

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

UTILIZAÇÃO DE LODO DE EFLUENTE DOMÉSTICO: EFEITOS
NA PRODUTIVIDADE AGRÍCOLA E EM ALGUNS ASPECTOS
AMBIENTAIS

CARLOS CESAR BREDÁ

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Câmpus de Botucatu, para a obtenção do título de Doutor em Agronomia do programa em Energia na Agricultura.

BOTUCATU – SP
Novembro – 2003

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

UTILIZAÇÃO DE LODO DE EFLUENTE DOMÉSTICO: EFEITOS NA
PRODUTIVIDADE AGRÍCOLA E EM ALGUNS ASPECTOS
AMBIENTAIS

CARLOS CESAR BREDÁ

ORIENTADOR: Prof. Dr. Iraê Amaral Guerrini

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Câmpus de Botucatu, para a obtenção do título de Doutor em Agronomia do programa em Energia na Agricultura.

BOTUCATU – SP
Novembro – 2003

CATALOGAÇÃO NA FONTE: SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO
SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO
UNESP - FCA - BOTUCATU (SP)

Breda, Carlos Cesar, 1969-
B831u Utilização de lodo de efluente doméstico: efeitos na
produtividade agrícola e em alguns aspectos ambientais /
Carlos Cesar Breda. -- Botucatu, [s.n.], 2003
xvii, 143 f. : il. color., gráfs., tabs.

Tese (doutorado) -- Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agronômicas
Orientador: Iraê Amaral Guerrini
Inclui bibliografia

1. Águas residuais - Tratamento. 2. Lodo. 3. Plan-
tas - Nutrição. 4. Milho. 5. Água - Poluição. I.
Guerrini, Iraê Amaral. II. Universidade Estadual Pau-
lista Júlio de Mesquita Filho (Campus de Botucatu). Fa-
culdade de Ciências Agronômicas. III. Título.

Palavras-chave: Tratamento de esgoto; Lodo de esgoto; Biossólido;
Nutrição de plantas; Água drenada; Resíduos
sólidos.

Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte.

O Autor

“ Ainda que eu tenha o dom de profetizar e conheça todos os mistérios e toda a ciência. Se não tiver amor, nada serei ”

I Cor 13:2

“... Mas os que tiverem sido sábios brilharão como o firmamento; e os que tiverem ensinado a muitos homens os caminhos da virtude brilharão como as estrelas, por toda a eternidade.”

Daniel 12, 3

Homenagem ao Prof. Dr. Paulo Rodolfo Leopoldo, idealizador desse projeto, grande Mestre e Amigo, com o qual pude aprender muito e compartilhar momentos alegres e tristes. A minha eterna saudade e infinita gratidão.

Aos meus queridos pais

Carlos Tadeu Breda e Carmem Martins Breda

Pelo carinho, amor e dedicação sempre dispensados a mim, pela educação maravilhosa que me proporcionaram e, principalmente, por terem me dado o que de mais precioso tenho: a VIDA.

Dedico

Aos meus avós Francisco Martins (in memorian), Carmem Martins (in memorian), Nello Breda e Angélica P. Breda, aos meus irmãos Maria Angélica Breda Teixeira, Marcelo Henrique Breda e Carlos Tadeu Breda Júnior, sobrinhos, cunhado, cunhada e tios pelos quais tenho muita consideração e estima.

Ofereço

. A G R A D E C I M E N T O S .

A Deus, que é a razão de tudo e que me confiou mais essa missão.

Ao Prof. Dr. Iraê Amaral Guerrini, por ter assumido a responsabilidade da orientação numa fase bastante conturbada, bem como pelos ensinamentos e colaboração em todas as etapas desse trabalho e pela amizade firmada nesses anos.

À FAPESP (Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo), pelo financiamento ao projeto desde sua implantação até a conclusão e pela Bolsa de Estudo concedida durante os quatro anos, sem os quais ficaríamos impossibilitados de chegar até aqui.

À Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP – Câmpus de Botucatu, especialmente ao Departamento de Engenharia Rural, pela excelente formação profissional, pela oportunidade de poder participar do curso de Pós-Graduação e por proporcionar condições necessárias à realização do trabalho.

Ao Prof. Dr. Kléber Pereira Lanças, Coordenador do curso de Pós-Graduação em Agronomia, programa em Energia na Agricultura, e demais membros do Conselho de Curso pela constante colaboração. Aos docentes responsáveis pelas disciplinas do programa em Energia na Agricultura, pelo empenho e capacidade, o que nos possibilitou o enriquecimento técnico e profissional.

Ao Prof. Dr. Lincoln Ghering Cardoso, chefe do Departamento de Engenharia Rural, em nome de quem agradeço profundamente a todos os Professores do referido Departamento pela amizade e pela confiança depositadas em minha pessoa.

Aos componentes da banca examinadora: Prof. Dr. Roberto Lyra Villas Boas, Prof. Dr. Jorge de Lucas Júnior, Prof^a. Dra. Simone Damasceno e Prof. Dr. Wanderley da

Silva Paganini, pelas excelentes e oportunas sugestões, as quais foram de grande valia para o enriquecimento das informações contidas nesta Tese.

Ao meu grande amigo e maior colaborador, Sr Pedro Alves, funcionário do Departamento de Engenharia Rural, que de maneira ímpar se dedicou ao auxílio na realização de todas as fases desse trabalho no campo e na condução e manutenção da Estação de Tratamento de Esgoto do Lageado, meus mais sinceros agradecimentos.

À Prof^a Dr^a Maria de Lourdes Conte, companheira em todos os momentos, sempre disposta a colaborar e a auxiliar nas análises laboratoriais e nas correções deste trabalho.

Aos meus “Senseis” Akira Noguchi e Mateus Sugizaki, que desde criança me ensinaram, através do Judô, a enfrentar as batalhas de frente, sem perder a honra e, principalmente, a humildade.

Ao amigo Lucas Conte Gouveia, sempre disposto a colaborar nos serviços de campo e na moagem do lodo, e também ao companheiro José Israel Ramos, pela realização das análises no Laboratório de Recursos Hídricos. Agradeço de coração a dedicação e, principalmente, a paciência para realizar, da melhor maneira possível, todas as atividades por mim solicitadas.

Aos amigos do Departamento de Engenharia Rural da FCA: Gilberto Winckler, Silvio Sabatini Scolastici, Ailton de Lima Lucas, Ronaldo Polo, Pedro Alves, Adão Gomes de Souza, Luiz Lino Sobrinho (*in memorian*), Antonio Pereira, Fernando Camargo, Maury Torres, Maria Aparecida Gonçalves, Antonia de Fátima Oliveira, Rosângela Moreci, Rita de Cássia Miranda e José Israel Ramos, pelos constantes auxílios dispensados para o desenvolvimento ou não deste trabalho sem nunca medir esforços e, muito mais, pela convivência e amizade sincera durante esses anos.

Aos funcionários do Departamento de Recursos Naturais/Ciência do Solo da FCA, José Carlos Coelho, Maurício Canavarro, Adenir Pires, Gisele Pires, Sônia Ciono, Evandro Gomes, José Garcia Pires e José De Pieri, pela educação e respeito, além da prontidão na realização das análises de solo, água, folhas e lodo. Também a todos os professores pela colaboração e disposição sempre que solicitados, em especial Profs. Drs. Roberto Lyra Villas Boas, Maria Helena Moraes, Hélio Grassi Filho e Dirceu Maximino Fernandes, não podendo esquecer do amigo Dr. Carlos Henrique dos Santos.

Ao Prof. Dr. Ângelo Catâneo, pelo auxílio na representação das análises estatísticas.

À minha namorada Flávia Damasceno Micheletto e família, bem como a todos meus familiares e amigos, pela colaboração e apoio durante todo o período de desenvolvimento desse trabalho.

À amiga Denise Mahl, pela grande colaboração na realização das análises estatísticas, meus sinceros agradecimentos.

Ao CEMEQ – UNESP (Centro de Manutenção de Equipamentos), em nome dos funcionários José Vicente Fortes, Manoel Álvaro Guimarães, Célio Almeida, Pedro Forte, Marcos G. Ribeiro, Roberto Madacke, Maria Bernadete Cardoso e Claudeth Rosa, que não mediram esforços para realizar com dedicação e empenho a manutenção dos equipamentos do Laboratório de Recursos Hídricos e da Estação de Tratamento, sobretudo na adaptação da máquina moedora de lodo, sem a qual o trabalho não seria realizado.

Às amigas da Seção de Pós-Graduação da FCA, Marilena do Carmo Santos, Marlene Rezende de Freitas, Jaqueline Moura Gonçalves e Kátia Otomo Duarte, pela seriedade, educação e atenção que sempre me dispensaram.

Ao pessoal da Diretoria de Serviços e Atividades Auxiliares, Eduardo Russo, José Luiz Cavallari, Márcia Aparecida Bruno, Airton Fioravante, José Maria dos Reis,

Osvaldo Fernandes, Jaime Viana (Firmidito), Pedro Alho e, em especial, ao meu padrinho Francisco Martins Filho, a minha gratidão por todo respaldo dado à Estação de Tratamento de Esgoto em todas as etapas do estudo.

Ao senhor Dorival de Pieri (Dori), pela amizade e pelo auxílio sempre que necessários.

Aos Doutores Paulo Sérgio Andrade Moreira, Roberto Sartori Filho, José Ricardo Pupo Gonçalves, Antonio Gabriel Filho, José Augusto Rodrigues Torres e seus familiares, pelo apoio, pela convivência sadia e pela amizade firmada desde nossa infância.

Aos amigos do dia-a-dia Paulo Roberto Arbex, Antonio Renan Berchol Silva, Rogério Germino, Élcio Yano, Elka Élice V. de Miranda, Reginaldo Barbosa da Silva, Alcivânia de Melo Silva, Edilene Costa (Biru), Marcelo Domingos Chama Lopes, João Alberto Borges de Araújo, Mariana Melo Rocha e Fábio Venegas, companheiros para um café, um churrasco e um bom papo, e aos demais amigos e colegas que conquistei durante essa caminhada da Pós-graduação meu muito obrigado pela consideração e amizade.

Aos funcionários das Fazendas de Ensino Pesquisa e Produção (FEPP/FCA), em especial à minha amiga Sílvia Stein e ao Prof. Dr. Sílvio José Bicudo, bem como aos amigos Eduardo Stocco, Ermete Nibi Neto (Bigode), Eduardo Fortes (Ado), Carlos Soares (Magrão) e a todo pessoal da Biblioteca, pela inestimável colaboração e amizade.

Às Engenheiras Agrônomas Andréa Bogatti Guimarães Tomazela e Aline Regina Piedade Ribeiro, alunas de Pós-graduação em Agronomia – Irrigação e Drenagem – FCA/UNESP – Botucatu, SP, pela amizade, contribuição e auxílio.

E a todos aqueles que de maneira direta ou indireta colaboraram para o desenvolvimento desta pesquisa.

. SUMÁRIO .

	. página .
LISTA DE QUADROS.	XI .
LISTA DE FIGURAS.	XV .
1. RESUMO.	1 .
2. SUMMARY.	4 .
3. INTRODUÇÃO.	7 .
4. REVISÃO DE LITERATURA.	10 .
4.1 Importância da água.	10 .
4.2 Situação da água.	12 .
4.3 Causas da escassez.	14 .
4.4 Tecnologias para o tratamento de esgoto	16 .
4.5 Utilização do lodo de esgoto na agricultura como fonte de nutrientes.	18 .
4.6 Efeitos no solo.	20 .
4.7 Efeitos na planta.	24 .
4.8 Efeitos na água drenada pelo solo.	27 .
4.9 Critérios para a aplicação de resíduos orgânicos urbanos em solos agrícolas. ...	29 .
5. MATERIAL E MÉTODOS	32 .
5.1 Local de desenvolvimento dos ensaios.	32 .
5.2 Sistema de tratamento de efluente empregado na ETL.	32 .
5.3 Lodo de esgoto.	36 .
5.4 Composição do experimento.	37 .
5.5 Delineamento experimental.	39 .
5.6 Caracterização do lodo de esgoto.	40 .
5.7 Operações agrícolas na área experimental.	44 .
5.7.1 Operações antes da instalação do experimento.	44 .
5.7.2 Operações de instalação dos ensaios.	44 .
5.8 Parâmetros avaliados.	46 .
5.8.1 Desenvolvimento da cultura no campo.	46 .
5.8.1.1 Altura das plantas.	48 .
5.8.1.2 Diâmetro do colmo.	48 .
5.8.1.3 Número de folhas.	48 .
5.8.2 Componentes de produção.	48 .
5.8.2.1 Massa das espigas sem palha e massa da palha.	49 .
5.8.2.2 Comprimento, diâmetro e número de fileiras das espigas.	49 .
5.8.2.3 Diâmetro dos sabugos.	49 .
5.8.2.4 Massa de 1000 grãos.	49 .
5.8.2.5 Número de espigas por parcela.	50 .

5.8.2.6 Número de grãos por espiga.	50 .
5.8.2.7 Produtividade.	50 .
5.8.3 Análise foliar.	50 .
5.8.4 Análises de solo.	51 .
5.8.5 Água drenada pelo solo.	52 .
5.8.6 Coleta de amostras de solo em profundidade.	53 .
5.8.7 Dados climatológicos.	54 .
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.	56 .
6.1 Cultura.	56 .
6.1.1 Desenvolvimento da cultura no campo.	56 .
6.1.1.1 Altura das plantas.	56 .
6.1.1.2 Diâmetro do colmo.	57 .
6.1.1.2 Número de folhas.	59 .
6.1.2 Componentes de produção.	62 .
6.2 Análise de solo.	69 .
6.2.1 Análise básica.	70 .
6.2.2 Análise de micronutrientes.	81 .
6.3 Análise foliar.	86 .
6.3.1 Macronutrientes.	86 .
6.3.2 Micronutrientes.	91 .
6.4 Água drenada pelo solo.	94 .
6.5 Análise de solo em profundidade.	114 .
6.5.1 Análise básica.	114 .
6.5.2 Análise de micronutrientes.	121 .
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.	128 .
8. CONCLUSÕES.	131 .
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	133 .

. LISTA DE QUADROS .

. Quadro .	. página .
1. Amplitude da variação das concentrações dos componentes de lodos de esgoto produzidos em diferentes localidades da RMSP e utilizados por diferentes autores. Adaptado de Oliveira (2000) pg. 6 * .	19 .
2. Resultados da análise química básica do solo da área experimental antes da instalação do experimento, nas faixas de 0-10 e 10-20cm de profundidade.	38 .
3. Concentrações de micronutrientes no solo da área experimental antes da instalação do experimento, nas faixas 0-10 e 10-20cm de profundidade.	38 .
4. Características dos lodos de esgoto utilizados em cada um dos ensaios.	42 .
5. Quantidades de matéria orgânica e nutrientes (kg ha ⁻¹) adicionadas via lodo por tratamentos em cada ensaio.	43 .
6. Altura das plantas (cm), na primeira medição, nos quatro ensaios do trabalho.	58 .
7. Altura das plantas (cm), na segunda medição, nos quatro ensaios do trabalho.	58 .
8. Altura das plantas (cm), na terceira medição, nos quatro ensaios do trabalho.	58 .
9. Diâmetro do colmo das plantas (cm), na primeira medição, nos quatro ensaios do trabalho.	60 .
10. Diâmetro do colmo das plantas (cm), na segunda medição, nos quatro ensaios do trabalho.	60 .
11. Diâmetro do colmo das plantas (cm), na terceira medição, nos quatro ensaios do trabalho.	60 .
12. Número de folhas das plantas, na primeira medição, nos quatro ensaios do trabalho.	61 .
13. Número de folhas das plantas, na segunda medição, nos quatro ensaios do trabalho.	61 .
14. Número de folhas das plantas, na terceira medição, nos quatro ensaios do trabalho.	61 .
15. Massa da palha (kg) nos quatro ensaios do trabalho.	63 .
16. Massa das espigas sem palha (kg) nos quatro ensaios do trabalho.	63 .
17. Comprimento das espigas (cm) nos quatro ensaios do trabalho.	64 .
18. Número de grãos por espiga nos quatro ensaios do trabalho.	64 .
19. Número de fileiras das espigas nos quatro ensaios do trabalho.	65 .
20. Diâmetro dos sabugos (mm) nos quatro ensaios do trabalho.	65 .

. Quadro .	. página .
21. Massa de 1000 grãos (g) nos quatro ensaios do trabalho.	65 .
22. Diâmetro das espigas (mm) nos quatro ensaios do trabalho.	66 .
23. Número de espigas por parcela nos quatro ensaios do trabalho.	67 .
24. Produtividade a 13% umidade (kg ha^{-1}), nos quatro ensaios do trabalho.	67 .
25. Valores de pH do solo na faixa de 0-10cm de profundidade.	71 .
26. Valores de pH do solo na faixa de 10-20cm de profundidade.	71 .
27. Acidez potencial do solo (H+Al) ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) na faixa de 0-10cm de profundidade.	71 .
28. Acidez potencial do solo (H+Al) ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) na faixa de 10-20cm de profundidade.	72 .
29. Concentração de matéria orgânica no solo (g dm^{-3}) na faixa de 0-10cm de profundidade.	73 .
30. Concentração de matéria orgânica no solo (g dm^{-3}) na faixa de 10-20cm de profundidade.	73 .
31. CTC do solo ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) na faixa de 0-10cm de profundidade.	74 .
32. CTC do solo ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) na faixa de 10-20cm de profundidade.	74 .
33. Concentração de fósforo no solo (mg dm^{-3}) na faixa de 0-10cm de profundidade. .	75 .
34. Concentração de fósforo no solo (mg dm^{-3}) na faixa de 10-20cm de profundidade. .	75 .
35. Concentração de potássio do solo ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) na faixa de 0-10cm de profundidade.	77 .
36. Concentração de potássio do solo ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) na faixa de 10-20cm de profundidade.	77 .
37. Concentração de cálcio do solo ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) na faixa de 0-10cm de profundidade.	77 .
38. Concentração de cálcio do solo ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) na faixa de 10-20cm de profundidade.	78 .
39. Concentração de magnésio do solo ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) na faixa de 0-10cm de profundidade.	78 .
40. Concentração de magnésio do solo ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) na faixa de 10-20cm de profundidade.	78 .

. Quadro .	. página .
41. Concentração de enxofre no solo ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) na faixa de 0-10cm de profundidade.	79 .
42. Concentração de enxofre no solo ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) na faixa de 10-20cm de profundidade.	80 .
43. Soma de bases no solo ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) na faixa de 0-10cm de profundidade.	80 .
44. Soma de bases no solo ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) na faixa de 10-20cm de profundidade.	80 .
45. V% do solo ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) na faixa de 0-10cm de profundidade.	81 .
46. V% do solo ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) na faixa de 10-20cm de profundidade.	81 .
47. Concentração de boro no solo (mg dm^{-3}) na faixa de 0-10cm de profundidade. ...	82 .
48. Concentração de boro no solo (mg dm^{-3}) na faixa de 10-20cm de profundidade. . .	82 .
49. Concentração de cobre no solo (mg dm^{-3}) na faixa de 0-10cm de profundidade. ...	83 .
50. Concentração de cobre no solo (mg dm^{-3}) na faixa de 10-20cm de profundidade. . .	83 .
51. Concentração de ferro no solo (mg dm^{-3}) na faixa de 0-10cm de profundidade.	84 .
52. Concentração de ferro no solo (mg dm^{-3}) na faixa de 10-20cm de profundidade. ..	84 .
53. Concentração de manganês no solo (mg dm^{-3}) na faixa de 0-10cm de profundidade.	85 .
54. Concentração de manganês no solo (mg dm^{-3}) na faixa de 10-20cm de profundidade.	85 .
55. Concentração de zinco no solo (mg dm^{-3}) na faixa de 0-10cm de profundidade. ...	85 .
56. Concentração de zinco no solo (mg dm^{-3}) na faixa de 10-20cm de profundidade. . .	86 .
57. Resultados médios para o teor foliar de nitrogênio (g kg^{-1}) em plantas de milho. ..	87 .
58. Resultados médios para o teor foliar de fósforo (g kg^{-1}) em plantas de milho.	88 .
59. Resultados médios para o teor foliar de potássio (g kg^{-1}) em plantas de milho.	89 .
60. Resultados médios para o teor foliar de cálcio (g kg^{-1}) em plantas de milho.	89 .
61. Resultados médios para o teor foliar de magnésio (g kg^{-1}) em plantas de milho. ...	90 .
62. Resultados médios para o teor foliar de enxofre (g kg^{-1}) em plantas de milho.	90 .
63. Resultados médios para o teor foliar de boro (mg kg^{-1}) em plantas de milho.	91 .
64. Resultados médios para o teor foliar de cobre (mg kg^{-1}) em plantas de milho.	92 .
65. Resultados médios para o teor foliar de ferro (mg kg^{-1}) em plantas de milho.	92 .
66. Resultados médios para o teor foliar de manganês (mg kg^{-1}) em plantas de milho. .	93 .

. Quadro .	. página .
67. Resultados médios para o teor foliar de zinco (mg kg^{-1}) em plantas de milho.	93 .
68. Valores de pH do solo no final da fase experimental em quatro profundidades. ..	116 .
69. Acidez potencial (H^+Al) do solo ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$), no final da fase experimental em quatro profundidades.	116 .
70. Matéria orgânica do solo (g dm^{-3}), no final da fase experimental em quatro profundidades.	116 .
71. CTC do solo ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$), no final da fase experimental em quatro profundidades.	116 .
72. Concentração de fósforo no solo (mg dm^{-3}), no final da fase experimental em quatro profundidades.	119 .
73. Concentração de potássio no solo ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$), no final da fase experimental em quatro profundidades.	119 .
74. Concentração de cálcio no solo ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$), no final da fase experimental em quatro profundidades.	119 .
75. Concentração de magnésio no solo ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$), no final da fase experimental em quatro profundidades.	119 .
76. Concentração de enxofre no solo ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$), no final da fase experimental em quatro profundidades.	122 .
77. Soma de bases no solo ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$), no final da fase experimental em quatro profundidades.	122 .
78. Saturação por bases (V%) no solo ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$), no final da fase experimental em quatro profundidades.	122 .
79. Concentração de boro no solo (mg dm^{-3}), no final da fase experimental em quatro profundidades.	124 .
80. Concentração de cobre no solo (mg dm^{-3}), no final da fase experimental em quatro profundidades.	124 .
81. Concentração de ferro no solo (mg dm^{-3}), no final da fase experimental em quatro profundidades.	124 .
82. Concentração de manganês no solo (mg dm^{-3}), no final da fase experimental em quatro profundidades.	124 .
83. Concentração de zinco no solo (mg dm^{-3}), no final da fase experimental em quatro profundidades.	126 .

. LISTA DE FIGURAS .

. Figura .	. página .
1. Distribuição da água no planeta Terra (D'AMBROSIO, 2001).	13 .
2. Esquema da localização da ETL – FCA/UNESP, Botucatu-SP, sem escala e dimensões.	33 .
3. Esquema resumido e ilustrado do sistema de tratamento de esgoto empregado na ETL.	34 .
4. Vista geral das caixas de decantação. (A) entrada de efluente; (B) parte superior das grades e da peneira; (C) divisor de fluxo.	35 .
5. Esquema das caixas de decantação: observa-se as grades, peneiras e o divisor de fluxo (sem escala e sem dimensões).	35 .
6. Terreiro de alvenaria utilizado para a depósito e secagem inicial do lodo de esgoto gerado na ETL.	37 .
7. Terreiro de alvenaria protegido com túnel plástico para proteção e secagem final do lodo da ETL.	37 .
8. Picadora de forragem TRAPP-TRF100, adaptada pelo CEMEQ/UNESP para a moagem do lodo.	37 .
9. Esquema da composição das parcelas.	39 .
10. Disposição dos blocos na área experimental mostrando as posições de cada parcela definidas ao acaso.	40 .
11. Operações agrícolas na área experimental: (A) área experimental estaqueada, com os sacos de lodo divididos por parcela; (B) aplicação manual de lodo moído nas parcelas; (C) situação da área após aplicação do lodo; (D) incorporação de lodo com enxada rotativa; (E) uniformização da superfície do solo da parcela após incorporação do lodo; (F) utilização do riscador na demarcação da linhas de semeadura; (G) abertura dos sulcos para semeadura e (H) vista geral das sementes dispostas no sulco e dos gabaritos de PVC.	47 .
12. Esquema da caixa enterrada utilizada na coleta de amostras de água drenada.	52 .
13. Variação da temperatura ambiente (°C) da área experimental durante o período de realização do trabalho.	54 .
14. Precipitação pluviométrica total (mm) durante as diversas etapas da fase experimental.	55 .
15. Comparação das produtividades em cada ensaio dentro dos tratamentos.	68 .
16. Comparação das produtividades em cada tratamento dentro de cada ensaio.	69 .

. Figura .	. página .
17. Variação das concentrações de Sólidos Totais (mg L^{-1}), na água drenada para cada tratamento em todos os ensaios.	. 96 .
18. Variação da condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) na água drenada para cada tratamento em todos os ensaios.	. 97 .
19. Variação da turbidez (NTU) da água drenada para cada tratamento em todos os ensaios.	. 98 .
20. Variação das concentrações de N_{total} (mg L^{-1}), na água drenada para cada tratamento em todos os ensaios.	. 100 .
21. Variação das concentrações de N-NO_3 (mg L^{-1}), na água drenada para cada tratamento em todos os ensaios.	. 101 .
22. Variação das concentrações de N-NO_2^- (mg L^{-1}), na água drenada para cada tratamento em todos os ensaios.	. 102 .
23. Variação das concentrações de P_{total} (mg L^{-1}), na água drenada para cada tratamento em todos os ensaios.	. 104 .
24. Variação das concentrações de potássio (mg L^{-1}), na água drenada para cada tratamento em todos os ensaios.	. 105 .
25. Variação das concentrações de cálcio (mg L^{-1}), na água drenada para cada tratamento em todos os ensaios.	. 107 .
26. Variação das concentrações de magnésio (mg L^{-1}), na água drenada para cada tratamento em todos os ensaios.	. 108 .
27. Variação das concentrações de enxofre (mg L^{-1}), na água drenada para cada tratamento em todos os ensaios.	. 109 .
28. Variação das concentrações de sódio (mg L^{-1}), na água drenada para cada tratamento em todos os ensaios.	. 110 .
29. Variação do pH na água drenada para cada tratamento em todos os ensaios.	. 112 .
30. Variação da concentração de detergente (mg L^{-1}) na água drenada para cada tratamento em todos os ensaios.	. 113 .
31. Variação do pH do solo nas quatro profundidades amostradas.	. 117 .
32. Acidez potencial (H^+/Al) do solo nas quatro profundidades amostradas.	. 117 .
33. Matéria orgânica do solo nas quatro profundidades amostradas.	. 117 .
34. CTC do solo nas quatro profundidades amostradas.	. 117 .
35. Fósforo do solo nas quatro profundidades amostradas.	. 120 .
36. Potássio do solo nas quatro profundidades amostradas.	. 120 .

. Figura .	. página .
37. Cálcio do solo nas quatro profundidades amostradas.	120 .
38. Magnésio do solo nas quatro profundidades amostradas.	120 .
39. Enxofre do solo nas quatro profundidades amostradas.	123 .
40. Soma de Bases do solo nas quatro profundidades amostradas.	123 .
41. V% do solo nas quatro profundidades amostradas.	123 .
42. Boro do solo nas quatro profundidades amostradas.	125 .
43. Cobre do solo nas quatro profundidades amostradas.	125 .
44. Ferro do solo nas quatro profundidades amostradas.	125 .
45. Manganês do solo nas quatro profundidades amostradas.	125 .
46. Zinco do solo nas quatro profundidades amostradas.	126 .

1. RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da aplicação do lodo de esgoto proveniente de uma pequena estação de tratamento, localizada na Fazenda Experimental Lageado, Faculdade de Ciências Agronômicas–UNESP, Botucatu, SP, Brasil, na produtividade agrícola e características de plantas de milho, bem como seus impactos nas características do solo e na qualidade da água drenada para o freático.

O delineamento experimental foi constituído por blocos ao acaso, com parcelas subdivididas no tempo (Ensaio), num total de 6 tratamentos, 4 blocos e 4 ensaios, sendo T1 (testemunha, sem fertilização); T2 (10t ha⁻¹ de lodo seco); T3 (20t ha⁻¹ de lodo seco); T4 (30t ha⁻¹ de lodo seco); T5 (40t ha⁻¹ de lodo seco) e T6 (adubação mineral). Os ensaios foram assim definidos: E1 (cultivo de verão instalado em 11/2000); E2 (cultivo de inverno instalado em 06/2001); E3 (segundo cultivo de verão instalado em 11/2001) e E4 (segundo cultivo de inverno instalado em 05/2002). Foi utilizado o milho como cultura teste.

Os parâmetros avaliados no campo foram altura das plantas, diâmetro do colmo e número de folhas em três épocas diferentes, além da análise foliar. Após a colheita das espigas foram avaliados os componentes de produção: massa sem palha, comprimento, diâmetro e número de fileiras das espigas; massa da palha; diâmetro dos sabugos; número de

espigas por parcela; peso de 1000 grãos e número de grãos por espiga, além do cálculo da produtividade a 13% de umidade. Ao final de cada ensaio foram coletadas amostras de solo nas faixas de 0-10 e 10-20cm de profundidade para a realização de análises químicas básica e de micronutrientes. Amostras da água drenada ao longo do perfil do solo foram coletadas com a utilização de caixas enterradas, sendo determinados os teores de nitrato, nitrito, DQO, turbidez, detergente, condutividade elétrica, pH, sólidos totais, N, P, K, Ca, Mg, S, Na, B, Cu, Fe, Mn e Zn.

Os resultados foram analisados estatisticamente pelo “software” ESTAT e submetidos à análise de variância. Nos casos de variações significativas, procedeu-se o teste de Tukey a 5% de significância. As amostras de água drenada, que foram coletadas em apenas um ponto para cada tratamento, sem repetição, permitiram apenas a avaliação da tendência de aumento ou diminuição dos parâmetros.

Os resultados do desenvolvimento das plantas no campo mostraram, em todas as determinações de altura, diâmetro e número de folhas, uma tendência de se obter maiores valores à medida em que se aumentou a dose de lodo de esgoto. Os componentes de produção comportaram-se de maneira semelhante, pois na maioria deles não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos no decorrer dos ensaios. Ao se considerar as médias, observou-se diferenças significativas, sendo os resultados dos tratamentos com lodo maiores que a testemunha e iguais ao tratamento com adubo. Em E1 observou-se altas produtividades em todos os tratamentos, inclusive na testemunha. Porém, nos ensaios posteriores, a testemunha apresentou quedas marcantes. Em média, a produtividade diminuiu para cada tratamento.

A aplicação de lodo, independentemente da dose, promoveu aumentos nos teores de matéria orgânica, P e micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn), bem como na CTC do solo. Além disso houve diminuição do pH e nos teores de K, Ca e Mg, com consequente aumento da acidez potencial (H^+Al).

Nas análises foliares observou-se, exceto para o potássio, que os teores dos nutrientes nas plantas fertilizadas com lodo de esgoto apresentaram-se dentro das faixas de valores definidas como adequadas pela literatura. As plantas dos tratamentos com lodo apresentaram maiores teores de P e Zn, em relação às plantas dos demais tratamentos, e de N,

S e Cu, apenas em relação à testemunha. Quando se utilizou o lodo de esgoto, observou-se que as plantas apresentaram teores de K menores do que aquelas dos demais tratamentos.

As análises da água drenada apresentaram resultados variados, que podem ser atribuídos à quebra da estrutura natural do solo quando da confecção das caixas de coleta e à pequena profundidade em que foram coletadas as amostras.

Para as amostras de solo coletadas em diferentes profundidades, observou-se que a aplicação de altas doses de lodo de esgoto por quatro vezes consecutivas em dois anos causou acúmulo de nutrientes e matéria orgânica apenas nas camadas superficiais do solo, com exceção do enxofre que lixiviou para camadas mais profundas.

Com bases nos estudos realizados, bem como no intervalo de tempo e com as doses de lodo utilizadas, concluiu-se que, caso houvesse a necessidade de se recomendar uma dose ideal de lodo de esgoto para o fornecimento de nutrientes à cultura do milho, esta ficaria entre 10 e 20t ha⁻¹, onde se observou maior produtividade e menor permanência de resíduos no solo.

DOMESTIC SEWAGE SLUDGE USE: EFFECTS IN THE AGRICULTURAL PRODUCTIVITY AND IN SOME ENVIRONMENTAL ASPECTS. 2003, 143 f. Doutorado (Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Botucatu, 2003.

Author: CARLOS CESAR BREDÁ

Adviser: IRACÊ AMARAL GUERRINI

2. SUMMARY

The objective of this study was to evaluate the effects of the use of sewage sludge, coming from a small treatment station, located in Lageado Experimental Farm, Agronomic Sciences College - UNESP, Botucatu, SP, Brazil, on productivity and characteristics of corn plants, as well as its impact on soil characteristics and quality of drained water.

The experimental design constituted of randomized blocks, with split plots in time (Assays), with 6 treatments, 4 blocks and 4 assays. The treatments were T1 (control, without fertilization); T2 (10t ha⁻¹ of dry sludge); T3 (20t ha⁻¹ of dry sludge); T4 (30t ha⁻¹ of dry sludge); T5 (40t ha⁻¹ of dry sludge) and T6 (mineral fertilizer). The assays were defined as: E1 (first summer plantation, installed in 11/2000); E2 (first winter plantation, installed in 06/2001); E3 (second summer plantation, installed in 11/2001), and E4 (second winter plantation, installed in 05/2002).

The parameters evaluated were height of plants, stem diameter and number of leaves, besides leaves chemical analysis. After harvesting of corn spikes, the production components were evaluated: spikes without straw; spike length, diameter and line number; straw weight; corncob diameter; number of spikes; weight of 1000 grains and grains for spike). Moreover, the corn productivity at 13% of humidity was calculated. At the end of

each assay, soil samples were collected in 0-10 and 10-20cm depth, and evaluated for the basic and micronutrients chemical analyses. Drained water samples were collected using buried boxes and evaluated for nitrate, nitrite, COD, turbidity, detergent, electric conductivity, pH, total solids, N, P, K, Ca, Mg, S, Na, B, Cu, Fe, Mn, and Zn.

The results were analyzed using the ESTAT software, for analysis of variance. Whenever the results were significant, the analyses were complemented with the Tukey test with 5% significance level. The groundwater samples that were collected only in one time point for each treatment, without repetition, allowed only for evaluation of the parameters tendency.

The results of the development of plants in the field showed in all evaluations of height, diameter and leaves number, a tendency for increased values as the sewage sludge dose increased. The production components there was no significant difference among the treatments within the assays, however, when the averages were compared, the sludge treatments and the chemical fertilizer were similar to each other, but superior to the control. In E1, high productivity values were observed in all treatments. In the posterior assays, the control group, as well as the other groups, presented a significant decrease in productivity.

In the four sewage sludge applications, it was observed increase in soil organic matter, P, micronutrients and ECC. Besides, there was a decrease in pH, Ca and Mg, with consequent increase in potential acidity ($H+Al$). The K levels, and sum of bases and base saturation indexes also decreased.

In corn leaves, it was observed that, except for the K, the nutrient levels of the plants fertilized with sludge were within ideal values defined in the literature. The sewage sludge treatments showed larger values of P and Zn in relation to the other treatments. Values of N, S and Cu were larger in relation to the control group, only. The K levels were smaller in relation to the other treatments.

Drained water samples showed variable behavior. Some of this variability can be attributed to the break in the soil natural structure, when the collection boxes were made and also due to the shallow collection.

Soil samples collected from different depths showed that greater application of sludge doses for four times in two years, caused accumulation of nutrients and

organic matter in soil surface, supposedly in the same incorporation depth. However, at larger depths, the sludge treatments obtained similar values to those obtained in the control and in the treatment with chemical fertilizer.

With bases in the accomplished studies, as well as in the time interval and used doses of sewage sludges , it was concluded that, if was necessary to recommend an ideal dose of sewage sludge to supply nutritious for the corn plants, this would be between 10 and 20t ha⁻¹. Where was observed larger productivity and smaller permanence of residues in the soil.

KEYWORDS: sewer treatment, wastewater treatment, sewage sludge, corn, plants nutrition, soils, drained water, solids residues

3. INTRODUÇÃO

As preocupações e incertezas com relação ao futuro da qualidade e quantidade da água são assuntos cada vez mais discutidos e destacados junto às autoridades responsáveis, seja em escala mundial, federal, ou mesmo regional. Isso fez com que se definissem e fossem colocadas em prática normas para a preservação dos recursos disponíveis, despertando na classe científica e em outros setores da sociedade grande interesse na busca de soluções técnicas para o problema.

Torna-se claro que toda essa movimentação fundamenta-se nos riscos que a humanidade poderá enfrentar caso medidas de preservação, uso racional e economia de água não venham a ser tomadas em tempo hábil.

Ao lado das futuras restrições da disponibilidade de água ligadas aos aspectos quantitativos, há que se considerar também os aspectos qualitativos, que impedem a imediata reutilização das águas sem prévio tratamento. Os diversos tipos de poluição são os principais causadores da redução da pronta disponibilidade de água quando se refere aos aspectos qualitativos. Onde quer que exista, a poluição sempre será um grave problema para o homem e para o meio ambiente.

As soluções que vêm sendo buscadas estão ligadas ao tratamento dos esgotos domésticos e dos efluentes industriais e à educação do povo para a redução dos

desperdícios, bem como aos estudos que definem regras para que se façam melhores usos e ocupações dos solos.

No que se refere ao esgoto doméstico, pesquisas apontam que metade da população não dispõe de rede de esgoto, sendo que em muitas localidades os esgotos ainda se encontram dispostos a “céu aberto”. De forma mais grave, sabe-se que quase a totalidade dos esgotos é despejada nos cursos de água naturais sem nenhum tratamento, comprometendo a qualidade dos mesmos.

Com base nessas e em outras informações, um maior número de pesquisadores começou a demonstrar interesse em realizar estudos nessa área, com o objetivo de desenvolver novas tecnologias para o tratamento e reutilização das águas residuárias oriundas de atividades domésticas ou de processos industriais, levando sempre em consideração a viabilidade econômica e operacional dos sistemas desenvolvidos.

As opções para tratamento ou recuperação de águas servidas de origem doméstica, agrícola ou industrial envolvem inúmeras alternativas, que podem ser complexas e onerosas ou simples e de baixo custo.

Seguindo essa tendência, o Laboratório de Recursos Hídricos do Departamento de Engenharia Rural da FCA/UNESP – Botucatu-SP, com apoio da FAPESP, passou por uma total reestruturação e iniciou estudos para o desenvolvimento de tecnologias que viessem melhorar a qualidade dos efluentes domésticos antes de sua disposição final no ambiente. Para isso, foi construída na Fazenda Experimental Lageado (sede da FCA), também com o apoio da FAPESP, a Estação Experimental de Tratamento de Efluente Doméstico do Lageado (ETL). Essa estação é utilizada para estudar, principalmente, a eficiência do sistema fito-pedológico, constituído por substrato filtrante e macrófitas aquáticas na depuração dos despejos domésticos gerados por uma pequena comunidade rural.

Contudo, o sistema utilizado na ETL, da mesma forma que a maioria dos sistemas de tratamento de esgoto, gera resíduos que devem ser reciclados em conformidade com o princípio da auto-sustentabilidade proposto na Agenda 21.

