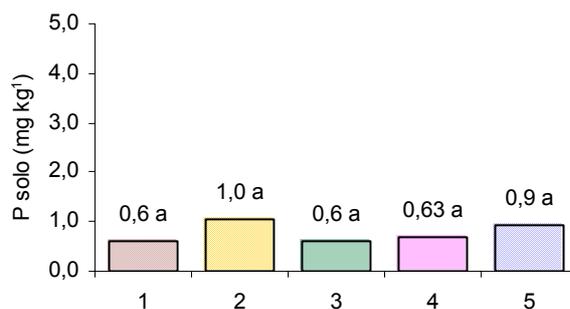


GRÁFICO 43 A 48 – MÉDIA DOS TEORES DE P EM PROFUNDIDADE DO SOLO DO EXPERIMENTO DA MODALIDADE II (COLUNAS)

GRÁFICO 43 - Prof. 30 a 35 cm

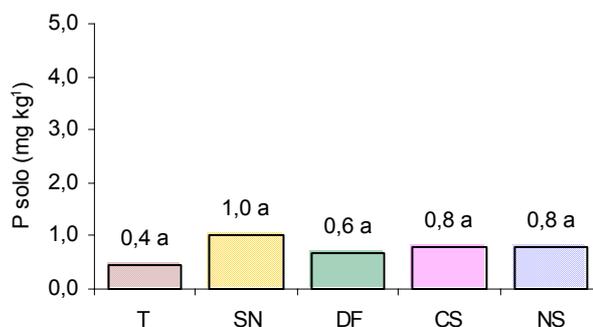


GRÁFICO 44 - Prof. 35 a 40 cm

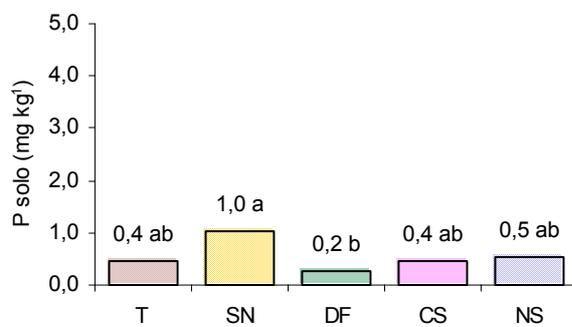


GRÁFICO 45 - Prof. 40 a 45 cm

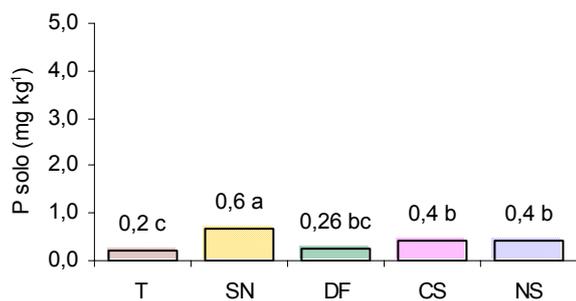


GRÁFICO 46 - Prof. 45 a 50 cm

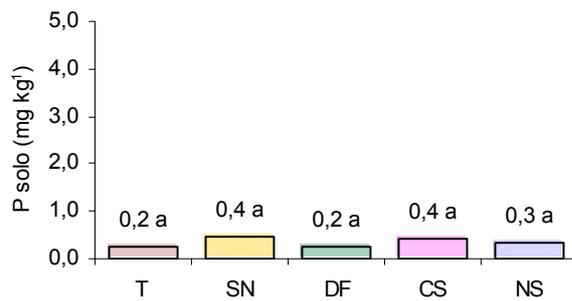


GRÁFICO 47 - Prof. 50 a 55 cm

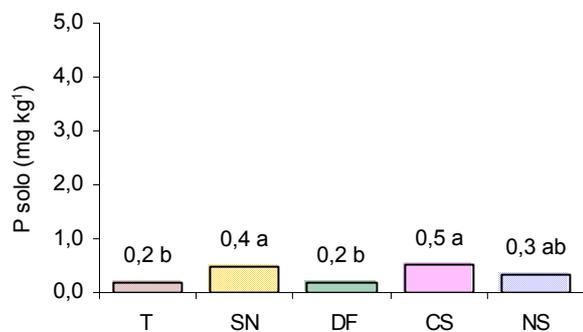


GRÁFICO 48 - Prof. 55 a 60 cm

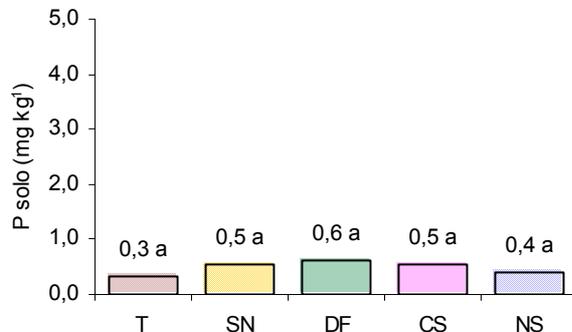


GRÁFICO 49 A 54 – MÉDIA DOS TEORES DE P EM PROFUNDIDADE DO SOLO DO EXPERIMENTO DA MODALIDADE II (COLUNAS)

GRÁFICO 49 - Prof. 60 a 65 cm

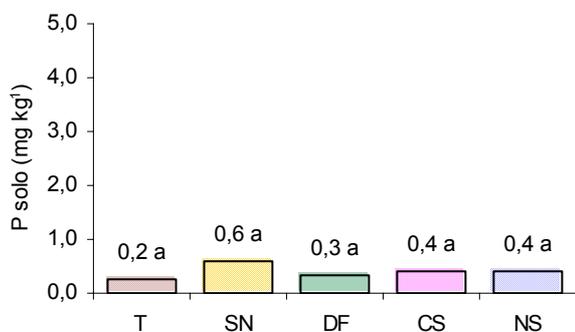


GRÁFICO 50 - Prof. 65 a 70 cm

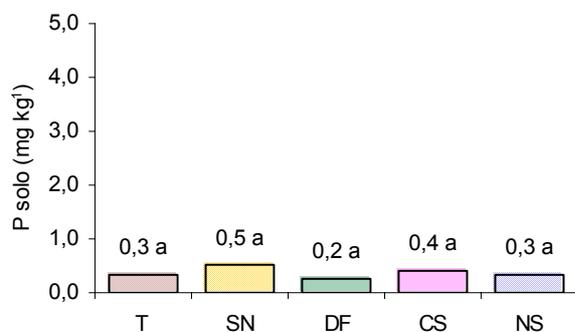


GRÁFICO 51 - Prof. 70 a 75 cm

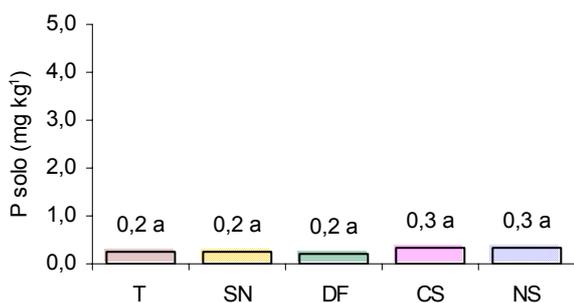


GRÁFICO 52 - Prof. 75 a 80 cm

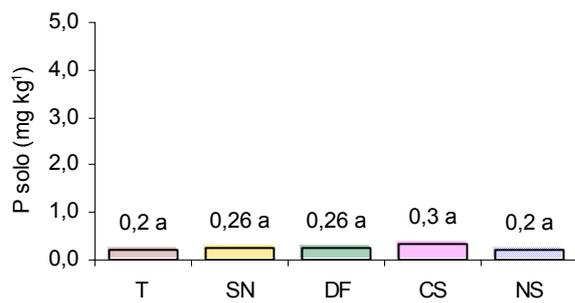


GRÁFICO 53 - Prof. 80 a 85 cm

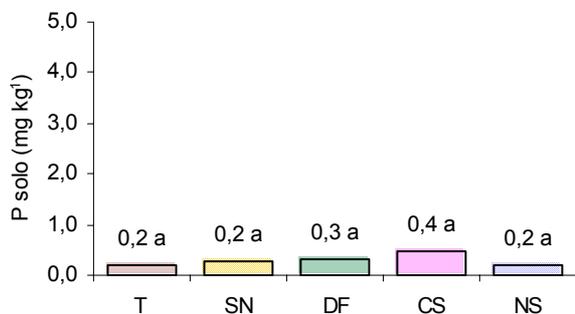


GRÁFICO 54 - Prof. 85 a 90 cm

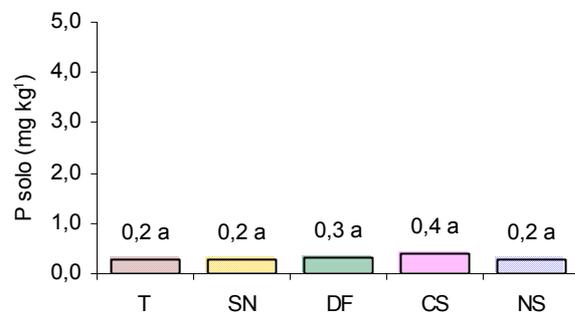
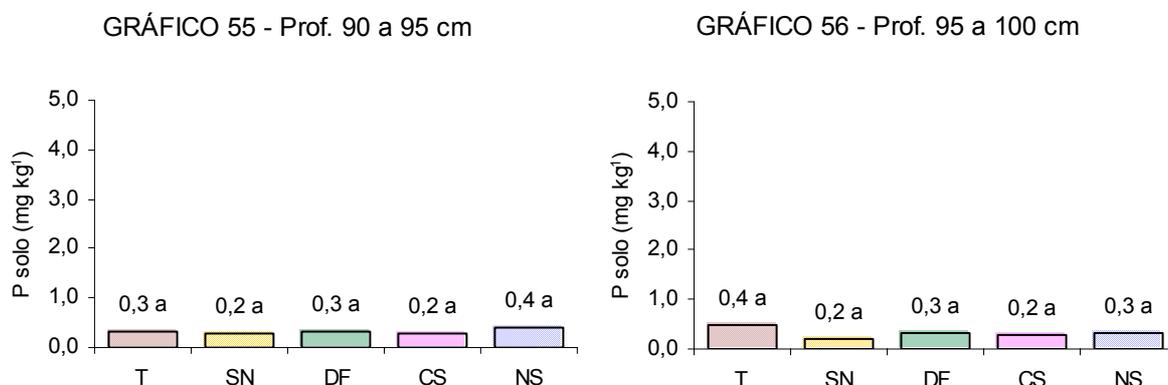


GRÁFICO 55 E 56 – MÉDIA DOS TEORES DE P EM PROFUNDIDADE DO SOLO DO EXPERIMENTO DA MODALIDADE II (COLUNAS)



4.2.1.2 C dissolvido na solução percolada do solo (Experimento de Colunas de Percolação - Solo de Arapotí)

A distribuição da evolução de C dissolvido na solução percolada semanalmente do solo das colunas de percolação são mostrados na Tabela 20 e no Gráfico 57.

Os tratamentos depósito de fundo (DF), NureSoil (NS) e sobrenadante (SN) apresentaram valores semelhantes entre si e com a testemunha (T) para a percolação inicial (0 dias). O tratamento cama sobreposta (CS) na percolação inicial (0 dias) foi o que apresentou os menores valores de C dissolvido.