O referido sistema utiliza caixas de decantação antes da atuação das plantas, visando a retenção de material sólido grosseiro, o qual é genericamente chamado de lodo de esgoto.

De acordo com vários estudos já realizados, o lodo de esgoto é tido como o maior e mais sério problema a ser solucionado pelas estações de tratamento, e com urgência. Uma vantagem a ser explorada está ligada aos altos teores de matéria orgânica e nutrientes, o que permite sua utilização, de maneira satisfatória, na produção agrícola como substituto de fertilizantes minerais. Além do fornecimento de nutrientes, a aplicação do lodo de esgoto pode representar significativa melhoria nas condições do solo devido a esse alto teor de matéria orgânica.

A disposição de resíduos diretamente nos solos cultivados é um método simples e fácil de ser colocado em prática, mas nem sempre pode ser aplicado devido à falta de disponibilidade de áreas próximas à estação geradora e, principalmente, devido a problemas de contaminação das águas e do solo.

Porém, ainda existem muitas dúvidas e questionamentos quanto a seus efeitos no solo, águas superficiais e subterrâneas e plantas.

Dentro do princípio da auto-sustentabilidade, as estações de tratamento devem dispor desses resíduos poluentes de modo a evitar que os mesmos venham a ocasionar impactos no meio ambiente. Disso decorre a importância desta investigação, uma vez que foram obtidos resultados que permitem avaliar e dar maior segurança para a utilização do lodo em áreas agrícolas, pois mostra alguns efeitos causados pela utilização repetida do material em pauta como fertilizante orgânico nos solos cultivados, bem como nas plantas e na água drenada pelo solo.

A cultura teste escolhida foi a do milho, a qual possui maior importância no âmbito nacional, sendo cultivada na maioria das propriedades rurais, sejam elas de grande, médio ou pequeno porte.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Importância da água

A presença da água e sua disponibilidade para o consumo imediato são condições fundamentais para a manutenção da vida na Terra e o desenvolvimento da humanidade.

Porém, dada a falta de critérios definidos em seu uso, há uma tendência cada vez maior de escassez desse recurso, o que, segundo alguns autores, poderá prejudicar o desenvolvimento de muitos países e gerar conflitos mundiais, como já se observa em algumas regiões da África e Oriente Médio. Por este e outros motivos, o bem em pauta vem despertando muita preocupação no que se refere aos seus aspectos quantitativos e qualitativos.

Ayers e Westcot (1991) mostram que as incertezas com relação ao futuro da qualidade e quantidade da água é um assunto cada vez mais discutido e destacado junto às autoridades responsáveis, seja em escala mundial, federal, ou mesmo regional, exigindo urgentes definições de normas para a preservação dos recursos disponíveis, tanto pela classe científica como por outros setores da sociedade empenhados na busca de soluções técnicas para o problema. Toda essa movimentação fundamenta-se nos riscos que a

humanidade poderá enfrentar caso medidas de preservação e economia de água não venham a ser tomadas em tempo hábil.

Em consequência disso, houve necessidade, por parte dos governantes, de estabelecer e colocar em prática leis e normas que regulamentassem a utilização e a disposição desse recurso dentro de bases racionais.

As mais importantes leis começaram a ser implantadas a partir da década de 1960 e, principalmente depois da Primeira Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada na Suécia, em 1972. A partir desse evento surgiu o conceito de desenvolvimento sustentável e muitos governos e empresas privadas começaram a levar em conta aspectos ligados ao meio ambiente em seus planos econômicos (CONTE; LEOPOLDO, 1998). Porém, os problemas ambientais continuaram a se agravar, levando à realização da Segunda Conferência, no Brasil em 1992, a ECO-92, que segundo Rebouças (1997) teve como principal resultado a Agenda 21.

Dessas Conferências surgiram algumas normas visando à sustentabilidade ambiental e a melhoria da qualidade de vida da sociedade, dando atenção especial ao controle de qualidade através da implantação da ISO-9000, Selo Verde e ISO-14000, bem como apresentando uma legislação mais rigorosa em termos de gestão ambiental (REBOUÇAS, 1997).

O Brasil passou a ter uma política mais sólida para os recursos hídricos somente depois da aprovação da Lei 9.433, de 8 de janeiro de 1997, em âmbito nacional (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RECURSOS HÍDRICOS, 1997; CABRAL, 1997). De acordo com a política de gerenciamento dos recursos hídricos definida por essa Lei, ou mesmo no estado de São Paulo conforme previsto pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos em 1991 (SÃO PAULO, 1994), que dispõe sobre a “cobrança pela utilização dos recursos hídricos no domínio do Estado de São Paulo” e que em breve será promulgada na forma de Lei, espera-se que inúmeros e diferentes sistemas de tratamento de efluentes de origem urbana, industrial ou agrícola sejam desenvolvidos e implantados com o objetivo de atender às exigências legais no que se refere ao uso e manejo da água nos termos do princípio da auto-sustentabilidade.

Essas medidas governamentais, indiscutivelmente necessárias, decorrem do constante aumento na demanda de água pela sociedade, prevendo-se sérias dificuldades no seu adequado fornecimento sem que haja um comprometimento do

desenvolvimento sócio-econômico, pois sabe-se que esse recurso é de vital importância para todos os setores da sociedade.

Sendo assim, a prevista crise mundial da água se mostra como o maior obstáculo a ser superado pelo homem neste terceiro milênio.

4.2 Situação da água

Sabe-se que o globo terrestre apresenta 75% de sua superfície coberta por água, o equivalente a uma área de 372 milhões de km².

Apesar dessa quantidade grandiosa de água, pode-se observar na Figura 1 que a disponibilidade e distribuição desse precioso recurso inspiram permanentes cuidados com o planejamento e a racionalização de seus usos, uma vez que mais de 97% desse total são áreas oceânicas, com água salgada, até o momento inviável para o consumo humano. Existem ainda 2,1% imobilizados nas geleiras e calotas polares, restando para o consumo e utilização da humanidade e dos outros seres vivos menos de 1% da água “doce” em estado líquido, sendo que desse percentual, há uma parte de exploração economicamente inviável até os dias atuais.

Disso decorrem os incontáveis problemas mundiais oriundos da falta de água de boa qualidade para as populações, conforme se observou pela conclusão obtida no final da Década Internacional da Água Potável e Saneamento da UNESCO (1981 a 1991), que mostrou a informação preocupante da existência de 1 bilhão de pessoas sem abastecimento seguro e quase $\frac{1}{3}$ da população sem saneamento adequado. Na conclusão dessa década, a Organização Mundial da Saúde (OMS) estimava em 4 milhões o número de crianças mortas anualmente por doenças transmitidas por água de má qualidade (CAPOZOLI, 1997).

Segundo Mancuso et al. (1992), a água, cujo desperdício é prática comum, vem se tornando um produto cada vez mais raro, pois apenas 6% de toda água doce existente no planeta ainda se presta ao consumo humano. Esses autores citam que a necessidade mundial em 1950 era de 1.360km³ ano⁻¹, saltando, de forma assustadora, para 4.130km³ ano⁻¹ nos anos 1990. A responsabilidade por esse consumo está assim dividida: agricultura (69%), indústria (23%) e domicílios (8%). Outras estatísticas apontam que, praticamente, 50% da água disponível já se encontra comprometida, e que os 50% restantes

serão insuficientes para atender ao crescimento da demanda sem diretas consequências no desenvolvimento da sociedade (POSTEL et al., 1996).



Figura 1: Distribuição da água no planeta Terra (D'AMBROSIO, 2001).

Zapparoli (1997) reporta que o crescimento explosivo da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) acelerou a deterioração da qualidade e o aumento da competição pelo uso da água. Dados apresentados pelo mesmo autor mostram que, na RMSP a demanda máxima pelo produto em 1996 ficou em torno de $56,7\text{m}^3\text{ s}^{-1}$ crescendo para $69,2\text{m}^3\text{ s}^{-1}$ no ano seguinte, porém a produção máxima no biênio 1996/1997 foi em média $59,1\text{m}^3\text{ s}^{-1}$, resultando em rodízios constantes em vários locais com o objetivo de garantir água de boa qualidade para todos.

Pessoa (1989) destaca que, em função das atuais taxas de retirada de água, o ciclo hidrológico poderá fornecer água potável para uma população de 8 bilhões de habitantes, que deverá ser atingida por volta de 2020. Tais previsões foram baseadas no princípio de que a água deverá estar disponível onde e quando for necessária.

4.3 Causas da escassez de água

Esta situação de escassez de água, observada nos últimos tempos, se deve à falta de uma consciência ambiental, fazendo com que, ao lado das restrições da disponibilidade de água ligadas aos aspectos quantitativos, se considerem também os qualitativos, pois a maioria dos desperdícios e degradações da água podem ser evitados, uma vez que impedem sua imediata reutilização sem prévio tratamento, os quais, muitas vezes, podem se mostrar complexos e onerosos (BREDA; LEOPOLDO, 1999).

Os diversos tipos de poluição são os principais causadores da redução da pronta disponibilidade de água quando se refere aos aspectos qualitativos. Onde quer que exista, a poluição sempre será um grave problema para o homem e para o meio ambiente. Esse problema atinge com maior gravidade a Região Metropolitana de São Paulo, chegando a alcançar proporções incontroláveis. Capozoli (1997) comenta que nas grandes cidades como São Paulo a função dos rios foi reduzida ao transporte de esgotos, em sua maioria sem tratamento.

Luduvise (1998) utilizou dados da Secretaria de Planejamento do governo brasileiro para mostrar que, até 1996, somente 30% dos esgotos gerados nas cidades brasileiras eram coletados e apenas 8% recebiam algum tipo de tratamento. Zapparoli (1997) afirma que a cidade de São Paulo produzia, em 1997, cerca de $39\text{m}^3\text{ s}^{-1}$ de esgoto, dos quais apenas 15% ($6\text{m}^3\text{ s}^{-1}$) recebiam tratamento adequado antes do retorno ao ambiente.

Para o Brasil, dados mais recentes, baseados na Pesquisa Nacional de Saneamento Básico do ano 2000, realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), apontam que o esgotamento sanitário é o serviço de saneamento básico com menos cobertura nos municípios brasileiros, pois apenas 52,2% dos municípios e 33,5% dos domicílios são atendidos pelo serviço de coleta de esgoto (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2000a).

A pesquisa do IBGE mostrou ainda que apenas 37,8% dos municípios que possuem serviço de coleta fazem também o tratamento do esgoto. Quando o assunto é volume, os dados mostram que, diariamente, são coletados no Brasil cerca de 14,5 milhões m^3 de esgoto dos quais 5,1 milhões m^3 (35,2%) recebem algum tipo de tratamento antes de serem devolvidos ao ambiente (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2000a).

A região Sudeste é aquela que tem a maior proporção de municípios com esgoto coletado e tratado (33,1%), seguida do Sul (21,7%), Nordeste (13,3%), Centro-oeste (12,3%) e Norte (3,6%) (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2000a).

Outra informação importante fornecida pela pesquisa do IBGE é que, dos 162 distritos que compõem a RMSP, apenas 2 não possuíam rede coletora de esgoto. Além disso, dos 160 distritos com coleta, apenas 35 não faziam nenhum tipo de tratamento de esgoto (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2000b; 2000c).

A Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) mostra que, no ano 2000, eram tratados cerca de $11\text{m}^3\text{ s}^{-1}$ de esgoto nas cinco estações de tratamento que compõem o Sistema Principal de Esgoto da RMSP, o que beneficiava uma população de 6,5 milhões de habitantes (COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2000). Em 2003, nas mesmas estações, o volume tratado saltou para $18\text{m}^3\text{ s}^{-1}$, passando a beneficiar uma população de 8,4 milhões de habitantes (COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2003).

Nos casos onde não foram observados sistemas de coleta e tratamento de esgoto, constatou-se que os mesmos eram despejados *in natura* nos rios e no mar, comprometendo a qualidade da água que seria utilizada para abastecimento, irrigação e recreação (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2000a).

Algumas soluções que devem ser buscadas com urgência estão ligadas ao tratamento dos esgotos domésticos e efluentes industriais, à educação da população para a redução dos desperdícios e à definição de normas para melhorar o uso e a ocupação do solo.

Segundo Oliveira (2000), a diminuição ou, quem sabe, a solução dos problemas causados pelo esgoto urbano dependem basicamente de ações comportamentais e governamentais. Comportamentais no sentido de conscientizar o povo de que não basta tratar os resíduos e sim combater o desperdício e reduzir os volumes gerados. Governamentais relacionadas à implementação de políticas ambientais e de saneamento básico que visem ampliar a capacidade de tratamento desses resíduos.

4.4 Tecnologias para o tratamento de esgoto

Com base nas informações anteriores e em muitas outras, um maior número de pesquisadores começou a demonstrar interesse em realizar estudos nessa área, objetivando desenvolver tecnologias para tratamento e reutilização das águas residuárias oriundas de atividades domésticas ou de processos industriais, levando sempre em consideração a viabilidade econômica e operacional dos sistemas desenvolvidos (BREDA,1999).

As opções para tratamento ou recuperação de águas servidas de origem doméstica, agrícola ou industrial envolvem inúmeras alternativas, que podem ser complexas e onerosas ou simples e de baixo custo (GASI, 1988; METCALF & EDDY INC., 1979).

Os métodos convencionais mais aplicados ao controle da carga poluidora de esgotos domésticos e efluentes industriais são lagoas de decantação ou de estabilização (BERTHET, 1982; KAWAI et al., 1990; SHIMADA et al., 1987), filtros e mantas (MATSUMOTO, 1987; PATERNIANI, 1971), biodigestores (BENICASA et al., 1986; TOLEDO, 1996; VIEIRA, 1984), disposição sobre o solo (BRAILE, 1979; PAGANINI, 1997; ROCCO; BREDA, 1996), além de se considerar o papel depurador desempenhado pelas plantas macrófitas (LEOPOLDO et al., 1999).

Além de ser freqüentemente utilizada pelas indústrias para o tratamento de seus resíduos, principalmente nas usinas de cana de açúcar, a disposição de efluentes sobre o solo também pode ser utilizada para o tratamento do esgoto doméstico, como pode ser observado nos estudos realizados por Paganini (1997) que, trabalhando por 12 anos no município de Populina-SP, despejando esgoto doméstico *in natura* em solo cultivado com *Brachiaria humidicula*, concluiu que a disposição no solo é uma alternativa boa e barata para reduzir investimentos e proteger o meio ambiente, obtendo resultados significativos na redução da DBO, sólidos em suspensão e dos níveis de nitrogênio, além da elevação do nível de oxigênio dissolvido, sem causar alterações nas qualidades do solo e da água do lençol freático.

Seidel, na Alemanha, e Volverton, nos Estados Unidos, apresentaram os primeiros resultados decorrentes do uso de plantas aquáticas vasculares na depuração de águas servidas de origem doméstica e industrial por volta de 1955 (BLAKE, 1982). Nesse trabalho, o autor observa que plantas do gênero *Spircus*, *Typha* e *Phalaris* apresentam

propriedades depuradoras úteis no controle da carga poluidora de águas residuárias. Observou ainda que principalmente as plantas do gênero *Spircus* são eficientes na depuração de águas com alto conteúdo de matéria orgânica e pouco degradáveis.

Na fazenda Demétria, município de Botucatu-SP, através do monitoramento de um sistema de tratamento de efluentes domésticos utilizando-se Taboa, Junco e Lírio do Brejo, obteve-se resultados promissores, conforme relatam Conte et al. (1992), observando que as plantas atuaram com eficiência na retenção de espécies químicas dissolvidas (P e K) e reduziram, significativamente, as taxas de DBO, DQO e material sólido em suspensão. Observações similares foram relatadas por Zirschky (1986), Reuter et al. (1992) e Rostom (1993), ressaltando o uso de macrófitas como interessante alternativa no controle da carga poluidora de massas de água.

Conte et al. (1998) estudaram a eficiência de plantas de Taboa (*Typha sp*) implantadas sobre leito filtrante, composto por camadas de areia grossa, solo e casca de arroz, no tratamento do esgoto doméstico de uma pequena comunidade rural, alcançando resultados significativos, como a redução de 92% da DQO, 77% e 71% para turbidez e sólidos em suspensão, respectivamente, e uma atuação altamente considerável no controle de coliformes totais e fecais, com reduções superiores a 99,9%.

Em Botucatu-SP, na FCA/UNESP, foram realizados estudos para o desenvolvimento de novas tecnologias que viessem a melhorar a qualidade dos efluentes domésticos antes de sua disposição final no ambiente. Para isso, foi construída a Estação de Tratamento de Esgoto do Lageado (ETL), onde se estuda a eficiência do sistema fito-pedológico, composto por substrato filtrante e macrófitas aquáticas na depuração dos despejos domésticos gerados por uma pequena comunidade rural. Muitos trabalhos foram e estão sendo realizados nessa estação e seus resultados podem ser observados em Guimarães e Conte (1997), Guimarães et al. (1999), Leopoldo et al. (1999), entre outros.

Todos esses trabalhos empregam caixas de decantação para a remoção do material sólido grosseiro presente no esgoto antes da atuação do sistema fito-pedológico e, em suas conclusões, os autores propõem uma avaliação da qualidade do material retido nos decantadores (lodo de esgoto) para utilização como fertilizante orgânico, concordando com Oliveira (2000), quando relata que o sucesso de uma estação de tratamento depende da viabilização técnica e econômica de alternativas para a disposição final do lodo de esgoto,

sendo de grande importância o seu potencial de utilização agrícola, e também com aquilo proposto na Agenda 21, na qual está relatado que a implantação de diferentes sistemas de tratamento de esgotos e efluentes para a remoção de cargas poluidoras geram diferentes resíduos, conforme as características do despejo ou do sistema empregado, os quais devem ser reciclados, em conformidade com o princípio da auto-sustentabilidade.

4.5 Utilização do lodo de esgoto na agricultura como fonte de nutrientes

Apesar de ser pequeno em relação ao total produzido, o volume de esgoto tratado nas estações gera quantidades crescentes de lodo. No Paraná, a produção estava em torno de 29t dia⁻¹ de lodo seco, destacando-se a cidade de Curitiba, com 20t dia⁻¹ (ANDREOLI; PEGORINI, 1998).

Segundo o Consórcio ETEP/ESTÁTICA/JNS (1996), só na RMSP eram geradas aproximadamente 100t dia⁻¹, prevendo-se para 2015 o montante próximo a 750t dia⁻¹. Essa previsão começa a causar preocupações quando se observa que, no ano 2000, a quantidade de lodo de esgoto produzida no Sistema Principal de Esgoto da RMSP saltou para 229t dia⁻¹ (COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2000) e que, atualmente, a quantidade produzida gira em torno das 300t dia⁻¹ (Informação verbal)¹.

Segundo Paiva (1998), o lodo de esgoto é o mais sério problema nas estações de tratamento, principalmente em regiões muito populosas, pois é gerado em grandes quantidades. Por outro lado, mostra-se como um resíduo rico em matéria orgânica e nutrientes. À semelhança do esterco animal, sua utilização como substituto de fertilizantes minerais é uma das soluções mais plausíveis para o seu reaproveitamento ou reciclagem (BOARETTO, 1986; FAVARETTO et al., 1997; Mc.BRIDE, 1995; DOS SANTOS, 1984; SOPPER, 1993) sobretudo nos casos de pequenos e médios agricultores, ou ainda nos casos de assentamentos.

Dependendo de sua composição, a qual varia em função da sua origem, o lodo pode ser uma importante fonte alternativa de nutrientes e representar significativa melhoria nas condições do solo devido ao seu elevado teor de matéria orgânica.

¹ Prof. Dr. Wanderley da Silva Paganini, Superintendente da SABESP – Unidade de Negócios Médio Tietê e Professor da Escola de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, durante a Defesa da Tese, 21nov.2003.

O conhecimento da composição química do lodo de esgoto é de fundamental importância para que se decida sobre a viabilidade ou não da sua disposição em solos agrícolas, principalmente no que se refere às definições das taxas de aplicação e ao monitoramento dos seus efeitos no ambiente. Segundo Sommers et al. (1976), a composição depende do método de tratamento empregado na estação onde se obtém o material, da variabilidade sazonal e do grau de industrialização da região.

Oliveira (2000) salienta que na literatura nacional não foram encontrados trabalhos científicos específicos sobre a caracterização química do lodo de esgoto gerado em diferentes localidades e pela utilização de diferentes métodos de tratamento, porém encontrou dados de composição parcial em trabalhos que estudaram o uso agrícola desse material. Assim, reunindo valores apresentados por diversos autores, chegou a uma aproximação da variação na composição de lodos gerados na RMSP. As concentrações obtidas estão apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1: Amplitude da variação das concentrações dos componentes de lodos de esgoto produzidos em diferentes localidades da RMSP e utilizados por diferentes autores. Adaptado de Oliveira (2000) pg. 6 *.

Componente Químico	Mínimo	Máximo
Matéria Orgânica (g kg ⁻¹)	313	722
C _{orgânico} (g kg ⁻¹)	132	299
N _{total} (g kg ⁻¹)	7,2	30,7
P _{total} (g kg ⁻¹)	0,5	21,0
K (g kg ⁻¹)	0,8	14,6
Ca (g kg ⁻¹)	13,5	162,7
Mg (g kg ⁻¹)	2,1	27,3
S _{total} (g kg ⁻¹)	7,2	19,2
Cu (mg kg ⁻¹)	379	2404
Fe (mg kg ⁻¹)	34954	170955
Mn (mg kg ⁻¹)	54	820
Zn (mg kg ⁻¹)	683	4.327

* Valores obtidos por diferentes métodos analíticos, caracterizando outra fonte de variação.

Os resultados de composição do lodo apresentados no Quadro 1, gerados a partir das informações obtidas por autores brasileiros, não mostram grandes diferenças quando comparados com os dados obtidos nos Estados Unidos por Sommers (1977). Porém, verifica-se grande variabilidade quantitativa e as faixas de variações para N, P e K são sensivelmente menores do que aquelas para metais pesados. Segundo alguns autores, esta variabilidade é atribuída ao perfil industrial da região de origem das amostras.

Deve-se salientar que, além de nutrientes e metais pesados, o lodo pode conter patógenos. Hue (1995) informa que bactérias, vírus, protozoários e vermes inevitavelmente estarão presentes nesses resíduos e que as quantidades e as espécies destes patógenos variam com as condições sócio-econômicas da população, hábitos sanitários e com a eficiência dos processos de tratamento, como por exemplo digestão aeróbia, anaeróbia e calagem até pH 12,5, os quais reduzem mas não eliminam completamente a presença desses organismos (SOCCOL, 1998).

Piedade et al. (1999) relatam que uma alternativa que visa diminuir a rejeição do emprego do lodo de esgoto ligada à presença de patógenos é a utilização de biossólidos, que nada mais são do que esses resíduos submetidos a algum tratamento prévio, como a biodigestão anaeróbia, processo que ameniza o poder contaminante e vem sendo estudado há algum tempo com dejetos de suínos por Lucas Jr. (1994) e promove a redução de patógenos do material devido a alterações bioquímicas no meio durante a fermentação.

Além dos patógenos, há que se considerar também a presença dos compostos orgânicos tóxicos, em sua maioria oriundos dos esgotos industriais, produtos químicos domésticos e pesticidas (OLIVEIRA, 2000). Palhares (1998) ressalta que a disposição de resíduos diretamente nos solos cultivados é um método simples e fácil de ser colocado em prática, porém nem sempre pode ser aplicado devido à falta de disponibilidade de área em locais próximos às estações geradoras e, principalmente, devido a problemas de contaminação das águas e do solo.

4.6 Efeitos no solo

A disposição de resíduos urbanos ao solo, no caso o lodo de esgoto, objetivando o fornecimento de nutrientes às plantas, começou a despertar maiores interesses a partir da década de 70, quando se passou a utilizar, nos solos cultivados, doses muito maiores do que as recomendadas agronomicamente (KHALEEL et al., 1981). Assim, o solo passou a ser considerado um meio depurador da carga orgânica presente nesses resíduos (GLÓRIA, 1992). Isso se deve ao aumento do número de sistemas de tratamento implantados, os quais geram mais lodo com a necessidade de disposição final a baixo custo.

O interesse pelo lodo de esgoto como fertilizante não decorre apenas da presença de nutrientes em sua composição, principalmente nitrogênio, fósforo e

micronutrientes, mas também do seu teor de matéria orgânica (COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ, 1997).

A decisão da aplicação de lodo como fonte de nutrientes em solos agrícolas deve considerar as características dos solos, mineralogia, profundidade do lençol freático, permeabilidade do solo, declividade da área e o acesso ao público. Além disso, as empresas de saneamento devem atentar sempre para a melhoria do lodo por elas produzidos, auxiliando a pesquisa na busca de soluções seguras e economicamente viáveis para sua disposição final no ambiente. Outra recomendação importante é a incorporação do material ao solo com o objetivo de diminuir e até mesmo, evitar a ocorrência de odores desagradáveis, escoamento para os corpos de água e o risco de contato direto com animais e o Homem (MELO et al., 2001).

Os elevados teores de carbono orgânico presentes no lodo de esgoto são os principais indicadores do seu potencial agronômico, pois sua aplicação no solo poderá aumentar o teor desse elemento, resultando em melhorias físicas, químicas e biológicas. Outro ponto positivo para o lodo é a presença de quantidades consideráveis de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo.

A aplicação de lodo de esgoto no solo causa aumento no teor de matéria orgânica (MO), aumentando a fertilidade e o pH (OLIVEIRA, 1995), havendo também um incremento gradual na disponibilidade de Ca, Mg e S (SEKI, 1995). A presença da MO melhora a agregação das partículas, diminuindo a densidade do solo e aumentando sua aeração (BERNARDES, 1982) e também a capacidade de retenção de água (BARRETO, 1995) e a CTC (MELO et al., 1994).

Um aspecto importante a ser observado na utilização do lodo de esgoto na agricultura é seu efeito sobre o pH dos solos. Clapp et al. (1986) salientam que esses efeitos dependem do teor de MO presente nos resíduos e das propriedades do solo, bem como da taxa e do intervalo de aplicação dos resíduos. Quando o lodo é tratado com produtos alcalinos para desinfecção e secagem, a aplicação do mesmo ao solo pode provocar um aumento no pH e um aumento das cargas negativas do solo (BATAGLIA et al., 1983; DIAS, 1994; MARQUES, 1996). Berton et al. (1989) relatam que a adição de doses crescentes de biossólido em vários tipos de solo provocou elevação do pH, que, segundo os autores, pode estar ligada à formação do íon amônio pela oxidação do $N_{\text{orgânico}}$. Além dessas informações, outros trabalhos mostram

aumentos de pH em solos fertilizados com lodo tratado com cal (CaO) para redução de microrganismos patogênicos (BERTONCINI, 1997; OLIVEIRA, 1995; SILVA, 1995; SLOAN; BASTA, 1995).

Por outro lado, quando o lodo é utilizado *in natura*, ou seja, sem a adição de alcalinizantes, acarreta em decréscimo no pH do solo, fator que pode estar relacionado à nitrificação do nitrogênio amoniacal, à provável oxidação de sulfitos e também à produção de ácidos orgânicos durante a degradação do resíduo (DOWDY et al., 1991; KING; MORRIS, 1972; PIETZ et al., 1989). Logan et al. (1997) observaram um decréscimo no valor de pH para as menores doses de lodo no primeiro ano de aplicação de lodo de esgoto sem tratamento prévio com cal.

O comportamento do pH tem relação inversa com a acidez potencial, a qual é representada por H+Al. Sendo assim, autores citados por Melo et al. (2001) encontraram diminuição nos níveis de H+Al e consequente aumento de pH quando adicionaram biossólido na adubação de plantas de interesse agrônômico. Fiest et al. (1999) também observaram decréscimo da acidez potencial nas maiores doses de lodo.

Segundo Melo et al. (2001), a matéria orgânica desempenha importante papel na fertilidade de solos tropicais, pois, além de constituir o principal componente da CTC, também libera nutrientes para os vegetais durante o processo de mineralização. Sendo assim, a adição de MO aos solos agrícolas se mostra como uma importante prática para melhoria das suas características. O mesmo autor relata que em doses acima de 30t ha⁻¹ de biossólidos observa-se correlação significativa entre CTC e frações de MO.

A aplicação de biossólidos acarreta aumentos consideráveis nos teores de MO (BATAGLIA et al., 1983) e também na CTC (KIEHL, 1980; MELO et al., 1994). Abrahão (1992) observou aumento significativo nos teores de MO em Latossolo Vermelho-Escuro na faixa de 0-10cm adicionando doses de até 16t ha⁻¹.

Pelas quantidades de N e P contidas no biossólido, fica clara a capacidade desse material em substituir os fertilizantes minerais.

O emprego de lodo de esgoto na agricultura se torna vantajoso devido à promoção de melhorias nas propriedades químicas dos solos pelo aumento da MO, CTC, e aumento gradual da disponibilidade de N, P, Ca, Mg e S (SILVA, 1995)

Simonete et al. (1999) relatam que a aplicação de lodo de esgoto, além de proporcionar aos solos aumentos dos teores de MO, Soma de Bases (SB), CTC e Saturação por Bases (V%), atua também como fonte nutricional, uma vez que observaram aumentos nos teores de praticamente todos os nutrientes. Em doses acima de 20t ha⁻¹ de lodo, os mesmos autores relatam que o nível de P passou de baixo para médio e, nas doses de 40 e 50t ha⁻¹, o teor de P duplicou em relação aos tratamentos sem lodo. Os teores de S, Ca, Fe, Cu, Mn e Zn também apresentaram aumentos consideráveis em relação à testemunha quando realizada a fertilização com lodo de esgoto.

Favaretto et al. (1997), trabalhando com lodo de esgoto a 90% de umidade, concluíram que esse resíduo pode ser um substituto da adubação mineral, uma vez que não verificaram diferenças entre os tratamentos orgânicos e minerais. Além disso, observaram melhorias nas características químicas do solo quando da adubação com lodo, principalmente nos teores de P, Ca, Mg, V% e CTC.

Marques (1996) observou que o aumento da quantidade de lodo aplicada ao solo aumentou a disponibilidade de Mn, Zn e Cu, tanto nas linhas de cultivo, como nas entrelinhas de cana-de-açúcar.

Autores citados por Melo et al. (2001) relatam que existem trabalhos levantando dúvidas sobre o potencial do biossólido em aumentar o teor de P disponível no solo. Porém, a maioria das publicações mostra uma influência positiva do biossólido sobre os teores desse elemento. Esses autores salientam, ainda, que o P fornecido pelo biossólido tem menor solubilidade que o dos superfosfatos, porém são fornecidos com melhor constância ao longo do tempo.

Com relação ao potássio, autores como Cripps e Matocha (1991), Fiest et al. (1999) e Ros et al. (1993) relatam que o biossólido não se apresenta como uma boa fonte desse nutriente devido ao baixo teor encontrado no mesmo. Sendo assim, recomendam uma complementação com outra fonte de K. Segundo Bettiol e Camargo (2000), as concentrações de K nos lodos e biossólidos são pequenas devido à alta solubilidade desse elemento em água, pois durante o processo de tratamento ele segue dissolvido na fase líquida do esgoto.

O teor de micronutrientes no solo também tem aumentado pela utilização de biossólidos (BERTON et al., 1997; DEFELIPO et al., 1991). Defelipo et al. (1991) observaram aumentos nos teores de Cu, Fe, Mn e Zn em solos cultivados com sorgo

quando aplicaram biossólido proveniente de uma estação de tratamento de esgoto de usina siderúrgica, enquanto Berton et al. (1997) encontraram aumentos nos teores de Cu e Zn em três latossolos pela aplicação de biossólido com e sem calagem.

Dessa forma, pode-se concluir que a adubação orgânica realizada pela adição de lodo de esgoto traz ao solo significativas melhorias em suas características químicas, firmando-se como uma alternativa interessante para a reciclagem de nutrientes e também, em muitos casos, para a redução dos custos de produção ligados aos fertilizantes minerais convencionais. Além disso, não se pode deixar de considerar o papel ecológico dessa prática, a qual tende a minimizar a degradação ambiental pela disposição sem critérios desse material.

4.7 Efeitos na planta

Por acarretar melhorias nas propriedades do solo, a aplicação de lodo de esgoto nos solos cultivados vem causando reflexos na produtividade, pois ocorrem aumentos na absorção de nutrientes pelas plantas (OLIVEIRA, 1995).

A decomposição química do lodo é semelhante à decomposição de esterco animal, porém o uso do lodo é mais recomendado para determinados tipos de plantas, por conter grandes concentrações de N. Deve-se considerar que algumas culturas se adaptam melhor ao seu uso pelo aproveitamento dos nutrientes presentes ou pela eliminação dos riscos relacionados aos patógenos. Sendo assim, é vetado o uso para hortaliças e produtos que sejam ingeridos *in natura* e tenham contato direto com o solo fertilizado com lodo.

Santos (1979) salienta que a utilização do lodo como fonte de nutrientes pode ser adaptada a qualquer cultura de cereais ou frutas, que não tenham suas partes de interesse comercial em contato direto com o solo durante o ciclo produtivo e, se possível, os mesmos não sejam consumidos *in natura*. As gramíneas, como por exemplo, milho, trigo e cana-de-açúcar, apresentam melhores rendimentos quando submetidas à fertilização com lodo, pois realizam um bom aproveitamento dos nutrientes, além de serem colhidas mecanicamente, eliminando os riscos de contaminação (COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ, 1997). Outras aplicações interessantes são observadas em fruticultura, reflorestamento e recuperação de áreas degradadas.

Em leguminosas a eficiência é menor devido à capacidade de fixação do nitrogênio do ar. As experiências realizadas com feijão exemplificam esse fato, pois nos

campos testes as plantas apresentaram incrementos na produtividade sempre inferiores a 10%, ao passo que as de milho chegaram a quase 50% (PAIVA, 1998).

Plantas de milho apresentam bons resultados quando adubadas com biossólido, uma vez que o período vegetativo relativamente longo faz com que elas se adaptem melhor ao período de mineralização da matéria orgânica e liberação de nutrientes pelo lodo. Estudos realizados pelo Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR) na Fazenda Rio Grande, Região Metropolitana de Curitiba, acusaram aumento de até 60% na produção em áreas adubadas com lodo incorporado ao solo.

Kirkham (1982), citado por Oliveira (2000), relata que estudos sobre o poder fertilizante do lodo de esgoto são descritos nos Estados Unidos desde 1925 e que os efeitos benéficos às produtividades das culturas foram apresentados em vários trabalhos. Oliveira (2000) relata que, no Brasil, estudos dessa natureza são recentes, da mesma forma que a preocupação com o tratamento de esgoto, pois os primeiros trabalhos avaliando o potencial agrícola do lodo foram realizados no final da década de 70 e no início dos anos 80.

Boaretto (1986) coordenou a realização de vários estudos comparativos entre a aplicação de adubos minerais, lodo de esgoto e associação desses materiais em culturas como o café, milho, feijão das águas e da seca, tomate e cebola. Esses trabalhos foram realizados no campo e mostraram sempre uma vantagem da adubação mineral convencional em relação ao lodo e às diversas misturas, porém a produtividade com o lodo sempre foi maior que a testemunha, sem lodo e sem adubo.

Berton et al. (1989) verificaram aumento significativo na produção de matéria seca e na absorção de N, P, Ca, Mg, e Zn, de acordo com as doses 0, 40 e 80t ha⁻¹ de lodo de esgoto (base seca) aplicadas em plantas de milho em casa de vegetação. Mesmo nas doses de 80t ha⁻¹ não foi observada redução na produção de matéria seca apesar dos elevados teores de Cu e Zn no lodo.

Marques (1990) comparou os efeitos da fertilização mineral e da aplicação anual de doses crescentes de lodo de esgoto complementadas com potássio, por dois anos consecutivos, sobre a produtividade e a qualidade industrial da cana-de-açúcar e concluiu que a utilização do resíduo é viável e que não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos, para as variáveis estudadas. Em outro estudo, Marques (1996) combinou doses de lodo de esgoto com fertilização mineral (50 e 100% do recomendado) em cana-de-açúcar e

concluiu que o lodo proporcionou melhoria nas condições gerais de fertilidade do solo. O autor verificou também que a menor dose de lodo aplicada com apenas 50% do fertilizante não diminuiu significativamente a produtividade, indicando que a utilização do lodo pode reduzir gastos com fertilizantes minerais.

Segundo Betiol (1982), plantas de milho que receberam lodo de esgoto apresentaram maior desenvolvimento do sistema radicular quando comparadas com a testemunha, fato não observado para as plantas adubadas quimicamente. Como o desenvolvimento do sistema radicular é proporcional à disponibilidade de fósforo, essa observação condiz com o apresentado por Pauli, citado em Boaretto (1986), que levanta a hipótese de aumento da disponibilidade desse elemento oriundo do lodo. Isso pode ser levado como vantagem do uso desse resíduo, pois sabe-se que o fósforo oriundo de adubo mineral é disponibilizado rapidamente e, logo em seguida, é fixado ao solo, enquanto que o fósforo do lodo de esgoto é disponibilizado lentamente e em menor quantidade, sendo melhor aproveitado pela planta. Melo et al. (1997) confirma esse fato quando relata que o fósforo do lodo é menos solúvel no solo em comparação aos superfosfatos, mas apresenta fornecimento mais constante ao longo do tempo.

Em condições de campo, Nascimento e Botega (1986) triplicaram a produção de grãos de milho pela aplicação de 12t ha^{-1} de lodo, enquanto André (1994) relata aumento significativo na produção de sorgo com doses de 64t ha^{-1} .

Experimentos realizados no Estado do Paraná por pesquisadores da EMATER e SANEPAR comprovaram benefícios no uso de resíduos do tratamento de esgotos domésticos como fertilizante, reduzindo os custos de produção, como salientou Paiva (1998).

O mesmo autor descreveu que o material foi testado em lavouras de feijão, milho e erva-mate. Em locais cultivados com milho os resultados alcançados foram positivos, sendo que em solos normais onde se aplicou apenas 400kg ha^{-1} da fórmula 4-14-8, a produtividade média foi 4.925kg ha^{-1} , aumentando para 6.973kg ha^{-1} nas áreas com incorporação de lodo na base de 8t ha^{-1} (15-20% de umidade). Em solos degradados, a utilização de 300kg ha^{-1} do mesmo adubo e 6t ha^{-1} de lodo proporcionou um rendimento médio de 4.680kg ha^{-1} , contra 2.630kg ha^{-1} para os terrenos sem lodo.

Às vezes a aplicação do lodo de esgoto pode não trazer os resultados esperados, pois, geralmente, há uma relação desbalanceada de nutrientes, que acaba

persistindo no solo por causa de sua mineralização, levando à necessidade de suplementações (VANZOLINI, 1994). O exemplo mais expressivo é o potássio, que, devido à sua elevada solubilidade em água, permanece na fase líquida, deixando o lodo empobrecido neste elemento, resultando na necessidade de suplementação do lodo com fertilizante mineral (OLIVEIRA, 1995).

Com base neste contexto, pode-se afirmar que existem alguns estudos, relacionados ao assunto em pauta, já realizados ou em execução no Brasil e no exterior, objetivando dar uma solução adequada aos biossólidos e lodos de estações de tratamento de esgoto. Porém, deve-se observar com cuidado cada um deles, pois as condições ambientais ligadas ao clima, solo e água, bem como a composição do lodo, são características de cada local e revelam a necessidade de se obter dados específicos para as condições de cada região.

4.8 Efeitos na água drenada pelo solo

Uma importante informação que se deve ter em mãos quando se optar por utilizar o lodo de esgoto na agricultura é a profundidade do lençol freático, pois existe a possibilidade de caminhamento vertical de seus componentes no solo. Assim, em locais onde o lençol freático estiver situado próximo à superfície do solo, há um sério risco de contaminação.

Segundo Dynia e Boeira (2000), um aspecto importante do uso agrícola do lodo de esgoto e pouco investigado em solos tropicais, refere-se à possibilidade de contaminação do lençol freático e cursos de água com o nitrato resultante da mineralização do $N_{\text{orgânico}}$.

Esses mesmos autores determinaram os teores de nitrato em diversas camadas no perfil do solo até a profundidade de 2,20m nas parcelas após as duas safras de milho e, comparando com dados da testemunha, concluíram que em todos os tratamentos com adição de lodo ocorreu lixiviação de nitrato no solo, a qual aumentou proporcionalmente às doses aplicadas. Os resultados apresentados demonstram que a aplicação de doses elevadas de lodo, embora justificável do ponto de vista agrônômico, resulta em grande desperdício de nitrogênio e em alto risco de contaminação de águas.

Dessa forma, é esperado que todo o nitrato localizado no solo abaixo de 0,60m seja pouco aproveitado pela maioria das culturas anuais por estar fora do alcance das

raízes e sua lixiviação poderá resultar em contaminação do lençol freático e de cursos de água, contribuindo para a eutrofização.

Além disso, o nitrato vem despertando grandes preocupações, principalmente nos países mais desenvolvidos, devido ao seu poder carcinogênico. Bouchard et al. (1992) citados por Freitas et al. (2001) salientam que o nitrato pode atingir altas concentrações em águas profundas e que seu consumo está associado a dois efeitos adversos à saúde: indução à metemoglobinemia (especialmente em crianças) e a formação potencial de nitrosaminas e nitrosamidas carcinogênicas.

O desenvolvimento da metemoglobinemia devido ao nitrato presente nas águas potáveis depende de sua conversão bacteriana a nitrito durante a digestão que ocorre no trato gastrointestinal. As crianças, principalmente as menores de três meses de idade, são bastante susceptíveis ao desenvolvimento dessa doença por causa das condições mais alcalinas do seu sistema gastrointestinal, porém ela também é observada em pessoas adultas que apresentam gastroenterites, anemia, porções do estômago cirurgicamente removidas e mulheres grávidas (ALABURDA; NISHIHARA, 1998). Por fim, deve-se ressaltar que o nitrato é produzido pelo corpo humano, mas também pode ser ingerido através dos alimentos, água, fumaça de cigarro e certos medicamentos. Cerca de 20% do nitrato ingerido é transformado em nitrito e depois para compostos N-nitrosos, os quais são grandes causadores de câncer (NANNI, 2001). Weyer citado por Nanni (2001) revela que o USEPA padronizou que a água potável deve conter 10mg L^{-1} de nitrato-nitrogênio, mas seus estudos sugerem que níveis muito menores que estes provocam danos à saúde.

Nos Estados Unidos, as recomendações ligadas ao lençol freático são bem detalhadas, mas no Brasil o problema ainda é pouco estudado, pois os solos são bastante profundos e os mananciais estão a vários metros abaixo da superfície. Dessa forma, as maiores preocupações ficam voltadas para as aplicações em locais encharcados (afloramento do lençol) e/ou próximos a nascentes e cursos de água.

Infelizmente, o público em geral se opõe ao uso do lodo de esgoto na agricultura, por achar que essa prática traz consequências adversas ao ambiente e ao homem em função da origem do material, conceitos esses que, segundo Sopper (1993), estão ultrapassados.

4.9 Critérios para aplicação de resíduos orgânicos urbanos em solos agrícolas

Nos países desenvolvidos, onde as legislações para disposição final de resíduos com potencial poluente são bem definidas, os critérios adotados para aplicação de lodo de esgoto e/ou composto de lixo em solos agrícolas são extremamente variáveis, o que reflete as dificuldades em se estabelecer normas a respeito deste assunto, mesmo contando com um considerável volume de resultados de pesquisa (RODELLA; ALCARDE, 1999). No Brasil, a necessidade de se regulamentar a aplicação desses resíduos em solos é emergente e, neste sentido, os Estados do Paraná e de São Paulo já deram um importante passo.

Através da SANEPAR, foram propostas normas com critérios adaptados da legislação espanhola, regulamentando a utilização agrícola do lodo de esgoto produzido no Paraná (COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ, 1997).

Para São Paulo, a CETESB, baseada nas normas americanas, através da Norma P4.230, de outubro de 1998, normatiza alguns critérios para a aplicação de lodo de esgoto em áreas agrícolas (COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL, 1998).

Resumidamente, as legislações têm como base aspectos comuns, ou seja, relacionados às características dos resíduos e das áreas que o receberão, bem como à determinação das taxas e frequências de aplicações, diferindo apenas nas exigências ou tolerâncias.

Na norma que está sendo preparada pela CETESB, está previsto que no estado de São Paulo não será permitida a utilização de lodo de esgoto na agricultura quando este apresentar concentrações de metais pesados superiores aos limites estipulados. Já com relação aos patógenos, somente será aceita a aplicação de lodos classes A ou B, as quais estão mais detalhadas na Norma P4.230.

Quando se optar pela aplicação de lodo de esgoto ou biossólidos nas áreas agrícolas, alguns pontos deverão ser considerados, como a facilidade de acesso durante a aplicação, a distância de áreas residenciais, a direção dos ventos, além dos seguintes fatores de restrição:

- declividade não superior a 10% para aplicação em superfície e 18% para incorporação.
- manter zonas de proteção para que, caso haja emissão de odores, a vizinhança não seja incomodada.
- distância de 15m de vias públicas, 10m de drenos interceptores e divisores de águas superficiais de jusante e de trincheiras drenantes de águas superficiais e subterrâneas.
- distância entre a superfície do terreno e o nível do lençol freático superior a 1,20m na época da aplicação.

Com relação às quantidades de lodo de esgoto a serem aplicadas, deverá ser tomado como base o mais restritivo dos critérios: nitrogênio disponível para a cultura; poder de neutralização; teor de metais pesados.

Sendo assim, quando se utilizar o N, por exemplo, a taxa de aplicação ($t\ ha^{-1}$) será definida pela relação entre a quantidade de N recomendada para a cultura em $kg\ ha^{-1}$ e teor de N disponível em $g\ kg^{-1}$. Deve-se salientar que este critério, provavelmente, será o mais restritivo para lodos de estações de tratamento de esgotos domésticos. Autores citados por Oliveira (2000) relatam que, se forem levadas em conta as quantidades de N recomendadas para a maioria das culturas e as quantidades de N no lodo, as quantidades a serem aplicadas devem variar entre 5 e 20 $t\ ha^{-1}$ de lodo de esgoto na base seca.

O critério referente ao poder de neutralização aplica-se quase que exclusivamente a lodos tratados com cal.

As recentes iniciativas de alguns estados brasileiros em regulamentar a utilização agrícola do lodo de esgoto são de importância incontestável. No entanto, é preciso ressaltar os grandes riscos envolvidos na adoção dos critérios de países de clima temperado, o que, por hora, são justificáveis pela falta de melhores alternativas. Isto significa que as normas que estão sendo implantadas deverão evoluir com o tempo, atribuindo-se à pesquisa científica a responsabilidade de fornecer subsídios para melhorias ou elaboração de novos critérios que sejam mais adequados à realidade dos trópicos (OLIVEIRA, 2000).

Deve-se salientar que, na concepção da idéia para a realização do presente estudo, não foram levadas em consideração normas pré-estabelecidas para a definição das doses de lodo de esgoto utilizadas, uma vez que uma das principais idéias seria a determinação da lixiviação de elementos ao longo do perfil do solo estudado, gerando dados

que viessem a contribuir para a definição de uma taxa de aplicação segura, ou seja, que não causasse agressão ao ambiente e fosse benéfica aos solos e às plantas.

Por se tratar de um lodo gerado em pequena propriedade, preconizou-se a ausência total ou a não existência de elevadas quantidades de metais pesados, sendo essa a justificativa para a não avaliação da presença dos mesmos nos solos, plantas e água.

Diante do que se apresenta, o objetivo básico dessa investigação foi estudar o efeito da aplicação continuada do lodo gerado por uma estação de tratamento de esgoto de uma pequena comunidade rural e seus conseqüentes efeitos na planta, no solo e na água drenada pelo solo, utilizando o milho como cultura teste.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Local de desenvolvimento dos ensaios

O experimento foi desenvolvido em área da Fazenda Experimental Lageado, Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP, município de Botucatu, SP, Brasil, com coordenadas geográficas de 22°51'02" S e 48°25'44" WGr e altitude em torno de 750m, no período de novembro de 2000 a dezembro de 2002.

5.2 Sistema de tratamento de efluente empregado na ETL

O lodo utilizado foi originado na Estação Experimental de Tratamento de Efluente Doméstico do Lageado (ETL), que está em funcionamento desde 1996.

A ETL se encontra nas proximidades das Colônias Olaria e Chafariz, as quais totalizam 15 casas habitadas por funcionários da Faculdade de Ciências Agronômicas e seus familiares, perfazendo uma população aproximada de 60 pessoas (Figura 2).

Pode-se observar na Figura 3 um esquema ilustrado e didático das estruturas que compõem o sistema de tratamento na ETL.

Basicamente, o funcionamento se inicia com duas redes de coleta, que captam todos os despejos gerados pelos habitantes das colônias. Essas redes são constituídas por tubos de PVC de 100mm de diâmetro, tendo extensão aproximada de 150m cada. Com a construção dessas redes, os despejos deixaram de ser lançados *in natura* no córrego responsável pela drenagem da área, despoluindo-o em curto espaço de tempo.

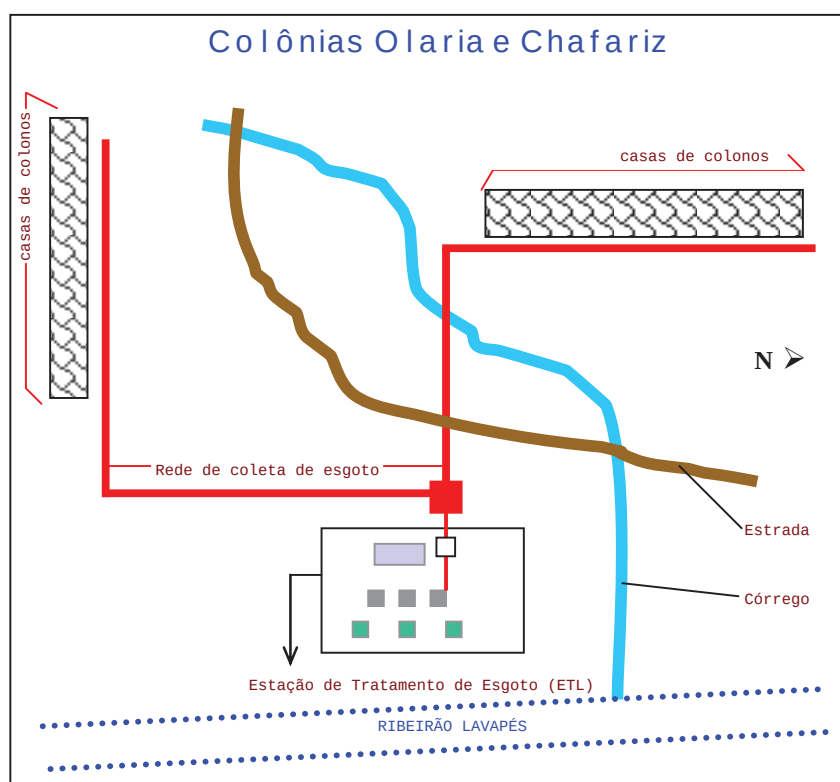


Figura 2: Esquema da localização da ETL – FCA/UNESP, Botucatu-SP, sem escala e dimensões.

O esgoto, então, é conduzido para o sistema de tratamento. Primeiramente ocorre o encontro das duas redes. Os despejos por elas trazidos são misturados e, posteriormente, enviados para as caixas de decantação, as quais realizam o tratamento preliminar do material recebido com a retenção do material sólido. Esse material foi coletado e se constituiu no lodo de esgoto utilizado no presente trabalho.

São três caixas de cimento amianto com capacidade de 1000L cada, interligadas e divididas ao meio por grades metálicas (Figura 4). Na grade da primeira caixa os orifícios possuem diâmetro de 15mm, diminuindo para 8mm e 5mm na segunda e terceira,

respectivamente. Essas grades têm como função otimizar e facilitar a separação do material sólido grosseiro.

Junto à saída da última caixa de decantação, além da existência de mais uma peneira com malha de 5,0mm, tem-se implantado um divisor de fluxo (Figura 4) que tem a função de derivar parcelas iguais de efluente para os tratamentos posteriores, de modo a proporcionar uma vazão compatível com a condutividade hidráulica do leito filtrante em operação. Para melhor entendimento do sistema de decantação e obtenção do lodo de esgoto, pode-se observar o esquema da Figura 5.



Figura 3: Esquema resumido e ilustrado do sistema de tratamento de esgoto empregado na ETL.



Figura 4: Vista geral das caixas de decantação. (A) entrada de efluente; (B) parte superior das grades e da peneira; (C) divisor de fluxo.

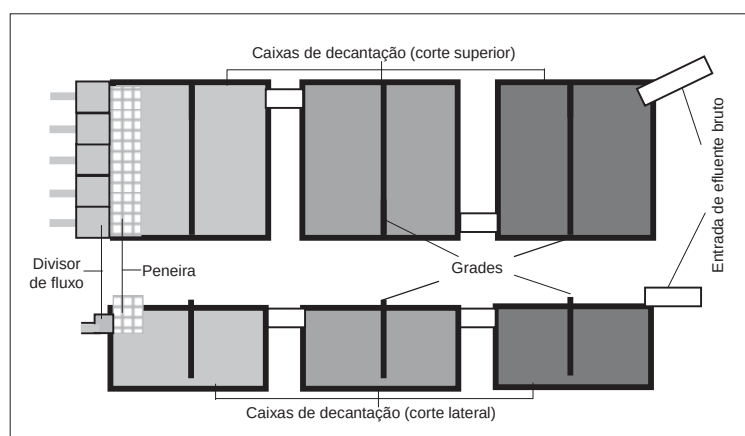


Figura 5: Esquema das caixas de decantação: observa-se as grades, peneiras e o divisor de fluxo (sem escala e sem dimensões).

Depois do divisor de fluxo, a fase líquida segue para leitos de pedra britada montados em caixas de cimento amianto de 1000L, onde sofre pré-filtragem para a remoção das partículas sólidas não retidas no sistema de decantação.

Na sequência é conduzido para o leito filtrante constituído por uma mistura de solo arenoso e casca de arroz (1:3), depositados em caixas de cimento amianto de 1000L, onde estão implantadas macrófitas aquáticas de uma espécie de Junco (*Juncus sellovianus*), que foi a combinação planta/substrato que apresentou melhores resultados entre as várias combinações testadas.

5.3 Lodo de Esgoto

Todo o material sólido retido nas caixas de decantação durante o período compreendido pela fase experimental foi utilizado como fonte de nutrientes no presente trabalho.

Deve-se salientar que se utilizou a denominação “lodo de esgoto” e não “biossólido”, como atualmente estão sendo chamados os resíduos de estações de tratamento de esgoto, uma vez que, segundo Tsutiya (2001), biossólido é o lodo de esgoto processado e tratado de modo a permitir seu manuseio de forma segura na utilização agrícola. Segundo David (2002), para atingir padrões de qualidade necessários para a aplicação agrícola, os lodos precisam ser tratados por processos de estabilização, tornando-se assim um biossólido, e o termo lodo deve ser utilizado para designar sólidos originados em sistemas de tratamento que não o tenham processado apropriadamente para a reciclagem benéfica.

Dessa forma, processo de secagem ao ar isoladamente, como foi feito na ETL, não é eficiente ao ponto de conferir total segurança quanto a eliminação de patógenos e contaminantes presentes no material, bem como a estabilização e a padronização do material, ao ponto de ser designado como biossólido.

Na ETL, o lodo foi removido periodicamente e colocado em um terreiro de alvenaria exposto ao sol para secagem prévia (Figura 6). Quando atingia um ponto de secagem intermediário, era transferido para um terreiro, também de alvenaria, mas protegido com um túnel plástico, o qual tinha a função de evitar a ação das chuvas e promover um efeito estufa, aumentando a temperatura e diminuindo o tempo de secagem (Figura 7). Depois do terreiro protegido o lodo foi levado para caixas de cimento amianto e armazenado até o momento de seu uso.

Antecedendo sua aplicação no campo, o lodo foi destorroado e dele foram separados materiais indesejáveis (plásticos, metais, papéis e outros). Em seguida, foi moído com o auxílio de uma picadora de forragem marca TRAPP, modelo TRF100 (Figura 8), a qual foi adaptada para este fim pelo CEMEQ/UNESP (Centro de Manutenção de Equipamentos da UNESP). A referida máquina possui, na saída, uma peneira de malha de 5,0mm, que confere uma melhor uniformidade para as partículas do lodo. O lodo moído era separado e pesado nas quantidades definidas para cada uma das parcelas e, em seguida,

armazenado em sacos plásticos etiquetados por tratamento até o momento de ser levado ao campo.



Figura 6: Terreiro de alvenaria utilizado para a deposição e secagem inicial do lodo de esgoto gerado na ETL.



Figura 7: Terreiro de alvenaria protegido com túnel plástico para proteção e secagem final do lodo da ETL.



Figura 8: Picadora de forragem TRAPP-TRF100, adaptada pelo CEMEQ/UNESP para a moagem do lodo.

5.4 Composição do experimento

Os ensaios foram implantados no Campo Experimental do Departamento de Engenharia Rural, FCA/UNESP, em solo classificado como NITOSSOLO VERMELHO Distroférico, latossólico, textura média/argilosa, relevo ondulado – NVDfw (CARVALHO et al., 2001).

Antecedendo a instalação do experimento, foram realizadas análises químicas básica e de micronutrientes do solo nas faixas de profundidade de 0-10 e 10-20cm, com o objetivo de saber qual era o estado inicial do mesmo e também para se fazer a

recomendação das doses de adubo mineral a serem aplicadas em T6 . Os resultados dessas análises estão apresentados nos Quadros 2 e 3.

Quadro 2: Resultados da análise química básica do solo da área experimental antes da instalação do experimento, nas faixas de 0-10 e 10-20cm de profundidade.

Profundidade (cm)	pH CaCl ₂	M.O. (g dm ⁻³)	P _{resina} (mg dm ⁻³)	Al ³⁺	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%	S
00 – 10	4,8	23	16	1	24	4,4	15	6	24	48	51	7
10 – 20	4,4	22	5	2	28	2,5	11	4	17	46	38	8

Quadro 3: Concentrações de micronutrientes no solo da área experimental antes da instalação do experimento, nas faixas 0-10 e 10-20cm de profundidade.

Profundidade (cm)	Boro	Cobre	Ferro	Manganês	Zinco
00 – 10	0,10	4,6	37	13,8	1,0
10 – 20	0,10	5,0	51	18,3	0,5

Foram realizados 4 ensaios compostos por 6 tratamentos e 4 repetições assim definidos:

- **T1** = Testemunha, sem fertilização via lodo ou adubo;
- **T2** = 10t ha⁻¹ ou 11,25kg parcela⁻¹ de lodo, na base seca;
- **T3** = 20t ha⁻¹ ou 22,50kg parcela⁻¹ de lodo, na base seca;
- **T4** = 30t ha⁻¹ ou 33,75kg parcela⁻¹ de lodo, na base seca;
- **T5** = 40t ha⁻¹ ou 45,00kg parcela⁻¹ de lodo, na base seca;
- **T6** = Adubação mineral baseada na análise de solo inicial.

Os ensaios foram definidos da seguinte forma:

- **Ensaio 1 (E1)** - cultivo de verão com semeadura e fertilização em 11/2000;
- **Ensaio 2 (E2)** - cultivo de inverno com semeadura e fertilização em 06/2001;
- **Ensaio 3 (E3)** - segundo cultivo de verão com semeadura e fertilização em 11/2001;
- **Ensaio 4 (E4)** - segundo cultivo de inverno com semeadura e fertilização em 05/2002.

Como foi observado na literatura, as gramíneas mostram respostas mais significativas e satisfatórias para as aplicações de lodo de esgoto porque, ao contrário das leguminosas, não têm capacidade de fixar o nitrogênio do ar. Com base nessa informação e, principalmente, pelo fato de ser uma cultura de grande importância econômica na região e no Brasil, optou-se pela utilização milho (*Zea Mays L.*) como cultura teste, com o objetivo de verificar os efeitos da utilização do lodo na produtividade da cultura e outros aspectos ambientais dessa prática.

O híbrido escolhido foi CO-32, produzido por *Sementes Dow Agrosciences*, o qual, em condições normais, apresenta ciclo precoce, com duração entre 120 a

130 dias. Deve-se salientar que a opção por um material precoce se deu em função da liberação de tempo para a realização das operações precedentes à instalação dos ensaios.

Os quatro blocos foram constituídos por parcelas de 3,75m de comprimento por 3,00m de largura, sendo a área total de $11,25\text{m}^2$. Cada parcela foi composta por 5 linhas de plantio espaçadas de 0,75m, sendo 3 linhas úteis e 2 linhas definidas como bordadura. O estande final desejado e mantido durante todos os ensaios foi de 5 plantas por metro. Dessa forma, cada linha útil possuía 15 plantas, mas apenas os dados referentes às 11 plantas mais centrais foram coletados e considerados nas análises estatísticas, uma vez que 2 plantas de cada extremidade também foram tomadas como bordadura, de acordo com o observado no esquema de composição das parcelas (Figura 9).

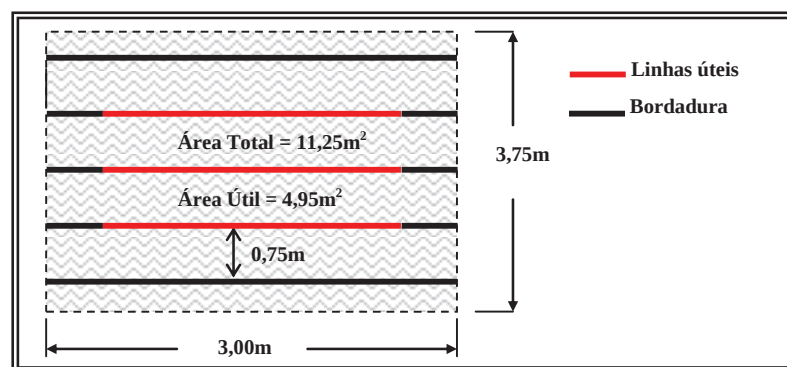


Figura 9: Esquema da composição das parcelas.

A realização de 4 ensaios no mesmo local foi definida objetivando a avaliação das possíveis alterações ocorridas nas características do solo e na qualidade da água drenada para o freático, pelas repetidas aplicações de lodo em altas doses, além da avaliação do potencial cumulativo de nutrientes oriundos do lodo e suas relações com as plantas.

A localização dos blocos na área experimental e a distribuição das parcelas após o sorteio estão apresentados na Figura 10.

5.5 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi constituído em blocos ao acaso, com parcelas subdivididas no tempo (Ensaio).

Para atender aos objetivos propostos, os dados referentes às variáveis observadas foram analisados estatisticamente por meio do *software* ESTAT e submetidos à

análise de variância. Nos casos de variações significativas procedeu-se o teste de Tukey a 5% de significância. As variáveis de água drenada para o freático não foram analisados estatisticamente, pois havia apenas um ponto de amostragem para cada tratamento, não permitindo repetições.

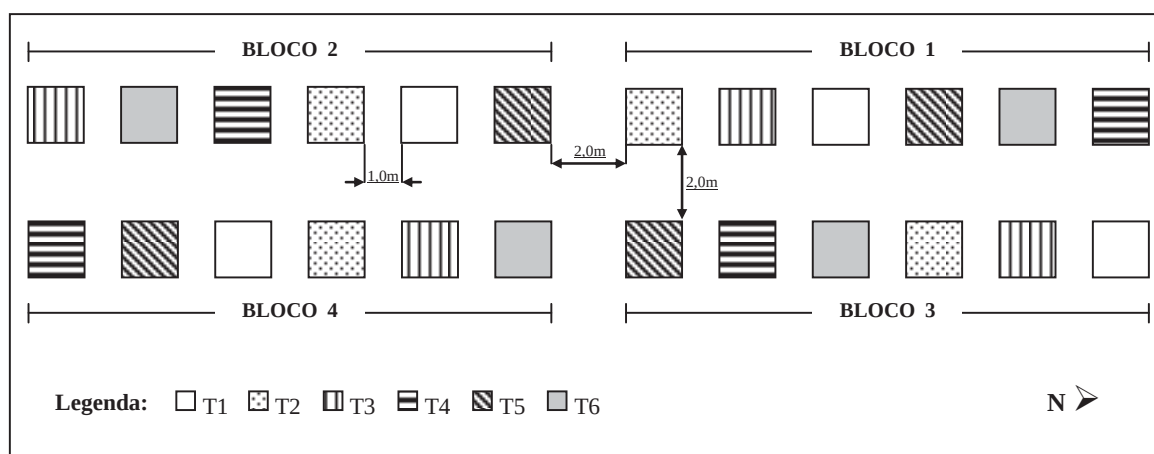


Figura 10: Disposição dos blocos na área experimental mostrando as posições de cada parcela definidas ao acaso.

5.6 Caracterização do lodo de esgoto

De acordo com as doses planejadas para cada parcela e para as caixas de coleta de água do freático, a quantidade de lodo seco necessária para a instalação de um ensaio era de aproximadamente 500kg, quantidade essa que deveria ser gerada e acumulada na ETL em cada etapa do estudo.

Porém, devido aos problemas de secagem e de geração de material ocorridos no período entre os Ensaio 1 e 2, não foi possível acumular essa quantidade, o que acarretou no atraso da instalação do Ensaio 2.

Para viabilizar a instalação do referido ensaio e manter as atividades de acordo com o cronograma de execução, optou-se por utilizar uma mistura do lodo já disponível na ETL com o Biossólido SABESFÉRTIL, gerado em Franca-SP, pela Estação de Tratamento de Esgoto da SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo).

Apesar desse material ser gerado pelo processo de tratamento de esgoto por lodo ativado convencional, muito diferente do sistema utilizado na ETL, está sendo muito utilizado na agricultura da sua região de origem e a mistura foi a única solução encontrada para a continuidade do experimento naquela oportunidade. Além disso, a SABESP

forneceu o material gratuitamente, cabendo ao interessado apenas a responsabilidade pelo seu transporte, que foi feito por um caminhão pertencente à Faculdade de Ciências Agronômicas/UNESP.

De acordo com o plano inicial, seria feita apenas uma análise do lodo gerado na ETL, a qual seria adotada para mostrar a composição do material, mas devido a realização da mistura com o biossólido de Franca, fez-se necessária a realização de nova análise para que se pudesse conhecer a composição dessa nova mistura fertilizante fornecida às plantas no Ensaio 2. Optou-se, então, por realizar a análise do lodo a cada ensaio para se ter conhecimento real das quantidades de nutrientes que foram adicionadas ao solo em cada etapa.

Sendo assim, a cada ensaio foram coletadas várias amostras de lodo durante a moagem e acondicionamento as quais foram misturadas para formar uma amostra composta. Os resultados das análises dessas amostras de lodo para os quatro ensaios que compuseram o trabalho estão apresentados no Quadro 4, cabendo ressaltar que o lodo do Ensaio 1 foi originado na ETL antes da sua reforma; o do Ensaio 2 resultou da mistura do lodo da ETL com o biossólido SABESFÉRTIL e o lodo dos Ensaios 3 e 4 foram gerados na ETL após a ampliação da rede e do aumento do número de moradores geradores.

As características dos lodos apresentadas no Quadro 4, com raras exceções, não se enquadram entre os limites máximos e mínimos compilados por Oliveira (2000), já mostrados no Quadro 1.

Deve-se observar que o pH do material utilizado no Ensaio 2 foi superior ao pH dos lodos utilizados nos demais ensaios, os quais mostraram resultados muito próximos. Esse valor maior se deve à adição de produtos ao SABESFÉRTIL para desinfecção e condicionamento antes da secagem. Outra observação importante é quanto ao teor de MO no lodo do Ensaio 2, o qual é mais baixo que os demais devido à sua digestão e estabilização, acarretando em uma baixa relação C/N.

Nota-se também que existem variações nos teores de N e P_2O_5 no lodo utilizado para E3 em relação àqueles utilizados para E1, E2 e E4, mostrando a variabilidade que ocorre nas concentrações de nutrientes em lodos *in natura*, mesmo que estes sejam de mesma origem, nesse caso, supostamente devido à realização de coletas diárias, que não é um procedimento adequado por não permitir a permanência do lodo, até sua estabilização, nas caixas de decantação.

Quadro 4: Características dos lodos de esgoto utilizados em cada um dos ensaios.

VARIÁVEIS	LODO (Ensaio 1)	LODO (Ensaio 2)	LODO (Ensaio 3)	LODO (Ensaio 4)
pH	5,8	7,2	6,0	6,4
M. Orgânica (g kg ⁻¹)	66	32	69	57
Relação C/N	10/1	4/1	9/1	8/1
N total (g kg ⁻¹)	3,5	4,3	7,4	4,2
P ₂ O ₅ total (g kg ⁻¹)	1,3	1,3	2,6	1,6
K ₂ O total (g kg ⁻¹)	0,5	0,2	0,2	0,2
C total (g kg ⁻¹)	36,8	17,8	38,3	31,7
Ca total (g kg ⁻¹)	2,3	2,3	2,2	2,2
Mg total (g kg ⁻¹)	0,2	0,2	0,2	0,2
S total (g kg ⁻¹)	0,5	0,8	1,0	0,5
Zn total (mg kg ⁻¹)	537	522	920	600
Mn total (mg kg ⁻¹)	138	160	200	198
Cu total (mg kg ⁻¹)	81	132	200	126
Fe total (mg kg ⁻¹)	23.333	21.600	29.150	27.750
Na total (mg kg ⁻¹)	814	800	718	554

Outra informação importante de ser colocada se refere às quantidades de matéria orgânica e nutrientes adicionadas ao solo a cada ensaio em todos os tratamentos com lodo (Quadro 5).

Segundo o Boletim 100, que traz as recomendações de adubação para diversas culturas de interesse agrícola no estado de São Paulo (RAIJ et. al, 1996), as necessidades de N–P₂O₅–K₂O para se produzir 10t ha⁻¹ de milho em um solo com características semelhantes ao da área experimental depois da correção do pH, é de 30–60–40kg ha⁻¹ na semeadura, mais 90kg ha⁻¹ de N em cobertura. Dessa forma, pode-se observar, pelo Quadro 5, que para o nitrogênio, mesmo sem haver adubação em cobertura, bem como para o fósforo, as quantidades aplicadas via lodo ficaram próximas das recomendações, mesmo na menor dose (T2 = 10t ha⁻¹). Para o potássio, nota-se que as necessidades não foram supridas, mesmo na dose mais elevada (T4 = 40t ha⁻¹), tendo ocorrido uma sub-dosagem desse nutriente, que é muito extraído pelas plantas de milho, principalmente na fase de enchimento dos grãos.

Quadro 5: Quantidades de matéria orgânica e nutrientes (kg ha⁻¹) adicionadas via lodo por tratamentos em cada ensaio.

VARIÁVEL	Ensaio 1				Ensaio 2				Ensaio 3				Ensaio 4			
	T2	T3	T4	T5	T2	T3	T4	T5	T2	T3	T4	T5	T2	T3	T4	T5
M.O.	660	1320	1980	2640	320	640	960	1280	690	1380	2070	2760	570	1140	1710	2280
N total	35	70	105	140	43	86	129	172	74	148	222	296	42	84	126	168
P ₂ O ₅ total	13	26	39	52	13	26	39	52	26	52	78	104	16	32	48	64
K ₂ O total	5	10	15	20	2	4	3	8	2	4	6	8	2	4	6	8
Ca total	23	46	69	92	23	46	69	92	22	44	66	88	22	44	66	88
Mg total	2	4	6	8	2	4	6	8	2	4	6	8	2	4	6	8
S total	5	10	15	20	8	16	24	32	10	20	30	40	5	10	15	20
Zn total	5,4	10,7	16,1	21,4	5,2	10,4	15,6	20,8	9,2	18,4	27,6	36,8	6,0	12,0	18,0	24,0
Mn total	1,4	2,8	4,2	5,6	1,6	3,2	4,8	6,4	2,0	4,0	6,0	8,0	2,0	4,0	6,0	8,0
Cu total	0,8	1,6	2,4	3,2	1,3	2,6	3,9	5,2	2,0	4,0	6,0	8,0	1,3	2,6	3,9	5,2
Fe total	233	466	699	932	216	432	648	864	292	584	876	1168	278	556	834	1112
Na total	8,1	16,2	24,3	32,4	8,0	16,0	24,0	32,0	7,2	14,4	21,6	28,8	5,5	11,0	16,5	22,0

5.7 Operações agrícolas na área experimental

5.7.1 Operações antes da instalação do experimento

A fim de possibilitar a utilização da área experimental para a condução do experimento em questão, foram feitas as seguintes operações agrícolas em área total:

- **Gradagem** – operação realizada em área total para limpeza e incorporação da massa de plantas daninhas existentes na área. A profundidade de operação foi de aproximadamente 20cm.
- **Calagem** – o cálculo da quantidade de calcário necessária para garantir ao solo da área experimental um pH ideal ao desenvolvimento da cultura do milho foi realizado de acordo com o Boletim 100 (RAIJ et al., 1996), chegando-se a $1,2t\ ha^{-1}$. O calcário foi aplicado e incorporado em área total dois meses antes da instalação do experimento de modo a proporcionar um período de reação e neutralização do solo. Utilizou-se na aplicação um calcareador de filetes tracionado por um trator MF-175 e na incorporação uma enxada rotativa tracionada pelo mesmo trator.
- **Divisão de parcelas e estaqueamento** – as parcelas foram medidas com trena nas dimensões pré estabelecidas ($3,75 \times 3,00m$) e delimitadas com estacas de madeira. As parcelas divididas podem ser vistas na Figura 11A, juntamente com os sacos de lodo pesados com as quantidades a serem distribuídas por parcela.

Deve-se salientar que essas operações foram realizadas na área experimental apenas uma vez, antecedendo a instalação do Ensaio 1.

5.7.2 Operações de instalação dos ensaios

As operações detalhadas a seguir foram realizadas na área experimental durante todo o período experimental, antecedendo a instalação de cada um dos quatro ensaios.

- **Aplicação manual do lodo** – o lodo separado em sacos plásticos com as quantidades referentes a cada tratamento, foi espalhado manualmente por toda área da parcela, procurando-se dar a maior uniformidade possível. A Figura 11B mostra a

realização desta operação e a Figura 11C mostra a situação do solo após a aplicação do lodo.

- **Incorporação do lodo com enxada rotativa** – depois do espalhamento, o lodo foi incorporado ao solo à profundidade de 20cm com o auxílio de uma enxada rotativa de pequeno porte, acoplada a um trator Tobata. Uma ilustração dessa operação pode ser observada na Figura 11D.
- **Uniformização da superfície do solo** – depois da passagem da enxada rotativa, o solo ficava com a superfície irregular; por isso, foi realizada a uniformização do terreno utilizando-se uma enxada comum (Figura 11E) para facilitar a demarcação das linhas e a semeadura.
- **Adubação mineral** – em consulta ao Boletim 100 (RAIJ et al., 1996), procedeu-se o cálculo da quantidade de adubo necessária para a cultura do milho, que foi utilizado nas parcelas referentes ao tratamento com adubação mineral (T6). Os adubos escolhidos para compor o referido tratamento foram: a fórmula NPK 04–14–08 na semeadura e a Uréia como fonte de N em cobertura, por serem amplamente utilizados em propriedades agrícolas que cultivam o milho. As quantidades calculadas para uma produtividade desejada de 10t ha^{-1} e aplicadas a cada ensaio foram: 500kg ha^{-1} de 04–14–08 e 200kg ha^{-1} de Uréia, sendo que na área experimental foram aplicados manualmente, diretamente em cada linha de semeadura 120g de 04–14–08 no plantio e 50g de Uréia em cobertura, um mês após a emergência das plantas.
- **Semeadura manual** – a semeadura foi realizada manualmente nas parcelas e nas caixas enterradas, nas épocas já citadas, de modo a garantir um estande final desejado. Usou-se um riscador para marcar os locais exatos dos sulcos (Figura 11F), os quais foram abertos em seguida com enxada comum (Figura 11G). Foram feitos “gabaritos” com tubos de PVC serrados ao meio e furados em espaços de 20cm, objetivando a distribuição equidistante das sementes (Figura 11H). Os “gabaritos” tinham o mesmo tamanho das linha (3,00m). Foram depositadas 3 sementes por furo e, após a emergência, procedeu-se o desbaste, deixando apenas uma planta. Durante o ciclo da cultura, quando necessário, foram realizados tratos culturais

(capinas manuais e controle de pragas) conforme normalmente são realizados em pequenas áreas cultivadas com milho.

- **Semeadura mecanizada** – essa operação foi realizada em toda área ao redor das parcelas com o intuito de minimizar alguns inconvenientes, como por exemplo, formigas e roubo de milho verde, além de proporcionar à área uma situação mais próxima de uma lavoura comercial. Nesses locais as sementes utilizadas foram do mesmo híbrido do experimento e a adubação seguiu o padrão utilizado nas áreas de produção da FCA.
- **Instalação do sistema de irrigação** – Foi instalado um sistema de irrigação por aspersão convencional, para garantir o suprimento de água às plantas no caso de escassez de chuvas, principalmente nos períodos críticos da cultura. Deve-se salientar que durante toda a fase experimental, ou seja, em todos os ensaios foram realizadas aplicações de água, porém a quantidade de água não foi determinada, uma vez que não fazia parte diretamente dos objetivos do trabalho, porém, se tal determinação fosse realizada, poderia ter sanado muitas dúvidas surgidas durante a confecção dessa tese.

5.8 Parâmetros Avaliados

No decorrer da fase experimental, ou seja, durante a realização dos 4 ensaios, foram observadas diferentes variáveis relativas à algumas características do solo, ao desenvolvimento e produção da cultura do milho e também aos aspectos qualitativos da água drenada pelo solo.

A seguir cada uma dessas variáveis serão abordadas detalhadamente.

5.8.1 Desenvolvimento da cultura no campo

Essas variáveis foram determinadas com o objetivo de avaliar o desenvolvimento das plantas durante seu ciclo. A primeira coleta de dados era realizada a 20 dias após a emergência e, em seguida, eram feitas mais duas coletas a intervalos de 20 dias até o florescimento masculino das plantas.

As variáveis estudadas foram altura da planta, diâmetro do colmo e número de folhas.

Cabe ressaltar que as análises estatísticas para essas variáveis foram realizadas comparando-se cada uma das amostragens entre si e não o desenvolvimento da planta como um todo.



Figura 11: Operações agrícolas na área experimental: (A) área experimental estaqueada, com os sacos de lodo divididos por parcela; (B) aplicação manual de lodo moído nas parcelas; (C) situação da parcela após aplicação do lodo; (D) incorporação de lodo com enxada rotativa; (E) uniformização da superfície do solo da parcela após incorporação do lodo; (F) utilização do riscador na demarcação das linhas de semeadura; (G) abertura dos sulcos para semeadura e (H) vista geral das sementes dispostas no sulco e dos gabaritos de PVC.