A partir do tempo 2 (14 dias) todos os tratamentos apresentaram valores próximos entre si, indicando que os resultados do tempo 1 (0 dias) é derivado do processo de preparo do solo para acondicionamento nas colunas (Tabela 20).

O Gráfico 57 mostra que por ocasião da primeira coleta de água percolada (tempo 1 - 0 dias) foi elevado teor de C dissolvido para todos os tratamentos. Ocorreu uma intensa queda de C dissolvido na solução coletada no tempo 2 (7 dias) e a partir do tempo 4 (21 dias) todos os tratamentos apresentaram redução dos teores de C dissolvido até conclusão do experimento no tempo 10 (91 dias). No entanto no tempo 10 (91 dias) a solução percolada apresentou ligeira elevação de C dissolvido, (incremento de cerca de  $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ ) para os tratamentos com NureSoil (NS), cama sobreposta (CS), sobrenadante (SN) e Depósito de fundo (DF) em

comparação com os 0,2 mg L<sup>-1</sup> de C dissolvido da testemunha. Isto indica que mesmo em pequenas quantidades pode ter ocorrido o transporte de C dissolvido no perfil do solo. Porém, é necessário a instalação de experimentos aplicados a essa finalidade, uma vez que a diferença detectada de C dissolvido é muito pequena (Gráfico 57).

GRÁFICO 57 – VARIAÇÃO DE C DISSOLVIDO NA SOLUÇÃO PERCOLADA DO EXPERIMENTO DA MODALIDADE II (COLUNAS DE PERCOLAÇÃO) DURANTE OS 91 DIAS DE PERCOLAÇÃO. MÉDIAS DE 3 REPETIÇÕES

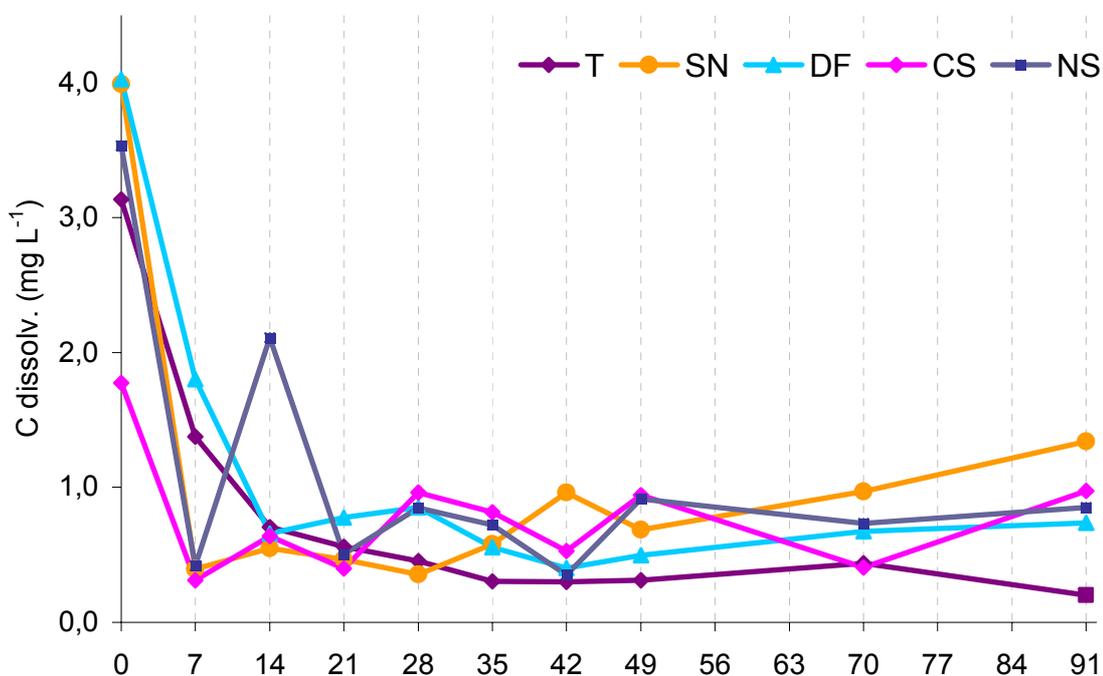


TABELA 20 – EVOLUÇÃO DA MÉDIA DO C DISSOLVIDO NA ÁGUA PERCOLADA DO EXPERIMENTO DA MODALIDADE II (COLUNAS DE PERCOLAÇÃO)

TRAT.	Tempo (dias)									
	1 (0)	2 (7)	3 (14)	4 (21)	5 (28)	6 (35)	7 (42)	8 (49)	9 (70)	10 (91)
C dissolvido (mg L água <sup>-1</sup> )										
T	3,13	1,38	0,71	0,56	0,45	0,30	0,45	0,31	0,44	0,20
SN	3,99	0,39	0,55	0,47	0,35	0,58	0,96	0,69	0,97	1,34
DF	4,03	1,80	0,66	0,78	0,85	0,56	0,40	0,50	0,68	0,74
CS	1,78	0,31	0,64	0,40	0,96	0,82	0,53	0,94	0,41	0,97
NS	3,53	0,42	2,11	0,50	0,85	0,72	0,35	0,91	0,73	0,85

Comparando-se o C dissolvido em cada tempo de percolação (Gráficos 1 ao 10) para o tempo 1 (0 dias – logo após a aplicação dos tratamentos) todos os tratamentos apresentaram valores médios elevados e os mais significativos foram o sobrenadante (SN), depósito de fundo (DF) e NureSoil (NS). Este último também foi significativo para o tempo 3 (14 dias) (Gráficos 58 e 60). Possivelmente esse fato deveu-se ao preparo do solo, que foi moído, deixando maior quantidade de C para ser transportado pela água percolada e consequentemente elevando os valores de C dissolvido na solução percolada.

Para os tempos 2 (7 dias), 4 (21 dias), 5 (28 dias), 6 (35 dias), 7 (42 dias), 8 (49 dias), e 9 (70 dias) não existiram diferenças estatísticas entre os tratamentos (Gráficos 59, 61, 62, 63, 64, 65 e 66).

No tempo 10 (91 dias) de percolação, a exceção da testemunha (T) todos os tratamentos apresentaram-se iguais entre si, porém o sobrenadante (SN) foi o mais significativo. Esse fato indica que pode ter ocorrido a presença de C dissolvido advindo dos dejetos aplicados aos solos das colunas na solução percolada para esse tratamento (Gráfico 67).

GRÁFICO 58 A 63 – MÉDIA DA CONCENTRAÇÃO DE CARBONO DISSOLVIDO NO TEMPO DA SOLUÇÃO PERCOLADA DO EXPERIMENTO DA MODALIDADE II (COLUNAS)

GRÁFICO 58 – Tempo 1 (0 dias)

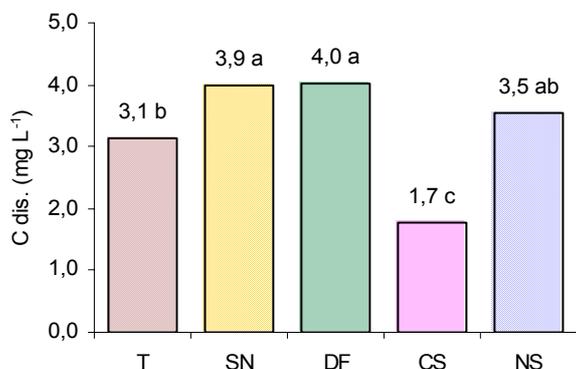


GRÁFICO 59 – Tempo 2 (7 dias)

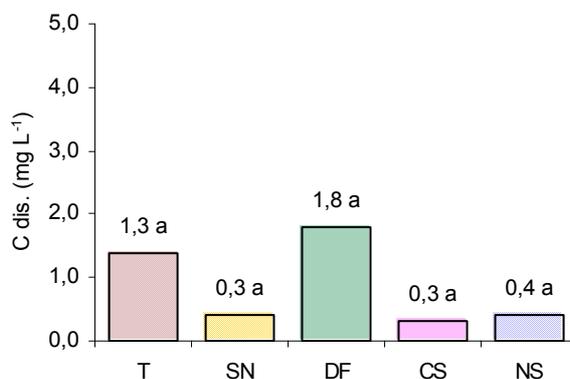


GRÁFICO 60 – Tempo 3 (14 dias)

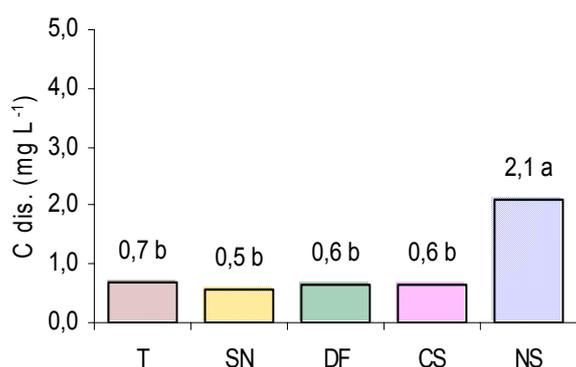


GRÁFICO 61 – Tempo 4 (21 dias)

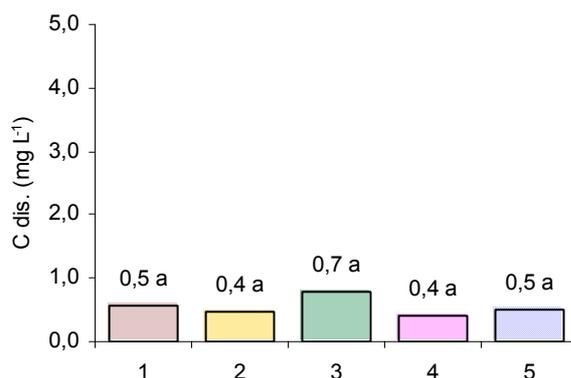


GRÁFICO 62 – Tempo 5 (28 dias)

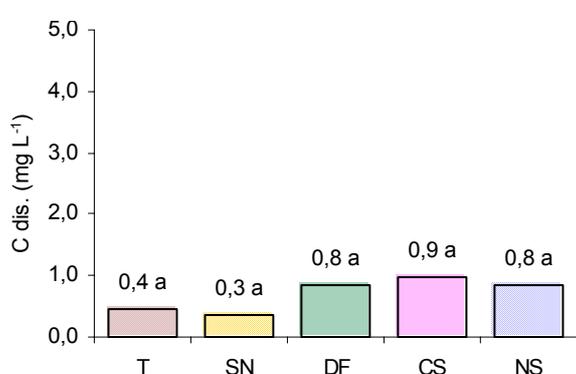


GRÁFICO 63 – Tempo 6 (35 dias)

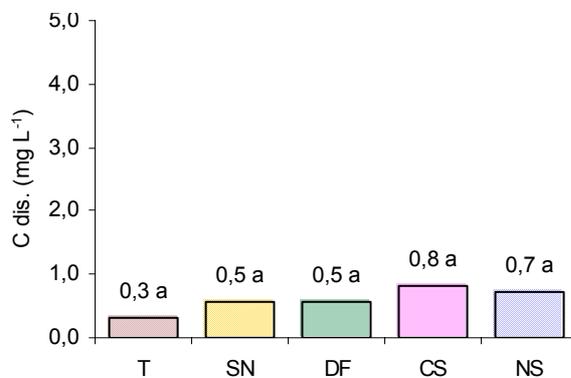


GRÁFICO 64 E 65 – MÉDIA DA CONCENTRAÇÃO DE CARBONO DISSOLVIDO NO TEMPO DA SOLUÇÃO PERCOLADA DO EXPERIMENTO DA MODALIDADE II (COLUNAS)