5.8.1.1 Altura das plantas

Para a determinação da altura das plantas foi utilizada uma régua confeccionada para esse fim, a qual era composta por uma trena de 2,50m de comprimento totalmente esticada e fixada em um sarrafo de madeira. A referida régua era apoiada ao solo e colocada na posição vertical ao lado da planta que seria medida.

Nas duas primeiras medições a altura era determinada pela medida do solo até a inserção da última folha totalmente lançada e, na medição final, do solo até a inserção do pendão.

Nos dias de avaliação eram medidas 6 plantas por parcela, sendo 2 por linha útil, geralmente as centrais. As medidas foram realizadas nas mesmas plantas em todas as datas de avaliação.

5.8.1.2 Diâmetro do colmo

Utilizou-se um paquímetro digital marca STARRET, modelo 727, para determinar o diâmetro do colmo em milímetros (mm).

Foram medidos os diâmetros do colmo rente ao solo, logo acima das raízes adventícias das mesmas 6 plantas avaliadas na altura.

5.8.1.3 Número de folhas

Esta variável foi determinada pela contagem de todas as folhas totalmente abertas das mesmas 6 plantas onde se determinou altura e diâmetro.

5.8.2 Componentes de produção

Quando as plantas atingiam o final do ciclo e as espigas já apresentavam um teor de umidade aceitável, era realizada a colheita manual das mesmas.

As espigas produzidas em cada uma das parcelas eram colhidas e depositadas em sacos de ráfia identificados pelo tratamento e o bloco aos quais se referiam.

Foram colhidas apenas as espigas produzidas pelas 33 plantas úteis e as avaliações nelas realizadas estão detalhadas a seguir. Deve-se salientar que o restante das espigas, ou seja, aquelas produzidas pelas plantas tidas como bordadura foram colhidas posteriormente, antecedendo a limpeza da área.

5.8.2.1 Massa das espigas sem palha e massa da palha.

Os sacos com as espigas com palha eram transportados para o laboratório onde se realizava a pesagem das mesmas utilizando-se uma balança digital marca TOLEDO, modelo 9494-III. Depois de pesadas, procedeu-se a retirada da palha e fez-se nova pesagem.

A massa da palha foi obtida calculando-se a diferença das massas das espigas com e sem palha.

5.8.2.2 Comprimento, diâmetro e número de fileiras das espigas

Para determinar o comprimento das espigas em centímetros (cm) utilizou-se uma trena de 1,0 m fixada sobre uma mesa. Na extremidade referente ao zero, foi colocado um anteparo para que as pontas das espigas fossem encostadas, facilitando a medição.

Os diâmetros das espigas foram determinados em milímetros (mm) com o auxílio do paquímetro digital marca STARRET, modelo 727. Convencionou-se realizar essa medida aproximadamente no meio das espigas.

A última determinação feita nas espigas antes da debulha foi a contagem do número de fileiras, a qual era feita de maneira simples, tomando-se o cuidado de identificar, com uma marca de caneta, a fileira inicial, evitando confusões.

5.8.2.3 Diâmetro dos sabugos

Depois da debulha e do acondicionamento dos grãos em sacos de papel previamente identificados, foi realizada a determinação dos diâmetros dos sabugos em milímetros (mm), também utilizando-se o paquímetro digital marca STARRET, modelo 727. Da mesma forma que para as espigas, convencionou-se realizar essa medida aproximadamente no meio dos sabugos.

5.8.2.4 Massa de 1.000 grãos

Foram separados mil grãos produzidos em cada uma das parcelas e levados para a determinação da massa com o auxílio da balança digital marca TOLEDO, modelo 9494-III.

5.8.2.5 Número de espigas por parcela

Essa determinação foi feita de maneira simples, ou seja, contando-se as espigas coletadas nas 33 plantas úteis de cada parcela.

5.8.2.6 Número de grãos por espiga

Também feita de maneira simples, apesar de trabalhosa, essa determinação se deu pela contagem manual dos grãos produzidos nas parcelas e, posteriormente, fez-se a divisão pelo número de espigas de cada parcela, obtendo-se o número médio de grãos por espiga.

5.8.2.7 Produtividade

Em posse dos dados referentes a massa dos grãos produzidos, dos seus teores de umidade e conhecendo a área útil de cada parcela, foram feitos os cálculos para a determinação das produtividades em kg ha^{-1} a 13% de umidade.

Para realizar esses cálculos utilizou-se as seguintes informações:

- espaçamento entre linhas = 0,75m
- espaçamento entre plantas = 0,20m (5 plantas por metro)
- área útil de uma planta = $0,75 \times 0,20\text{m} = 0,15\text{m}^2$
- área útil da parcela = $0,15\text{m}^2 \times 33 \text{ plantas} = 4,95\text{m}^2$

Dessa forma, a massa dos grãos obtidos para cada parcela era equivalente à produção em uma área de $4,95\text{m}^2$ e, para se conhecer a produção de 1,0ha (10.000m^2), foi feito o cálculo por regra de três. Deve-se salientar que depois de conhecida a umidade dos grãos, procedeu-se o ajuste para a umidade comercial que é 13%.

5.8.3 Análise foliar

A coleta das folhas das plantas de milho que foram enviadas para análise foi realizada logo que as espigas começaram a emitir os “cabelos” (estilo-estígmata). De cada uma das 6 plantas utilizadas nas medições de altura, diâmetro do colmo e número de folhas, foi retirada apenas uma folha, sendo escolhida aquela localizada na base da espiga durante a fase de pendramento, seguindo as instruções para amostragem de folhas de cereais (MALAVOLTA et al., 1997; RAIJ et al., 1996).

As folhas foram cortadas com estilete no ponto de inserção sem a bainha e colocadas em sacos de papel, previamente identificados. Posteriormente foram levadas para o laboratório, onde foram bem lavadas com água de abastecimento e com água destilada, procurando retirar todas as impurezas nelas existentes. Após a lavagem, foram colocadas em outros sacos e levadas para a secagem em uma estufa com temperatura em torno de 50°C, durante 3 dias e, depois de secas, foram moídas com o auxílio de um moinho tipo Willey, marca MARCONI, modelo MA-048.

O material moído foi acondicionado em sacos de papel menores e encaminhado para análise no Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas do Departamento de Recursos Naturais/Ciência do Solo (DRN/CS) da FCA/UNESP. Deve-se salientar que durante a moagem, o material oriundo das 6 folhas coletadas em cada parcela foi misturado, constituindo uma amostra, totalizando 24 amostras para cada ensaio.

As amostras foram analisadas para a determinação dos teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn), seguindo metodologias de rotina do referido laboratório, sendo: Espectrofotometria de absorção atômica para K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn, Colorimetria da azometina H para B, Colorimetria do metavanadato para P, Turbidimetria do cloreto de bário para S e Semi-micro-Kjeldahl para N, de acordo com Malavolta et al. (1997).

5.8.4 Análises de Solo

Ao final de cada um dos quatro ensaios, após a colheita das espigas, foram coletadas amostras de solo de todas as parcelas nas faixas de profundidade 0-10cm e 10-20cm, que também foram encaminhadas para análise, com o intuito de se observar as modificações ocorridas no solo devido a aplicação repetida de lodo de esgoto. As coletas das amostras foram realizadas com o auxílio de um trado de caneca, com marcações nas profundidades desejadas.

Todas as análises químicas de solo (básicas e micronutrientes) da fase experimental, inclusive as iniciais, foram realizadas no Laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Recursos Naturais/Ciência do Solo (DRN/CS) da FCA/UNESP, onde se determinou pH, matéria orgânica (MO), acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB),

capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por bases (V%) e os teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn), seguindo as metodologias descritas em Raij et al. (1987).

5.8.5 Água drenada pelo solo

Para se proceder a coleta das amostras de água drenada pelo solo foram utilizadas 6 caixas de cimento amianto de 1000L enterradas no solo, sendo uma para cada tratamento, conforme esquema da Figura 12. Nessas caixas foram instalados drenos de fundo e as mesmas preenchidas com o solo da área experimental. Quando foi realizada a abertura das valas para se enterrar as caixas, teve-se o cuidado de separar o solo em três montes diferentes sendo um para o solo da superfície, outro para o solo da parte intermediária e outro para o solo da parte mais profunda, de modo que, na hora do preenchimento das caixas, o solo retornasse na sua posição de origem. Procurou-se também, devolver ao interior das caixas todo o solo retirado da vala, objetivando manter uma densidade próxima da inicial.

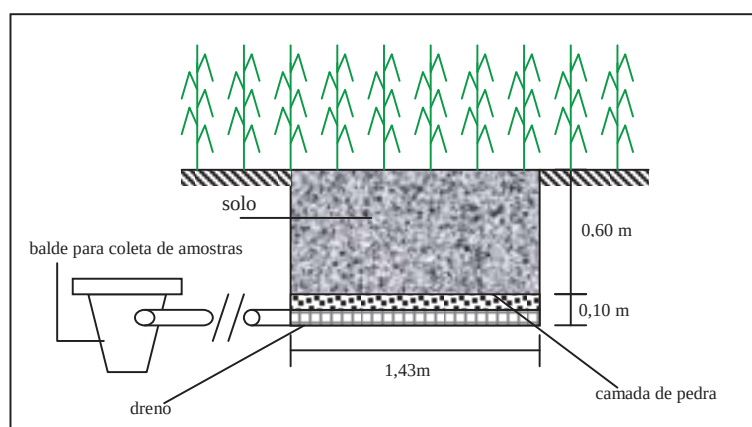


Figura 12: Esquemas da caixa enterrada utilizada na coleta de amostras de água drenada.

Nas caixas também foi plantado milho obedecendo as quantidades de adubo e lodo predeterminadas para cada tratamento e, com o intuito de se oferecer as condições mais semelhantes possíveis, as caixas foram cercadas por plantas de milho, resultando em 3 linhas de bordadura.

As amostras foram analisadas no Laboratório de Recursos Hídricos (LRH) do Departamento de Engenharia Rural, FCA/UNESP para a determinação dos teores de N-NO₃, N-NO₂, demanda química de oxigênio (DQO) e turbidez, de acordo com as

metodologias do espectrofotômetro HACH - DR/2010 sendo: Cadmiun Reduction Method (N-NO_3), Diazotization Method (N-NO_2), Reactor Digestion Method e Colorimetric Determination (DQO) e Atenuated Radiation Method -direct read- (turbidez). Também foram analisados os teores de detergente pela metodologia do HACH/Detergent Test Kit (DE-2 cat. 1432-03), bem como a condutividade elétrica (CE) e pH com o auxílio do condutivímetro DIGIMED-DM31 e do pHmetro DIGIMED-DMPH2 respectivamente. Ainda no LRH foram realizadas as determinações de sólidos totais (ST) de acordo com metodologia descrita por Silva (1977).

Além dessas análises, as amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas do DRN/CS, onde foram analisadas para a determinação de nitrogênio total (N_{total}), fósforo total (P_{total}), K, Ca, Mg, S, Na, B, Cu, Fe, Mn e Zn, seguindo as metodologias de rotina do referido laboratório, já citadas no item 5.8.3 de acordo com Malavolta et al. (1997).

5.8.6 Coleta de amostras de solo em profundidade.

Após a colheita das espigas do Ensaio 4 e antes da desmontagem da área experimental, fez-se a coleta de solo nas profundidades de 20, 40, 80 e 120cm, designadas respectivamente por P1, P2, P3 e P4.

Essa operação foi realizada com muito critério e cuidado, com o intuito de avaliar variações ocorridas ao longo do perfil do solo devido à aplicação continuada de lodo de esgoto e suprir, em partes, as falhas ocorridas com os extratores de solução do solo, que foram instalados na área experimental para a retirada de amostras para esse fim e não alcançaram os resultados esperados.

Foram coletadas amostras nas referidas profundidades, em 4 pontos dentro de cada uma das parcelas do experimento. As amostras de uma mesma profundidade foram misturadas em um balde para se obter uma amostra composta, a qual foi dividida, acondicionada em saco plástico identificado pelo nome do tratamento e do bloco a que se referia e enviadas para o Laboratório de Fertilidade do Solo (DRN/CS), onde foram analisadas quimicamente para a determinação das variáveis descritas no item 5.8.4, seguindo as metodologias de rotina segundo Raij et al. (1987).

5.8.7 Dados Climatológicos

Os dados climatológicos utilizados no presente estudo foram apenas os ligados às variáveis altura de chuva (mm) e temperaturas máxima, média e mínima diárias ($^{\circ}\text{C}$), referentes ao período experimental. Estes dados foram obtidos no Departamento de Recursos Naturais/Ciências Ambientais, FCA/UNESP (DRN/CA).

Para facilitar o entendimento, a exposição dos dados foi feita em dois gráficos, um dos quais mostrando as variações de temperaturas (Figura 13) e outro mostrando a variação pluviométrica (Figura 14) durante todo o período experimental. Em ambos os gráficos estão demarcados os períodos referentes a cada ensaio, salientando que, para a confecção da Figura 13, foram utilizadas as médias mensais das temperaturas e, para a Figura 14, a soma das precipitações dentro de um mesmo mês.

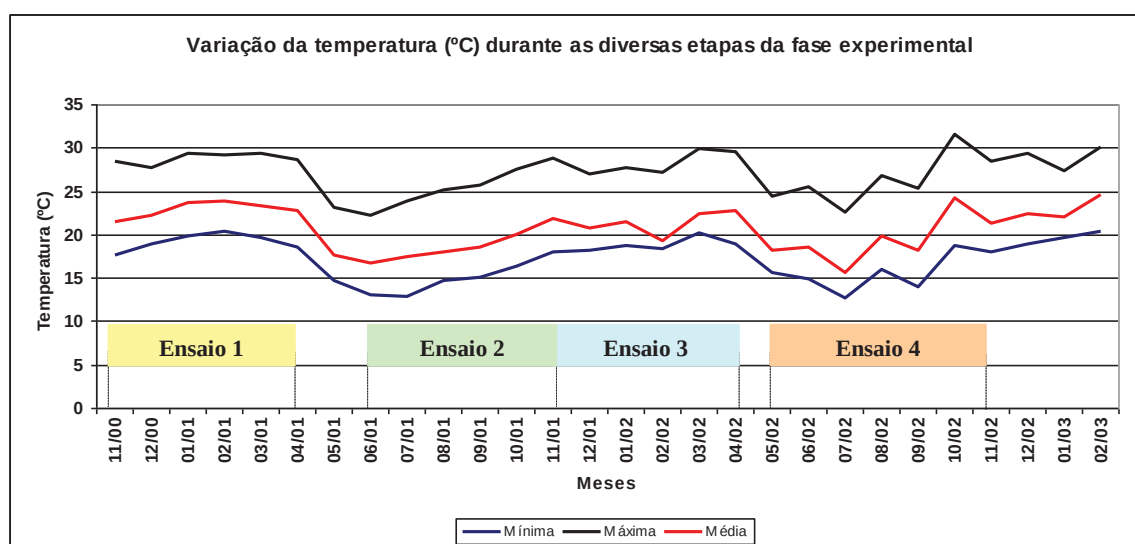


Figura 13: Variação da temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$) da área experimental durante o período de realização do trabalho.

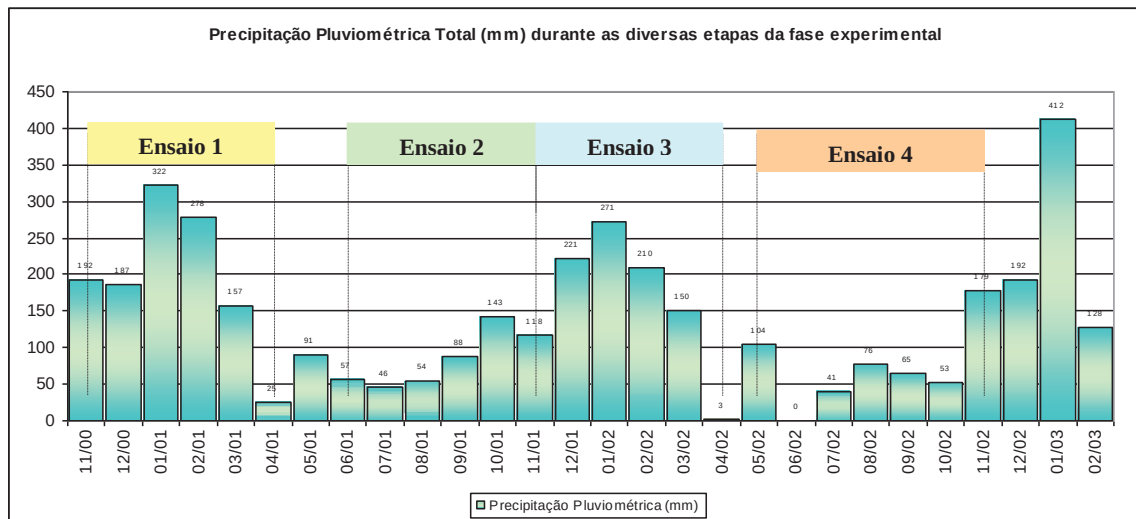


Figura 14: Precipitação pluviométrica total (mm) durante as diversas etapas da fase experimental.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Cultura

6.1.1 Desenvolvimento da cultura no campo

O comportamento dos dados de desenvolvimento da cultura no campo, ou seja, altura, diâmetro do colmo e número de folhas, tem uma ligação direta com os fatores climáticos. Sendo assim, podem ser observados comportamentos distintos desses parâmetros nos ensaios de verão (E1 e E3) e de inverno (E2 e E4), de modo que uma discussão baseada apenas nas médias ficaria muito vaga.

Dessa forma, procurou-se fazer discussões considerando o comportamento dessas variáveis dentro de cada ensaio e, quando possível, agrupando as épocas de clima semelhante.

6.1.1.1 Altura de plantas

Os resultados de altura de plantas para os três períodos de amostragem estão apresentados nos Quadros 6, 7 e 8.

Nota-se em E1 que na primeira medição (Quadro 6) as plantas fertilizadas com lodo foram significativamente maiores que aquelas da testemunha e com adubo mineral. Já no E3, também realizado no verão, os tratamentos com lodo e com adubo foram iguais estatisticamente e significativamente maiores que a testemunha. Nos ensaios de inverno (E2 e E4) não foram observadas diferenças significativas de altura na medição entre as plantas de todos os tratamentos.

Na segunda medição (Quadro 7), o tratamento com maior dose de lodo (T5), mostrou o maior valor numérico, o qual foi estatisticamente igual aos valores observados para os demais tratamentos com lodo e maior que aqueles da testemunha e com adubo mineral. Em E1 não foram observadas diferenças significativas de altura entre as plantas dos demais tratamentos com lodo e aquelas adubadas com minerais. Ainda com relação à segunda medição, cabe ressaltar que, em E3 as plantas fertilizadas com lodo se mostraram significativamente mais altas que a testemunha e as adubadas com minerais, não apresentando diferenças significativas entre si, mas com uma tendência de maior altura de acordo com a maior dose de lodo. Nos ensaios de inverno, também observou-se uma tendência de aumento de altura com o aumento da dose de lodo, porém, nesses ensaios as plantas dos tratamentos com lodo não apresentaram diferenças significativas de altura, quando comparadas com as de T6, ficando ambas significativamente maiores que a testemunha.

Na terceira e última medição (Quadro 8), realizada na época do pendoamento das plantas de milho, observa-se em E1 que não houve diferença significativa entre as plantas de todos os tratamentos, fato semelhante observado em E3 quando apenas as plantas da testemunha foram significativamente menores, o que era esperado devido à escassez de nutrientes no solo. Em E2, as plantas fertilizadas com lodo e com adubo foram maiores que a testemunha, enquanto que as plantas com adubação mineral e aquelas submetidas a doses maiores que 20t ha^{-1} de lodo foram significativamente mais altas que as plantas de T2.

6.1.1.2 Diâmetro do colmo

Os resultados referentes ao diâmetro do colmo das plantas de milho obtidos para as três medições, em cada um dos quatro ensaios estão apresentados nos Quadros 9, 10 e 11. Pode-se notar na primeira medição (Quadro 9), que nos ensaios de inverno não

ocorreram diferenças significativas entre as plantas de todos os tratamentos. Porém, em E1 os diâmetros dos colmos das plantas dos tratamentos com lodo foram estatisticamente maiores que aqueles da testemunha e do tratamento com adubo.

Quadro 6: Altura das plantas (cm), na primeira medição, nos quatro ensaios do trabalho.

Tratamento	ENSAIOS				MÉDIA
	E1	E2	E3	E4	
T1	30,8 Ca	14,8 Ac	23,3 Bb	9,8 Ac	19,6 C
T2	38,0 Ba	15,8 Ab	40,0 Aa	12,3 Ab	26,5 AB
T3	41,0 ABa	17,5 Ab	37,5 Aa	12,0 Ac	27,0 AB
T4	40,3 ABa	17,0 Ab	41,3 Aa	12,5 Ab	27,8 AB
T5	45,3 Aa	19,0 Ab	43,8 Aa	11,8 Ac	29,9 A
T6	30,5 Cb	17,8 Ac	38,3 Aa	10,5 Ad	24,3 B
MÉDIA	37,6 a	17,0 b	37,3 a	11,5 c	25,9
CV (parcela)	= 13,7300				
CV (sub-parcela)	= 11,3300				
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 4,0802				
DMS (Tukey 5%) ensaio	= 2,2416				
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de ens.	= 6,4246				
DMS (Tukey 5%) ens. dentro de trat.	= 5,4908				

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Quadro 7: Altura das plantas (cm), na segunda medição, nos quatro ensaios do trabalho.

Tratamento	ENSAIOS				MÉDIA
	E1	E2	E3	E4	
T1	117,5 Ca	20,0 Bd	94,3 Cb	65,3 Bc	74,3 C
T2	139,0 ABb	32,3 ABd	163,8 Aa	108,3 Ac	110,8 AB
T3	142,3 ABa	38,8 Ac	156,8 ABa	105,8 Ab	110,9 AB
T4	144,3 ABb	41,0 Ad	165,5 Aa	108,3 Ac	114,8 AB
T5	148,3 Ab	47,3 Ad	170,0 Aa	117,5 Ac	120,8 A
T6	128,0 BCa	44,5 Ac	141,3 Ba	108,5 Ab	105,6 B
MÉDIA	136,5 b	37,3 d	148,6 a	102,3 c	106,2
CV (parcela)	= 9,1700				
CV (sub-parcela)	= 7,6600				
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 11,1929				
DMS (Tukey 5%) ensaio	= 6,2265				
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de ens.	= 17,7732				
DMS (Tukey 5%) ens. dentro de trat.	= 15,2518				

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Quadro 8: Altura das plantas (cm), na terceira medição, nos quatro ensaios do trabalho.

Tratamento	ENSAIOS				MÉDIA
	E1	E2	E3	E4	
T1	195,8 Aa	86,8 Cc	145,8 Bb	80,5 Cc	127,2 C
T2	210,3 Aa	139,3 Bb	189,5 Aa	163,8 ABc	175,7 AB
T3	213,8 Aa	149,0 ABb	192,3 Aa	151,0 Bb	176,5 AB
T4	212,0 Aa	162,5 ABb	195,8 Aa	170,8 ABb	185,3 AB
T5	216,8 Aa	174,0 Ab	193,3 Ab	180,8 Ab	191,2 A
T6	201,5 Aa	148,5 ABb	179,5 Aa	152,3 Bb	170,4 B
MÉDIA	208,3 a	143,3 c	182,7 b	149,8 c	171,0
CV (parcela)	= 10,1200				
CV (sub-parcela)	= 7,0900				
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 19,9020				
DMS (Tukey 5%) ensaio	= 9,2848				
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de ens.	= 28,3531				
DMS (Tukey 5%) ens. dentro de trat.	= 22,7431				

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Na segunda medição (Quadro 10), observou-se diferentes comportamentos das plantas em cada um dos ensaios. Em E1 não ocorreu diferença significativa entre os diâmetros das plantas de todos os tratamentos. Em E2 as plantas com doses de lodo acima de 20t ha⁻¹ apresentaram diâmetros estatisticamente iguais àquelas adubadas com minerais, sendo que ambas apresentaram diâmetros maiores que as plantas da testemunha e que aquelas com 10t ha⁻¹ de lodo. Em E3, as plantas dos tratamentos com lodo e com adubo apresentaram diâmetros estatisticamente iguais entre si e significativamente maiores que a testemunha. Por fim, em E4, os diâmetros das plantas fertilizadas com minerais foram significativamente maiores que todos os demais tratamentos, sendo que os resultados dos tratamentos com lodo foram iguais entre si e significativamente maiores que a testemunha.

No Quadro 11 são apresentados os valores obtidos na terceira medição de diâmetro do colmo. Em E1 não foram observadas diferenças significativas de valores de diâmetro do colmo entre as plantas de todos os tratamentos. Nos demais tratamentos houveram diferenças significativas apenas entre a testemunha e todos os demais tratamentos, os quais não apresentaram diferenças estatísticas entre si.

6.1.1.3 Número de folhas

Os resultados das três contagens do número de folhas das plantas de milho em todos os ensaios estão apresentados nos Quadros 12, 13 e 14.

De forma geral, não foram observadas diferenças significativas para essa variável nas duas primeiras contagens em todos os ensaios (Quadros 12 e 13), exceção feita para a primeira contagem em E4, quando as plantas do tratamento com maior dose de lodo (T5) apresentaram número de folhas significativamente maior que as plantas da testemunha e aquelas com adubo mineral, não havendo diferença significativa quando comparados os valores de T5 com os demais tratamentos com lodo.

Da mesma forma que para o diâmetro, na terceira contagem do número de folhas não se observou diferenças significativas entre as plantas de todos os tratamentos em E1, enquanto que, nos demais ensaios as plantas fertilizadas com lodo apresentaram número de folhas significativamente maior que a testemunha e iguais àquelas adubadas com minerais (Quadro 14).

Quadro 9: Diâmetro do colmo das plantas (cm), na primeira medição, nos quatro ensaios do trabalho.

Tratamento	ENSAIOS				MÉDIA
	E1	E2	E3	E4	
T1	1,45 Ba	0,43 Aa	0,90 Bb	0,43 Ac	0,80 C
T2	1,80 Aa	0,45 Aa	1,40 Ab	0,60 Ac	1,06 AB
T3	1,93 Aa	0,48 Aa	1,33 Ab	0,50 Ac	1,06 AB
T4	1,98 Aa	0,48 Aa	1,40 Ab	0,58 Ac	1,11 AB
T5	2,03 Aa	0,50 Aa	1,43 Ab	0,63 Ac	1,14 A
T6	1,48 Ba	0,50 Aa	1,33 Aa	0,48 Ab	0,94 BC
MÉDIA	1,78 a	0,47 c	1,30 b	0,53 c	1,02
CV (parcela)	= 14,0300				
CV (sub-parcela)	= 9,9100				
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 0,1643				
DMS (Tukey 5%) ensaio	= 0,0773				
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de ens.	= 0,2352				
DMS (Tukey 5%) ens. dentro de trat.	= 0,1893				

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Quadro 10: Diâmetro do colmo das plantas (cm), na segunda medição, nos quatro ensaios do trabalho.

Tratamento	ENSAIOS				MÉDIA
	E1	E2	E3	E4	
T1	2,33 Aa	1,05 Cc	1,98 Bb	0,80 Cc	1,54 C
T2	2,43 Aa	1,75 Bb	2,35 Aa	1,13 BCc	1,90 B
T3	2,63 Aa	1,98 ABb	2,43 Aa	1,10 BCc	2,03 B
T4	2,45 Aa	2,03 ABb	2,55 Aa	1,13 BCc	2,04 B
T5	2,48 Aab	2,23 Ac	2,58 Aa	1,18 Bc	2,11 AB
T6	2,30 Aa	2,20 Aa	2,28 ABa	2,43 Aa	2,30 A
MÉDIA	2,43 a	1,86 b	2,36 a	1,29 c	1,99
CV (parcela)	= 10,8900				
CV (sub-parcela)	= 7,2300				
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 0,2487				
DMS (Tukey 5%) ensaio	= 0,1099				
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de ens.	= 0,3440				
DMS (Tukey 5%) ens. dentro de trat.	= 0,2693				

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Quadro 11: Diâmetro do colmo das plantas (cm), na terceira medição, nos quatro ensaios do trabalho.

Tratamento	ENSAIOS				MÉDIA
	E1	E2	E3	E4	
T1	2,40 Aa	1,88 Bb	1,78 Bb	1,78 Bb	1,96 B
T2	2,50 Aab	2,63 Aa	2,33 Ab	2,43 Aab	2,47 A
T3	2,58 Aab	2,68 Aa	2,35 Ab	2,50 Aab	2,53 A
T4	2,40 Ab	2,73 Aa	2,40 Ab	2,60 Aab	2,53 A
T5	2,55 Aab	2,70 Aa	2,43 Ab	2,48 Aab	2,54 A
T6	2,35 Aa	2,50 Aa	2,30 Aa	2,43 Aa	2,39 A
MÉDIA	2,46 ab	2,52 a	2,26 c	2,37 bc	2,40
CV (parcela)	= 7,1500				
CV (sub-parcela)	= 5,9000				
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 0,1976				
DMS (Tukey 5%) ensaio	= 0,1085				
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de ens.	= 0,3111				
DMS (Tukey 5%) ens. dentro de trat.	= 0,2659				

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Quadro 12: Número de folhas das plantas, na primeira medição, nos quatro ensaios do trabalho.

Tratamento	ENSAIOS				MÉDIA
	E1	E2	E3	E4	
T1	7,0 Aa	4,0 Ac	6,8 Ba	5,3 Bb	5,8 C
T2	7,0 Ab	4,5 Ad	8,3 Aa	5,8 ABc	6,4 AB
T3	7,3 Aa	4,5 Ac	8,0 Aa	6,0 ABb	6,4 AB
T4	7,3 Aa	4,3 Ac	8,0 Aa	6,0 ABb	6,4 AB
T5	7,8 Ab	4,3 Ad	8,8 Aa	6,8 Ac	6,9 A
T6	7,3 Aa	4,8 Ab	8,0 Aa	5,3 Bb	6,3 B
MÉDIA	7,3 b	4,3 d	8,0 a	5,8 c	6,4
CV (parcela)	= 6,9400				
CV (sub-parcela)	= 7,9800				
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 0,5071				
DMS (Tukey 5%) ensaio	= 0,3881				
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de ens.	= 1,0183				
DMS (Tukey 5%) ens. dentro de trat.	= 0,9507				

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Quadro 13: Número de folhas das plantas, na segunda medição, nos quatro ensaios do trabalho.

Tratamento	ENSAIOS				MÉDIA
	E1	E2	E3	E4	
T1	10,8 Aa	7,8 Aa	10,0 Aa	7,3 Aa	8,9 B
T2	11,8 Aa	8,3 Aa	11,5 Aa	8,5 Aa	10,0 A
T3	12,0 Aa	9,0 Aa	11,5 Aa	8,8 Aa	10,3 A
T4	11,8 Aa	9,0 Aa	11,8 Aa	8,5 Aa	10,3 A
T5	12,0 Aa	9,3 Aa	12,0 Aa	9,0 Aa	10,6 A
T6	11,3 Aa	9,3 Aa	11,3 Aa	8,8 Aa	10,1 A
MÉDIA	11,6 a	8,8 b	11,3 a	8,5 b	10,1
CV (parcela)	= 4,8900				
CV (sub-parcela)	= 5,5800				
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 0,5645				
DMS (Tukey 5%) ensaio	= 0,4288				
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de ens.	=				
DMS (Tukey 5%) ens. dentro de trat.	=				

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Quadro 14: Número de folhas das plantas, na terceira medição, nos quatro ensaios do trabalho.

Tratamento	ENSAIOS				MÉDIA
	E1	E2	E3	E4	
T1	14,0 Aa	11,0 Bb	11,3 Bb	9,8 Bc	11,5 B
T2	14,0 Aa	12,3 Ab	13,0 Aab	12,8 Ab	13,0 A
T3	13,8 Aa	12,8 Aab	13,8 Aa	12,3 Ab	13,1 A
T4	14,5 Aa	12,8 Ab	13,0 Ab	12,3 Ab	13,1 A
T5	14,5 Aa	13,3 Ab	13,3 Ab	13,0 Ab	13,5 A
T6	13,8 Aa	13,0 Aa	13,0 Aa	12,8 Aa	13,1 A
MÉDIA	14,1 a	12,5 bc	12,9 b	12,1 c	12,9
CV (parcela)	= 4,5300				
CV (sub-parcela)	= 4,6300				
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 0,6722				
DMS (Tukey 5%) ensaio	= 0,4572				
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de ens.	= 1,2312				
DMS (Tukey 5%) ens. dentro de trat.	= 1,1198				

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Por fim, com relação aos dados de desenvolvimento das plantas no campo, observa-se que para todas as medições de altura e diâmetro, bem como para a contagem das folhas, houve uma tendência de se obter maiores valores à medida em que se aumentou a dose de lodo de esgoto, pois de maneira geral, as plantas dos tratamentos com lodo sempre apresentaram valores médios maiores que as plantas da testemunha e aquelas com adubo mineral, sendo que, algumas vezes as diferenças foram significativas e outras vezes não.

6.1.2 Componentes de produção

Os componentes de produção referem-se a algumas determinações que são feitas nas espigas produzidas em cada tratamento e tem como finalidade principal, definir se as condições oferecidas para o desenvolvimento das plantas foram satisfatórias.

Os resultados das avaliações desses componentes estão apresentados nos Quadros 15 a 23, sendo massa da palha (Quadro 15), massa das espigas sem palha (Quadro 16), comprimento das espigas (Quadro 17), número de grãos por espiga (Quadro 18), número de fileiras das espigas (Quadro 19), diâmetro dos sabugos (Quadro 20), massa de 1000 grãos (Quadro 21), diâmetro das espigas (Quadro 22) e número de espigas por parcela (Quadro 23).

Por esses quadros nota-se que, de forma geral, todos os componentes tiveram comportamentos semelhantes, pois na maioria deles não se observaram diferenças significativas no decorrer dos ensaios. Por outro lado, quando se consideram as médias, quase sempre se observam diferenças significativas, onde os resultados dos tratamentos com lodo se mostraram superiores em relação à testemunha (T1) e iguais ao tratamento com adubo mineral (T6).

Com relação à massa da palha (Quadro 15), pode-se afirmar que o suprimento nutricional com lodo de esgoto promoveu um empalhamento satisfatório das espigas quando comparado à prática convencional, que é a adubação mineral. Deve-se salientar que o bom empalhamento é um fator interessante, pois está relacionado com a proteção da espiga no campo contra os ataques de pragas e microorganismos.

Quadro 15: Massa da palha (kg) nos quatro ensaios do trabalho.

Tratamento	ENSAIOS				MÉDIA
	E1	E2	E3	E4	
T1	0,95 Aa	0,50 Aa	0,43 Aa	0,38 Aa	0,56 B
T2	0,90 Aa	0,65 Aa	0,78 Aa	0,65 Aa	0,74 A
T3	0,93 Aa	0,58 Aa	0,78 Aa	0,60 Aa	0,72 A
T4	1,00 Aa	0,70 Aa	0,68 Aa	0,58 Aa	0,74 A
T5	0,95 Aa	0,73 Aa	0,83 Aa	0,63 Aa	0,78 A
T6	0,90 Aa	0,55 Aa	0,65 Aa	0,68 Aa	0,69 AB
MÉDIA	0,94 a	0,62 b	0,69 b	0,58 b	0,71
CV (parcela)	= 19,0700				
CV (sub-parcela)	= 20,3700				
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 0,1549				
DMS (Tukey 5%) ensaio	= 0,1101				
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de ens.	=				
DMS (Tukey 5%) ens. dentro de trat.	=				

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

No Quadro 16 estão apresentados os resultados de massa das espigas sem palha, cabendo salientar que esse parâmetro apresenta estreita relação com seu comprimento e diâmetro, número de fileiras, número e tamanhos dos grão e com o diâmetro do sabugo. Dessa forma, essas variáveis permitem uma discussão conjunta, facilitando o entendimento.

Pelo Quadro 16 nota-se que a massa das espigas sem palha é significativamente maior que a testemunha em todos os tratamentos com lodo, bem como para o tratamento com adubação mineral, sendo que não ocorreram diferenças significativas entre tratamentos com lodo e com adubo. Esse comportamento também pode ser observado para o comprimento das espigas (Quadro 17) e número de grãos por espiga (Quadro 18).

Quadro16: Massa das espigas sem palha (kg) nos quatro ensaios do trabalho.

Tratamento	ENSAIOS				MÉDIA
	E1	E2	E3	E4	
T1	7,4 Aa	3,8 Cb	3,9 Cb	2,5 Cc	4,4 B
T2	7,2 Aa	6,1 Ab	6,5 Aab	4,9 Ac	6,1 A
T3	8,4 Aa	4,7 BCbc	5,6 ABb	4,1 ABc	5,7 A
T4	8,2 Aa	5,5 ABb	5,5 ABb	3,5 BCc	5,6 A
T5	7,6 Aa	5,9 ABbc	6,0 ABb	4,9 Ac	6,1 A
T6	7,9 Aa	5,4 ABb	5,1 BCb	4,2 ABb	5,7 A
MÉDIA	7,7 a	5,2 b	5,4 b	4,0 c	5,6
CV (parcela)	= 12,7300				
CV (sub-parcela)	= 10,4700				
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 0,8201				
DMS (Tukey 5%) ensaio	= 0,4487				
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de ens.	= 1,2878				
DMS (Tukey 5%) ens. dentro de trat.	= 1,0992				

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Com relação às demais variáveis que interferem na massa das espigas sem palha, número de fileiras (Quadro 19), diâmetro do sabugo (Quadro 20) e massa de 1000 grãos (Quadro 21), não foram observadas diferenças significativas entre todos os tratamentos durante a fase experimental, bem como na comparação das médias.

A respeito do número de fileiras das espigas (Quadro 19), deve-se salientar que esse componente independe do estado nutricional das plantas de milho, uma vez que é definido no início do desenvolvimento das mesmas, sendo mais dependente das condições hídricas e das características do híbrido. Depois de definida a estrutura da espiga, o estado nutricional será determinante no tamanho e na massa dos grãos produzidos.

Quadro 17: Comprimento das espigas (cm) nos quatro ensaios do trabalho.

Tratamento	ENSAIOS				MÉDIA
	E1	E2	E3	E4	
T1	17,3 Aa	16,2 Ba	14,6 Bb	13,3 Bc	15,3 B
T2	17,5 Aa	17,7 Aa	16,0 Ab	16,3 Ab	16,9 A
T3	17,1 Aab	17,4 ABa	16,5 Aab	16,0 Ab	16,7 A
T4	17,6 Aa	17,6 Aa	16,2 Ab	15,8 Ab	16,8 A
T5	17,5 Aab	17,8 Aa	16,4 Abc	16,0 Ac	16,9 A
T6	17,3 Aab	17,6 Aa	16,2 Ab	16,3 Ab	16,8 A
MÉDIA	17,4 a	17,4 a	16,0 b	15,6 b	16,6
CV (parcela)	= 4,5200				
CV (sub-parcela)	= 3,8500				
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 0,8621				
DMS (Tukey 5%) ensaio	= 0,4883				
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de ens.	= 1,3853				
DMS (Tukey 5%) ens. dentro de trat.	= 1,1962				

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Quadro 18: Número de grãos por espiga nos quatro ensaios do trabalho.

Tratamento	ENSAIOS				MÉDIA
	E1	E2	E3	E4	
T1	551 Aa	556 Aa	414 Bb	403 Db	481 B
T2	530 Aa	552 Aa	507 Aa	538 A	532 A
T3	567 Aa	541 Aab	494 Ac	513 ABbc	529 A
T4	547 Aa	564 Aa	490 Ab	488 BCb	522 A
T5	551 Aab	576 Aa	486 Ac	518 ABbc	533 A
T6	540 Aa	572 Aa	478 Ab	463 Cb	513 A
MÉDIA	548 a	560 a	478 b	487 b	518
CV (parcela)	= 3,8700				
CV (sub-parcela)	= 4,6900				
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 23,046				
DMS (Tukey 5%) ensaio	= 18,6135				
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de ens.	= 48,3305				
DMS (Tukey 5%) ens. dentro de trat.	= 45,5935				

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Quadro 19: Número de fileiras das espigas nos quatro ensaios do trabalho.

Tratamento	ENSAIOS				MÉDIA
	E1	E2	E3	E4	
T1	14,5 Aa	14,8 Aa	14,0 Aa	14,0 Aa	14,3 A
T2	14,3 Aa	14,0 Aa	14,8 Aa	14,0 Aa	14,3 A
T3	14,8 Aa	14,5 Aa	14,8 Aa	14,5 Aa	14,6 A
T4	14,8 Aa	14,8 Aa	14,3 Aa	14,3 Aa	14,5 A
T5	14,5 Aa	15,0 Aa	14,8 Aa	14,8 Aa	14,8 A
T6	14,8 Aa	14,8 Aa	14,5 Aa	14,8 Aa	14,7 A
MÉDIA	14,6 a	14,6 a	14,4 a	14,5 a	14,5
CV (parcela)	= 3,2900				
CV (sub-parcela)	= 3,9100				
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 0,5488				
DMS (Tukey 5%) ensaio	= 0,4343				
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de ens.	=				
DMS (Tukey 5%) ens. dentro de trat.	=				

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Quadro 20: Diâmetro dos sabugos (mm) nos quatro ensaios do trabalho.

Tratamento	ENSAIOS				MÉDIA
	E1	E2	E3	E4	
T1	27,7 Aa	27,3 Aa	27,0 Aa	27,9 Aa	27,5 A
T2	28,1 Aa	26,5 Aa	27,7 Aa	28,3 Aa	27,6 A
T3	28,1 Aa	27,7 Aa	27,9 Aa	28,7 Aa	28,1 A
T4	28,6 Aa	27,7 Aa	27,7 Aa	29,1 Aa	28,3 A
T5	28,8 Aa	27,8 Aa	27,8 Aa	28,8 Aa	28,3 A
T6	28,7 Aa	27,6 Aa	27,9 Aa	29,0 Aa	28,3 A
MÉDIA	28,3 ab	27,4 c	27,6 bc	28,6 a	27,8
CV (parcela)	= 4,2100				
CV (sub-parcela)	= 3,8500				
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 1,3553				
DMS (Tukey 5%) ensaio	= 0,8251				
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de ens.	=				
DMS (Tukey 5%) ens. dentro de trat.	=				

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Quadro 21: Massa de 1000 grãos (g) nos quatro ensaios do trabalho.

Tratamento	ENSAIOS				MÉDIA
	E1	E2	E3	E4	
T1	385 Aa	304 Aa	333 Aa	269 Aa	323 A
T2	397 Aa	359 Aa	350 Aa	302 Aa	352 A
T3	385 Aa	350 Aa	358 Aa	280 Aa	343 A
T4	377 Aa	360 Aa	356 Aa	270 Aa	341 A
T5	383 Aa	369 Aa	362 Aa	307 Aa	355 A
T6	382 Aa	343 Aa	356 Aa	278 Aa	339 A
MÉDIA	384 a	348 b	352 b	284 c	342
CV (parcela)	= 8,3400				
CV (sub-parcela)	= 6,2900				
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 32,8049				
DMS (Tukey 5%) ensaio	= 16,4861				
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de ens.	=				
DMS (Tukey 5%) ens. dentro de trat.	=				

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Outra observação importante deve ser feita a respeito do diâmetro sabugo (Quadro 20), o qual apesar de ser dependente dos fatores nutricionais, não foi afetado pelos diferentes tratamentos aplicados.

Os valores de diâmetro da espiga (Quadro 22) apresentaram algumas diferenças significativas, com uma tendência de aumento de acordo com o aumento da dose de lodo. Apesar de serem significativamente diferentes, os valores ficaram próximos, não sendo suficientes para interferir nos valores de massa da espiga e nos valores de produtividade.

Quadro 22: Diâmetro das espigas (mm) nos quatro ensaios do trabalho.

Tratamento	ENSAIOS				MÉDIA
	E1	E2	E3	E4	
T1	48,8 Aa	50,4 Aa	47,9 Aa	45,2 Aa	48,1 C
T2	47,2 Aa	49,9 Aa	49,7 Aa	47,3 Aa	48,5 BC
T3	49,2 Aa	51,2 Aa	50,9 Aa	47,6 Aa	49,7 AB
T4	49,4 Aa	50,9 Aa	50,2 Aa	47,0 Aa	49,4 ABC
T5	49,9 Aa	51,3 Aa	50,5 Aa	49,2 Aa	50,2 A
T6	50,3 Aa	51,1 Aa	50,2 Aa	47,9 Aa	49,9 AB
MÉDIA	49,1 b	50,8 a	49,9 ab	47,4 c	49,3
CV (parcela)	= 2,5400				
CV (sub-parcela)	= 3,1500				
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 1,4392				
DMS (Tukey 5%) ensaio	= 1,1902				
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de ens.	=				
DMS (Tukey 5%) ens. dentro de trat.	=				

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Pelo Quadro 23, comparando-se as médias dos tratamentos observa-se que T2 e T5 foram os tratamentos que produziram maior número de espigas por parcela durante a fase experimental, diferindo estatisticamente da testemunha. Os demais tratamentos com lodo (T3 e T4), e o tratamento com adubo (T6), apesar de terem produzido, em termos numéricos, mais espigas por parcela que a testemunha, não foram estatisticamente superiores a ela e nem inferiores a T2 e T5.

O comportamento dos componentes de produção refletiram diretamente nos resultados de produtividade a 13% de umidade, apresentados de diferentes formas no Quadro 24 e nas Figuras 15 e 16.

Quadro 23: Número de espigas por parcela nos quatro ensaios do trabalho.

Tratamento	ENSAIOS				MÉDIA
	E1	E2	E3	E4	
T1	30,8 Aa	33,0 Aa	31,0 Aa	27,0 Aa	30,4 B
T2	31,3 Aa	36,8 Aa	36,3 Aa	35,3 Aa	34,9 A
T3	32,0 Aa	32,3 Aa	33,0 Aa	35,8 Aa	33,3 AB
T4	32,3 Aa	34,0 Aa	32,3 Aa	33,3 Aa	32,9 AB
T5	33,3 Aa	39,0 Aa	37,0 Aa	36,0 Aa	36,3 A
T6	32,8 Aa	35,5 Aa	30,8 Aa	33,5 Aa	33,1 AB
MÉDIA	32,0 a	35,1 a	33,4 a	33,5 a	33,5
CV (parcela)	= 11,1300				
CV (sub-parcela)	= 11,9500				
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 4,2870				
DMS (Tukey 5%) ensaio	= 3,0631				
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de ens.	=				
DMS (Tukey 5%) ens. dentro de trat.	=				

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Os resultados observados em E1 mostram produtividades elevadas em todos os tratamentos com lodo, bem como na testemunha e no tratamento com adubo mineral, sendo maiores do que a média nacional e paulista de produtividade de milho da safra 2001/2002, que foram, respectivamente 3,1 e 4,3t ha⁻¹ (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2002). Isso poderia ser atribuído, em parte, às condições iniciais do solo que, apesar de não ter sido utilizado nos dois anos que antecederam a instalação do experimento, foi cultivado pela última vez com milho de forma convencional, o que pode ter deixado resíduos de nutrientes no solo, embora as análises químicas de solo apresentadas nos Quadros 2 e 3 não confirmem esse fato.

Quadro 24: Produtividade a 13% umidade (kg ha⁻¹), nos quatro ensaios do trabalho.

Tratamento	ENSAIOS				MÉDIA
	E1	E2	E3	E4	
T1	11226 Aa	6570 Cb	5930 Cb	3926 Cc	6913 B
T2	12750 Aa	10499 Ab	9666 Ab	7701 Ac	10154 A
T3	12840 Aa	8446 BCb	8149 ABb	6437 ABc	8968 A
T4	12156 Aa	9035 ABb	8154 ABb	5557 BCc	8725 A
T5	12576 Aa	10235 Ab	9001 ABbc	7708 Ac	9880 A
T6	11323 Aa	9574 ABb	7285 BCc	6548 ABc	8682 A
MÉDIA	12145 a	9010 b	8080 c	6313 d	8887
CV (parcela)	= 13,86				
CV (sub-parcela)	= 10,03				
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 1416				
DMS (Tukey 5%) ensaio	= 682				
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de ens.	= 2056				
DMS (Tukey 5%) ens. dentro de trat.	= 1671				

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Nos demais ensaios (E2, E3 e E4), como já era esperado, a testemunha apresentou quedas mais marcantes de produtividade, pelo fato de não ter havido fertilização nesse tratamento. Outra observação importante é que, em média, as produtividades diminuíram em todos os tratamentos, tanto na testemunha como nos tratamentos com lodo e no tratamento com adubo, como está ilustrado na Figura 15.

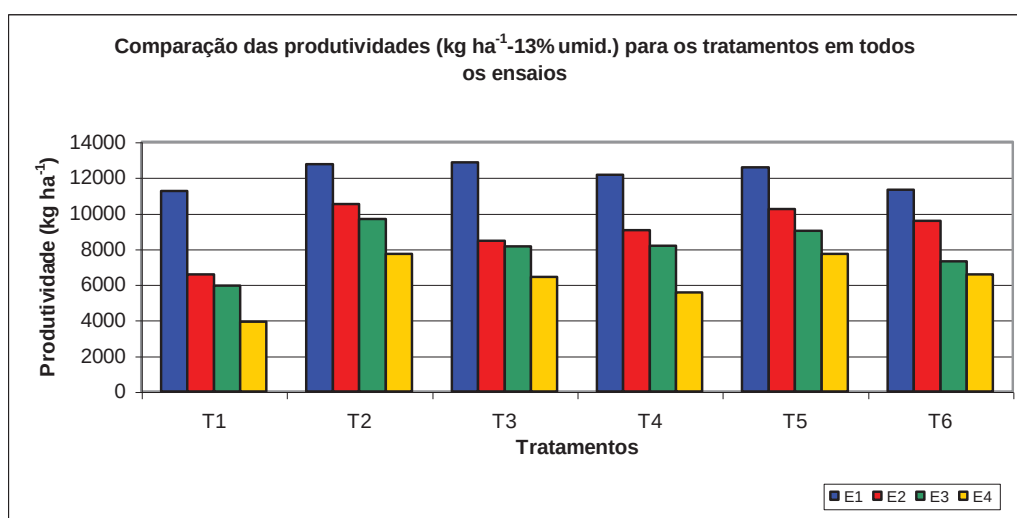


Figura 15: Comparação das produtividades em cada ensaio dentro dos tratamentos.

Com relação aos tratamentos, pode-se observar pelo Quadro 24 e pela Figura 16 que nos três últimos ensaios as produtividades em T2 foram sempre maiores que todos os demais tratamentos. O tratamento com maior dose de lodo (T5), de forma geral, apresentou sempre a segunda maior produtividade, porém seus valores nunca foram estatisticamente diferentes de T2. As produtividades para os demais tratamentos com lodo (T3 e T4) se mantiveram sempre superiores estatisticamente à testemunha, apresentando comportamentos variáveis em relação a T6, ou seja, valores inferiores nos ensaios E2 e E4, e superiores em E3. Deve-se salientar que, apesar dessa variabilidade, as diferenças observadas entre as produtividades de T3, T4 e T6 nunca foram significativas.

Comportando-se de maneira semelhante aos componentes de produção, os valores médios de produtividade para todos os tratamentos com lodo de esgoto e com adubo mineral foram sempre estatisticamente superiores à testemunha. Numericamente, as produtividades das plantas fertilizadas com lodo de esgoto foram sempre maiores que as produtividades das plantas com adubado mineral. Deve-se atentar principalmente para T2, onde a produtividade foi numericamente superior a todos os demais tratamentos.

Essas observações mostram o grande potencial que o lodo de esgoto tem para se firmar como uma interessante alternativa para o fornecimento de nutrientes às plantas agrícolas, concordando com as observações de vários autores que relatam essa qualidade do lodo, como Bettiol e Carvalho (1982a; 1982b), Nascimento e Botega (1986), André (1997) e Paiva (1998), entre muitos outros.

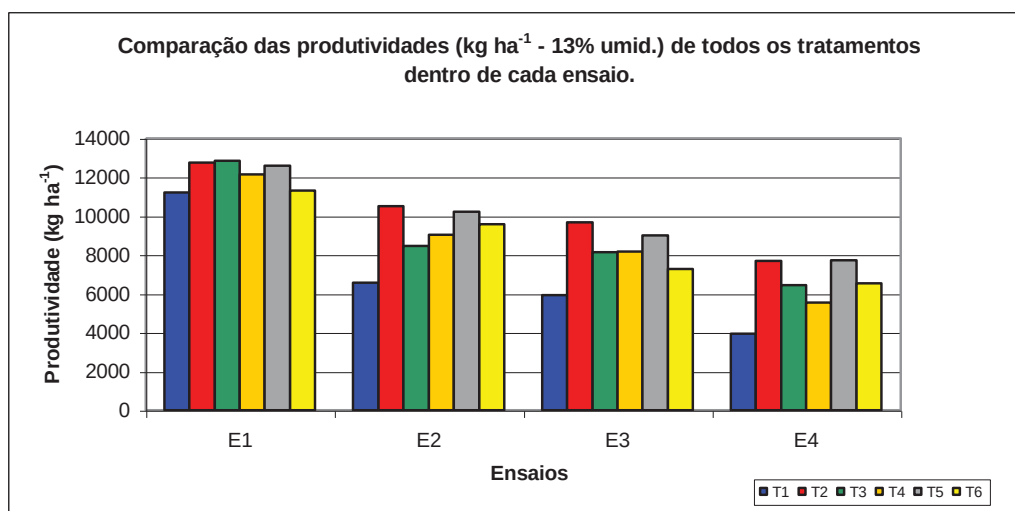


Figura 16: Comparação das produtividades em cada tratamento dentro de cada ensaio.

6.2 Análise de solo

Os resultados das análises estatísticas realizadas para os dados de análise química básica e de micronutrientes do solo no decorrer dos quatro ensaios podem ser observados nos Quadros 25 a 56.

Como já foi explicado, as coletas de amostras foram realizadas em duas faixas de profundidades (0-10 e 10-20cm), com o intuito de observar a ocorrência de algumas diferenças devido a acúmulo de nutrientes na camada superior. Porém, ao analisar os dados, nota-se um comportamento semelhante para todas as variáveis em ambas as camadas, o que, certamente, se deve à homogeneização do solo durante a operação de incorporação do lodo de esgoto realizada em todos os ensaios.

Sendo assim, as discussões cabíveis para os dados da faixa 0-10cm, o serão também para a faixa 10-20cm e, por isso, serão realizadas concomitantemente, de modo a evitar uma repetitividade.

6.2.1 Análise Básica

Os valores de pH do solo para as duas faixas de profundidade estudadas estão apresentados nos Quadros 25 e 26. Nos tratamentos T3, T4 e T5, que foram fertilizados com as maiores doses de lodo, bem como naquele com adubação mineral (T6), pode-se observar na faixa de 0-10cm uma diminuição significativa nos valores com o passar do tempo, enquanto que para T1 e T2 não ocorreram diferenças significativas entre os ensaios. Além disso, exceto para E1, os maiores valores de pH ocorreram nesses 2 tratamentos. Apesar de não apresentarem diferenças significativas, o comportamento do pH na faixa 10-20cm mostrou a mesma tendência, cabendo a eles a mesma discussão.

A diminuição nos valores de pH nas parcelas com lodo pode ser atribuída às reações de nitrificação do nitrogênio amoniacal e à geração de ácidos orgânicos das reações envolvidas na degradação da carga orgânica do resíduo. Esse fenômeno foi observado também por Pigozzo-Jordão (2003) e Logan et al. (1997), após utilização de lodo sem adição de cal ou qualquer outra base. De forma contrária, Oliveira (2000) e Bertoncini e Mattiazzo (1999) constatarem acréscimos no pH pela adição de doses crescentes de biossólido e atribuíram essa elevação à estabilização e à alcalinidade do material utilizado, que provavelmente foi tratado para desinfecção e/ou desidratação.

É pertinente colocar que mesmo com a redução do pH a cada ensaio, os valores médios em ambas as profundidades após os quatro ensaios não foram inferiores ao pH inicial, excessão feita para a T4 e T6.

A diminuição do pH refletiu diretamente nos valores de $(H+Al)$, (Quadros 27 e 28), resultando em aumentos significativos deste parâmetro a cada ensaio, sobretudo nos tratamentos com 20, 30 e 40t ha⁻¹ e também na adubação mineral. Isso contraria os autores citados por Melo et al. (2001), pois os mesmos encontraram aumento de pH e diminuição de $H+Al$ quando aplicaram biossólido. Nota-se, da mesma forma que esses autores, que o comportamento da acidez potencial foi inversamente proporcional ao pH e que, provavelmente, a diferença se relacionou ao material utilizado, uma vez que o biossólido utilizado por eles foi submetido a tratamentos para secagem e/ou desinfecção com material alcalinizante, enquanto que o lodo utilizado neste estudo foi aplicado *in natura*.

Quadro 25: Valores de pH do solo na faixa de 0-10cm de profundidade.

Tratamento	ENSAIOS				MÉDIA
	E1	E2	E3	E4	
T1	5,3 Aa	5,2 Aa	5,0 Aa	5,2 Aa	5,2 A
T2	5,0 ABa	5,1 ABa	4,9 ABa	5,1 ABa	5,1 AB
T3	5,1 ABa	5,0 ABa	4,6 BCb	4,9 ABCa	4,9 BC
T4	4,9 Ba	4,9 ABa	4,5 Cb	4,8 BCab	4,8 C
T5	5,2 ABa	5,0 ABa	4,4 Cb	4,9 ABCa	4,9 BC
T6	5,2 ABa	4,8 Bb	4,5 Cc	4,6 Cbc	4,8 C
MÉDIA	5,1 a	5,0 ab	4,7 c	4,9 bc	4,9
CV (parcela)	= 4,5200				
CV (sub-parcela)	= 2,9800				
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 0,2564				
DMS (Tukey 5%) ensaio	= 0,1127				
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de ens.	= 0,3536				
DMS (Tukey 5%) ens. dentro de trat.	= 0,2761				

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Quadro 26: Valores de pH do solo na faixa de 10-20cm de profundidade.

Tratamento	ENSAIOS				MÉDIA
	E1	E2	E3	E4	
T1	5,2 Aa	5,1 Aa	4,9 Aa	5,1 Aa	5,1 AB
T2	5,3 Aa	5,1 Aa	5,0 Aa	5,0 Aa	5,1 A
T3	5,0 Aa	5,0 Aa	4,7 Aa	4,8 Aa	4,9 ABC
T4	5,0 Aa	4,9 Aa	4,5 Aa	4,7 Aa	4,8 C
T5	5,0 Aa	5,1 Aa	4,5 Aa	4,6 Aa	4,8 BC
T6	5,2 Aa	4,8 Aa	4,6 Aa	4,6 Aa	4,8 C
MÉDIA	5,1 a	5,0 a	4,7 b	4,8 b	4,9
CV (parcela)	= 4,2300				
CV (sub-parcela)	= 3,7100				
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 0,2386				
DMS (Tukey 5%) ensaio	= 0,1394				
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de ens.	=				
DMS (Tukey 5%) ens. dentro de trat.	=				

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Quadro 27: Acidez potencial do solo (H+Al) (mmol_c dm⁻³) na faixa de 0-10cm de profundidade.

Tratamento	ENSAIOS				MÉDIA
	E1	E2	E3	E4	
T1	34,5 Aa	25,3 Aa	31,8 Ca	26,3 Ba	29,4 C
T2	38,0 Aa	27,0 Aa	35,5 BCa	28,5 Ba	32,3 BC
T3	33,5 Ab	29,3 Ab	49,8 Aa	39,3 ABab	37,9 AB
T4	33,3 Ab	32,5 Ab	55,3 Aa	43,5 Ab	41,1 A
T5	29,0 Ab	30,8 Ab	55,8 Aa	52,3 Aa	41,9 A
T6	31,8 Ab	31,3 Ab	46,8 ABa	42,0 Aab	37,9 AB
MÉDIA	33,3 c	29,3 c	45,8 a	38,6 b	36,8
CV (parcela)	= 19,8600				
CV (sub-parcela)	= 16,7500				
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 8,3973				
DMS (Tukey 5%) ensaio	= 4,7172				
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de ens.	= 13,4172				
DMS (Tukey 5%) ens. dentro de trat.	= 11,5547				

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Quadro 28: Acidez potencial do solo (H+Al) ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) na faixa de 10-20cm de profundidade.

Tratamento	ENSAIOS				MÉDIA
	E1	E2	E3	E4	
T1	36,3 Aa	26,0 Aa	36,8 BCa	36,8 BC	33,9 B
T2	32,8 Aa	26,8 Aa	34,5 Ca	33,3 C	31,8 B
T3	33,3 Ab	29,8 Ab	50,0 ABa	50,3 ABa	40,8 AB
T4	33,8 Ab	31,8 Ab	53,8 Aa	59,0 Aa	44,6 A
T5	32,5 Ab	32,8 Ab	53,3 Aa	61,0 Aa	44,9 A
T6	33,5 Ab	31,5 Ab	42,0 ABCb	53,5 Aa	40,1 AB
MÉDIA	33,7 b	29,8 b	45,0 a	49,0 a	39,4
CV (parcela)	= 20,0500				
CV (sub-parcela)	= 15,4000				
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 9,0752				
DMS (Tukey 5%) ensaio	= 4,6403				
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de ens.	= 13,6511				
DMS (Tukey 5%) ens. dentro de trat.	= 11,3664				

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Os teores de MO apresentados nos Quadros 29 e 30 indicam variações significativas entre os tratamentos a partir de E2. No tratamento sem fertilização (T1), bem como em T2 e T6, não foram observadas diferenças significativas quando comparados os ensaios E2, E3 e E4, apesar de ter havido uma tendência de diminuição nos teores de MO.

Nos demais tratamentos T3, T4 e T5, foram observados aumentos significativos no decorrer do experimento, indicando um acúmulo de MO no solo, o qual foi diretamente proporcional à dose aplicada. Esse fato era esperado, pois de acordo com as características do lodo utilizado, as quantidades de MO adicionadas a cada ensaio variaram de 320 a 2.760kg ha⁻¹ (Quadro 5), considerando-se a menor quantidade para T2 e a maior para T5.

Uma observação mais detalhada desses resultados mostra que há um aumento uniforme nas médias dos incrementos ocorridos nos quatro ensaios para cada tratamento, sugerindo a observação de que a cada 10t ha⁻¹ de lodo adicionadas ao solo pode ocorrer um aumento aproximado de 2,0g dm⁻³ nos teores de MO, o que se assemelha aos dados de Marques (1997), que utilizando 40t ha⁻¹ em cana-de-açúcar, observou, em um ano, um aumento de 0,5g dm⁻³. Aumentos nos teores de MO em solos adubados com lodo de esgoto também foram observados por Bataglia et al. (1983), Abrahão (1992) e Marques (1997).

Com relação à CTC, observa-se no Quadro 31 que na faixa 0-10cm ocorreram aumentos nos valores com o passar do tempo para T3, T4 e T5, porém estes aumentos não foram significativos. Por outro lado, a observação das médias, que devem ser

levadas em consideração quando os dados centrais não apresentam diferenças, deixa claro que houve um aumento da CTC diretamente proporcional ao aumento da dose de lodo. Já na camada de 10-20cm (Quadro 32), observa-se que a CTC aumentou significativamente com o passar do tempo para os mesmos tratamentos. Esse aumento apresenta uma estreita relação com os teores de MO no solo, os quais exercem influência direta sobre esse parâmetro.

O aumento da CTC do solo ocorrido após a aplicação de lodo de esgoto está de acordo com Kiehl (1980) e, principalmente com Melo et al. (2001), os quais relatam que doses de biossólidos acima de 30 t ha^{-1} , promovem uma correlação significativa entre CTC e frações de MO. Simonete et al. (1999) encontraram aumentos de MO, SB, CTC e V% quando aplicaram de lodo esgoto ao solo e salientaram sua importância como fonte de nutrientes.

Quadro 29: Concentração de matéria orgânica no solo (g dm^{-3}) na faixa de 0-10cm de profundidade.

Tratamento	ENSAIOS				MÉDIA
	E1	E2	E3	E4	
T1	20,8 Aa	16,3 Ca	18,3 Ca	17,0 Ca	18,1 D
T2	21,0 Aa	18,5 BCa	20,0 Ca	20,8 Ca	20,1 D
T3	20,5 Ab	20,3 ABCb	25,0 Bab	26,5 Ba	23,2 C
T4	18,8 Ab	22,3 ABb	30,5 Aa	30,8 Aa	25,6 B
T5	21,3 Ac	23,8 Ac	29,8 ABb	36,8 Aa	27,9 A
T6	20,8 Aa	17,0 Ca	19,0 Ca	18,5 Ca	18,8 D
MÉDIA	20,5 b	19,8 b	23,8 a	25,0 a	22,3
CV (parcela)	= 8,3200				
CV (sub-parcela)	= 11,3100				
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 2,1306				
DMS (Tukey 5%) ensaio	= 1,9258				
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de ens.	= 4,9143				
DMS (Tukey 5%) ens. dentro de trat.	= 4,7239				

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Quadro 30: Concentração de matéria orgânica no solo (g dm^{-3}) na faixa de 10-20cm de profundidade.

Tratamento	ENSAIOS				MÉDIA
	E1	E2	E3	E4	
T1	20,8 Aa	15,8 Cb	17,3 Db	16,8 Cb	17,6 D
T2	20,0 Aa	17,0 BCa	18,5 CD	20,0 C	18,9 CD
T3	18,8 Ab	19,8 ABb	21,3 BCab	23,8 Ba	20,9 BC
T4	19,3 Ab	22,0 Aab	23,8 ABa	25,0 Ba	22,5 AB
T5	18,8 Ac	22,0 Ab	25,0 Ab	28,9 Aa	23,6 A
T6	19,8 Aa	16,3 BCb	18,0 CDab	18,8 Cab	18,2 D
MÉDIA	19,5 bc	18,8 c	20,6 b	22,2 a	20,3
CV (parcela)	= 9,6900				
CV (sub-parcela)	= 8,1100				
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 2,2595				
DMS (Tukey 5%) ensaio	= 1,2593				
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de ens.	= 3,5924				
DMS (Tukey 5%) ens. dentro de trat.	= 3,0846				

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Quadro 31: CTC do solo ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) na faixa de 0-10cm de profundidade.

Tratamento	ENSAIOS				MÉDIA
	E1	E2	E3	E4	
T1	74,3 Aa	68,3 Aa	68,8 Aa	56,0 Aa	66,8 D
T2	71,5 Aa	65,8 Aa	71,3 Aa	57,8 Aa	66,6 D
T3	68,3 Aa	74,5 Aa	84,3 Aa	68,5 Aa	73,9 BC
T4	63,8 Aa	72,8 Aa	93,5 Aa	78,0 Aa	77,0 AB
T5	72,3 Aa	75,3 Aa	92,8 Aa	93,0 Aa	83,3 A
T6	67,3 Aa	61,5 Aa	76,5 Aa	64,8 Aa	67,5 CD
MÉDIA	69,5 a	69,7 a	81,2 a	69,7 a	72,5
CV (parcela)	= 8,4400				
CV (sub-parcela)	= 11,7200				
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 7,0357				
DMS (Tukey 5%) ensaio	= 6,5071				
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de ens.	= 16,5279				
DMS (Tukey 5%) ens. dentro de trat.	= 15,9390				

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Quadro 32: CTC do solo ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) na faixa de 10-20cm de profundidade.

Tratamento	ENSAIOS				MÉDIA
	E1	E2	E3	E4	
T1	72,3 Aa	60,3 Bb	66,0 Bab	63,8 CDab	65,6 C
T2	73,8 Aa	63,3 ABab	69,5 Bab	60,5 Db	66,8 C
T3	66,8 Ac	69,3 ABbc	86,0 Aa	79,3 ABab	75,3 ABC
T4	65,0 Ab	70,8 ABb	88,5 Aa	91,5 Aa	78,9 AB
T5	66,3 Ab	76,8 Ab	88,0 Aa	90,0 ABa	80,3 A
T6	69,8 Aab	59,5 Bb	69,5 Bab	76,3 BCa	68,8 BC
MÉDIA	69,0 b	66,6 b	77,9 a	76,9 a	72,6
CV (parcela)	= 12,3100				
CV (sub-parcela)	= 7,9800				
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 10,2735				
DMS (Tukey 5%) ensaio	= 4,4338				
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de ens.	= 14,0307				
DMS (Tukey 5%) ens. dentro de trat.	= 10,8606				

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Com relação aos teores de P (Quadros 33 e 34), nota-se um aumento significativo nos valores com o passar do tempo para as maiores doses de lodo, ou seja, T4 e T5. Sendo assim, com base nos resultados obtidos, pode-se afirmar que os valores de P no solo da área experimental tiveram um pequeno aumento para T3, praticamente triplicaram para T4 e ficaram cinco vezes maior para T5, quando comparados com seu estado inicial, permanecendo constantes para T6 e mostraram reduções em T1 e T2.

Esse comportamento concorda com a maioria das publicações sobre o assunto, as quais mostram influência positiva do biossólido sobre os teores de P. Como exemplo, pode-se citar Simonete et al. (1999), que relataram que em doses acima de 20 t ha^{-1} de lodo o nível do nutriente foi elevado de baixo para médio, enquanto que a 40 e 50 t ha^{-1} o

teor duplicou em relação aos tratamentos sem lodo. Favaretto et al. (1997) também observaram melhorias nas características químicas do solo quando da aplicação de lodo, principalmente nos teores de P, Ca, Mg, V% e CTC. Além disso, o ocorrido contribui para sanar as dúvidas levantadas por autores citados em Melo et al. (2001) sobre o potencial do bio sólido em aumentar o teor de P no solo.

Quadro 33: Concentração de fósforo no solo (mg dm^{-3}) na faixa de 0-10cm de profundidade.

Tratamento	ENSAIOS				MÉDIA
	E1	E2	E3	E4	
T1	16,5 Aa	15,0 Ba	14,0 Ca	9,0 Ca	13,6 D
T2	16,3 Aa	19,5 Ba	18,0 Ca	13,8 Ca	16,9 CD
T3	21,0 Ac	28,8 ABa	31,0 BCa	25,5 Ca	26,6 BC
T4	16,3 Ac	31,3 ABb	48,3 ABa	44,3 Bab	35,0 B
T5	19,0 Ac	37,8 Ab	51,8 Ab	83,8 Aa	48,1 A
T6	17,3 Aa	21,3 ABa	24,0 Ca	18,5 Ca	20,3 CD
MÉDIA	17,7 c	25,6 b	31,2 ab	32,5 a	26,6
CV (parcela)	= 40,4800				
CV (sub-parcela)	= 28,4100				
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 12,4415				
DMS (Tukey 5%) ensaio	= 5,8151				
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de ens.	= 17,7444				
DMS (Tukey 5%) ens. dentro de trat.	= 14,2441				

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Quadro 34: Concentração de fósforo no solo (mg dm^{-3}) na faixa de 10-20cm de profundidade.

Tratamento	ENSAIOS				MÉDIA
	E1	E2	E3	E4	
T1	14,8 Aa	13,5 Ba	10,8 Ca	9,3 Ca	12,1 D
T2	13,3 Aa	16,0 ABa	14,3 Ca	12,3 Ca	13,9 D
T3	19,0 Aa	25,0 ABa	22,5 BCa	22,0 BCa	22,1 BC
T4	16,3 Ab	26,0 ABab	30,3 ABa	30,3 ABa	25,7 AB
T5	14,5 Ac	29,0 Ab	39,8 Aab	42,8 Aa	31,5 A
T6	18,0 Aa	15,3 ABa	12,5 Ca	15,8 Ca	15,4 CD
MÉDIA	16,0 b	20,8 ab	21,7 a	22,0 a	20,1
CV (parcela)	= 31,3000				
CV (sub-parcela)	= 34,0300				
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 7,2400				
DMS (Tukey 5%) ensaio	= 5,2407				
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de ens.	= 13,9124				
DMS (Tukey 5%) ens. dentro de trat.	= 12,8371				

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

As concentrações de potássio no solo durante a fase experimental estão apresentadas nos Quadros 35 e 36, respectivamente, para as faixas de profundidade 0-10cm e 10-20cm.

Nota-se que mesmo para T6, onde foi adicionado K em todos os ensaios, as quantidades finais no solo foram menores que as inicialmente determinadas. Provavelmente esse fenômeno está relacionado à sub adubação, uma vez que a adubação para

todos os quatro ensaios foi baseada na análise de solo inicial, ao passo que deveria ter sido baseada nas análises realizadas ao final de cada etapa. A razão disso foi a falta de tempo hábil para a realização das análises antes da instalação do ensaio subsequente.

Para os tratamentos com lodo ocorreram diminuições em vários níveis, confirmando as suspeitas de ser o baixo teor de K disponível nesse resíduo um fator limitante para o crescimento e produtividade das plantas de milho, como discutido anteriormente.

O elevado teor em T1 pode ser atribuído ao pequeno desenvolvimento das plantas, que não possuíam nutrientes necessários para o crescimento, ficando impossibilitadas de extrair o K disponível no solo.

Observando esses dados, nota-se, em ambas as profundidades, que ao final do experimento os teores de K foram reduzidos a níveis inferiores à metade daqueles observados na análise inicial do solo (Quadro 2). Essa situação se deve ao baixo teor de K presente no lodo utilizado, que foi apresentado no Quadro 4, condizendo com relatos de Cripps e Matocha (1991), Ros et al. (1993) e Fiest et al. (1999), os quais afirmam que o biossólido não é uma boa fonte desse nutriente e exige uma complementação com outra fonte potássica para oferecer bons resultados. Essas baixas concentrações se devem à alta solubilidade do potássio em água (BETTIOL; CAMARGO, 2000).

Com relação aos demais cátions trocáveis, Ca (Quadros 37 e 38) e Mg (Quadros 39 e 40) ocorreram algumas diferenças significativas entre os tratamentos, no entanto, sem uma tendência definida, principalmente para o Mg.

Para o Ca, de maneira geral, ocorreram em ambas as faixas de profundidade decréscimos nos teores em T1, acréscimos em T4 e T5, ficando constantes em T2, T3 e T6. Ainda para esse elemento, pode-se afirmar que os maiores teores foram observados nos tratamentos com maiores doses de lodo.

O mesmo comportamento pode ser observado para o Mg, também nas duas profundidades, sendo que não ocorreu decréscimo marcante em T1 na faixa 0-10cm.

Como foi observado no Quadro 4, a concentração de Ca e Mg no lodo utilizado nesta pesquisa é muito baixa e, portanto as aplicações não foram suficientes para manter níveis satisfatórios desses nutrientes no solo após 4 cultivos. Apesar disso, pôde-se notar ao final do experimento, elevações dos teores nas duas profundidades em relação às

quantidades iniciais (Quadro 2), provavelmente devido à calagem realizada antes da instalação do experimento, uma vez que essa elevação esteve presente também em T1 e T6, onde não se adicionou lodo.

Quadro 35: Concentração de potássio do solo ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) na faixa de 0-10cm de profundidade.

Tratamento	ENSAIOS				MÉDIA
	E1	E2	E3	E4	
T1	2,3 Aa	3,1 Aa	3,1 Aa	1,6 Aa	2,5 AB
T2	2,7 Aa	2,8 Aa	2,7 Aa	1,3 Aa	2,3 ABC
T3	1,4 Aa	2,9 Aa	2,2 Aa	0,9 Aa	1,9 C
T4	2,3 Aa	2,7 Aa	1,9 Aa	1,2 Aa	2,0 BC
T5	2,6 Aa	3,2 Aa	2,5 Aa	1,4 Aa	2,4 AB
T6	2,9 Aa	3,2 Aa	3,6 Aa	1,7 Aa	2,9 A
MÉDIA	2,4 b	3,0 a	2,7 ab	1,4 c	2,3
CV (parcela)	= 19,6600				
CV (sub-parcela)	= 21,2300				
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 0,5286				
DMS (Tukey 5%) ensaio	= 0,3801				
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de ens.	=				
DMS (Tukey 5%) ens. dentro de trat.	=				

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Quadro 36: Concentração de potássio no solo ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) na faixa de 10-20cm de profundidade.

Tratamento	ENSAIOS				MÉDIA
	E1	E2	E3	E4	
T1	1,8 Aa	1,6 Aa	1,9 Aa	1,1 Aa	1,6 A
T2	1,6 Aa	1,2 Aa	1,7 Aa	0,9 Aa	1,3 A
T3	3,0 Aa	1,8 Aa	1,5 Aa	0,7 Aa	1,7 A
T4	2,6 Aa	1,2 Aa	1,4 Aa	0,9 Aa	1,5 A
T5	2,3 Aa	1,2 Aa	1,6 Aa	0,9 Aa	1,5 A
T6	2,8 Aa	1,5 Aa	1,9 Aa	1,2 Aa	1,9 A
MÉDIA	2,3 a	1,4 c	1,7 b	0,9 c	1,6
CV (parcela)	= 28,4600				
CV (sub-parcela)	= 31,0500				
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 0,5189				
DMS (Tukey 5%) ensaio	= 0,3770				
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de ens.	=				
DMS (Tukey 5%) ens. dentro de trat.	=				

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Quadro 37: Concentração de cálcio do solo ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) na faixa de 0-10cm de profundidade.

Tratamento	ENSAIOS				MÉDIA
	E1	E2	E3	E4	
T1	27,0 Aa	24,8 ABab	24,8 ABab	19,0 Cb	23,9 B
T2	23,3 Aa	25,5 ABa	25,3 ABa	20,8 BCa	23,7 BC
T3	26,0 Aab	30,3 Aa	26,3 ABab	23,3 BCb	26,4 AB
T4	20,3 Ab	29,0 Aa	30,5 Aa	27,8 ABa	26,9 AB
T5	26,5 Ab	31,8 Aab	29,0 Aab	34,0 Aa	30,3 A
T6	23,5 Aa	18,5 Bab	20,5 Bab	16,5 Cb	19,8 C
MÉDIA	24,4 ab	26,6 a	26,0 ab	23,5 b	25,7
CV (parcela)	= 13,8900				
CV (sub-parcela)	= 13,8500				
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 4,0180				
DMS (Tukey 5%) ensaio	= 2,6671				
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de ens.	= 7,2261				
DMS (Tukey 5%) ens. dentro de trat.	= 6,5330				

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Quadro 38: Concentração de cálcio no solo ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) na faixa de 10-20cm de profundidade.