GRÁFICO 64 – Tempo 7 (42 dias)

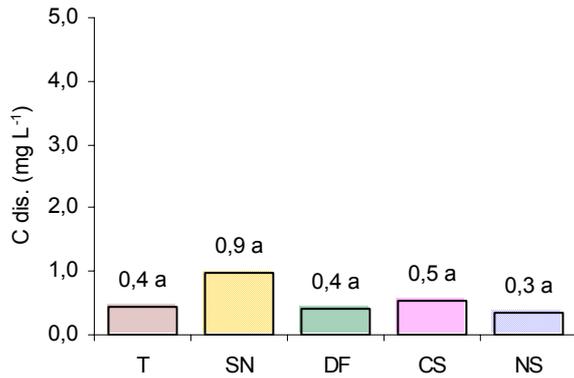


GRÁFICO 65 – Tempo 8 (49 dias)

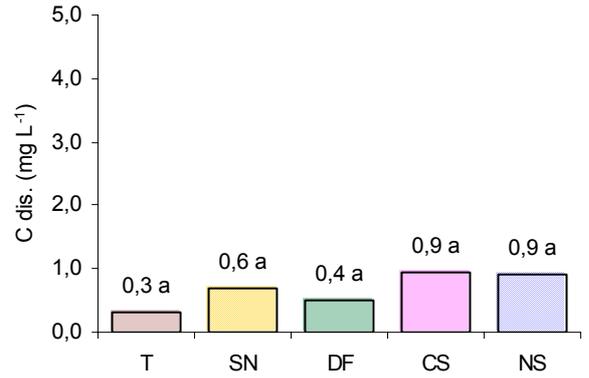


GRÁFICO 66 – Tempo 9 (70 dias)

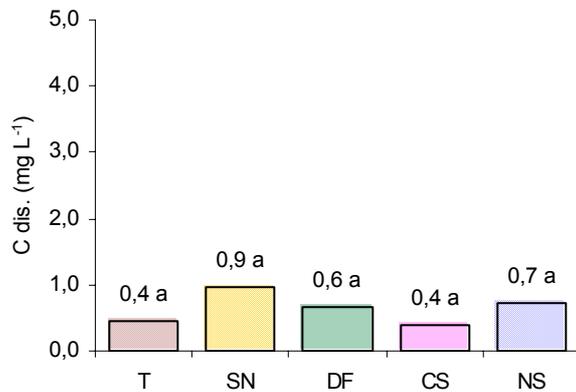
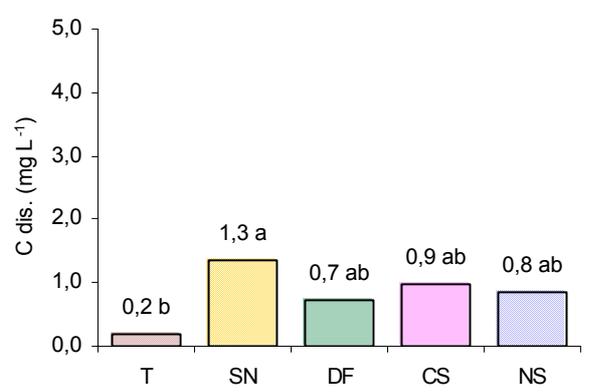


GRÁFICO 67 – Tempo 10 (91 dias)



#### 4.2.1.3 Condutividade elétrica na solução percolada do solo (Experimento de Colunas de Percolação - Solo de Arapoti)

A variação média da condutividade elétrica da água percolada durante os 91 dias do experimento da modalidade II em que foi feita a coleta da solução de percolação em intervalos de sete dias estão mostrados na Tabela 21 no Gráfico 68.

No primeiro momento após a adição dos tratamentos (tempo 1 - 0 dias) a solução percolada apresentou uma condutividade elétrica elevada quando comparada com os demais períodos. Isto indica que existiu a passagem de íons para a água coletada. Mas que é muito pouco provável que esses íons sejam oriundos dos fertilizantes usados nos tratamentos e sim sejam o reflexo dos íons que estavam presentes no solo que passou por um processo de moagem antes do acondicionamento nos tubos e o que possivelmente tenha proporcionado a maior presença de íons na solução percolada após a primeira.

A condutividade elétrica medida para os tratamentos NureSoil (NS), sobrenadante (SN), cama sobreposta (CS) e testemunha (T) são semelhantes para o tempo inicial de percolação (0 dias), após a adição dos dejetos às colunas. Nesse mesmo tempo o tratamento com depósito de fundo (DF) foi o que apresentou menor condutividade elétrica.

A condutividade elétrica em todos os tempos e tratamentos apresentam decréscimo ao longo do tempo, a exceção do tratamento com NureSoil (NS) que manteve elevada condutividade elétrica até o tempo 10 (91 dias de percolação), indicando que essa forma de dejetos libera íons na solução do solo e que estes foram sendo transportados em profundidade no solo do experimento da modalidade II (Tabela 21 e Gráfico 68).

Os valores de condutividade elétrica mantiveram-se em patamares mais baixos até tempo 5 (28 dias de percolação). Quando então ocorreu uma elevação da condutividade da solução percolada em todos os tratamentos, indicando que algum íon foi transportado em profundidade no solo e chegou até a solução percolada sendo então coletada e analisada (Gráfico 68). No entanto não foi o P o responsável por tal fato, visto que sua concentração na água percolada sempre esteve ausente ou situou-se abaixo do nível de detecção do equipamento usado para determiná-lo. É possível que tenha sido transportado no perfil do solo algum outro elemento (íon) presente nos dejetos usados e que influenciaram na condutividade elétrica da água

percolada, o que não ocorreu com a testemunha (T) uma vez que não recebeu nenhum tipo de dejetos.

Como o período entre os tempos 6 e 8 (35 e 49 dias) foi o que apresentou maior condutividade elétrica, esperava-se nesses tempos encontrar alguma concentração de P na água percolada e que não foi evidenciado, demonstrando mais uma vez que o P não foi transportado por lixiviação em nenhum dos tratamentos quando da aplicação em superfície de 56,76 kg ha<sup>-1</sup> de P advindo de diferentes formas de dejetos de suínos usadas para tal.

GRÁFICO 68 – VARIAÇÃO DA MÉDIA DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DA ÁGUA PERCOLADA NO EXPERIMENTO DA MODALIDADE II (COLUNAS DE PERCOLAÇÃO)

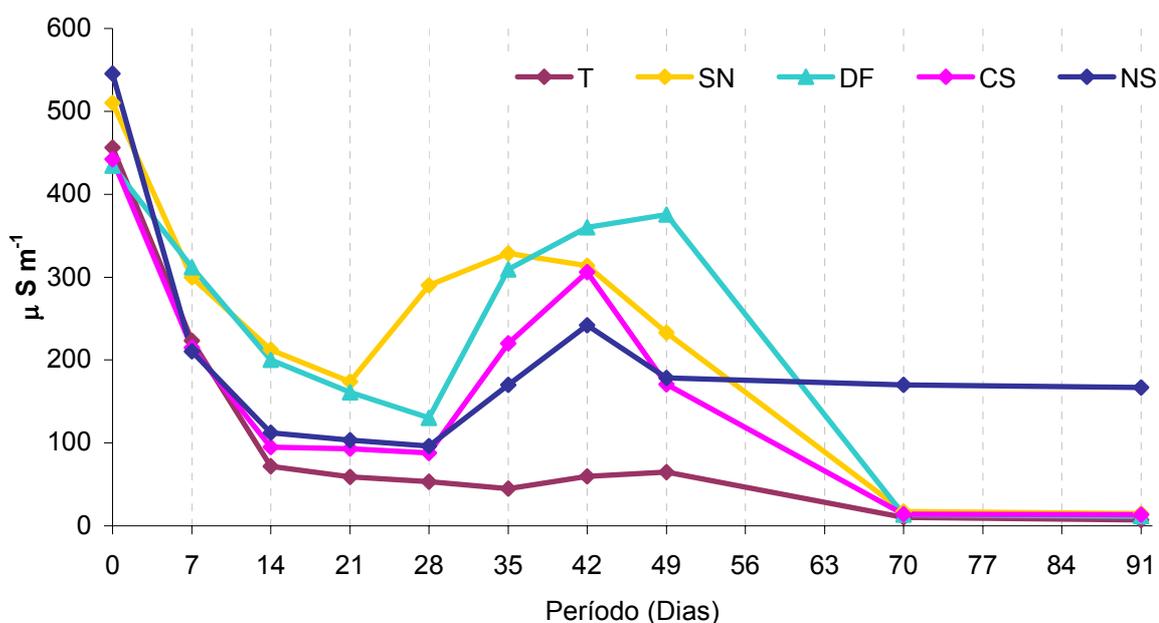


TABELA 21 – EVOLUÇÃO DA MÉDIA DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA NA ÁGUA PERCOLADA DO EXPERIMENTO DA MODALIDADE II (COLUNAS DE PERCOLAÇÃO)

TRAT.	Tempo (dias)									
	1 (0)	2 (7)	3 (14)	4 (21)	5 (28)	6 (35)	7 (42)	8 (49)	9 (70)	10 (91)
Condutividade Elétrica (μ S)										
T	456,4	223,1	72,2	59,2	53,3	45,2	59,9	65,1	10,5	7,0
SN	510,3	299,4	212,3	174,1	290,1	328,2	314,1	233,0	17,1	14,7
DF	434,4	311,8	200,1	161,3	130,3	309,1	360,2	375,2	13,3	11,3
CS	442,1	215,3	95,2	93,2	88,2	220,3	306,3	170,4	14,0	13,3
NS	545,3	210,4	112,1	103,2	96,3	170,1	242,1	178,3	170,3	167,1

Comparando-se estatisticamente cada tempo de percolação nota-se que a condutividade elétrica logo após a aplicação dos tratamentos no tempo 1 (0 dias) de percolação foi elevada para todos os tratamentos, porém o mais significativo foi o tratamento com NureSoil (NS) (Gráfico 69).

No tempo 2 (7 dias) não existiu diferenças estatísticas entre os tratamentos, demonstrando que os íons advindos do processo de preparo do solo para acondicionamento nas colunas não estavam mais presentes na solução percolada ou estavam em menor intensidade (Gráfico 70).

A condutividade elétrica do tratamento sobrenadante (SN) apresentou-se significativa para os tempos 3 (14 dias), 4 (21 dias), 5 (28 dias) e 6 (35 dias), sempre seguida do tratamento com depósito de fundo (DF) (Gráficos 71, 72, 73 e 74). O tratamento com depósito de fundo (DF) foi o mais significativo para os tempos 7 (42 dias) e 8 (49 dias) de percolação indicando a presença de íons desses dejetos na solução percolada (Gráficos 75 e 76).

Nos tempos 9 (70 dias) e 10 (91 dias) o tratamento com NureSoil (NS) foi o mais significativo, elevando a condutividade elétrica até 12 vezes a encontrada na solução percolada da testemunha (T). Isso indica que existe a presença de íons na solução percolada advindo do NureSoil (NS), que poderia ser pela presença de  $\text{CaCO}_3$  (Gráficos 77 e 78).