Tratamento	ENSAIOS				MÉDIA
	E1	E2	E3	E4	
T1	24,5 ABa	21,3 Cab	21,3 ABab	19,0 BCb	21,5 BC
T2	28,5 Aa	25,0 BCab	25,3 ABab	20,3 BCb	24,8 AB
T3	22,3 ABb	29,0 ABa	27,5 Aab	23,5 ABCb	25,6 AB
T4	20,3 Bb	31,3 ABa	27,3 Ab	27,5 Aa	26,6 A
T5	21,5 Bc	34,8 Aa	28,0 Ab	25,0 ABbc	27,3 A
T6	23,8 ABa	18,5 Cab	19,8 Bab	16,8 Cb	19,7 C
MÉDIA	23,5 bc	26,6 a	24,8 ab	22,0 c	24,2
CV (parcela)	= 17,9200				
CV (sub-parcela)	= 11,8400				
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 4,9940				
DMS (Tukey 5%) ensaio	= 2,1974				
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de ens.	= 6,8902				
DMS (Tukey 5%) ens. dentro de trat.	= 5,3826				

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Quadro 39: Concentração de magnésio do solo ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) na faixa de 00-10cm de profundidade.

Tratamento	ENSAIOS				MÉDIA
	E1	E2	E3	E4	
T1	10,8 Aa	15,0 Aa	9,0 Aa	9,0 Aa	10,9 A
T2	8,0 Aa	10,3 Aa	7,5 Aa	7,3 Aa	8,3 B
T3	8,0 Aa	12,0 Aa	5,5 Aa	5,3 Aa	7,7 B
T4	7,8 Aa	8,5 Aa	5,5 Aa	5,3 Aa	6,8 B
T5	11,3 Aa	10,3 Aa	5,5 Aa	5,3 Aa	8,0 B
T6	9,0 Aa	8,8 Aa	5,0 Aa	5,0 Aa	7,1 B
MÉDIA	9,1 a	10,8 a	6,4 b	6,2 b	8,1
CV (parcela)	= 25,1300				
CV (sub-parcela)	= 28,7200				
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 2,3449				
DMS (Tukey 5%) ensaio	= 1,7841				
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de ens.	=				
DMS (Tukey 5%) ens. dentro de trat.	=				

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Quadro 40: Concentração de magnésio no solo ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) na faixa de 10-20cm de profundidade.

Tratamento	ENSAIOS				MÉDIA
	E1	E2	E3	E4	
T1	9,5 Aa	11,0 Aa	7,0 Aa	7,3 Aa	8,7 AB
T2	11,3 Aa	10,3 Aa	8,3 Aa	5,8 Aa	8,9 A
T3	8,3 Aa	8,8 Aa	7,8 Aa	4,8 Aa	7,4 AB
T4	8,8 Aa	6,8 Aa	5,8 Aa	4,8 Aa	6,5 B
T5	9,8 Aa	8,3 Aa	5,0 Aa	3,3 Aa	6,6 B
T6	10,0 Aa	8,3 Aa	6,0 Aa	5,0 Aa	7,3 AB
MÉDIA	9,6 a	8,9 a	6,6 b	5,1 c	7,6
CV (parcela)	= 26,3200				
CV (sub-parcela)	= 25,0800				
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 2,2862				
DMS (Tukey 5%) ensaio	= 1,4501				
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de ens.	=				
DMS (Tukey 5%) ens. dentro de trat.	=				

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

As concentrações de enxofre no solo comportaram-se conforme o esperado até o final de E3, ou seja, apresentaram aumentos de acordo com as doses de lodo aplicadas (Quadros 41 e 42), em consonância com os trabalhos de Seki (1995) e Marques (1997). Por outro lado, no final de E4, observou-se uma queda acentuada nos teores de S, que pode ser atribuída à composição do lodo, uma vez que a concentração desse elemento no lodo utilizado em E4 é bem menor que as quantidades observadas nos lodos de E2 e E3.

A soma de bases (SB) (Quadros 43 e 44) é calculada em função das bases trocáveis, K, Ca e Mg. Sendo assim, pode-se dizer que este parâmetro apresentou um comportamento semelhante ao já descrito para os referidos nutrientes.

Na faixa de profundidade de 0-10cm, observa-se claramente um acréscimo nos valores de SB com o aumento das doses de lodo, apesar de ocorrer reduções com o passar do tempo. Para a camada de 10-20cm, observa-se uma queda nos valores com o passar do tempo para todos os tratamentos. Mesmo assim, fica claro o aumento dos valores proporcionalmente às doses de lodo.

Os resultados de saturação por bases (V%) estão apresentados nos Quadros 45 e 46 e acompanharam a tendência dos resultados de SB, os quais diminuíram em função das épocas de cultivo. Portanto, a quantidade aplicada através do lodo, mesmo para a dose de 40t ha⁻¹, não foi suficiente para compensar a quantidade de bases utilizada pela cultura ou lixiviada no perfil do solo.

Quadro 41: Concentração de enxofre no solo (mmol_c dm⁻³) na faixa de 0-10cm de profundidade.

Tratamento	ENSAIOS				MÉDIA
	E1	E2	E3	E4	
T1	7,8 Aa	3,3 Aa	9,0 Da	4,3 Aa	6,1 C
T2	9,3 Aab	7,0 Aab	20,5 CDa	5,5 Ab	10,6 BC
T3	9,8 Ab	12,3 Ab	27,3 BCa	10,3 Ab	14,9 AB
T4	7,8 Ab	13,8 Ab	44,8 Aa	18,0 Ab	21,1 A
T5	8,5 Ab	13,8 Ab	39,8 ABa	13,3 Ab	18,8 AB
T6	6,8 Ab	8,8 Ab	29,8 ABCa	11,3 Ab	14,1 ABC
MÉDIA	8,3 a	9,8 a	28,5 a	10,4 a	14,3
CV (parcela)	= 53,6400				
CV (sub-parcela)	= 52,8300				
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 8,7895				
DMS (Tukey 5%) ensaio	= 5,7646				
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de ens.	= 15,6661				
DMS (Tukey 5%) ens. dentro de trat.	= 14,1204				

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Quadro 42: Concentração de enxofre no solo ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) na faixa de 10-20cm de profundidade.

Tratamento	ENSAIOS				MÉDIA
	E1	E2	E3	E4	
T1	7,3 Aa	3,8 Aa	16,5 Ca	5,0 Ca	8,1 C
T2	12,3 Aa	6,8 Aa	20,3 BCa	8,0 Ca	11,8 BC
T3	7,0 Ab	13,5 Ab	34,3 ABa	17,3 ABCb	18,0 ABC
T4	6,5 Ac	16,3 Abc	30,8 BCa	26,8 ABab	20,1 ABC
T5	9,8 Ac	16,5 Ac	48,0 Aa	31,5 Ab	26,4 A
T6	7,0 Ab	12,0 Aab	25,8 BCa	12,8 BCab	14,4 BC
MÉDIA	8,3 c	11,5 bc	29,3 a	16,9 b	16,5
CV (parcela)	= 52,9600				
CV (sub-parcela)	= 46,7100				
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 10,0293				
DMS (Tukey 5%) ensaio	= 5,8903				
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de ens.	= 16,5182				
DMS (Tukey 5%) ens. dentro de trat.	= 14,4283				

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Quadro 43: Soma de bases no solo ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) na faixa de 00-10cm de profundidade.

Tratamento	ENSAIOS				MÉDIA
	E1	E2	E3	E4	
T1	40,0 Aa	42,8 Aa	37,0 Aa	29,3 Aa	37,4 AB
T2	34,0 Aa	38,8 Aa	35,8 Aa	29,3 Aa	34,4 BC
T3	35,3 Aa	45,0 Aa	34,3 Aa	29,3 Aa	35,9 AB
T4	30,8 Aa	40,0 Aa	38,3 Aa	34,0 Aa	35,8 AB
T5	40,8 Aa	45,0 Aa	36,8 Aa	40,8 Aa	40,8 A
T6	35,5 Aa	30,3 Aa	29,8 Aa	22,8 Aa	29,6 C
MÉDIA	36,0 b	40,3 a	35,3 b	30,9 c	35,7
CV (parcela)	= 12,7700				
CV (sub-parcela)	= 14,5400				
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 5,2353				
DMS (Tukey 5%) ensaio	= 3,9691				
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de ens.	=				
DMS (Tukey 5%) ens. dentro de trat.	=				

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Quadro 44: Soma de bases no solo ($\text{mmol}_c.\text{dm}^{-3}$) na faixa de 10-20cm de profundidade.

Tratamento	ENSAIOS				MÉDIA
	E1	E2	E3	E4	
T1	36,3 Aa	34,0 BCab	30,3 Aab	27,0 Ab	31,9 AB
T2	38,5 Aa	36,5 ABCa	34,8 Aab	26,5 Ab	34,1 AB
T3	31,3 Aab	39,8 ABa	36,3 Aab	29,0 Ab	34,1 AB
T4	31,8 Aa	39,3 ABa	34,5 Aa	32,5 Aa	34,5 AB
T5	33,5 Ab	44,3 Aa	34,8 Ab	29,0 Ab	35,4 A
T6	36,5 Aa	28,3 Cab	27,5 Ab	23,0 Ab	28,8 B
MÉDIA	34,6 ab	37,0 a	33,0 b	27,8 c	33,1
CV (parcela)	= 16,2100				
CV (sub-parcela)	= 13,8000				
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 6,1712				
DMS (Tukey 5%) ensaio	= 3,4991				
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de ens.	= 9,9232				
DMS (Tukey 5%) ens. dentro de trat.	= 8,5709				

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Quadro 45: V% do solo ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) na faixa de 0-10cm de profundidade.

Tratamento	ENSAIOS				MÉDIA
	E1	E2	E3	E4	
T1	53,75 Aa	62,00 Aa	55,00 Aa	53,00 Aa	55,94 A
T2	47,50 Ab	59,00 ABa	49,75 ABb	51,00 Aab	51,81 AB
T3	51,75 Ab	64,75 Aa	41,25 Bc	44,00 ABbc	50,44 ABC
T4	48,50 Aab	54,50 ABa	40,75 Bb	44,75 ABb	47,13 BC
T5	58,00 Aa	59,75 ABa	40,00 Bb	43,25 ABb	50,25 ABC
T6	52,50 Aa	49,00 Ba	39,25 Bb	36,00 Bb	44,19 C
MÉDIA	52,00 b	58,17 a	44,33 c	45,33 c	49,96
CV (parcela)	= 12,4300				
CV (sub-parcela)	= 9,7100				
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 7,1397				
DMS (Tukey 5%) ensaio	= 3,7140				
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de ens.	= 10,8542				
DMS (Tukey 5%) ens. dentro de trat.	= 9,0975				

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Quadro 46: V% do solo ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) na faixa de 10-20cm de profundidade.

Tratamento	ENSAIOS				MÉDIA
	E1	E2	E3	E4	
T1	49,5 Aa	56,5 Aa	46,0 Aa	43,8 Aa	48,9 AB
T2	55,5 Aa	57,8 Aa	49,8 Aa	44,3 Aa	51,8 A
T3	50,3 Aa	57,3 Aa	42,3 Aa	37,0 Aa	46,7 AB
T4	49,0 Aa	55,3 Aa	39,0 Aa	35,8 Aa	44,8 AB
T5	51,5 Aa	57,5 Aa	39,3 Aa	33,0 Aa	45,3 AB
T6	52,0 Aa	47,5 Aa	40,0 Aa	30,8 Aa	42,6 B
MÉDIA	51,3 a	55,3 a	42,7 b	37,4 c	46,7
CV (parcela)	= 13,7000				
CV (sub-parcela)	= 11,7200				
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 7,3550				
DMS (Tukey 5%) ensaio	= 4,1897				
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de ens.	=				
DMS (Tukey 5%) ens. dentro de trat.	=				

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

6.2.2 Análise de micronutrientes

Com relação aos micronutrientes, foram realizadas análises para determinação dos teores de B, Cu, Fe, Mn e Zn. No início do experimento, o solo apresentava teores elevados de Cu, Fe e Mn, além de baixo para B e médio para Zn, quando comparados com os dados definidos em Raij et al. (1996).

Os resultados obtidos para esses elementos estão apresentados nos Quadros 47 a 56. É pertinente salientar, para todos os micronutrientes, que os teores médios, ou mesmo aqueles observados em E4 para todos os tratamentos, foram maiores, em média, quando comparados com aqueles observados no Quadro 3, ou seja, com os teores iniciais do solo, concordando com Defelipo et al. (1991) e Berton et al. (1997). Esses autores relatam que a aplicação de bio sólidos ao solo ocasiona aumentos nos teores de micronutrientes, uma vez que a principal fonte desse elemento no solo é a matéria orgânica.

Com relação aos teores de boro no solo (Quadros 47 e 48), os aumentos foram mais marcantes para T4 e T5 em ambas as faixas de profundidade, sendo que, em valores absolutos, T1, T2 e T6 foram os tratamentos que apresentaram menores teores ao final do experimento.

Nos Quadros 49 e 50 estão apresentados os dados relativos aos teores de cobre no solo, podendo-se observar para esse nutriente um comportamento semelhante ao relatado anteriormente para o B, principalmente na faixa de 0-10cm de profundidade. Para a faixa 10-20cm, os teores em T4 e T5 foram significativamente maiores, enquanto que para os demais tratamentos não foram observadas diferenças estatísticas.

Quadro 47: Concentração de boro no solo (mg dm^{-3}) na faixa de 0-10cm de profundidade.

Tratamento	ENSAIOS				MÉDIA
	E1	E2	E3	E4	
T1	0,2 Aa	0,1 Ab	0,1 Cb	0,2 Cab	0,2 B
T2	0,2 Aa	0,1 Ab	0,2 BCab	0,2 Ca	0,2 B
T3	0,2 Aa	0,1 Ab	0,2 Ba	0,3 BCa	0,2 B
T4	0,2 Ab	0,1 Ab	0,4 Aa	0,3 Ba	0,2 A
T5	0,2 Ac	0,1 Ac	0,3 Ab	0,4 Aa	0,3 A
T6	0,2 Aa	0,1 Ab	0,2 BCab	0,2 BCa	0,2 B
MÉDIA	0,2 b	0,1 c	0,2 ab	0,3 a	0,2
CV (parcela)	= 16,4900				
CV (sub-parcela)	= 22,2100				
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 0,0383				
DMS (Tukey 5%) ensaio	= 0,0344				
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de ens.	= 0,0877				
DMS (Tukey 5%) ens. dentro de trat.	= 0,0842				

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Quadro 48: Concentração de boro no solo (mg dm^{-3}) na faixa de 10-20cm de profundidade.

Tratamento	ENSAIOS				MÉDIA
	E1	E2	E3	E4	
T1	0,2 Aa	0,1 Ab	0,1 Bb	0,2 Dab	0,1 C
T2	0,2 Aa	0,1 Ab	0,1 Bb	0,2 CDa	0,2 BC
T3	0,2 Aa	0,1 Ab	0,2 Aa	0,3 BCa	0,2 AB
T4	0,2 Ab	0,1 Ac	0,3 Aab	0,3 Ba	0,2 A
T5	0,2 Ab	0,1 Ac	0,2 Ab	0,4 Aa	0,2 A
T6	0,2 Aa	0,1 Ab	0,1 Bb	0,2 Ca	0,2 BC
MÉDIA	0,2 b	0,1 d	0,2 c	0,3 a	0,2
CV (parcela)	= 22,1500				
CV (sub-parcela)	= 17,4100				
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 0,0462				
DMS (Tukey 5%) ensaio	= 0,0242				
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de ens.	= 0,0704				
DMS (Tukey 5%) ens. dentro de trat.	= 0,0592				

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Quadro 49: Concentração de cobre no solo (mg dm^{-3}) na faixa de 0-10cm de profundidade.

Tratamento	ENSAIOS				MÉDIA
	E1	E2	E3	E4	
T1	5,2 Ac	6,2 Bb	7,7 Ca	5,3 Cc	6,1 C
T2	5,9 Ab	6,2 Bb	8,4 BCa	5,5 BCb	6,5 BC
T3	5,9 Ac	6,9 ABb	9,2 ABa	6,6 ABbc	7,2 AB
T4	6,2 Ac	7,6 Ab	10,3 Aa	7,2 Ab	7,8 A
T5	5,3 Ac	7,2 ABb	9,8 Aa	7,3 Ab	7,4 AB
T6	5,4 Ac	6,6 ABb	8,2 BCa	5,6 BCc	6,4 BC
MÉDIA	5,7 d	6,8 b	8,9 a	6,2 c	6,9
CV (parcela)	= 12,8300				
CV (sub-parcela)	= 6,5900				
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 1,0181				
DMS (Tukey 5%) ensaio	= 0,3484				
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de ens.	= 1,2519				
DMS (Tukey 5%) ens. dentro de trat.	= 0,8534				

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Quadro 50: Concentração de cobre no solo (mg dm^{-3}) na faixa de 10-20cm de profundidade.

Tratamento	ENSAIOS				MÉDIA
	E1	E2	E3	E4	
T1	6,0 b	6,2 b	7,5 Bca	5,2 Db	6,2 B
T2	5,5 b	6,1 b	7,2 Ca	5,9 BCdb	6,2 B
T3	5,7 b	6,4 b	8,7 Aba	6,7 ABCb	6,9 AB
T4	5,4 c	6,9 b	9,3 Aa	7,1 ABb	7,2 A
T5	5,5 c	6,9 b	8,7 Aba	7,6 Ab	7,2 A
T6	5,4 b	6,3 b	7,5 Bca	5,7 CDb	6,2 B
MÉDIA	5,6 c	6,5 b	8,1 a	6,4 b	6,7
CV (parcela)	= 10,9900				
CV (sub-parcela)	= 8,2400				
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 0,8773				
DMS (Tukey 5%) ensaio	= 0,4180				
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de ens.	= 1,2411				
DMS (Tukey 5%) ens. dentro de trat.	= 1,0239				

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Diante dos dados de Fe no solo (Quadros 51 e 52), pode-se observar que os tratamentos com lodo de esgoto (T2, T3, T4 e T5) sofreram aumentos significativos e proporcionais à dose de lodo aplicada. Para T1, os teores comportaram-se de forma constante com o passar do tempo. No tratamento com adubação mineral, também observa-se um aumento em termos absolutos, porém não significativo. Para T1, T2 e T6 não foram observados teores de Fe acima do valor inicial, para os demais tratamentos foram observados aumentos, em termos médios, de acordo com o aumento da dose de lodo, que pode ser atribuída ao fato do lodo apresentar teores muito altos desse elemento.

Os Quadros 53 e 54 apresentam os resultados das concentrações de Mn, para o qual não se observa diferenças significativas na faixa 0-10cm. Porém, estes tenderam a ser maiores em T6 e menores em T1. Na profundidade de 10-20cm, as médias

apresentaram diferenças significativas e, da mesma forma, foram maiores para T6 e menores para T1. Deve-se salientar que os valores dos tratamentos com lodo não mostraram diferenças significativas quando comparados com o maior e o menor valores.

Para os teores de Zn no solo (Quadros 55 e 56) observa-se em T1 uma diminuição nos valores com o passar do tempo, apesar de não significativa. Por outro lado, em todos os tratamentos com lodo de esgoto ocorreram aumentos significativos, principalmente na faixa de 0-10cm, a excessão feita para T2, onde, apesar de ocorrer um aumento, este não foi significativo. Os aumentos foram mais marcantes em T5. Em termos médios, em ambas as profundidades, houve aumento nos teores de Zn em todos os tratamentos com lodo, os quais foram diretamente proporcionais à quantidade aplicada, enquanto que para T6 as médias foram estatisticamente iguais à testemunha (T1).

Quadro 51: Concentração de ferro no solo (mg dm^{-3}) na faixa de 0-10cm de profundidade.

Tratamento	ENSAIOS				MÉDIA
	E1	E2	E3	E4	
T1	21,5 Aa	24,3 B	30,8 Ca	24,5 Ca	25,3 C
T2	25,5 Ab	30,3 Bab	46,8 Ca	37,5 Cab	35,0 C
T3	33,8 Ac	41,0 ABc	89,0 Ba	69,0 Bb	58,2 B
T4	27,8 Ad	54,0 Ac	123,0 Aa	94,3 Ab	74,8 A
T5	24,8 Ac	56,3 Ab	130,0 Aa	111,3 Aa	80,6 A
T6	24,0 Aa	28,3 Ba	36,5 Ca	31,5 Ca	30,1 C
MÉDIA	26,2 d	39,0 c	76,0 a	61,3 b	50,7
CV (parcela)	= 19,5400				
CV (sub-parcela)	= 20,2600				
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 11,3758				
DMS (Tukey 5%) ensaio	= 7,8555				
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de ens.	= 21,0792				
DMS (Tukey 5%) ens. dentro de trat.	= 19,2419				

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Quadro 52: Concentração de ferro no solo (mg dm^{-3}) na faixa de 10-20cm de profundidade.

Tratamento	ENSAIOS				MÉDIA
	E1	E2	E3	E4	
T1	26,3	24,0 C	31,3 C	25,0 C	26,6 C
T2	26,8	26,8 BC	33,3 C	40,0 C	31,7 C
T3	24,5 c	42,3 ABb	64,3 Ba	63,3 Ba	48,6 B
T4	21,5 c	48,8 Ab	87,0 Aa	78,5 Ba	58,9 B
T5	22,3 d	49,3 Ac	95,5 Ab	110,8 Aa	69,4 A
T6	22,0	26,0 BC	32,8 C	30,0 C	27,7 C
MÉDIA	23,9 c	36,2 b	57,3 a	57,9 a	43,8
CV (parcela)	= 20,8300				
CV (sub-parcela)	= 17,9500				
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 10,4973				
DMS (Tukey 5%) ensaio	= 6,0246				
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de ens.	= 17,0209				
DMS (Tukey 5%) ens. dentro de trat.	= 14,7572				

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Quadro 53: Concentração de manganês no solo (mg dm⁻³) na faixa de 0-10cm de profundidade.

Tratamento	ENSAIOS				MÉDIA
	E1	E2	E3	E4	
T1	14,8 Aa	20,6 Aa	19,3 Aa	12,0 Aa	16,7 A
T2	11,4 Aa	24,4 Aa	24,9 Aa	14,0 Aa	18,6 A
T3	18,2 Aa	25,8 Aa	24,3 Aa	14,2 Aa	20,6 A
T4	12,5 Aa	25,4 Aa	25,0 Aa	15,3 Aa	19,5 A
T5	17,1 Aa	29,0 Aa	24,6 Aa	13,6 Aa	21,1 A
T6	13,5 Aa	28,1 Aa	29,1 Aa	19,8 Aa	22,6 A
MÉDIA	14,6 b	25,5 a	24,5 a	14,8 b	19,9
CV (parcela)	= 27,4800				
CV (sub-parcela)	= 18,8200				
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 6,2752				
DMS (Tukey 5%) ensaio	= 2,8614				
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de ens.	=				
DMS (Tukey 5%) ens. dentro de trat.	=				

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Quadro 54: Concentração de manganês no solo (mg dm⁻³) na faixa de 10-20cm de profundidade.

Tratamento	ENSAIOS				MÉDIA
	E1	E2	E3	E4	
T1	15,0 Aa	19,6 Aa	17,2 Aa	11,1 Aa	15,7 B
T2	13,0 Aa	22,5 Aa	20,5 Aa	15,1 Aa	17,8 AB
T3	14,9 Aa	29,3 Aa	21,2 Aa	14,6 Aa	20,0 AB
T4	17,7 Aa	24,5 Aa	21,7 Aa	14,7 Aa	19,7 AB
T5	17,4 Aa	26,8 Aa	22,4 Aa	15,7 Aa	20,6 AB
T6	14,6 Aa	26,6 Aa	26,4 Aa	20,6 Aa	22,1 A
MÉDIA	15,4 c	24,9 a	21,6 b	15,3 c	19,3
CV (parcela)	= 27,1100				
CV (sub-parcela)	= 19,6000				
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 6,0174				
DMS (Tukey 5%) ensaio	= 2,8955				
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de ens.	=				
DMS (Tukey 5%) ens. dentro de trat.	=				

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Quadro 55: Concentração de zinco no solo (mg dm⁻³) na faixa de 00-10cm de profundidade.

Tratamento	ENSAIOS				MÉDIA
	E1	E2	E3	E4	
T1	2,5 Aa	1,7 Ba	2,1 Ca	1,4 D	1,9 E
T2	2,8 Aa	3,3 Ba	6,0 Ca	4,8 CD	4,2 D
T3	3,4 Ac	5,1 ABbc	13,1 Ba	9,3 BCab	7,7 C
T4	1,9 Ac	6,8 ABc	21,9 Aa	14,6 BCb	11,3 B
T5	2,6 Ac	9,5 Abc	23,2 Aa	22,9 Aa	14,5 A
T6	2,5 Aa	2,0 Ba	2,8 Ca	2,1 Da	2,3 DE
MÉDIA	2,6 d	4,7 c	11,5 a	9,2 b	7,0
CV (parcela)	= 27,4200				
CV (sub-parcela)	= 39,0900				
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 2,2103				
DMS (Tukey 5%) ensaio	= 2,0979				
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de ens.	= 5,3110				
DMS (Tukey 5%) ens. dentro de trat.	= 5,1389				

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Quadro 56: Concentração de zinco no solo (mg dm^{-3}) na faixa de 10-20cm de profundidade.

Tratamento	ENSAIOS				MÉDIA
	E1	E2	E3	E4	
T1	2,3 Aa	1,4 Ba	2,5 Ca	1,4 Da	1,9 C
T2	2,9 Aa	2,6 Ba	3,8 Ca	4,3 CDa	3,4 C
T3	2,1 Ab	7,1 Aa	7,9 Ba	7,6 Ca	6,2 B
T4	1,2 Ac	8,6 Ab	12,7 Aa	11,4 Bab	8,5 AB
T5	1,6 Ac	8,7 Ab	15,0 Aa	16,9 Aa	10,5 A
T6	2,2 Aa	1,6 Ba	2,0 Ca	1,9 Da	1,9 C
MÉDIA	2,0 c	5,0 b	7,3 a	7,3 a	5,4
CV (parcela)	= 44,6500				
CV (sub-parcela)	= 28,6000				
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 2,7692				
DMS (Tukey 5%) ensaio	= 1,1810				
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de ens.	= 3,7598				
DMS (Tukey 5%) ens. dentro de trat.	= 2,8929				

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Esses comportamentos apresentados pelos micronutrientes se devem quase que exclusivamente à quantidade adicionada via lodo de esgoto, que foram 0,8 a 8,0kg ha^{-1} de Cu; 216 a 1.168kg ha^{-1} de Fe; 1,4 a 8,0kg ha^{-1} de Mn e 5,2 a 36,8kg ha^{-1} de Zn (Quadro 5).

Exceto para Mn, os solos das parcelas fertilizadas com lodo mostraram teores maiores do que a testemunha T1 e a parcela com adubo mineral (T6). Além disso, em termos gerais, os maiores teores foram sempre observados nos tratamentos com maiores doses de lodo.

6.3 Análise Foliar

Os resultados das análises químicas das folhas estão expressos nos Quadros 57 a 67, cabendo informar que, exceto para o potássio, os teores de todos os nutrientes observados nas plantas fertilizadas com lodo de esgoto apresentaram-se dentro ou muito próximas dos valores definidos como adequados por Raij et al. (1996): N (25-35g kg^{-1}), P (2,0-4,0g kg^{-1}), K (17-35g kg^{-1}), Ca (2,5-6,0g kg^{-1}), Mg (1,5-5,0g kg^{-1}), S (1,5-3,0g kg^{-1}), B (10-25mg kg^{-1}), Cu (6-20mg kg^{-1}), Fe (30-250mg kg^{-1}), Mn (20-200mg kg^{-1}) e Zn (15-100mg kg^{-1}).

6.3.1 Macronutrientes

O aumento na absorção de macronutrientes por plantas submetidas à fertilização com lodo de esgoto foi observado por vários autores (ALGUZ, 1995; BERTON et

al., 1989). Simonete (2001) relata que diversos autores comprovaram os efeitos benéficos da aplicação desse resíduo sobre a absorção de micronutrientes e a produtividade das culturas.

No Quadro 57 estão apresentados os dados obtidos nas análises para a determinação de N, onde se observa que os tratamentos com lodo apresentaram teores significativamente maiores que a testemunha, além de não haver diferenças significativas entre esses tratamentos e o adubado com minerais. Exceto em E1, as plantas de T1 apresentaram teores abaixo do adequado, enquanto que os valores dos demais tratamentos permaneceram dentro da faixa. Esse comportamento de aumento dos teores de N nas plantas fertilizadas com lodo de esgoto também foi observado por Berton et al. (1989) trabalhando com milho e por Alguz (1993) na cultura do sorgo.

Quadro 57: Resultados médios para o teor foliar de nitrogênio (g kg^{-1}) em plantas de milho.

Tratamento	ENSAIOS				MÉDIA
	E1	E2	E3	E4	
T1	27,5 Aa	24,3 Bb	25,3 Bab	18,8 Bc	23,9 B
T2	27,3 Aa	27,8 Aa	27,8 ABa	25,3 Aa	27,0 A
T3	27,3 Aa	28,3 Aa	27,8 ABa	26,0 Aa	27,3 A
T4	27,3 Aa	27,8 Aa	27,8 ABa	25,5 Aa	27,1 A
T5	27,0 Aa	27,8 Aa	25,0 Ba	26,3 Aa	26,5 A
T6	27,3 Aa	26,5 ABa	29,3 Aa	27,3 Aa	27,6 A
MÉDIA	27,3 a	27,0 a	27,1 a	24,8 b	26,7
CV (parcela)	= 6,9100				
CV (sub-parcela)	= 6,1500				
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 2,1109				
DMS (Tukey 5%) ensaio	= 1,2515				
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de ens.	= 3,4997				
DMS (Tukey 5%) ens. dentro de trat.	= 3,0654				

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Os dados de P (Quadro 58) mostram um comportamento diferente do nitrogênio, pois observa-se teores crescentes de acordo com o aumento da dose de lodo aplicada ao solo. Nota-se por esse quadro que, em média, os tratamentos com lodo apresentaram resultados significativamente maiores que o tratamento com adubo (T6) e que a testemunha (T1).

Esse comportamento é condizente com o relatado por Ayuso et al. (1992), os quais afirmam que a incorporação de lodo de esgoto ao solo aumenta a quantidade de P disponível e, conseqüentemente, a assimilação deste pelas plantas. Esse fato também foi comprovado por Berton et al. (1989), que observaram maior absorção de P por plantas de milho adubadas com biofósforo do que por aquelas que receberam fertilização mineral.

Quadro 58: Resultados médios para o teor foliar de fósforo (g kg^{-1}) em plantas de milho.

Tratamento	ENSAIOS				MÉDIA
	E1	E2	E3	E4	
T1	2,8 Aa	2,4 Aa	3,0 Aa	1,8 Aa	2,5 C
T2	3,3 Aa	2,8 Aa	4,1 Aa	2,6 Aa	3,2 B
T3	3,3 Aa	3,2 Aa	3,9 Aa	2,5 Aa	3,2 B
T4	3,6 Aa	3,0 Aa	4,1 Aa	2,7 Aa	3,3 AB
T5	3,7 Aa	3,1 Aa	4,3 Aa	3,2 Aa	3,6 A
T6	2,8 Aa	2,6 Aa	3,4 Aa	2,3 Aa	2,8 C
MÉDIA	3,2 b	2,8 c	3,8 a	2,5 d	3,1
CV (parcela)	= 10,5900				
CV (sub-parcela)	= 8,6400				
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 0,3772				
DMS (Tukey 5%) ensaio	= 0,2049				
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de ens.	=				
DMS (Tukey 5%) ens. dentro de trat.	=				

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Quanto ao K (Quadro 59), observa-se que os maiores valores foliares foram obtidos em T1 e T6, o que vem comprovar mais uma vez a deficiência do lodo de esgoto no fornecimento desse nutriente. Além disso, nota-se que o maior valor foi obtido em T1, dando indícios do efeito de diluição, uma vez que as folhas produzidas nesse tratamento, a partir de E2, foram menores que aquelas dos demais tratamentos. Observa-se também no decorrer dos ensaios que o teor de K nas folhas dos tratamentos com lodo foi decrescente, refletindo a sub dosagem de K, mesmo nas parcelas com maior quantidade de lodo.

Comparando-se os valores obtidos com a faixa adequada de K em folhas de milho, nota-se no Quadro 59 que apenas os valores de T1 e T6 se posicionam dentro dos limites, enquanto que os tratamentos com lodo de esgoto ficaram abaixo do considerado adequado.

Essas informações estão de acordo com Melo et al. (2001), que relatam ser o biossólido pobre em K e que, sozinho, não é capaz de suprir as necessidades das plantas em relação ao mesmo nutriente, sendo necessária uma complementação com alguma fonte mineral de modo a melhorar a eficiência agrícola desse material.

Com relação ao Ca (Quadro 60), poucas observações poderão ser feitas considerando os dados de cada ensaio, pois o T1, em E2, mostrou um valor que não condiz com o comportamento desse elemento nas plantas no decorrer do estudo e com a quantidade de Ca disponível no solo nas parcelas desse tratamento. Em média, os valores de Ca foram iguais estatisticamente, cabendo salientar que o maior crescimento observado nos

tratamentos com lodo possivelmente se deve à utilização do bio-sólido de Franca no E2, e o decréscimo em T6 à realização da calagem apenas no início.

Quadro 59: Resultados médios para o teor foliar de potássio (g kg^{-1}) em plantas de milho.

Tratamento	ENSAIOS				MÉDIA
	E1	E2	E3	E4	
T1	18,5 Aab	16,0 ABb	21,0 Aa	17,3 ABb	18,2 A
T2	18,8 Aa	17,0 Aab	17,5 BCa	14,5 BCb	16,9 AB
T3	18,3 Aa	13,5 Bb	15,8 Cab	10,8 Dc	14,6 C
T4	18,3 Aa	15,0 ABb	15,3 Cb	10,3 Dc	14,7 C
T5	18,8 Aa	15,0 ABb	17,8 BCa	12,3 CDc	15,9 BC
T6	18,5 Aab	16,0 ABb	20,0 ABa	17,8 Aab	18,1 AB
MÉDIA	18,5 a	15,4 b	17,9 a	13,8 c	16,4
CV (parcela)	= 11,3700				
CV (sub-parcela)	= 8,8400				
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 2,1446				
DMS (Tukey 5%) ensaio	= 1,1095				
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de ens.	= 3,2488				
DMS (Tukey 5%) ens. dentro de trat.	= 2,7176				

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Quadro 60: Resultados médios para o teor foliar de cálcio (g kg^{-1}) em plantas de milho.

Tratamento	ENSAIOS				MÉDIA
	E1	E2	E3	E4	
T1	4,2 Ab	15,3 Aa	3,8 Bb	6,0 Cb	7,3 A
T2	4,5 Ab	7,5 Ba	6,3 ABab	8,0 ABCa	6,6 A
T3	4,0 Ac	6,3 Bbc	6,8 ABb	9,5 Aa	6,6 A
T4	4,3 Ac	5,5 Bbc	8,0 Aab	10,0 Aa	6,9 A
T5	4,5 Ab	6,3 Bb	7,0 Aab	9,3 ABa	6,8 A
T6	4,0 Ab	7,3 Ba	5,0 ABab	6,3 BCab	5,6 A
MÉDIA	4,3 c	8,0 a	6,1 b	8,2 a	6,6
CV (parcela)	= 23,9400				
CV (sub-parcela)	= 21,7700				
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 1,8271				
DMS (Tukey 5%) ensaio	= 1,1061				
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de ens.	= 3,0732				
DMS (Tukey 5%) ens. dentro de trat.	= 2,7094				

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

As diferenças significativas nos teores foliares de Mg (Quadro 61), devem-se ao fato da adição desse elemento via lodo, o que não ocorreu em T6, já que o adubo utilizado não continha Mg em sua formulação.

Apesar do Mg se apresentar em baixa concentração no lodo de esgoto, nota-se que a quantia adicionada foi suficiente para proporcionar aumentos significativos no teor desse elemento na planta, aumento esse que foi diretamente proporcional ao aumento da dose de lodo. Comparando-se T1 e T6, pode-se atribuir o maior valor numérico em T1, provavelmente ao efeito de diluição.

Quadro 61: Resultados médios para o teor foliar de magnésio (g kg^{-1}) em plantas de milho.

Tratamento	ENSAIOS				MÉDIA
	E1	E2	E3	E4	
T1	2,8 Aa	3,5 ABCa	2,9 Ba	3,4 Ca	3,1 BC
T2	3,1 Ab	2,7 Cb	4,8 Aa	5,3 Ba	3,9 AB
T3	2,7 Ac	4,0 Ab	5,8 Aa	6,1 ABa	4,7 A
T4	2,9 Ad	3,9 ABc	4,9 Ab	6,6 Aa	4,5 A
T5	2,7 A c	4,1 Ab	4,7 Ab	6,1 ABa	4,4 A
T6	2,7 Aa	2,8 BCa	2,7 Ca	2,7 Ca	2,7 C
MÉDIA	2,8 d	3,5 c	4,3 b	5,0 a	3,9
CV (parcela)	= 18,3800				
CV (sub-parcela)	= 11,3000				
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 0,8232				
DMS (Tukey 5%) ensaio	= 0,3369				
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de ens.	= 1,0947				
DMS (Tukey 5%) ens. dentro de trat.	= 0,8253				

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Alguns autores relatam incrementos nos teores foliar de Ca e Mg em plantas fertilizadas com biossólidos, porém os trabalhos foram realizados com biossólidos produzidos onde se faz a adição de cal durante o processo de obtenção do material.

Os valores foliares de S (Quadro 62) foram significativamente maiores em E1 para todos os tratamentos. Nos dois ensaios posteriores (E2 e E3), observou-se uma diminuição nos teores foliares das plantas de todos os tratamentos, teores que permaneceram constantes até o final do experimento, excessão feita para as plantas de T2, que apresentou aumento significativo nos valores de E4 em relação a E3. Cabe observar que, em média, os tratamentos com lodo e com adubo foram significativamente maiores que a testemunha, não mostrando diferenças entre si.

Quadro 62: Resultados médios para o teor foliar de enxofre (g kg^{-1}) em plantas de milho.

Tratamento	ENSAIOS				MÉDIA
	E1	E2	E3	E4	
T1	2,5 a	1,8 bc	2,1 ab	1,4 Bc	1,9 B
T2	2,9 a	2,1 bc	2,0 c	2,5 Aab	2,4 A
T3	2,7 a	2,0 b	1,9 b	2,2 Ab	2,2 A
T4	2,6 a	1,9 b	2,3 ab	2,3 Aab	2,2 A
T5	2,6 a	2,0 b	2,1 b	2,0 Ab	2,2 A
T6	2,5	2,2	2,2	2,3 A	2,3 A
MÉDIA	2,6 a	2,0 b	2,1 b	2,1 b	2,2
CV (parcela)	= 7,4300				
CV (sub-parcela)	= 10,2200				
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 0,1876				
DMS (Tukey 5%) ensaio	= 0,1718				
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de ens.	= 0,4371				
DMS (Tukey 5%) ens. dentro de trat.	= 0,4209				

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

6.3.3 Micronutrientes

Os teores foliares de B (Quadro 63) tiveram uma redução não significativa em todos os tratamentos no decorrer dos ensaios. Nota-se que, em média, não houve diferença significativa entre os teores foliares observados para todos os tratamentos e que todos os valores obtidos permaneceram dentro da faixa adequada.

Nota-se, pelo Quadro 5, que não foi realizada a determinação dos teores de B nos lodos aplicados em todos os ensaios, o que dificulta a discussão. Porém, sabe-se que esse elemento é fornecido quase que exclusivamente pela mineralização da matéria orgânica e que, apesar de estar presente no solo, principalmente onde foram aplicadas as maiores quantidades de lodo, não foi ou não pode ser aproveitado totalmente pelas plantas.