GRÁFICO 69 A 74 – MÉDIA DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DA SOLUÇÃO PERCOLADA NO TEMPO DO EXPERIMENTO DA MODALIDADE II (COLUNAS)

GRÁFICO 69 – Tempo 1 (0 dias)

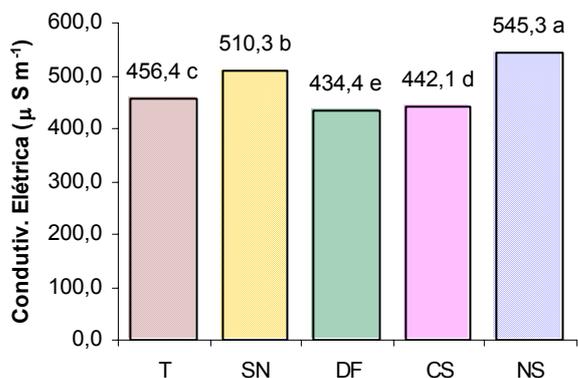


GRÁFICO 70 – Tempo 2 (7 dias)

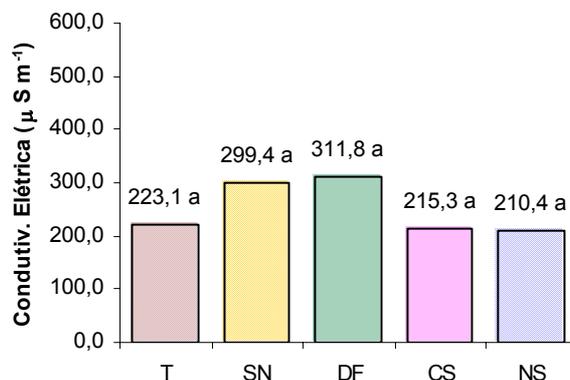


GRÁFICO 71 – Tempo 3 (14 dias)

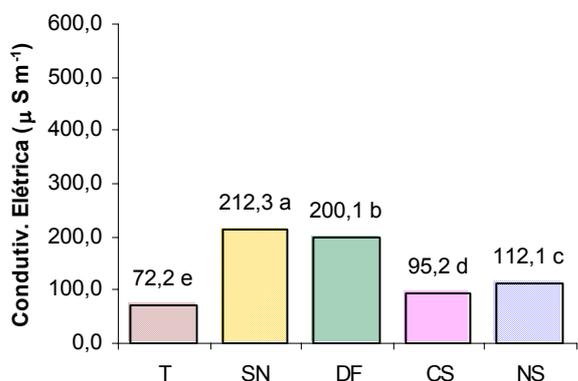


GRÁFICO 72 – Tempo 4 (21 dias)

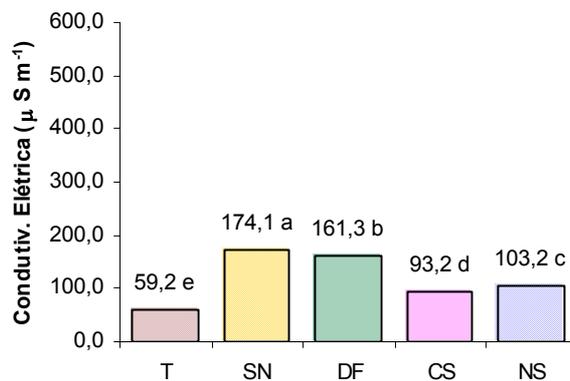


GRÁFICO 73 – Tempo 5 (28 dias)

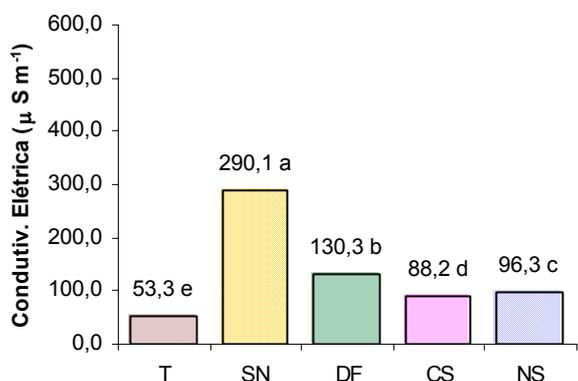


GRÁFICO 74 – Tempo 6 (35 dias)

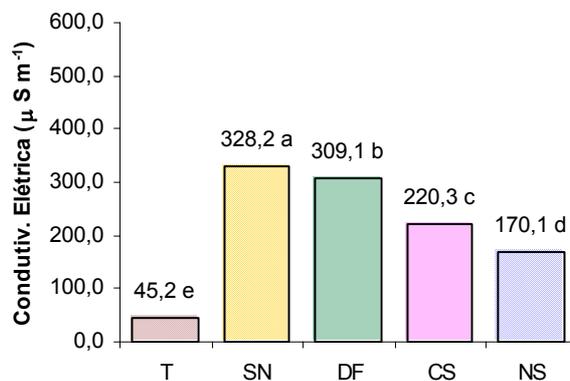


GRÁFICO 75 A 78 – MÉDIA DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DA SOLUÇÃO PERCOLADA NO TEMPO DO EXPERIMENTO DA MODALIDADE II (COLUNAS)

GRÁFICO 75 – Tempo 7 (42 dias)

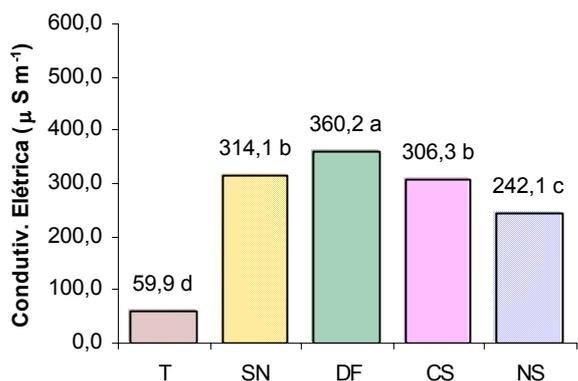


GRÁFICO 76 – Tempo 8 (49 dias)

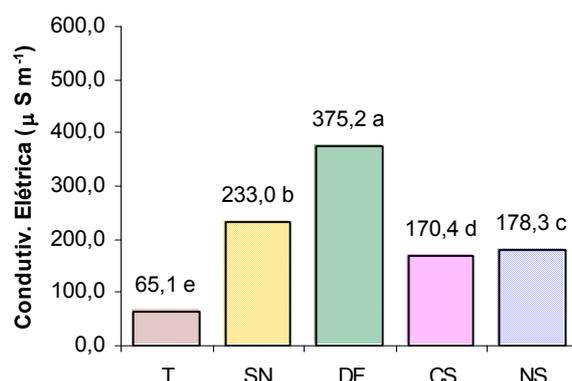


GRÁFICO 77 – Tempo 9 (70 dias)

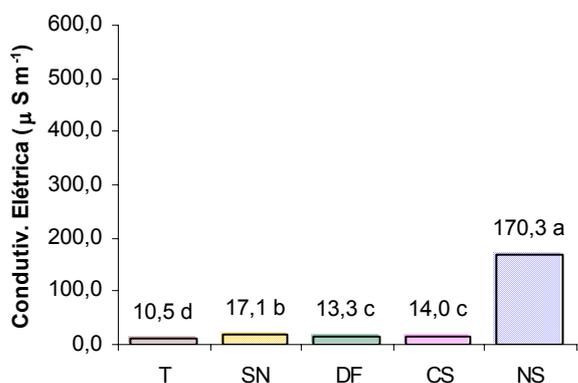
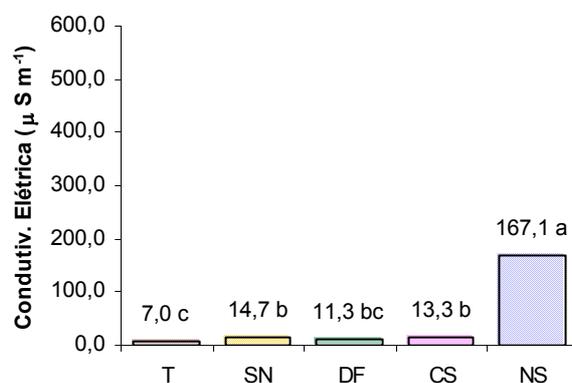


GRÁFICO 78 – Tempo 10 (91 dias)



4.2.1.4 Matéria seca e concentração de P do trigo (*Triticum aestivum* L.)  
(Experimento de Colunas de Percolação - Solo de Arapoti)

Após a conclusão dos procedimentos de coleta da solução percolada no tempo 10 (91 dias do início do experimento), foi feita a colheita do trigo com a retirada de toda a parte aérea das plantas em cada um dos tratamentos. A Tabela 22 mostra a quantidade de matéria seca para cada tratamento.

TABELA 22 – QUANTIDADE MÉDIA DE MATÉRIA SECA NAS PLANTAS DE TRIGO COLHIDAS AOS 91 DIAS DO EXPERIMENTO DA MODALIDADE II (COLUNAS DE PERCOLAÇÃO)

TRATAMENTOS <sup>2</sup>	Matéria Seca
	g <sup>1</sup>
Testemunha (T)	2,453 <sup>ab</sup>
Sobrenadante (SN)	2,797 <sup>ab</sup>
Depósito de fundo (DF)	7,997 <sup>a</sup>
Cama sobreposta (CS)	2,843 <sup>ab</sup>
NureSoil (NS)	2,145 <sup>ab</sup>

<sup>1</sup> Valores médios de 3 repetições

<sup>2</sup> Valores com índices alfabéticos iguais são semelhantes entre si.

O tratamento com depósito de fundo (DF) é o que apresentou maior quantidade significativa de matéria seca quando comparado aos demais tratamentos. Indicando que o Depósito de fundo (DF) foi a forma de dejetos de suínos que mais prontamente contribuiu disponibilizando P para a absorção pelas plantas, o que já foi comprovado pela pesquisa com incubação de solos para os mesmos tratamentos. Todos os tratamentos são semelhantes entre si com relação à quantidade de matéria seca (Tabela 22).

Após o Trigo iniciar o estágio de grãos pastosos, todas as plantas foram coletadas e o material colhido foi submetido a extração total nitroperclórica para o P nele contido. A concentração de P total contido na parte aérea das plantas é mostrado na Tabela 23.

TABELA 23 - CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE P NA MATÉRIA VEGETAL DA PARTE AÉREA DO TRIGO COLETADO NO EXPERIMENTO DA MODALIDADE II (COLUNAS DE PERCOLAÇÃO)

TRATAMENTOS <sup>2</sup>	P <sup>1</sup>
	mg kg <sup>-1</sup>
Testemunha (T)	2571,530 <sup>a</sup>
Sobrenadante (SN)	2718,683 <sup>a</sup>
Depósito de fundo (DF)	3247,356 <sup>a</sup>
Cama sobreposta (CS)	3213,615 <sup>a</sup>
NureSoil (NS)	2488,510 <sup>a</sup>

<sup>1</sup> Valores médios de 3 repetições

<sup>2</sup> Valores com índices alfabéticos iguais são semelhantes entre si.

Os tratamentos (sobrenadante (SN), cama sobreposta (CS), NureSoil (NS) e depósito de fundo (DF)) não diferem estatisticamente entre si e com a testemunha (T) em relação à concentração de P na matéria vegetal analisada indicando que as plantas foram supridas com o P para o seu metabolismo vegetativo. O tratamento com depósito de fundo (DF) apresentou médias ligeiramente superiores. Não houve diferenças estatísticas entre os tratamentos (Tabela 23).

### 4.3 RESULTADOS OBTIDOS DA MODALIDADE III - EXPERIMENTO DE CAMPO E SUA DISCUSSÃO

#### 4.3.1 Teores de P extraível por Mehlich I do solo das parcelas do Experimento de Campo (Arapoti) antes dos tratamentos e depois da colheita do trigo

Os resultados dos teores de P extraível do solo do experimento de campo e que foram extraídos por Mehlich I antes da aplicação dos dejetos e após a colheita do trigo das parcelas tratadas com NureSoil (NS), cama sobreposta (CS), Sobrenadante (SN) e depósito de fundo (DF), super simples (SS) e na testemunha (T) são mostrados nas Tabela 24a e 24b.

Antes da aplicação dos tratamentos todas as parcelas apresentavam teores semelhantes de P disponível para a profundidade 0 a 5 cm. Existia um decréscimo de P disponível à medida que a profundidade aumentava, porém a cada camada amostrada verificou-se a uniformidade de distribuição de P no solo das parcelas experimentais (Tabela 24a).

Para as amostras coletadas após a aplicação dos tratamentos e da colheita do trigo o tratamento super simples (SS) apresentou o maior incremento de P disponível nas profundidades 0 a 5 cm e 5 a 10 cm e o tratamento com depósito de fundo (DF) para a profundidade 0 a 5 cm. Os tratamentos cama sobreposta (CS), NureSoil (NS) e sobrenadante (SN) apresentaram incrementos de P disponível no solo ligeiramente inferior aos dois citados anteriormente.

A testemunha (T) não apresentou em nenhuma profundidade um incremento de P extraível do solo ao término do experimento, demonstrando que o P adicionado às parcelas tratadas advem do P contido nos tratamentos realizados e que a profundidade que mais apresentou incrementos de P advindo dos dejetos foi a camada de 0 a 15 cm. O tratamento super simples (SS) apresentou de 0 a 25 cm, uma elevação dos teores de P extraível indicando que o fertilizante mineral tem maior eficiência de disponibilização de P em profundidade em relação aos dejetos de suínos que se apresentaram menos móveis em profundidade, o que já se esperava (Tabelas 24a e 24b), pois o P mineral é muito solúvel o que o torna mais prontamente disponível no solo.

TABELA 24a – MÉDIA DA DISTRIBUIÇÃO EM PROFUNDIDADE DOS TEORES DE P DISPONÍVEL NO SOLO ANTES DA APLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS NO EXPERIMENTO DA MODALIDADE III (CAMPO)

TRAT.	Profundidade (cm)						
	0 a 5	5 a 10	10 a 15	15 a 25	25 a 35	35 a 45	45 a 50
	P inicial (mg kg solo <sup>-1</sup> )						
T	5,6	4,6	2,6	2,5	1,2	1,3	0,6
SN	6,0	3,0	2,0	2,2	1,0	1,2	0,7
DF	6,1	5,3	3,0	3,4	1,5	1,6	0,8
CS	4,6	4,3	2,3	2,6	1,2	1,6	1,1
NS	5,6	4,3	2,4	2,6	1,1	1,2	0,9
SS	6,5	4,8	2,4	2,3	1,6	1,5	1,4

TABELA 24b – MÉDIA DA DISTRIBUIÇÃO EM PROFUNDIDADE DOS TEORES DE P DISPONÍVEL NO SOLO DEPOIS DA APLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS NO EXPERIMENTO DA MODALIDADE III (CAMPO)

TRAT.	Profundidade (cm)						
	0 a 5	5 a 10	10 a 15	15 a 25	25 a 35	35 a 45	45 a 50
	P final (mg kg solo <sup>-1</sup> )						
T	4,7	3,4	3,0	3,2	2,4	0,9	0,7
SN	6,3	3,8	2,0	2,5	2,2	1,0	0,7
DF	6,9	3,7	2,5	2,2	1,8	0,7	0,6
CS	5,5	3,8	1,9	2,4	1,5	1,1	0,7
NS	6,1	4,3	3,0	2,9	2,8	0,7	0,9
SS	7,7	6,7	3,9	3,8	1,6	0,5	0,4

Comparando-se os teores de P extraível do solo das parcelas em profundidade para cada tratamento, o NureSoil (NS) apresentou um incremento dos teores de P disponível no solo de aproximadamente 10 % nos primeiros 5 cm de profundidade em comparação com a testemunha (T) e uma pequena elevação de P até a profundidade de 35 cm, indicando que o NureSoil (NS) atuou como fonte de P até essa profundidade (Gráfico 79).

As parcelas que foram tratadas com cama sobreposta (CS), de forma semelhante ao NureSoil (NS), também apresentaram um incremento de P em superfície para a profundidade de 5 cm. Esse aumento de P nessa profundidade foi da ordem de 22 % se comparado com a quantidade de P da testemunha (T) (Gráfico 80). Como mostra esse gráfico, o incremento se deu mais superficialmente e após a profundidade de 10 cm o solo praticamente não sofreu influência da adição em superfície de cama sobreposta (CS). Talvez com o tempo esse material, que é constituído basicamente por maravalha e dejetos, venha a se decompor e/ou liberar

gradativamente o P que o compõe para a solução do solo. Como após a adição dos tratamentos ocorreu um período relativamente longo de estiagem, a ausência de umidade nas camadas mais inferiores do solo pode ter contribuído para os baixos teores do P nessas camadas e conseqüentemente ficando retido como P trocável. Isso pode ter provocado a menor disponibilidade de P em camadas mais profundas do solo, não ocorrendo nos primeiros 5 cm de profundidade devido ao grande volume de Cama sobreposta (CS) aplicada para atingir a quantidade requerida de P de 56,8 kg ha<sup>-1</sup> de P e que acabou por reter uma maior umidade na superfície do solo, conseqüentemente influenciando na mineralização do P nessa camada aumentando então a sua disponibilidade.

O incremento de P nas parcelas tratadas com Sobrenadante (SN) para a profundidade de 0 a 5 cm foi da ordem de 5 %, sendo muito inferior aos outros tratamentos, como mostra a Tabela 24a, 24b e o Gráfico 81. O que pode ser devido ao grande volume de água que esse material possui e que foi adicionado ao solo para se atingir a dose de 56,8 kg ha<sup>-1</sup> de P desejada. Esse produto contribuiu para aumentar a umidade do solo nos primeiros dias após a sua aplicação, devido a grande quantidade de água que possui. Em maiores profundidades praticamente não ocorreu contribuição significativa de P para o solo advindo desse fertilizante, permanecendo praticamente com as características iniciais do solo, antes da adição dos dejetos às parcelas. Isso mostra que em se fazendo a adição de dejetos na forma de líquido sobrenadante, sem a agitação prévia do fundo das lagoas pode ser uma prática que não venha a contribuir para as melhorias de fertilidade do solo.

O resultado das análises de P extraído por Mehlich I antes da adição dos tratamentos e depois da colheita do trigo para as parcelas tratadas com depósito de fundo (DF) estão representadas no Gráfico 82. Nessas parcelas ocorreu também um incremento de P extraível no solo de cerca de 14 % para a camada de 0 a 5 cm de profundidade. No entanto, é clara a redução do P nas camadas mais profundas, não ocorrendo contribuição dos tratamentos aplicados. Isso pode também estar relacionado ao período de estiagem que se seguiu após a adição de depósito de fundo (DF) a essas parcelas e também à retirada de P do solo das parcelas pelas palntas. Uma vez que essa forma de fertilizante apresentava pouca água, o P deve ter ficado retido à parte sólida do dejetos que não foi mineralizada, pois permaneceu quase que intacta durante o desenvolvimento da cultura do trigo e que certamente com o tempo viria a ser decomposto tendo então o P disponibilizado. Isto também

indica que o P contido nesse fertilizante não foi disponibilizado no solo, mantendo-se concentrado somente na camada superficial do solo das parcelas.

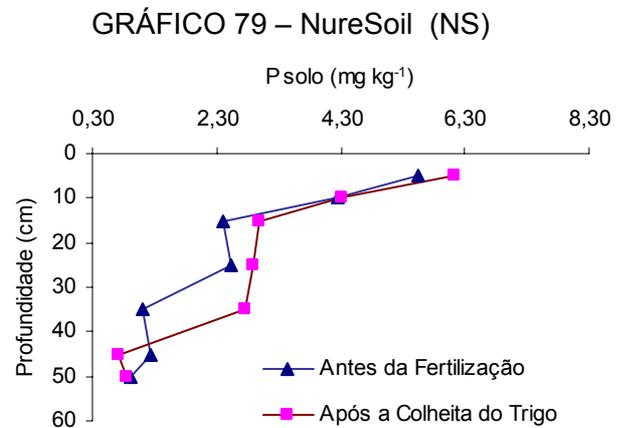
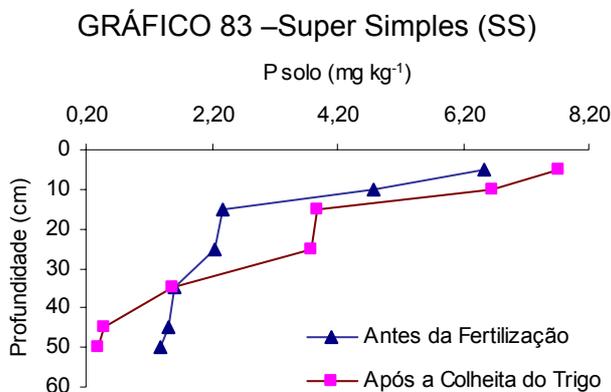
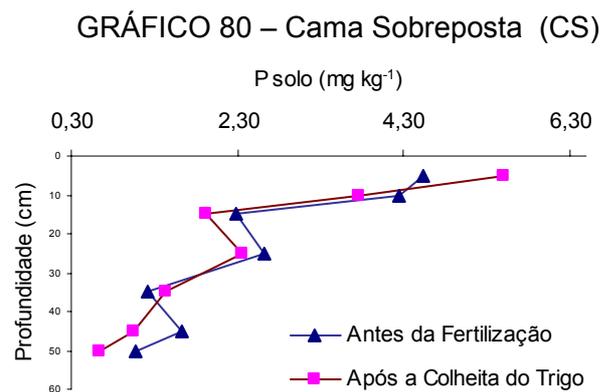
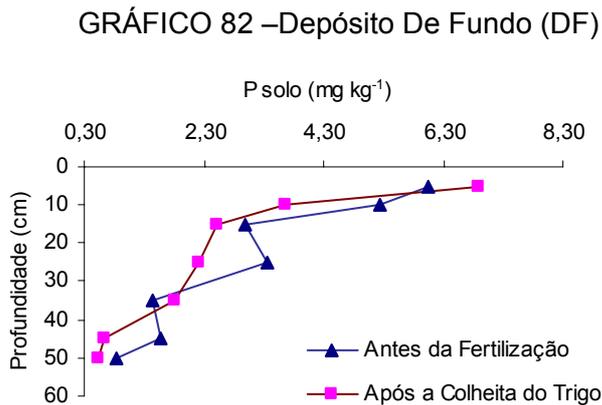
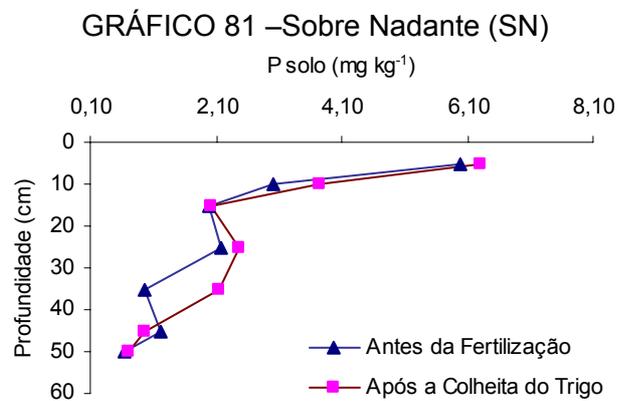
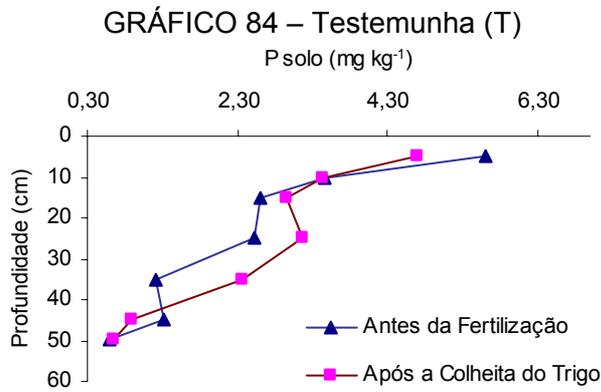
As parcelas que foram tratadas com super simples (SS), fertilizante fosfatado comercial, foram as que apresentaram o melhor desempenho em termos de incremento de P no solo após a colheita do trigo. O Gráfico 83 mostra a distribuição de P em profundidade para as parcelas que receberam super simples (SS). Nos primeiros 5 cm a contribuição de P foi de aproximadamente 19 %. Esse patamar ficou abaixo do encontrado para as parcelas tratadas com cama sobreposta (CS).