Quadro 63: Resultados médios para o teor foliar de boro (mg kg^{-1}) em plantas de milho.

Tratamento	ENSAIOS				MÉDIA
	E1	E2	E3	E4	
T1	14,0 Aa	13,0 Aa	12,0 Aa	14,3 Aa	13,3 A
T2	16,8 Aa	11,5 Aa	11,0 Aa	10,3 Aa	12,4 A
T3	18,3 Aa	10,5 Aa	11,3 Aa	11,8 Aa	12,9 A
T4	17,3 Aa	10,8 Aa	11,8 Aa	11,5 Aa	12,8 A
T5	19,3 Aa	10,3 Aa	11,0 Aa	11,8 Aa	13,1 A
T6	15,0 Aa	10,3 Aa	10,0 Aa	11,3 Aa	11,6 A
MÉDIA	16,8 a	11,0 b	11,2 b	11,8 b	12,7
CV (parcela)	= 19,7900				
CV (sub-parcela)	= 18,0200				
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 2,8871				
DMS (Tukey 5%) ensaio	= 1,7505				
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de ens.	=				
DMS (Tukey 5%) ens. dentro de trat.	=				

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

No Quadro 64 estão apresentados os teores de Cu, podendo-se observar que todos os tratamentos com lodo de esgoto e também o tratamento com adubo mostraram teores maiores que a testemunha. Em termos numéricos, o maior valor foi observado em T6, porém sem diferença significativa quando comparados aos valores dos tratamentos com lodo. Observa-se, ainda, que no decorrer dos ensaios houve um decréscimo nos teores desse elemento em todos os tratamentos.

Com relação ao Fe (Quadro 65), ocorreu um maior valor na testemunha, possivelmente devido ao efeito de diluição, porém em média os tratamentos com lodo e com adubo não tiveram diferenças significativas entre si.

O comportamento dos dados de Fe e Cu discordam do observado por Simonete (2001), que encontrou aumentos nos teores desses elementos nas plantas de milho fertilizadas com lodo de esgoto, à medida que se aumentou as doses do resíduo.

Quadro 64: Resultados médios para o teor foliar de cobre (mg kg^{-1}) em plantas de milho.

Tratamento	ENSAIOS				MÉDIA
	E1	E2	E3	E4	
T1	17,5 Aa	13,0 Bb	5,8 Bc	8,3 Ac	11,1 B
T2	18,0 Aa	13,0 Bb	10,8 Ab	11,3 Ab	13,3 AB
T3	18,3 Aa	13,0 Bb	10,3 Ab	10,3 Ab	12,9 AB
T4	17,5 Aa	12,5 Bb	10,8 Ab	9,3 Ab	12,5 AB
T5	16,0 Aa	14,0 Ba	10,0 Ab	9,0 Ab	12,3 AB
T6	15,8 Aa	18,3 Aa	12,0 Ab	8,8 Ab	13,7 A
MÉDIA	17,2 a	14,0 b	9,9 c	9,5 c	12,6
CV (parcela)	= 15,8000				
CV (sub-parcela)	= 15,1600				
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 2,2944				
DMS (Tukey 5%) ensaio	= 1,4657				
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de ens.	= 4,0107				
DMS (Tukey 5%) ens. dentro de trat.	= 3,5903				

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Quadro 65: Resultados médios para o teor foliar de ferro (mg kg^{-1}) em plantas de milho.

Tratamento	ENSAIOS				MÉDIA
	E1	E2	E3	E4	
T1	120 Ac	221 Bb	132 Ac	333 Aa	202 A
T2	118 Ab	221 Ba	119 Ab	260 Ba	179 B
T3	118 Ab	209 Ba	107 Ab	242 Ba	169 B
T4	123 Ab	215 Ba	105 Ab	241 Ba	171 B
T5	121 Ab	269 Aa	106 Ab	245 Ba	185 AB
T6	122 Ab	210 Ba	121 Ab	244 Ba	174 B
MÉDIA	120 c	224 b	115 c	261 a	180
CV (parcela)	= 9,5000				
CV (sub-parcela)	= 13,4700				
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 19,6659				
DMS (Tukey 5%) ensaio	= 18,5722				
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de ens.	= 47,0494				
DMS (Tukey 5%) ens. dentro de trat.	= 45,4925				

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Os teores de Mn (Quadro 66) mostraram valores significativamente superiores nas plantas com adubação mineral (T6), porém, as plantas que receberam lodo de esgoto mostraram, de maneira geral, teores numéricos superiores a T1, mas sem diferença significativa, exceção feita para T4. Alguz (1993) encontrou aumentos nos teores desse elemento em sorgo ao utilizar biossólido como fonte de nutrientes, concluindo que esse fato ocorreu devido aos teores desse elemento no solo e/ou no biossólido utilizado.

Com relação ao Zn (Quadro 67), observa-se que as plantas dos tratamentos T3, T4 e T5 apresentaram teores significativamente maiores que a testemunha e que o tratamento com adubo. Deve-se salientar que os teores foliares desse elemento mostraram uma tendência de elevação com o passar do tempo para os tratamentos com lodo, fato que não foi observado em T1 e T6.

Segundo Melo et al. (2001), a disponibilidade do Zn contido no biossólido parece estar mais relacionada ao pH do solo do que ao teor presente no resíduo. Porém, da mesma forma que neste trabalho, Berton et al. (1989), Defilipo et al. (1991) e Alguz (1993) encontraram aumentos de Zn nas plantas de acordo com as doses de biossólido aplicadas.

Quadro 66: Resultados médios para o teor foliar de manganês (mg kg^{-1}) em plantas de milho.

Tratamento	ENSAIOS				MÉDIA
	E1	E2	E3	E4	
T1	57,0 Aa	52,3 Ba	29,0 Ca	42,0 Ca	45,1 C
T2	58,3 Aa	53,3 Ba	42,3 BCa	47,8 BCa	50,4 C
T3	59,8 Aa	59,5 Ba	60,8 BCa	63,5 BCa	60,9 BC
T4	52,8 Ab	50,3 Bb	102,8 Aa	78,3 Bab	71,0 B
T5	54,8 Aa	49,0 Ba	65,3 Ba	68,0 BCa	59,3 BC
T6	64,8 Ac	94,5 Ab	50,3 BCc	219,8 Aa	107,3 A
MÉDIA	57,9 b	59,8 b	58,4 b	86,5 a	65,7
CV (parcela)	= 26,0700				
CV (sub-parcela)	= 22,9900				
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 19,6811				
DMS (Tukey 5%) ensaio	= 11,5559				
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de ens.	= 32,4088				
DMS (Tukey 5%) ens. dentro de trat.	= 28,3060				

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Quadro 67: Resultados médios para o teor foliar de zinco (mg kg^{-1}) em plantas de milho.

Tratamento	ENSAIOS				MÉDIA
	E1	E2	E3	E4	
T1	43,5 Aa	38,8 Bab	18,8 Dc	24,3 Dbc	31,3 C
T2	38,0 Aa	44,3 ABa	32,5 CDa	47,3 Ca	40,5 BC
T3	34,8 Ab	61,8 Aa	43,8 BCb	69,0 Ba	52,3 B
T4	32,3 Ad	59,3 ABc	77,3 Ab	111,3 Aa	70,0 A
T5	35,5 Ac	59,0 ABb	63,0 ABb	112,3 Aa	67,4 A
T6	28,0 Aab	45,5 ABa	26,5 CDb	38,8 CDab	34,7 C
MÉDIA	35,3 d	51,4 b	43,6 c	67,1 a	49,4
CV (parcela)	= 22,8100				
CV (sub-parcela)	= 19,2000				
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 12,9525				
DMS (Tukey 5%) ensaio	= 7,2601				
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de ens.	= 20,6731				
DMS (Tukey 5%) ens. dentro de trat.	= 17,7835				

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

6.4 Água drenada pelo solo

Partindo-se do princípio de que a maioria dos subprodutos gerados pelas diferentes atividades humanas na agricultura, pecuária, indústrias e, até mesmo, nos domicílios, podem causar efeitos prejudiciais ao ambiente e, principalmente aos recursos hídricos, fica clara a importância da discussão feita a seguir, pois ao se avaliar a qualidade da água drenada ao longo do perfil de solos fertilizados com lodo de esgoto, pretendeu-se

verificar também a possibilidade dessa água atingir as águas subterrâneas, rios e lagos, vindo a provocar alterações nas características desses corpos de água.

Serão utilizados como parâmetros os limites estabelecidos pela Resolução nº 20 do CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente) (BRASIL, 1995), que estabelece critérios para a classificação dos corpos de água no território brasileiro e a Portaria nº 1.469 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2000), que normatiza a potabilidade da água para consumo no Brasil, além da literatura que aborda aspectos sobre qualidade da água Zuccari (1992) e Conte (1992), que estudaram a qualidade do Ribeirão Lavapés, Botucatu-SP, poluído pela descarga de efluentes urbanos, Conte e Leopoldo (2001) e Conte et al. (2002) que avaliaram a qualidade da água do Rio Pardo, responsável pelo abastecimento hídrico do município de Botucatu-SP, e o trabalho de Breda et al. (2002) que apresenta resultados parciais dos efeitos da aplicação de húmus de lodo de esgoto sobre a água percolada em vasos.

Os comportamentos das variáveis analisadas na água drenada pelo solo estão apresentados nas Figuras 17 a 30, onde se observa uma ampla variação entre os ensaios e os tratamentos. Observando-se a Figura 17, onde estão apresentadas as concentrações de sólidos totais, nota-se perfeitamente a influência da desagregação do solo causada pelo manuseio durante a incorporação do lodo e a semeadura no início de cada ensaio, excessão feita a E2, provavelmente devido à baixa ocorrência de chuvas no período e ao baixo volume de água fornecido via irrigação, do qual não se tem conhecimento. Entretanto, observa-se, a partir da segunda coleta, que todas as amostras apresentaram valores dentro dos limites aceitos pela legislação (BRASIL, 1995, 2000), provavelmente devido a estabilização das partículas de solo dentro da caixa. Cabe ressaltar que a Legislação foi estabelecida com bases nos sólidos totais dissolvidos, proporcionando maior consistência a essa afirmação, pois neste trabalho foram avaliados os sólidos totais, que compreendem sólidos dissolvidos e sólidos em suspensão.

A condutividade elétrica de uma solução está relacionada com sua capacidade de conduzir corrente elétrica e é medida função da sua concentração iônica, principalmente através dos nutrientes como o cálcio, magnésio, carbonatos. (ESTEVES, 1988). Além de ser uma variável de fácil mensuração, oferece importantes informações a respeito dos ecossistemas aquáticos, sendo adotada por inúmeros autores que estudam a

qualidade da água (CONTE; LEOPOLDO, 2001). Assim, Zuccari (1992), Conte e Leopoldo (2001) e Conte et al. (2002) obtiveram valores máximos de $360\mu\text{S cm}^{-1}$, enquanto Breda et al. (2002) determinaram valores de até $1.200\mu\text{S cm}^{-1}$. Marciano et al. (2003) encontraram valores de até $20,17\text{dS m}^{-1}$, quando estudaram os solos salinizados no Nordeste do Brasil.

Os gráficos da Figura 18 mostram, em todos os ensaios, concentrações superiores a $360\mu\text{S cm}^{-1}$, sendo que nos dois primeiros, apenas a testemunha ficou abaixo, enquanto que nos dois últimos, somente os tratamentos com lodo de esgoto se mostraram superiores. Deve-se salientar que todos os valores observados ficaram bem abaixo dos valores máximos obtidos por Breda et al. (2002) e Marciano et al. (2003).

A turbidez é um aspecto primário a ser observado para avaliar a potabilidade e determinar a aceitabilidade visual das águas residuárias (Clark et al. 1981, citados por ZUCCARI, 1992). Embora esse parâmetro esteja associado ao material sólido finamente diluído, observando-se a Figura 19, verifica-se que essa variável apresentou comportamento diferente daquele obtido para sólidos totais (Figura 17). Uma observação que pode ser feita seria a de que os valores de sólidos totais estariam associados à partículas maiores em suspensão na amostra. Com relação à Legislação, que estabelece valores máximos de até 40NTU para corpos de água Classe 1 e de até 100NTU para as Classes 2 e 3, verifica-se que os valores determinados para os quatro ensaios ficaram abaixo daquele admitido para a Classe 1, demonstrando não haver problemas relacionados à turbidez na água drenada pelo solo quando se utiliza lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas, nas mesmas condições deste experimento.

Algumas observações se fazem necessárias, pois durante a fase experimental, nas amostras que apresentaram os valores mais altos observou-se uma coloração avermelhada, originada pela presença de partículas de solo, fato observado principalmente no primeiro ensaio, onde o solo ainda não se encontrava totalmente “acomodado” no interior das caixas, permitindo um maior arraste.

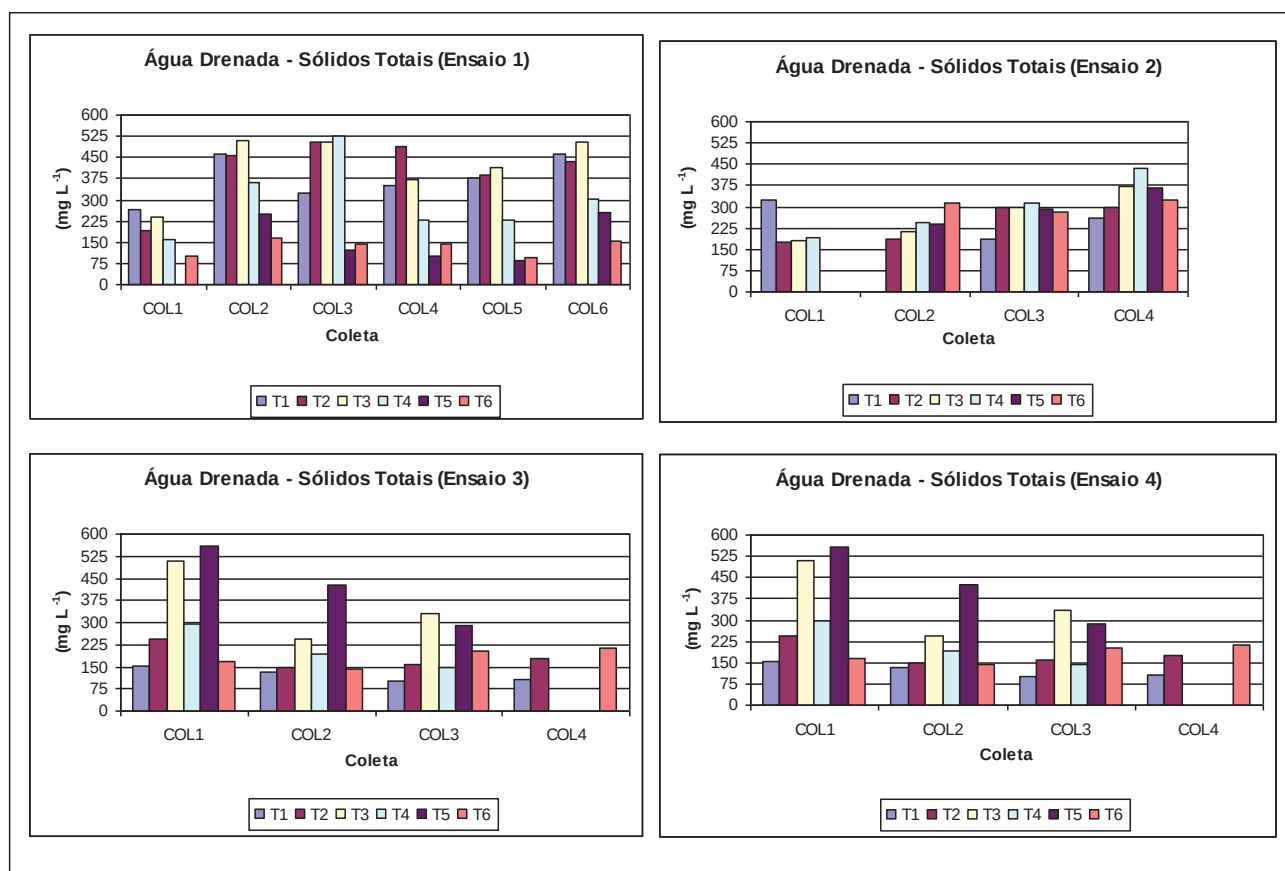


Figura 17: Variação das concentrações de Sólidos Totais (mg L⁻¹), na água drenada para cada tratamento em todos os ensaios.

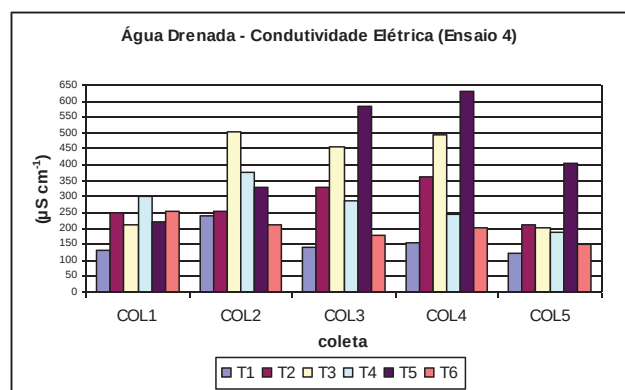
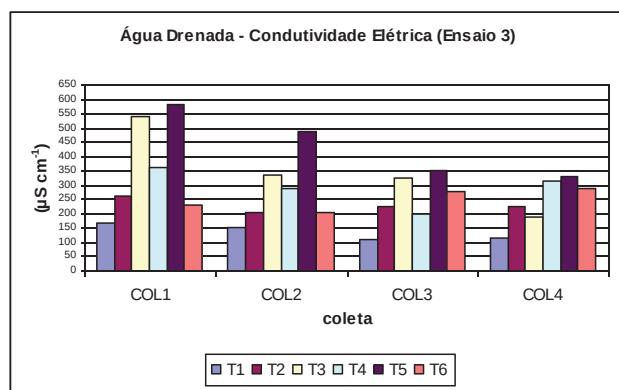
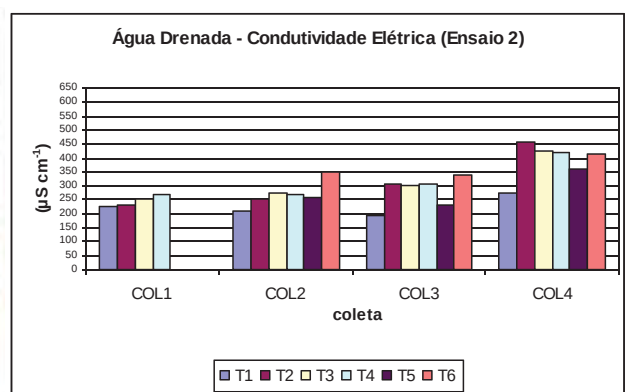
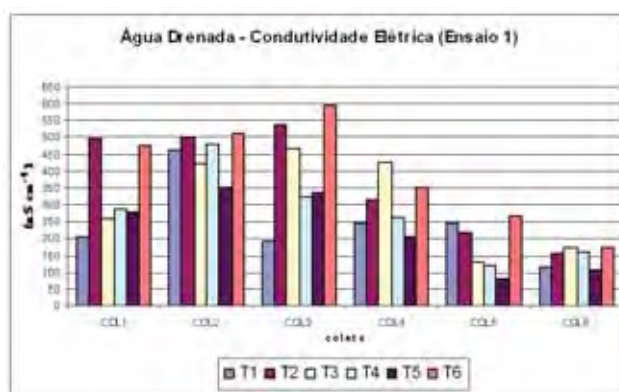


Figura 18: Variação da condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) na água drenada para cada tratamento em todos os ensaios.

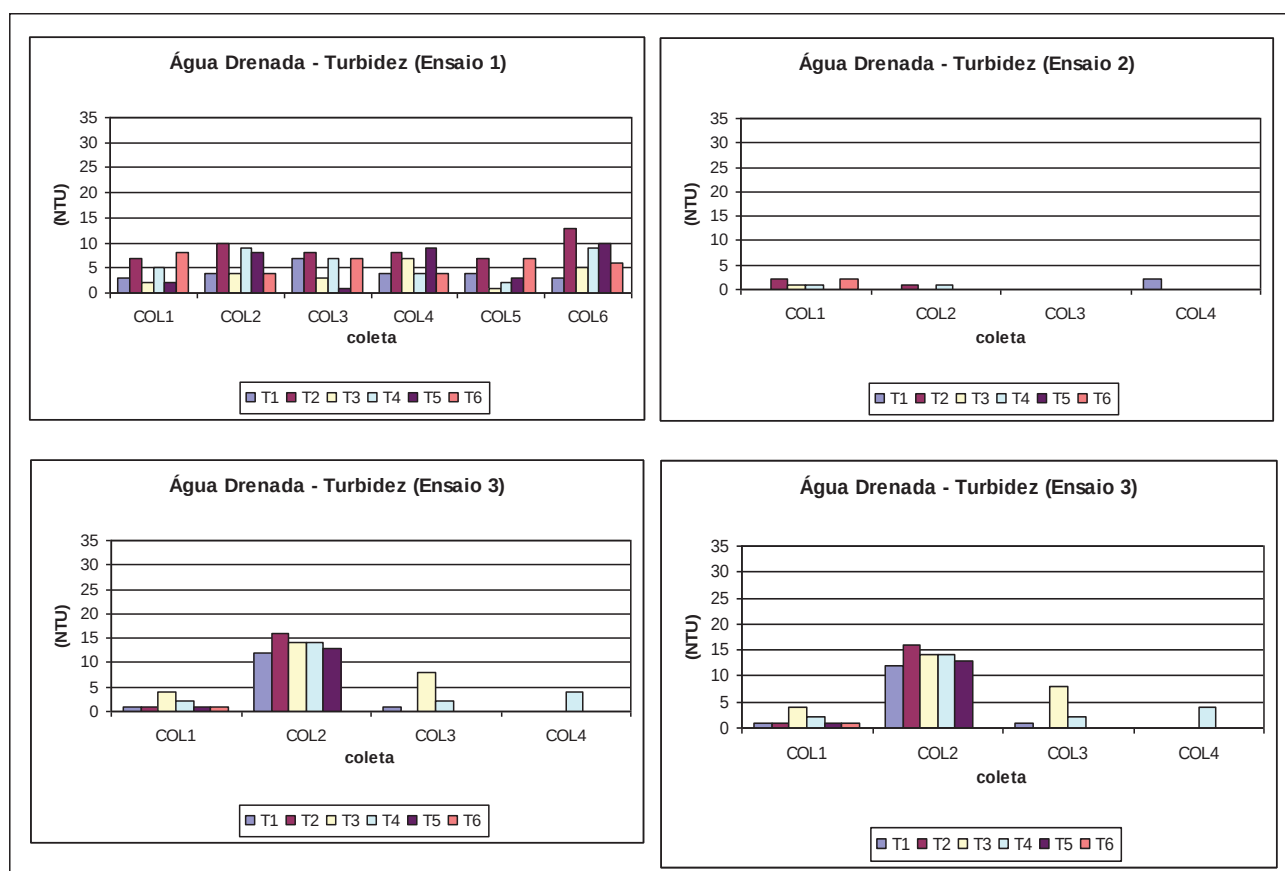


Figura 19: Variação da turbidez (NTU) da água drenada para cada tratamento em todos os ensaios.

Na Figura 20 são apresentadas as concentrações de N_{total} , onde se observa grandes oscilações entre os tratamentos e também de um ensaio para outro. Os valores mais elevados foram observados em E2, onde o T2 alcançou valor superior a 270mg L^{-1} na última coleta, observando também um aumento nos valores da testemunha, chegando a ser superior a 130mg L^{-1} , apesar de não ter havido aplicação de lodo ou adubo nessa caixa.

A legislação não estabelece limites para N_{total} , o que dificulta a discussão, porém Conte e Leopoldo (2001) mostraram valores de N_{total} muito inferiores aos obtidos neste estudo, indicando a ocorrência de lixiviação desse elemento para as camadas mais profundas do solo, podendo causar poluição dos corpos de água sob esses solos. Porém, Breda et al. (2002) encontraram valores superiores a 5.500mg L^{-1} , trabalhando com vasos preenchidos com solo de textura média cultivados com alface e adubados com húmus de lodo de esgoto.

Em relação às formas de nitrogenadas, $N\text{-NO}_3^-$ e $N\text{-NO}_2^-$, cujos dados estão apresentados respectivamente nas Figuras 21 e 22, a legislação estabelece valores máximos de 10mg L^{-1} para o $N\text{-NO}_3^-$ e $1,0\text{mg L}^{-1}$ para o $N\text{-NO}_2^-$. Observa-se na Figura 21 que os valores de $N\text{-NO}_3^-$ mostraram ampla oscilação entre tratamentos e ensaios, onde a maioria dos valores ficaram acima do limite máximo permitido pela Legislação. Em E1 foram encontrados valores muito altos nas coletas iniciais, supostamente pela movimentação de solo para o preenchimento das caixas, o que facilitou o escoamento, porém, nas duas últimas coletas nota-se que os valores ficaram abaixo do limite para todos os tratamentos. Em E2 os valores ficaram praticamente dentro do limite nas duas primeiras coletas, havendo, posteriormente, uma superação nas duas últimas, cabendo ressaltar que o maior valor foi observado para T1 na última coleta ($> 40\text{mg L}^{-1}$). Apenas na primeira coleta de E3, observou-se valores superiores ao limite em todos os tratamentos, sendo próximos destes para T1, T2 e T6 e muito altos para T3, T4 e T5. Comportamento contrário a esse foi observado em E4, uma vez que os maiores valores foram observados nas coletas 3 e 4. Notam-se resultados crescentes nos teores de $N\text{-NO}_3^-$ para T2, T3 e T5, chegando a 80mg L^{-1} para T5.

Praticamente todos os valores de $N\text{-NO}_2^-$ ficaram abaixo do limite estabelecido, exceção feita para E2, quando se observa que os valores de T1 na primeira e quarta coletas, não são condizentes com os demais tratamentos, pois foram os únicos a superar os limites, deixando dúvidas para uma discussão mais segura (Figura 22).

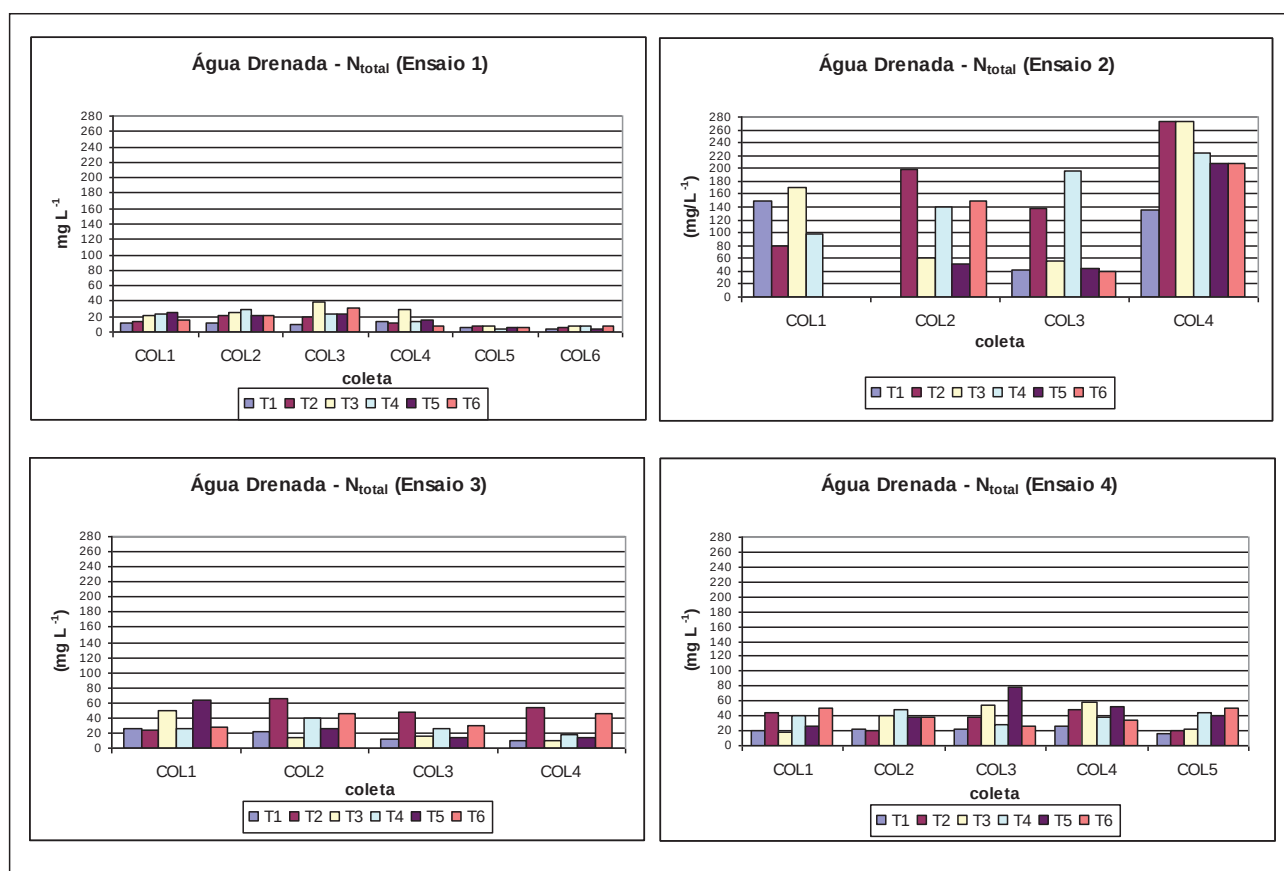


Figura 20: Variação das concentrações de N_{total} ($mg\ L^{-1}$), na água drenada para cada tratamento em todos os ensaios.

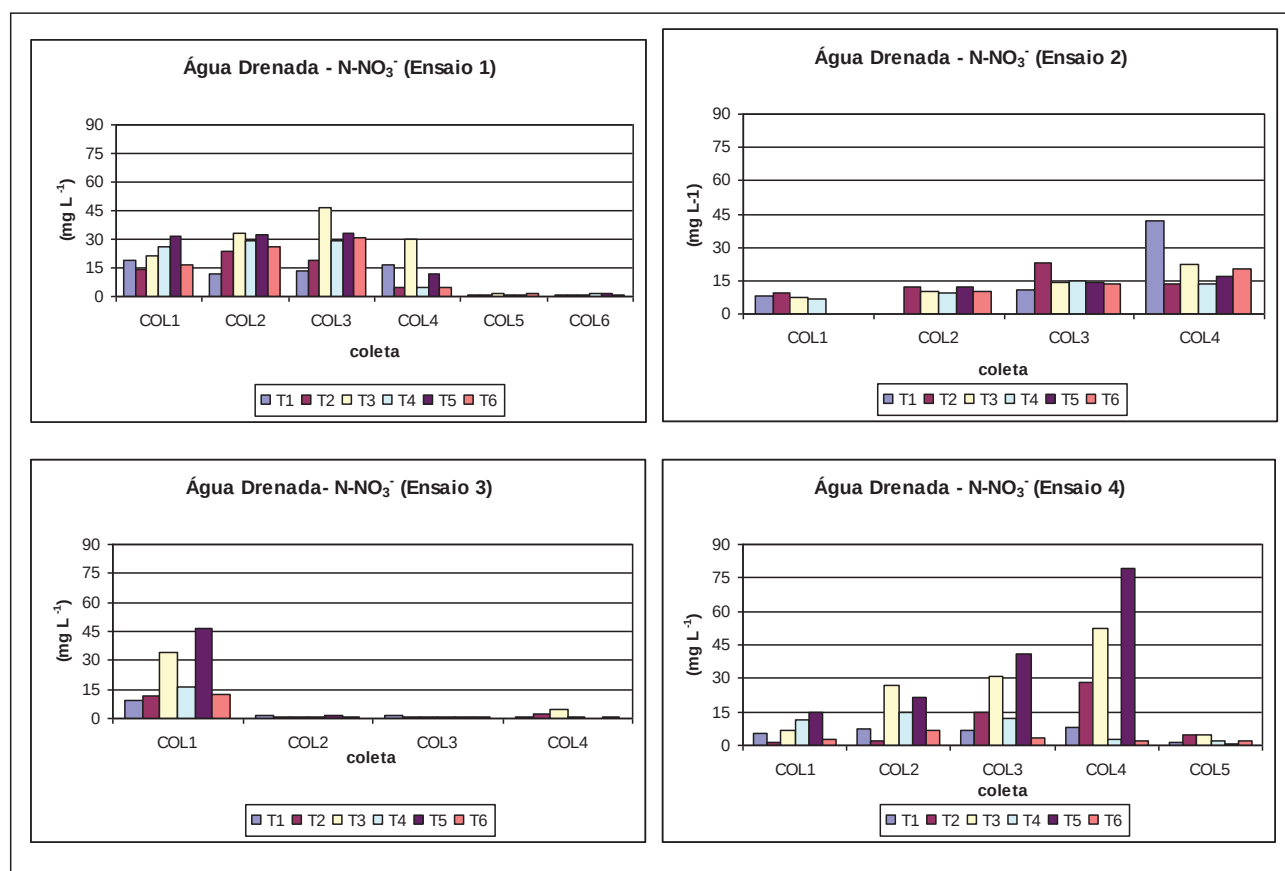


Figura 21: Variação das concentrações de N-NO_3^- (mg L^{-1}), na água drenada para cada tratamento em todos os ensaios.

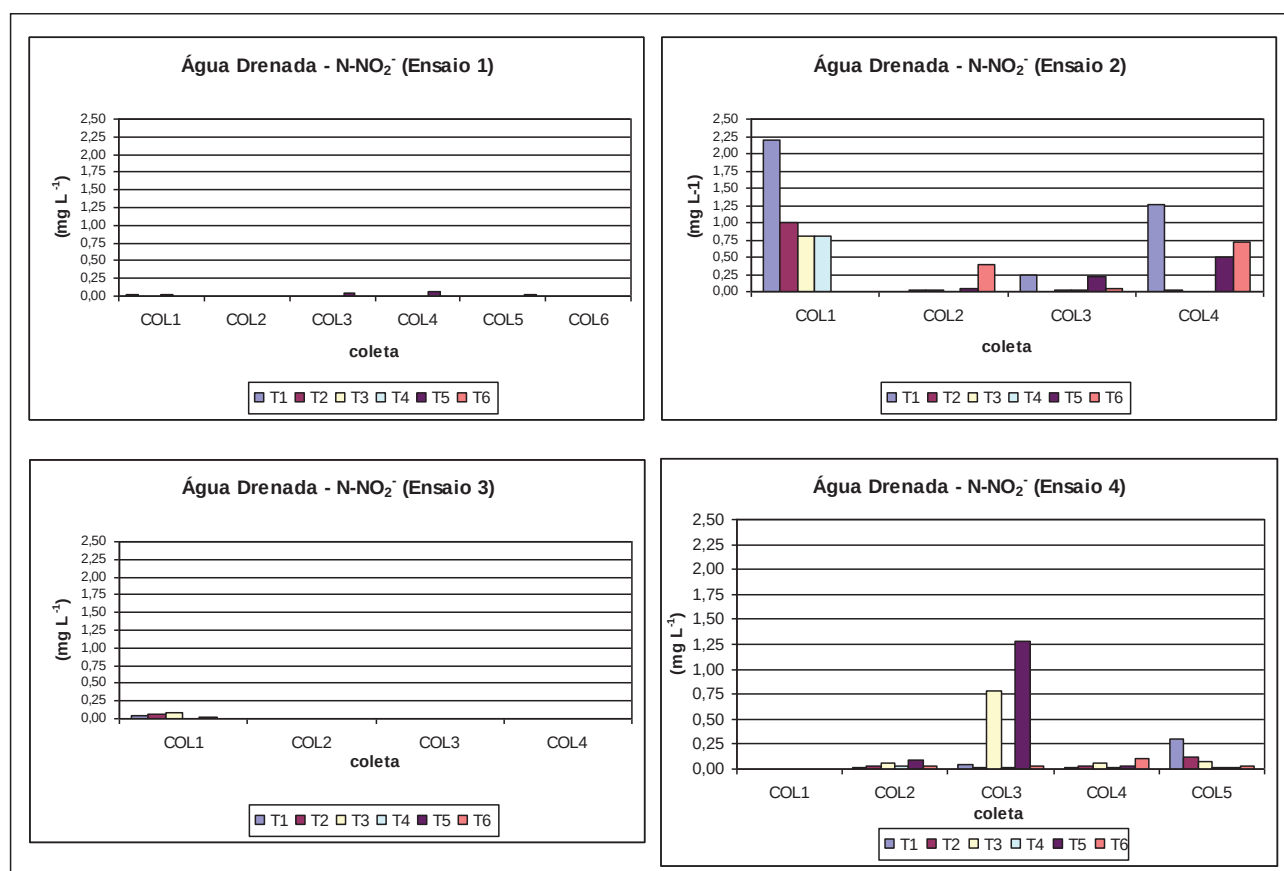


Figura 22: Variação das concentrações de N-NO₂⁻ (mg L⁻¹), na água drenada para cada tratamento em todos os ensaios.

O fósforo, assim como o nitrogênio é apontado como um dos principais responsáveis pela eutrofização dos corpos de água (BRANCO, 1986; ESTEVES, 1988). Segundo Galdos et al. (2003), grande parte das ações de controle de eutrofização dos corpos de água tem focado o controle dos teores de P aplicados via lodo.

Os gráficos referentes à variação das concentrações de P na água drenada estão apresentados na Figura 23. Pode-se observar que a maioria absoluta das amostras apresentaram concentrações superiores ao estabelecido pela Legislação ($0,025\text{mg L}^{-1}$) e aos valores observados por Conte (1992) e Conte e Leopoldo (2001). Em E1, os valores mais marcantes foram observados para T2 e T6 e em E2 para T1 e T6. Em E3 para todos os tratamentos a partir da segunda coleta e em E4 para todos os tratamentos, principalmente T1.

A Legislação em vigor (BRASIL, 1995, 2000) não estabelece limites para a concentração na água dos demais elementos químicos avaliados neste trabalho (K, Ca, Mg e S). Entretanto, a maior preocupação quanto à presença desses chamados nutrientes está relacionada à eutrofização dos corpos de água, que traz como consequência a proliferação de algas e a diminuição dos teores de oxigênio dissolvido nas águas quando entram em decomposição. Esse processo resulta na morte da fauna aquática e provoca odores desagradáveis devido aos processos anaeróbios. (BRANCO, 1986; ESTEVES, 1988)

Na Figura 24 estão apresentados os gráficos das concentrações de K na água drenada, onde se pode notar uma grande variabilidade envolvendo os tratamentos e os ensaios, com valores variando entre 0 e 126mg L^{-1} . De maneira geral, pode-se dar destaque para o comportamento do tratamento com adubação mineral (T6), que mostrou sempre os valores mais elevados, possivelmente devido à adição de K_2O via adubo, o qual pode ter sido rapidamente disponibilizado e lixiviado pelo solo. Desconsiderando as dúvidas surgidas para o comportamento das amostras de T2, onde as amostras de água drenada apresentaram valores elevados para esse elemento, a baixa quantidade de K oferecida via lodo ficou mais uma vez confirmada, pois, as amostras oriundas dos demais tratamentos com lodo apresentaram os menores valores, supostamente pelo fato de se disponibilizar lentamente, sendo utilizado pela cultura durante todo seu desenvolvimento. Outra observação importante é que, geralmente as maiores concentrações sempre estiveram nas amostras coletadas no início de cada ensaio.