Nas camadas mais profundas do solo tratado com super simples (SS) a quantidade de P extraível por Mehlich I foi sempre elevada quando comparado com os valores iniciais do solo antes da adição do fertilizante químico comercial. Isso mostra que esse fertilizante apresenta uma alta capacidade de disponibilizar P para a absorção pelas plantas e também é facilmente solúvel e mantendo constante a quantidade de P extraível do solo em profundidades maiores, ou seja, até os 35 cm de profundidade houve um pequeno aumento na disponibilidade de P que provavelmente pode ter sido influenciada pela adição de super simples (SS) a esse solo.

Dentre os dejetos usados para o experimento de campo da modalidade III, o NureSoil (NS) foi o que apresentou comportamento mais semelhante ao super simples (SS), porém em menor intensidade.

O Gráfico 84 mostra os resultados das análises de solo antes e depois da colheita do trigo para a testemunha (T) que não recebeu nenhuma forma de adição de P. Nota-se que nessas parcelas não houve acréscimo de P nas camadas superficiais e tão pouco nas camadas mais profundas do solo amostrado. Indica ainda que pode ter ocorrido um decréscimo do P extraível no solo na camada de 0 a 5 cm de profundidade que pode ter sido retirado para o desenvolvimento da cultura do trigo. Isso mostra que a adição de fertilizantes, neste caso de dejetos de suínos causaram maior disponibilidade de P no solo extraível por Mehlich I, principalmente nas camadas superficiais deste. Eventuais acréscimos de P em profundidade podem estar relacionados à locação dos pontos de amostragem dentro das parcelas que mesmo estatisticamente iguais em termos de P no solo, podem variar em pequenas proporções pelo tamanho da área total das parcelas e das profundidades amostradas.

GRÁFICO 79 A 84 – DISTRIBUIÇÃO DOS TEORES DE P EM PROFUNDIDADE PARA OS DIFERENTES TRATAMENTOS DO EXPERIMENTO DE CAMPO DA MODALIDADE III



Os Gráficos 85 a 91 mostram que a área experimental não apresentava diferenças estatísticas nos teores de P extraível por Mehlich 1 nas diferentes parcelas para todas as profundidades estudadas. Isto mostra que a área apresentava-se homogênea em termos de distribuição de P no solo das parcelas do experimento.

Comparando-se estatisticamente as medias dos teores de P extraível do solo nas diferentes profundidades do experimento de campo da modalidade III antes da aplicação dos tratamentos e após a colheita do trigo das parcelas não foram encontradas diferenças significativas entre os tratamentos à base de dejetos de suínos e fertilizante fosfatado no caso o super simples (SS). Esse fato indica que não houve influência da aplicação dos dejetos e do super simples (SS) nos teores de P extraível por Mehlich I do solo das parcelas. Tal resultado provavelmente se deve ao período de estiagem já discutido no item 4.1.3.1 (Gráficos 85 a 98).

GRÁFICO 85 A 91 – TEORES DE P EM PROFUNDIDADE DO SOLO DO EXPERIMENTO DE CAMPO (MODALIDADE III) ANTES DOS TRATAMENTOS

GRÁFICO 85 – Profundidade 0 A 5 cm

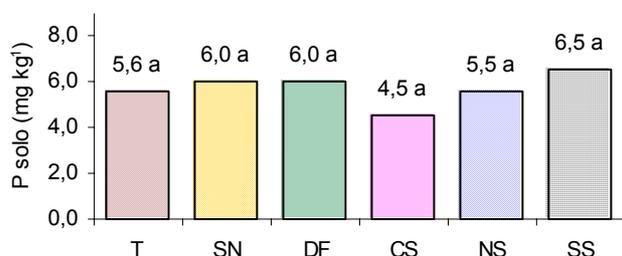


GRÁFICO 86 – Profundidade 5 A 10 cm

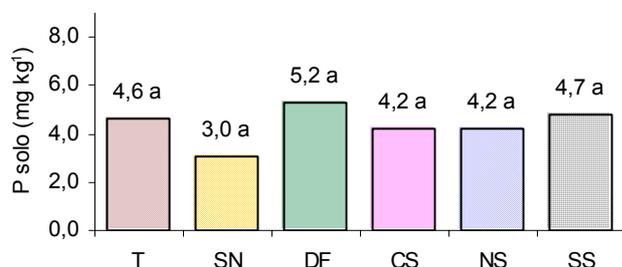


GRÁFICO 87 – Profundidade 10 A 15 cm

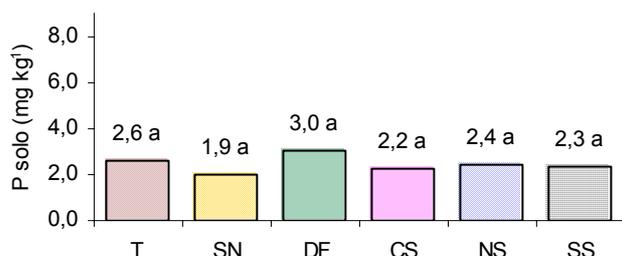


GRÁFICO 88 – Profundidade 15 A 25 cm

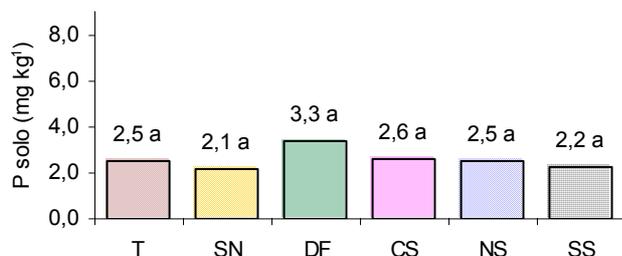


GRÁFICO 89 – Profundidade 25 A 35 cm

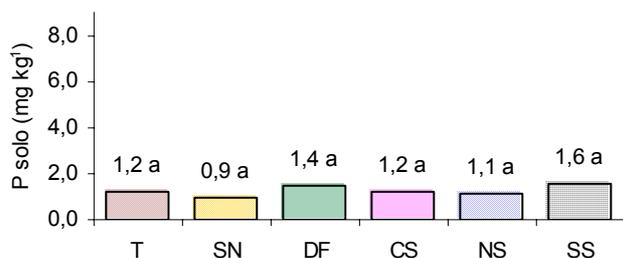


GRÁFICO 90 – Profundidade 35 A 45 cm

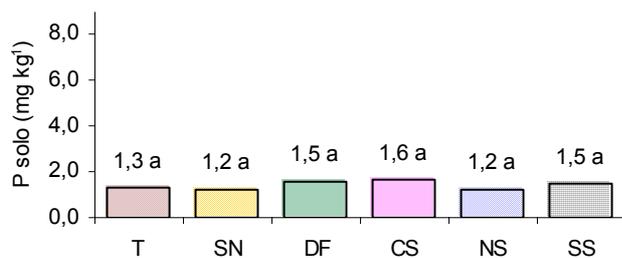


GRÁFICO 91 – Profundidade 45 A 50 cm

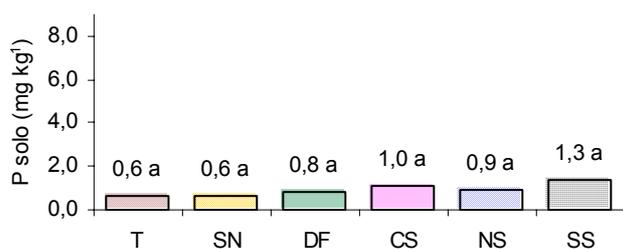


GRÁFICO 92 A 98 – TEORES DE P EM PROFUNDIDADE DO SOLO DO EXPERIMENTO DE CAMPO (MODALIDADE III) APÓS A COLHEITA DO TRIGO DAS PARCELAS EXPERIMENTAIS

GRÁFICO 92 – Profundidade 0 A 5 cm

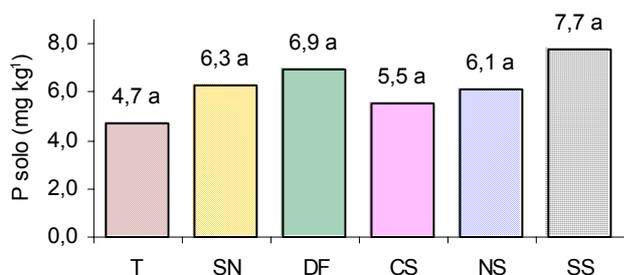


GRÁFICO 93 – Profundidade 5 A 10 cm

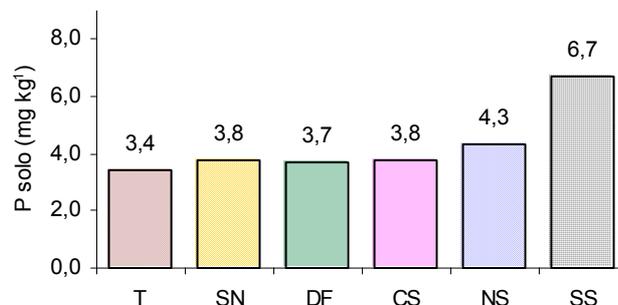


GRÁFICO 94 – Profundidade 10 A 15 cm

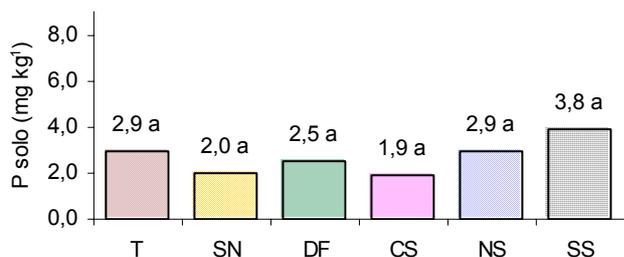


GRÁFICO 95 – Profundidade 15 A 25 cm

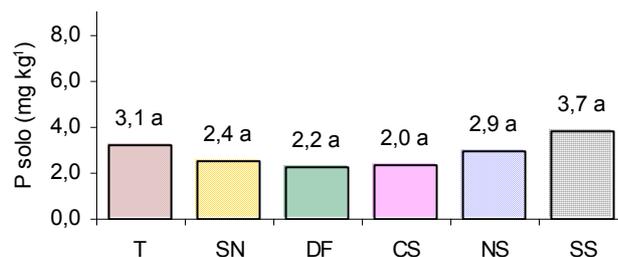


GRÁFICO 96 – Profundidade 25 A 35 cm

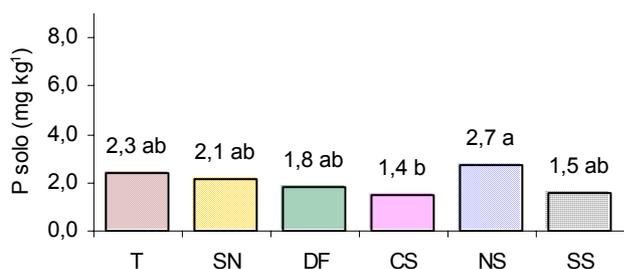


GRÁFICO 97 – Profundidade 35 A 45 cm

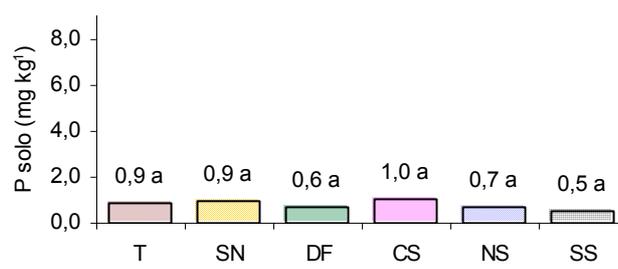
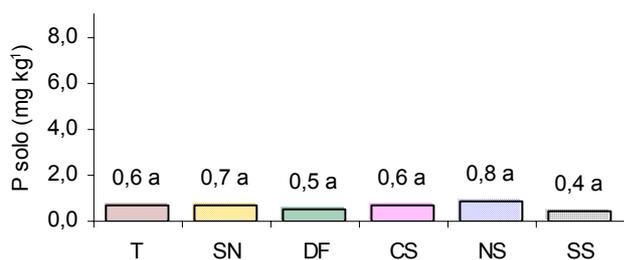


GRÁFICO 98 – Profundidade 45 A 50 cm



#### 4.3.2 Matéria seca e produtividade de trigo (*Triticum aestivum* L.) das parcelas do Experimento de Campo (Arapoti)

Imediatamente antes da colheita do trigo cultivado em todas as 24 parcelas experimentais da modalidade III foi feita a coleta aleatória da parte aérea de 10 plantas por parcela para a determinação da matéria seca. Esse resultado permitiu comparações com a matéria seca obtida a partir do experimento realizado nos tubos de percolação. A média de 4 repetições das parcelas experimentais e perfazendo o somatório da matéria seca de 10 plantas estão representados na Tabela 25.

O trigo colhido das parcelas passou a representar a produtividade do experimento e os resultados estão mostrados na Tabela 26 e no Gráfico 99.

TABELA 25 – MÉDIA DA DISTRIBUIÇÃO DA MATÉRIA SECA DE TRIGO NO EXPERIMENTO DA MODALIDADE III (CAMPO)

TRATAMENTOS <sup>2</sup>	Matéria Seca g <sup>1</sup>
Testemunha (T)	22,6 <sup>a</sup>
Sobrenadante (SN)	23,3 <sup>a</sup>
Depósito de fundo (DF)	21,1 <sup>a</sup>
Cama sobreposta (CS)	23,7 <sup>a</sup>
NureSoil (NS)	22,8 <sup>a</sup>
Super simples (SS)	23,5 <sup>a</sup>

<sup>1</sup> Valores médios de 4 repetições

<sup>2</sup> Valores com índices alfabéticos iguais são semelhantes entre si.

TABELA 26 – MÉDIA DA DISTRIBUIÇÃO DA PRODUÇÃO DE TRIGO NO EXPERIMENTO DA MODALIDADE III (CAMPO)

TRATAMENTOS <sup>2</sup>	Produção <sup>1</sup> kg ha <sup>-1</sup>
Testemunha (T)	770,8 <sup>a</sup>
Sobrenadante (SN)	920,8 <sup>a</sup>
Depósito de fundo (DF)	754,2 <sup>a</sup>
Cama sobreposta (CS)	904,2 <sup>a</sup>
NureSoil (NS)	804,2 <sup>a</sup>
Super simples (SS)	795,8 <sup>a</sup>

<sup>1</sup> Valores médios de 4 repetições

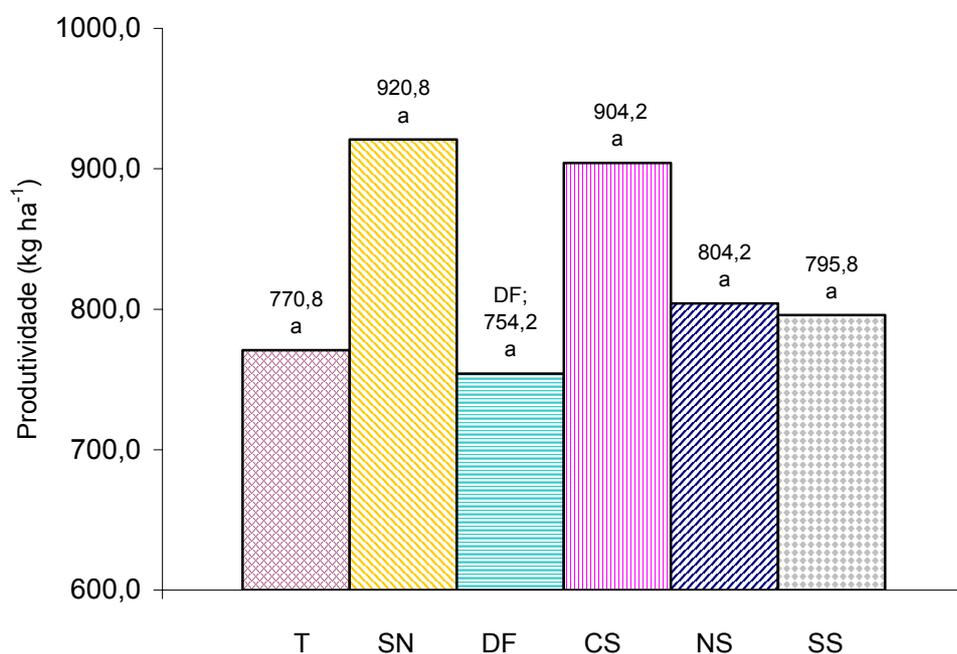
<sup>2</sup> Valores com índices alfabéticos iguais são semelhantes entre si.

Estatisticamente todos os valores são iguais e tiveram produção de matéria seca muito próximas, não sendo possível observar a campo a influência da adição dos fertilizantes orgânicos testados (Tabela 26). Isso se deve em partes pela falta de chuvas que ocorreu no período seguinte à aplicação dos tratamentos nas parcelas, o que interferiu de forma negativa na disponibilidade de P desses produtos para as plantas, refletindo diretamente sobre a produção de matéria seca e sobre a produtividade das parcelas. Partindo-se desse mesmo quadro, nota-se que o tratamento que recebeu depósito de fundo (DF) foi o que mais diferiu estatisticamente com a menor produção de matéria seca. O que novamente pode ser explicado pela não mineralização dos nutrientes desse composto, permanecendo os mesmos retidos ao material fertilizante que não foi decomposto durante o pouco tempo de pesquisa. Sendo, portanto, o principal fator da menor produtividade apresentada pelas parcelas com o uso desse fertilizante.

O tratamento com depósito de fundo (DF), que continuou mostrou-se o menos produtivo em relação aos demais (Gráfico 99). Já o tratamento com sobrenadante (SN) apresentou a maior produção de grãos entre todos os tratamentos, porém todos os tratamentos foram estatisticamente iguais a 5% de significância. Isto se deve ao fato de que o primeiro possuía grande volume de água e o segundo grande capacidade de reter umidade na superfície do solo e, portanto, ambos supriram as necessidades das plantas por umidade, principalmente.

Os tratamentos com NureSoil (NS), cama sobreposta (CS) e sobrenadante (SN), tanto em produção de matéria seca como em produção de grãos, para o caso da pesquisa de campo, foram os produtos que ofereceram maior uniformidade. Ou seja, mesmo em condições de pouca chuva, propiciaram um acréscimo de produção, mostrando a eficiência desses materiais como fertilizante. Contudo, o NureSoil (NS) mostrou-se ainda melhor, pois mesmo nessas condições e ainda em se tratando de um produto granulado e com pouca umidade, teve o mesmo comportamento em relação aos outros dois citados. Isso indica que esse material foi capaz de disponibilizar nutrientes, em especial o P, para as plantas, dando condições a estas de manter o desenvolvimento.

GRÁFICO 99 – MÉDIA DA PRODUTIVIDADE DE TRIGO NO EXPERIMENTO DA MODALIDADE II (CAMPO)



Após a colheita do trigo nas parcelas experimentais da modalidade III (campo) foi constatado que não havia odores característicos de dejetos de suínos e que todos os dejetos aplicados ao solo haviam sido aparentemente degradados, a exceção do NureSoil (NS) que até então se encontravam pequenos grânulos nas parcelas que receberam esse tratamento devido à aplicação desse material ter sido feita sem moagem.

## 5 CONCLUSÕES

Os resultados da pesquisa permitiram concluir que:

- Com a aplicação de  $56,76 \text{ kg ha}^{-1}$  de P advindo de dejetos de suínos na forma de líquido sobrenadante de lagoas de decantação sobre a superfície dos solos estudados não se observou transporte de P em profundidade no solo.

- O uso de lodo depositado no fundo de lagoas de decantação é a forma que apresentou maior contribuição de P extraível da superfície do solo por Mehlich 1. Com a aplicação desta fonte de P não se observou incremento nos teores de P do solo nas camadas além de 20 cm na dose e período de incubação usado no presente trabalho.

- A aplicação superficial ao solo dos dejetos de suínos sob diferentes formas e em dose equivalente a  $56,76 \text{ kg ha}^{-1}$  de P não permitiu a detecção deste nutriente na solução percolada (Experimento da modalidade I – percolação), o que indica que a lixiviação de P derivado de dejetos de suínos aplicados a campo não seja esperada principalmente se doses agronômicas forem utilizadas;

- Durante o período a que os solos foram submetidos a incubação (150 dias) o NureSoil ao lado do sobrenadante foram os tratamentos que apresentaram teores de P extraível (Mehlich 1) com menor variação. Tal observação indica que o uso do extrator de Mehlich 1 é insuficiente para compreender as interações do P derivado de dejetos de suínos com o solo;

- A observação de pico no teor de P (0 a 20 cm) foi mais evidente para os tratamentos cama sobreposta e depósito de fundo aos 14 dias da aplicação superficial dos dejetos, indicando ser o Mehlich 1 extrator capaz de discriminar interações do P com o solo para certas fontes em detrimento de outras;

- Ao não se ter observado lixiviação de íons fosfatos nos solos estudados não se pode concluir não haver risco de contaminação de águas subterrâneas por

este elemento, haja vista o carreamento de matéria orgânica dissolvida na solução percolada e a não análise do P total (incluindo o orgânico) em tal soluto;

- A recomendação de nutrientes derivados de dejetos de suínos, em especial do P, devem considerar a sua taxa de disponibilização. Conclui-se que o fornecimento de P integralmente a partir de dejetos para suprir as plantas deve ser olhado com cuidado uma vez que esta pode gerar super dosagens de matéria orgânica e outros nutrientes;

- A não observação de diferenças significativas na produtividade do trigo deveu-se provavelmente à já elevada fertilidade do solo no local aonde o experimento de campo foi conduzido;

#### 5.1 SUGESTÃO PARA FUTUROS TRABALHOS

Recomenda-se que os experimentos da Modalidade I (incubação) sejam repetidos com a inserção de um tratamento com fonte mineral de P para comparação dos resultados com aqueles gerados pelos tratamentos com dejetos de suínos.

## REFERÊNCIAS

- ABCS - Associação Brasileira de Criadores de Suínos. **Regiões: tributação da carne suína brasileira**. 168 ed. São Paulo: ABCS, Revista Suinocultura Industrial, 2003, n. 3, Ano 25, p. 16-34.
- ASAE - Sanitation and Waste Management Committee Agricultural. **Manure production and characteristics**. 1993, Standards D384.1.
- ATIA, A. M.; MALLARINO, A. P. **Agronomic and environmental soil phosphorus testing in soils receiving liquid swine manure**, Madison, EUA: SSSA - Soil Science Soc. American Journal, 2002, VOL. 66, p. 1696 – 1705.
- BARTZ H. R. et al. **Recomendações de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solo.. 3 ed. Passo Fundo: SBCS – Núcleo Regional Sul, 1994. p. 224.
- BAKER, D. E.; AMACHER, M.C. **Nickel, copper, zinc and cadmium. Methods of soil analysis**. Madison, EUA: ASA - American Society of Agronomy, [S.D.], Part 2, p. 323-327
- BEN, J. R.; ROSA, O. S. **Comportamento de algumas cultivares de trigo em relação a P no solo. Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 1983, v. 18, n. 9, p. 967-972,.
- CESCONETO, E. A.; ROESLER, M.R.B. **A produção de suínos e as propostas de gestão de ativos ambientais: o caso da região de Toledo PR, UNIOESTE**, Campus de Toledo, 2003, p. 22-24
- MATTA, F. M. da; LOUREIRO, M.E. **Nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: ESALQ-USP, Informativo Técnico, 2002, p. 3-6.
- DJODJIC, F. et al. **Phosphorus leaching in relation to soil type and soil phosphorus content**. Madison, EUA: SSSA - Soil Science Soc. American Journal, 2004, VOL. 33, p. 678 – 684.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manejo de dejetos de suínos**. Concórdia: EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa em Aves e Suínos, 1998, p. 31, Boletim Informativo de Pesquisa n. 11.
- GRIFFIN, T. S. et al. **Changes in soil phosphorus from manure application**. Madison, EUA: SSSA - Soil Science Soc. American Journal 2003, vol. 67, p. 645 - 653
- KONZEN, E. A. **Valorização agrônômica dos dejetos suínos: utilização dos dejetos suínos como fertilizantes**. In: I Ciclo de Palestras Sobre Dejetos suínos no Sudoeste Goiano, Rio Verde, Anais do Evento, 1997, p.113-136.

LANTMANN, A. F. et al. **Produtividade do trigo em sucessão a soja não fertilizada em latossolo roxo distrófico** 32 ed. Brasília: [S.N.], 1997, n. 3 p. 257-263.

LIPPERT, R. **What is the Mehlich-1 extractant?** Disponível em: <<http://hubcap.clemson.edu/~blpprt/bobweb/BOBWEB33.HTM>>, South Carolina, U.S.A.: Clemson University, Extension Service, Acesso em: 19 jan. 2006

LOBOSKI, C. A. M.; LAMB, J. A. **Changes in soil test phosphorus concentration after application of manure or fertilizer.** Madison, EUA: SSSA - Soil Science Soc. American Journal 2003, vol. 67, p. 544 - 554

LUCAS, J.; SANTOS, T. M. B.; OLIVEIRA, R.A. **Possibilidade de uso de dejetos no meio rural.** Campinas: EMBRAPA - Meio Ambiente In: Workshop: Mudanças Climáticas Globais e a Agropecuária Brasileira, 1999. p. 42.

LUCCHESI, L.A.C. **The effects of two processed sewage sludges on the characteristics of three soils from Paraná, Brazil and the behavior of sludge zinc;** Tese de Doutorado, The Ohio State University, Columbus/Ohio, USA, [S.N.] 1997: p. 1 - 77

LUDKE, J. V.; LUDKE, M. C. M. M. **Produção de suínos com ênfase na preservação ambiental.** 168 ed. São Paulo, parte 2 Manejo da nutrição. In: Revista Suinocultura Industrial, 2003 n. 3, Ano 25, p. 10 -12.

MAGUIRE, R. O. e SIMS, J. T. **Soil testing to predict phosphorus leaching.** Madison, EUA: SSSA - Soil Science Soc. American Journal, 2002, VOL. 31, p. 1601 – 1609.

MARCHETTI, M. E. et al. **Resposta de duas espécies de trigo ao nitrogênio e ao P em solução nutritiva,** Lavras: UFLA, Revista Ciência Agrotécnica, 2001, v.25, n. 4, p. 925-933.

NOVAIS, R. F. **P em solo e planta em condições tropicais.** Viçosa: UFV - Universidade Federal de Viçosa, 1999, p. 399.

OLIVEIRA, P. A. V. de. **Sistema de produção de suínos em cama sobreposta “deep bedding”.** In: 9º Seminário Nacional de Desenvolvimento da Suinocultura, Gramado, 2001.

OLIVEIRA, P. A. V. **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos.** Concórdia: EMBRAPA-CNPSA. 1993. p. 188.

OLIVEIRA, P. A. V. et al. **Balanco de nitrogênio e P em sistemas de produção de suínos sobre cama de maravalha.** In: Congresso Mercosur de Production Porcine, Buenos Aires, Argentina, 2000, p. SP7.

OLIVEIRA, P. A. V. et al. **Balanco d’agua em sistemas intensivo ou em confinamentos de criação de suínos sobre cama ou piso ripado.** Belo Horizonte: ABRAVES, Congresso de Veterinários Especialistas em Suínos, 1999. p. 495-496.

OLIVEIRA, P. A. V. **Produção e manejo de dejetos de suínos**. Concórdia: PNMA II – Programa Nacional do Meio Ambiente, 2002, Documento Técnico n. 8, p. 79 - 90

OLIVEIRA, P. A. V.; SOBESTIANSKY J. **Produção de suínos em cama sobreposta: Fases de crescimento e terminação**. [S.N.], 1993.

PAVAN, M. A. et al. **Manual de análise química do solo e controle de qualidade**. Londrina, IAPAR 1992: p. 40.

PAVINATO, P. S. et al. **Épocas e formas de aplicação de P e potássio na sucessão trigo/milho**. Santa Maria: UFSM - Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Solos, 2003.

CERETTA, C. A. et al. **Produtividade de grãos de milho, produção de matéria seca e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio na rotação aveia preta/milho/nabo forrageiro com aplicação de dejetos líquidos de suínos**. Santa Maria: Revista Ciência Rural, Departamento de Solos, 2005, v.35, n.6, p1287-1295

PERDOMO, C. C. **Sugestões para o manejo, tratamento e utilização de dejetos suínos**. Concórdia: EMBRAPA - CNPSA, 1999. p. 1.

PERDOMO, C. C. et al. **Dimensionamento de sistema de tratamento e utilização de dejetos suínos**. Concórdia: EMBRAPA - CNPSA, 1999, Informativo Técnico n. 234, p. 5.

POTE, D. H. et al. **Water-quality effects of infiltration rate and manure application rate for soils receiving swine manure**. Ankeny, U.S.A.: SWCS - Soil and Water Conservation Society, Journal Soil and Water Conservation, v. 56, n. 1, p. 32-37, 2001.

PRADO, H. do **Solos do Brasil: Gênese, morfologia, classificação, levantametno**, 2 ed. Piracicaba: FUNFAG, 1999,p. 220.

PREISLER, M. **Biossólidos de dejetos de suínos tratados pelo processo N-Viro e sua influência nos atributos químicos de um cambissolo e na produtividade de milho**, Curitiba: UFPR, Dissertação de Mestrado, 2002. p. 09 - 42

PREVEDELLO, C. L. **Física do solo com problemas resolvidos**, Curitiba: Ed. SAEFS, 1996, p. 446.

RAIJ, B. van. **Análise química do solo para fins de fertilidade**, Campinas: Fundação Cargil, 1991: p. 170.

RHEINHEIMER, D. S. et al. **Dessorção de P avaliada por extrações sucessivas em amostras de solo provenientes dos sistemas plantio direto e convencional**. Santa Maria, Revista Ciência Rural, 2003, v. 33, n. 6, p. 1053-1059.

RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I. **Distribuição do P inorgânico em sistemas de manejo de solo**. Brasília, Pesquisa Agropecuária Brasileira, 2001, v. 36, p. 151-160.

RHEINHEIMER, D. S. et al. **Depleção do P inorgânico de diferentes frações provocada pela extração sucessiva com resina em diferentes solos e manejos**. In: Reunião Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa: SBCS, 2000, v. 24, p. 345-354.

SCHERER, E. E.; BALDISSERA, I. T.; ROSSO, A. de. **Dia de campo sobre manejo e utilização de dejetos suínos**. Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, 1994. Informativo Técnico, p. 47.

SCHERER, E. E.; AITA, C.; BALDISSERA, I. T. **Avaliação da qualidade do esterco líquido de suínos da região oeste catarinense para fins de utilização como fertilizante**. Florianópolis: EPAGRI, Boletim Técnico n. 79, 1996, p. 46.

SERAFIM, R. S.; LUCAS JÚNIOR, J. **P e Nitrogênio nos dejetos de suínos produzidos sob diferentes sistemas de higienização das baias**, In: XI Congresso Brasileiro de Veterinários Especialistas em Suínos, Goiânia, 2003, Anais do Evento.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**, Brasília: EMBRAPA, 1999, p. 370.

SILVA, F. C. M. **Tratamento dos dejetos suínos utilizando lagoas de alta taxa de degradação em batelada**. Florianópolis: UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina, 1996. p. 115, Dissertação Mestrado.

WEF, L. S. C. et ali. **2510 Total organic carbon (TOC)**, Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, Methods of Chemistry Analysis, 2 ed, Part 3, 1998.

WEF, L. S. C. et ali. **5310A Total organic carbon (TOC)**, Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, Methods of Chemistry Analysis, 2 ed. Part 3, 1998.

TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: UFRGS, 1995, p. 174.

TRAMONTINI, P. **Relatório do programa de expansão da suinocultura e controle da poluição**. Concórdia: EMBRAPA - CNPSA, Relatório de Apresentação, 1999.

TRENTIN, E. E. **Produção de matéria seca e acúmulo de nitrogênio e fósforo em sucessões de culturas com aplicação de dejetos de suínos**. In: XV Reunião Brasileira de Conservação do Solo e da Água, Santa Maria, 2004, Anais do Evento.

WESTERMAN, R. L. **Soil testing and plant analysis**, Third Edition, Madison, Wisconsin, USA: SSSA, 1990: Serie 3, p. 96 - 99.