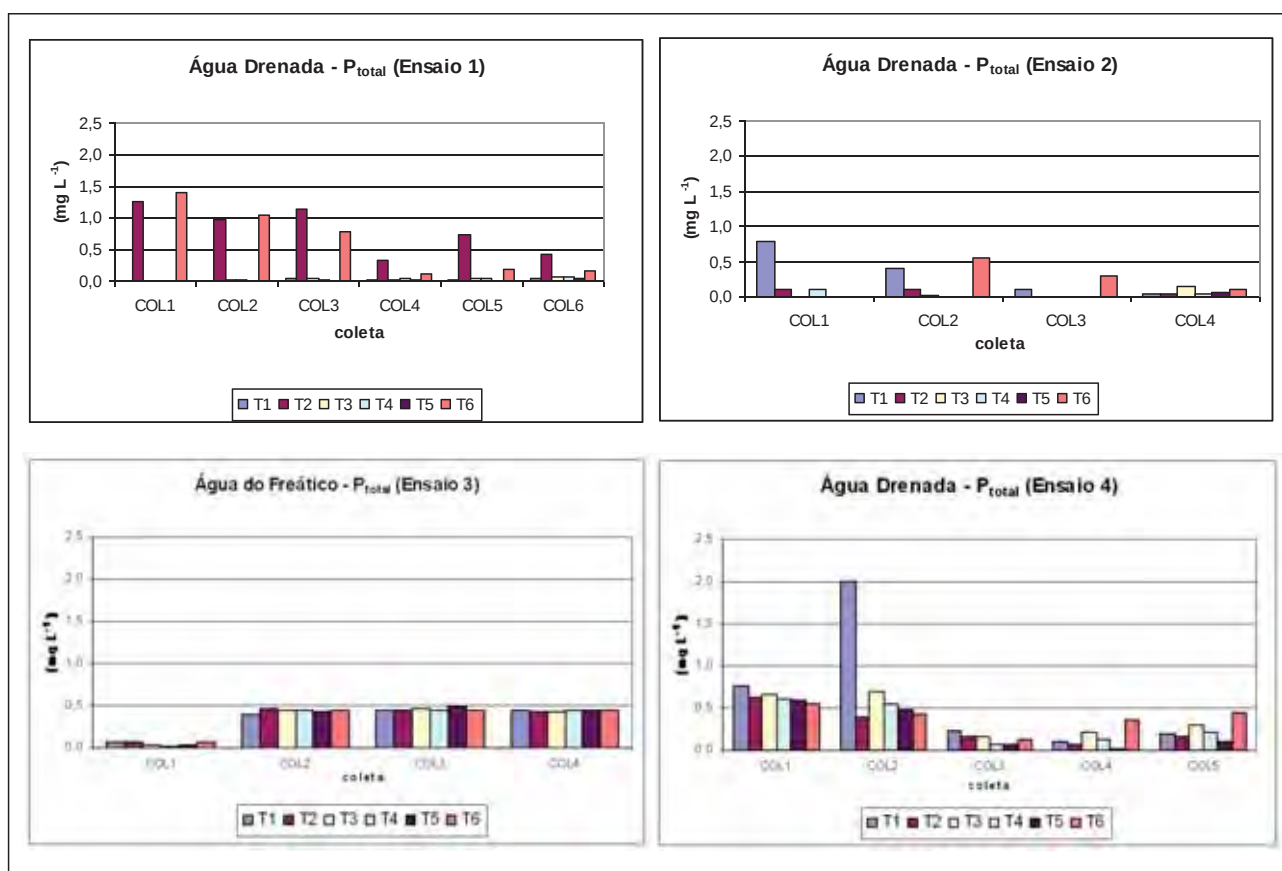


Figura 23: Variação das concentrações de P_{total} ($mg L^{-1}$), na água para cada tratamento em todos os ensaios.

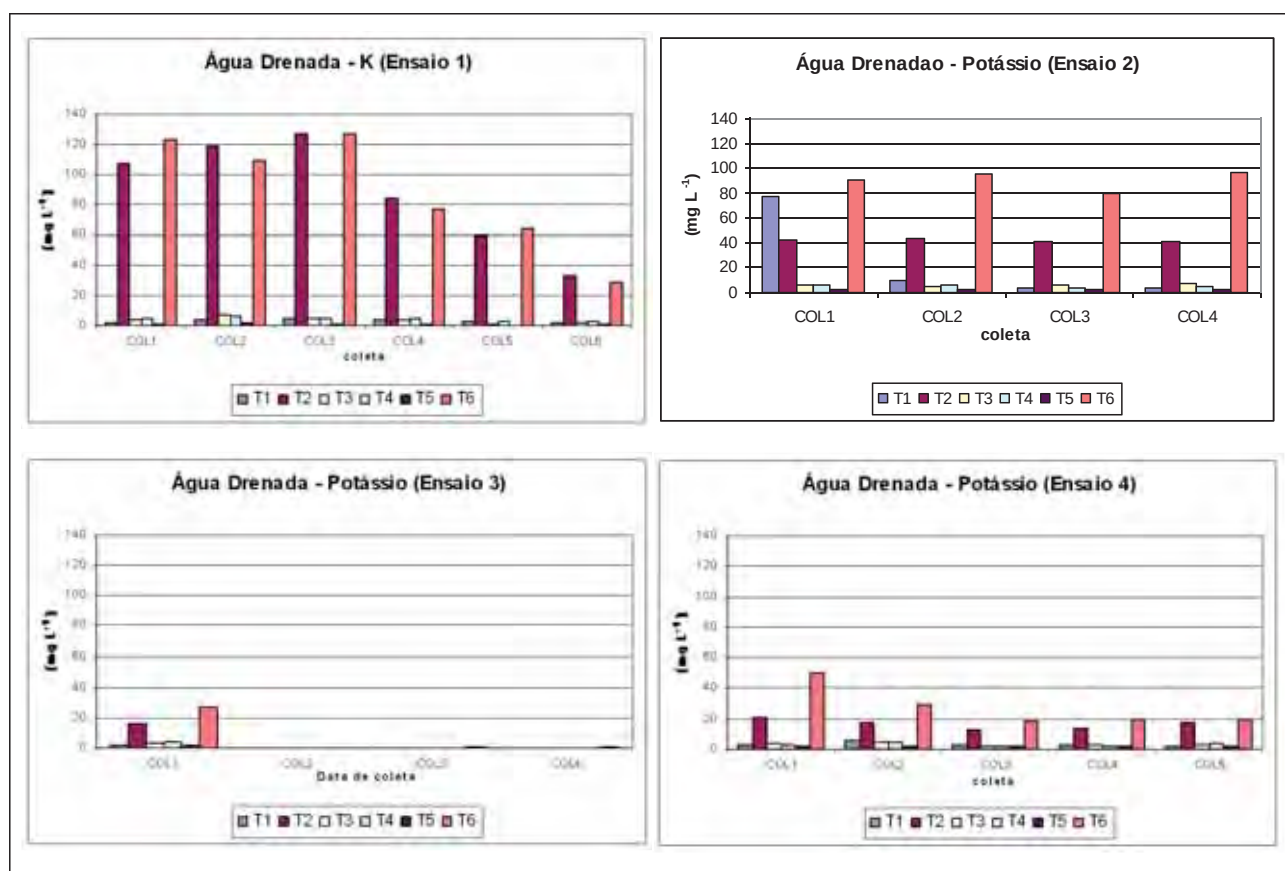


Figura 24: Variação das concentrações de potássio (mg L^{-1}), na água drenada para cada tratamento em todos os ensaios.

Com relação aos valores de Ca (Figura 25), observam-se variações expressivas e sem tendência definida ao longo do período, tornando-se mais uniforme em E4. Deve-se salientar que os maiores valores foram sempre encontrados nos tratamentos com lodo.

A exemplo das outras espécies químicas, o magnésio apresentou comportamentos variáveis, sendo até contraditórios no decorrer da pesquisa (Figura 26), mostrando em E1 valores crescentes até a terceira coleta, a partir de quando, decresceram até a última coleta. Já para E2 e E4, os valores foram relativamente baixos nas coletas iniciais e altos nas finais, enquanto que para E3 foi muito alto na primeira amostragem e quase nulo nas demais. Esses valores se mostram menores quando confrontados com aqueles apresentados por Breda et al. (2002), mostrando possibilidades de lixiviação para as águas subterrâneas quando comparados com os dados de Conte e Leopoldo (2001).

Pela Figura 27 observam-se as concentrações de enxofre das amostras dos quatro ensaios, onde se notam grandes oscilações. No decorrer de E1 são observados valores altos para T2 e T6, ficando baixo para os demais tratamentos. Na primeira coleta de E2, observaram-se valores altos para todos os tratamentos, principalmente para T2 e muito baixo nas demais coletas, mesmo comportamento observado em E3. Em E4, observa-se comportamento constante durante todas as coletas, porém os valores de T2 continuaram sendo os mais elevados. Mesmo assim, os valores obtidos se mostraram inferiores àqueles observados por Conte (1992), Conte e Leopoldo (2001) e Breda et al. (2002).

O sódio é encontrado em grandes quantidades no esgoto doméstico por ser componente do sal de cozinha, dos sabões e detergentes (CONTE, 1992), por isso foi encontrado em quantidades consideráveis no lodo utilizado neste trabalho (Quadro 4). Esperava-se, então a ocorrência de valores elevados na água drenada dos solos fertilizados com lodo, porém, os valores obtidos (máximo = $7,0\text{mg L}^{-1}$) foram inferiores ao máximo permitido pela Legislação em água potável (200mg L^{-1}) e aos observados por Conte (1992) e Breda et al. (2002). Os gráficos da Figura 28 mostram comportamentos constantes em E1 e E2, sendo que em E1 deve-se destacar os comportamentos de T3 e T6. Em E2 os tratamentos com lodo apresentaram valores mais elevados. Os valores de E3 foram altos para todos os tratamentos na primeira coleta, ficando quase nulos nas demais. Nesse ensaio os tratamentos com maiores doses de lodo apresentaram os valores mais altos. Em E4 observa-se um comportamento constante sendo que os tratamentos com lodo mostraram valores mais altos.

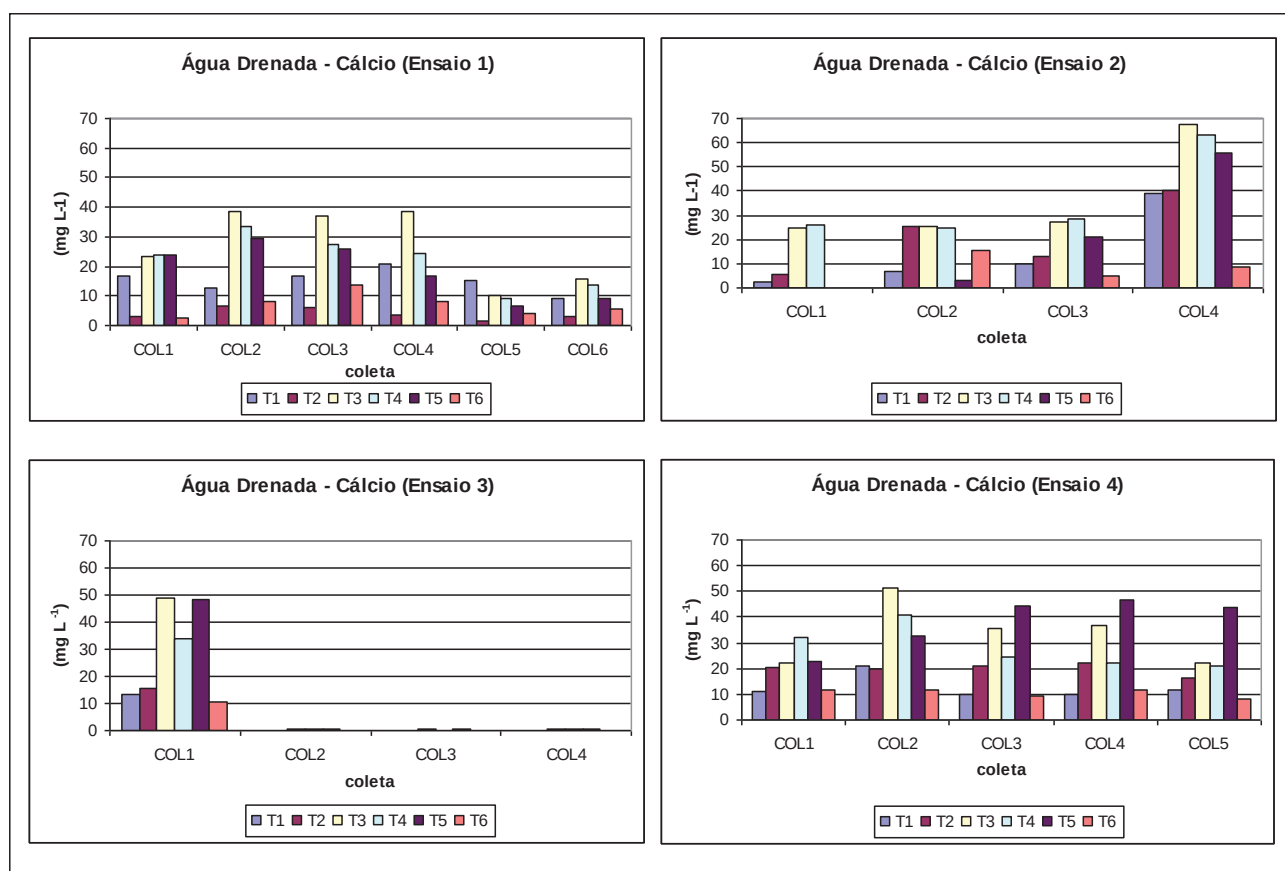


Figura 25: Variação das concentrações de cálcio (mg L^{-1}), na água drenada para cada tratamento em todos os ensaios.

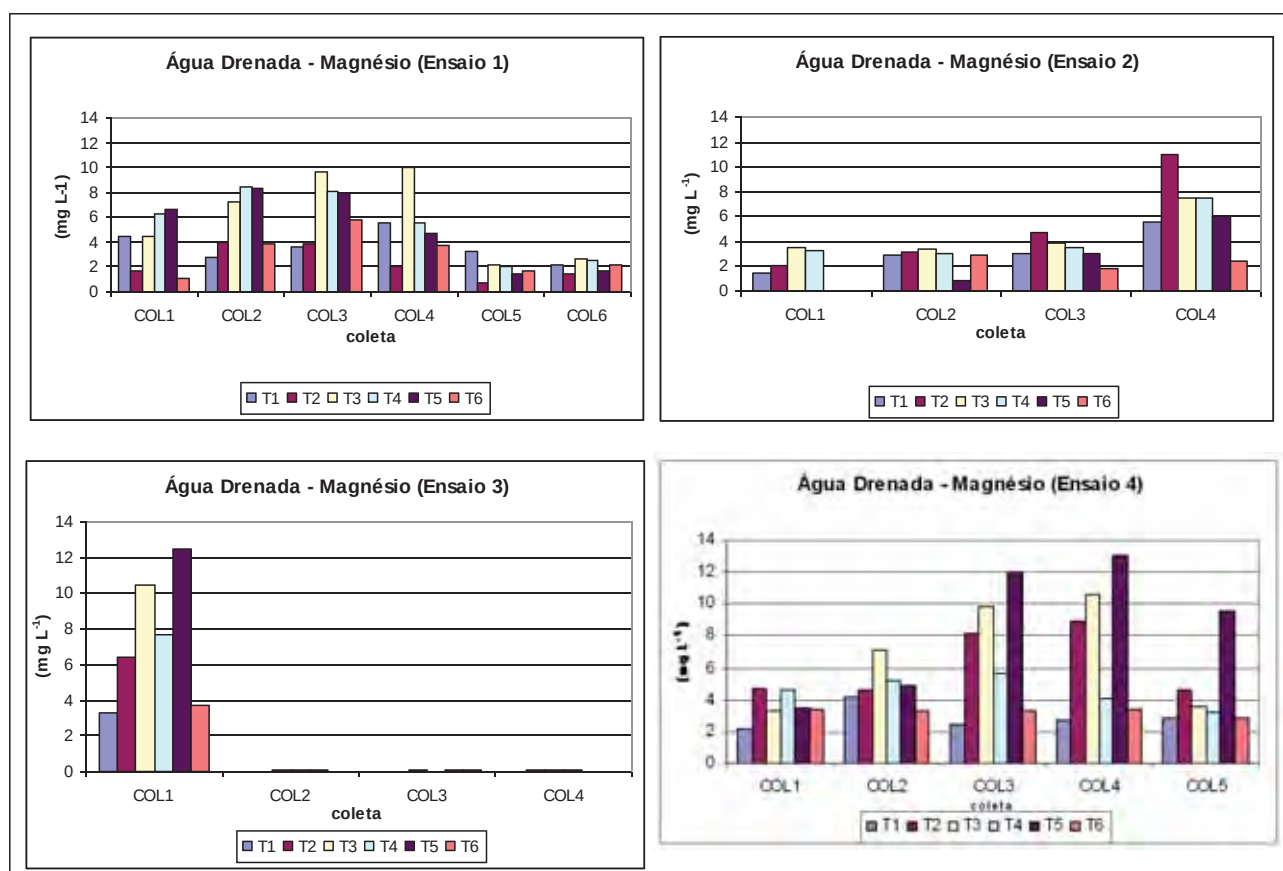


Figura 26: Variação das concentrações de magnésio (mg L^{-1}), na água drenada para cada tratamento em todos os ensaios.

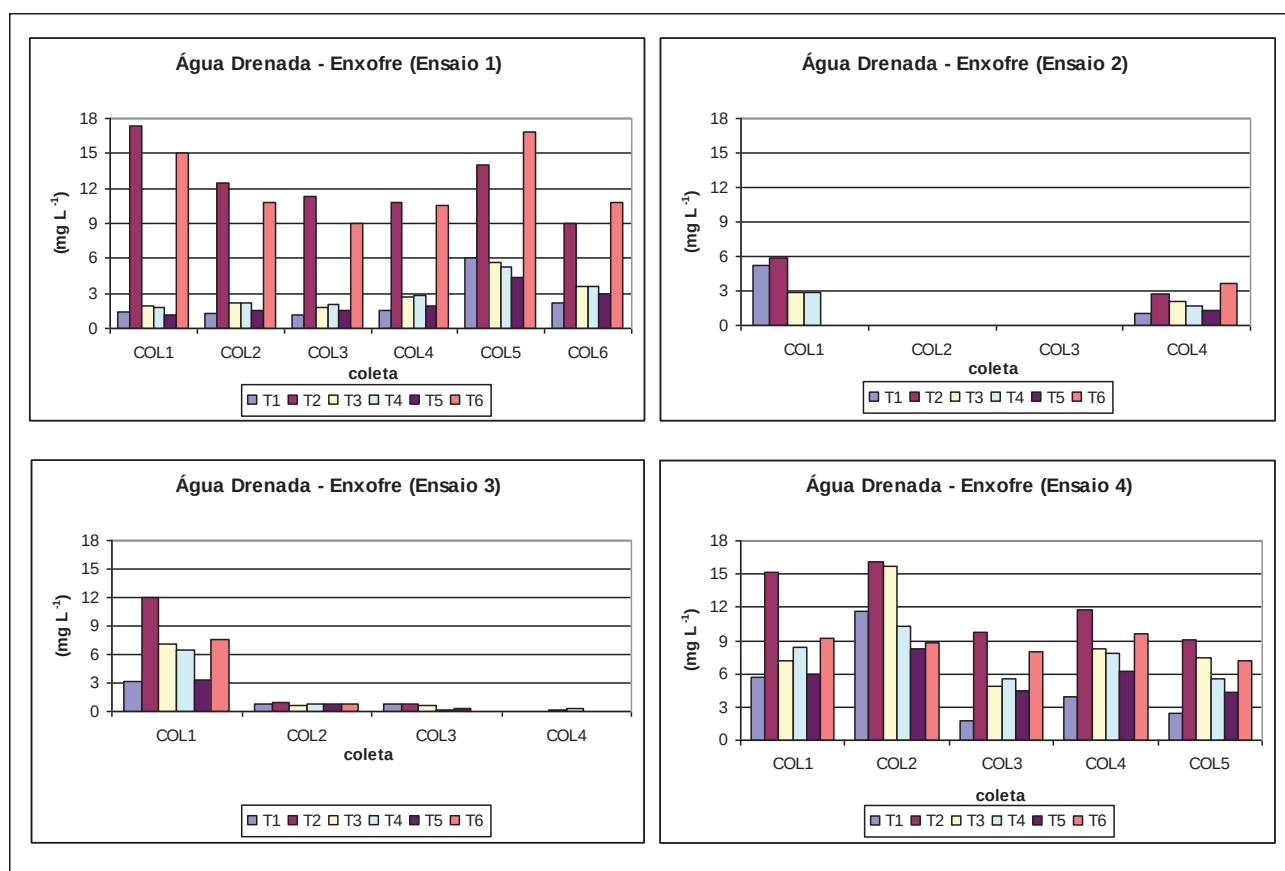


Figura 27: Variação das concentrações de enxofre (mg L^{-1}), na água drenada para cada tratamento em todos os ensaios.

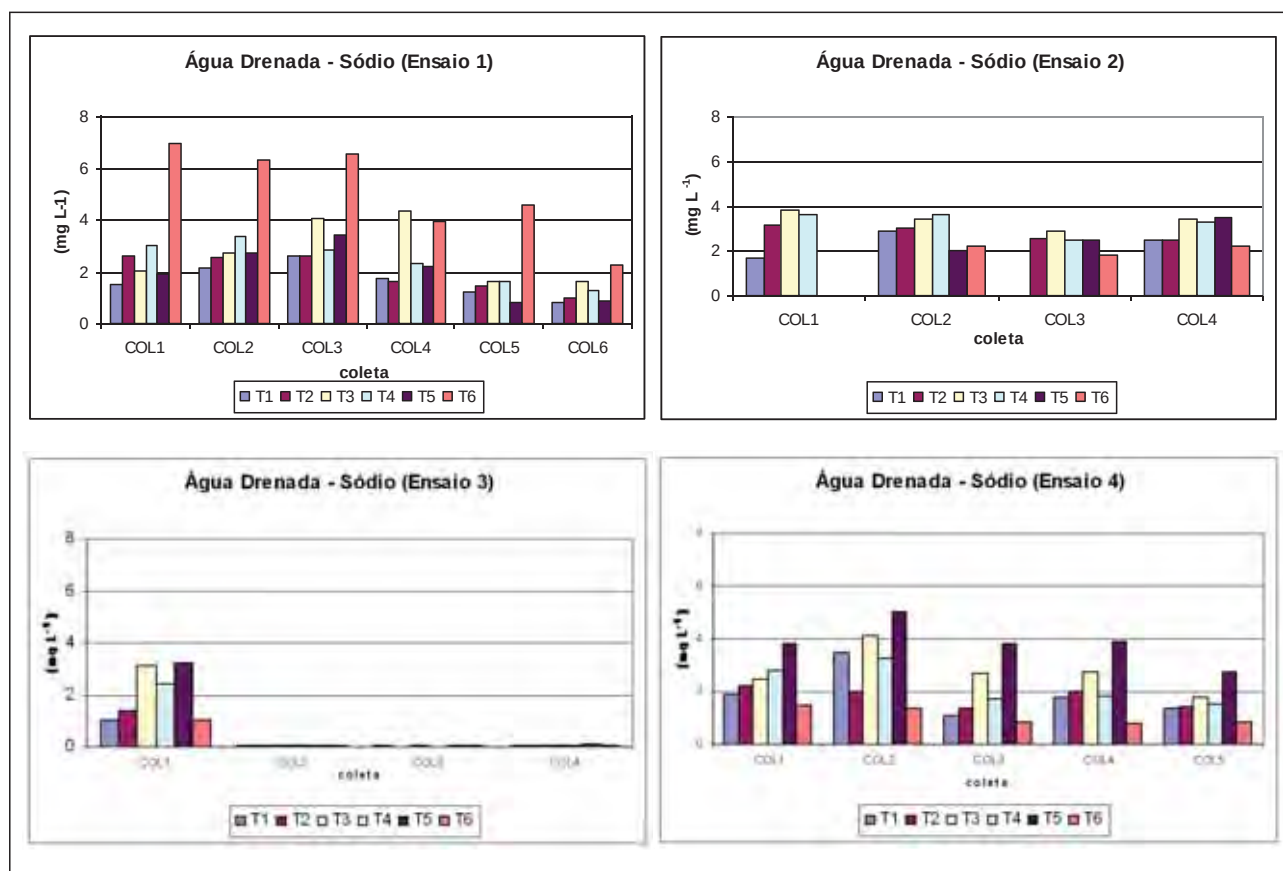


Figura 28: Variação das concentrações de sódio (mg L^{-1}), na água drenada para cada tratamento em todos os ensaios.

Quando se observa alteração nos valores de pH, pode-se esperar a ocorrência de sérios problemas relacionados à fauna aquática e aos processos de tratamento de água para abastecimento público (BRANCO, 1986; ZUCCARI, 1992). A Legislação vigente estabelece valores de pH entre 6,0 e 9,0 para todas as classes de água doce (BRASIL, 1995). Pela Figura 28 pode-se observar que o pH da água drenada se comportou de forma constante, tendendo à alcalinidade, ficando entre 7 e 10. Isso pode ser atribuído à calagem da área experimental, uma vez que o lodo apresentou valores inferiores e o solo entre 5,8 e 7,2.

Outra característica dos esgotos domésticos é a presença de compostos derivados de sabões e detergentes, por esse motivo foram avaliados os teores de detergentes nas amostras de água drenada, de modo a verificar se a aplicação do lodo de esgoto doméstico traria consigo restos desses produtos, os quais, quando aplicados ao solo, poderiam ser lixiviados, atingindo o lençol freático, além de causar a dispersão de partículas de argila. Guimarães e Conte (1999) detectaram teores médios de detergentes em amostras de água do Rio Pardo, Botucatu-SP (0,08 a 0,12mg L⁻¹), valores esses que se situaram abaixo do limite estabelecido para potabilidade da água que é de 0,5mg L⁻¹ para produtos surfactantes (BRASIL, 2000).

No presente estudo, pode-se concluir pela observação da Figura 29, que algumas amostras de E1 apresentaram valores consideráveis nas coletas 1, 2, e 4, mais uma vez dando indícios da influência da não estabilização do solo dentro das caixas. Nos ensaios E2 e E3, nota-se que apenas o tratamento T2, ou seja, aquele com menor dose de lodo de esgoto (10t ha⁻¹), apresentou teores próximos daquele estabelecido pela Legislação vigente. Porém em E4, todos os valores se mostraram baixos, sendo que mais uma vez T2 se sobressaiu. Deve-se fazer referência ao único valor que superou o limite considerado na Legislação, o qual foi observado para a testemunha (T1) na segunda coleta do E4, onde teoricamente o solo deveria estar empobrecido, pois não foi utilizada nenhuma fonte de nutrientes. Cabe ressaltar que parte dessa variabilidade observada nos teores de detergente está relacionada à precisão relativa do método utilizado, o qual deve ser alterado, pois a determinação é feita visualmente.

Além de todos os resultados apresentados e discutidos para as amostras água drenada para o freático, deve-se salientar que, segundo o item Material e Métodos, também foram realizadas as determinações de DQO, boro, cobre, ferro, manganês e zinco, porém não foram observados resultados para essas variáveis, já que ficaram abaixo do limite de detecção dos métodos analíticos empregados.

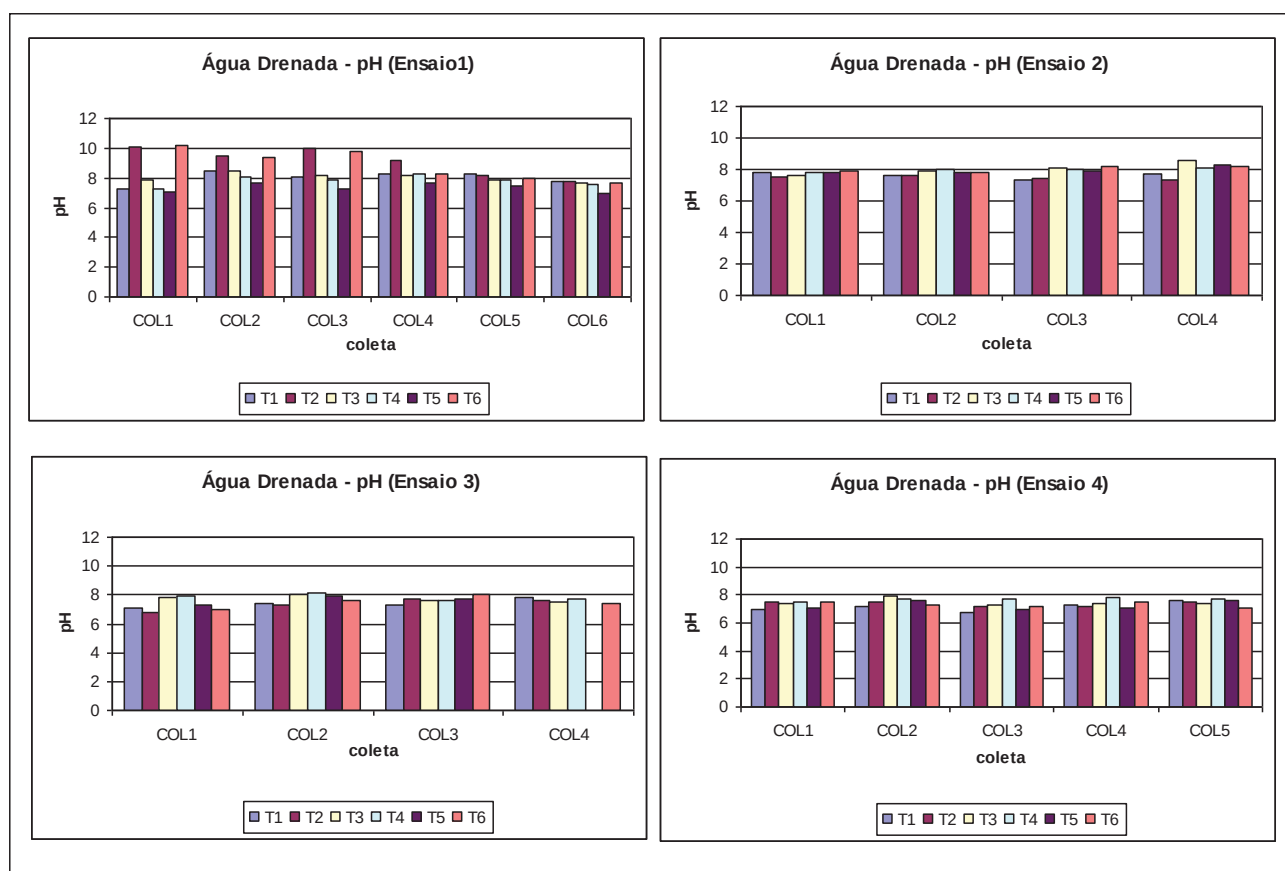


Figura 29: Variação do pH na água drenada para cada tratamento em todos os ensaios.

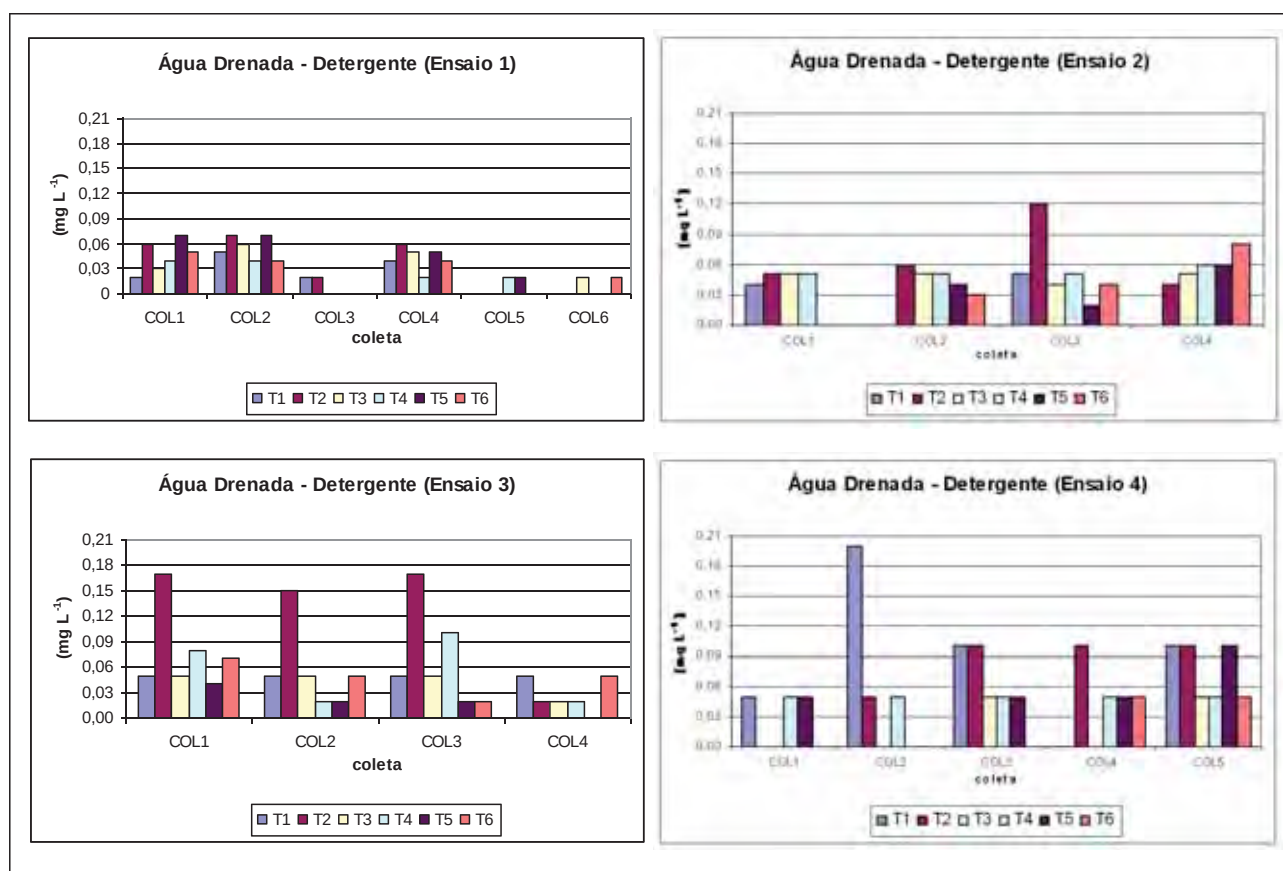


Figura 30: Variação da concentração de detergente (mg L^{-1}) na água drenada para cada tratamento em todos os ensaios.

Estudos futuros envolvendo maiores períodos de amostragem e complexações químicas, poderão dar respostas mais satisfatórias, principalmente em relação ao ferro, uma vez que, as concentrações desse elemento no lodo utilizado foram muito altas, as quais se refletiram no solo, mas não responderam da mesma forma nas plantas e na água drenada coletadas ao longo dessa pesquisa.

6.5 Análises de solo em profundidade.

As análises de solo em profundidade foram realizadas com o intuito de determinar a ocorrência ou não de lixiviação ao longo do perfil do solo dos elementos químicos adicionados via lodo de esgoto ou adubo mineral.

Conforme já foi explicado no item 5.8.6, utilizou-se para cada parcela apenas uma amostra composta por solos de quatro pontos de coleta, sendo que a amostragem foi realizada no final da fase experimental, nas profundidades designadas como P1, P2, P3 e P4, respectivamente referentes às profundidades 20, 40, 80 e 120cm.

Os resultados dessas análises estão apresentados nos Quadros 68 a 83, bem como suas variações representadas nas Figuras 31 a 46.

6.5.1 Análise Básica

Os valores de pH (Quadro 68 e Figura 31) se mantiveram semelhantes em todas as profundidades do solo, para todos os tratamentos, porém, em média, nas profundidades 80 e 120cm foram significativamente mais elevados do que aqueles em 20 e 40cm. Deve-se ressaltar que esse fato não se relacionou ao aumento do pH em profundidade maiores, mas sim à diminuição nas camadas mais superficiais em função do aumento dos teores de matéria orgânica na superfície, o qual foi observado, principalmente, nos tratamentos com doses superiores a 20t ha⁻¹ de lodo. Isso ocorreu devido às reações de nitrificação e a geração de ácidos orgânicos envolvidos na degradação do lodo, também observado por Pigozzo-Jordão (2003) e Logan et al. (1997) após utilização de lodo sem adição de cal.

Como foi observado nas avaliações do solo durante a fase experimental (Item 6.2), a acidez potencial (H+Al) se comportou inversamente ao pH (Quadro 69 e Figura 32). Apesar dos tratamentos não apresentarem diferenças significativas entre os

valores em todas as profundidades, em média, houve aumento da acidez a 20 e 40cm, exatamente onde foram encontrados os menores valores de pH e maiores de MO.

No Quadro 70 e na Figura 33, observam-se aumentos nos teores de MO nos tratamentos T2, T3, T4 e T5 a 20cm de profundidade, onde foram encontrados teores crescentes de matéria orgânica, à medida em que se aumentou a dose de lodo. Ainda com referência à menor profundidade, observa-se que não houve diferença significativa entre os valores de T6 e a testemunha, o que condiz com o esperado, uma vez que nesses tratamentos não foi aplicada nenhuma fonte de MO. Deve-se resaltar que esse comportamento não se repetiu nas profundidades abaixo de 40cm dos solos fertilizados com lodo onde, além de não serem encontradas diferenças significativas, notou-se um decréscimo nos teores de MO à medida em que se aprofundou o ponto de amostragem.

Aumentos nos teores de MO em solos adubados com lodo de esgoto também foram observados por Bataglia et al. (1983), Abrahão (1992) e Marques (1997), entre outros.

Com relação à CTC, observou-se, em média, valores significativamente maiores nas profundidades de 20 e 40cm, não havendo diferenças significativas na comparação entre os tratamentos e profundidades (Quadro 71), apesar da Figura 34 deixar bastante ilustrada a ocorrência de diferenças entre os tratamentos na profundidade de 20cm. Aumentos na CTC do solo causados pela aplicação de lodo de esgoto foram observados por Kiehl (1980) e por Melo et al. (2001), demonstrando a existência de correlação significativa entre CTC e frações de MO.

Os teores de fósforo nas profundidades amostradas estão apresentados no Quadro 72 e na Figura 35, onde se pode notar claramente um aumento significativo dos valores na profundidade de 20cm, à medida em que se eleva a dose de lodo de esgoto. Porém, nas demais profundidades (40, 80 e 120cm), os teores de P foram estatisticamente iguais para todos os tratamentos. Deve-se ressaltar que para o tratamento com 10t ha⁻¹ de lodo, os teores de P na profundidade de 20cm foi estatisticamente igual à testemunha e ao tratamento com adubo, concordando com Simonete et al. (1999), que relatam elevações significativas nos teores de P em solos fertilizados com doses superiores a 20t ha⁻¹ de lodo de esgoto.

Além disso, deve-se considerar a baixa mobilidade de P no solo, que o faz ficar mais concentrado nas camadas mais superiores.

Quadro 68: Valores de pH do solo no final da fase experimental em quatro profundidades.

Profundidade	Tratamentos						MÉDIA
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	
P1	4,88 Aab	4,95 Aab	4,70 ABb	4,53 ABc	4,68 ABb	4,38 Bb	4,68 b
P2	4,70 Ab	4,75 Ab	4,83 Ab	4,63 Abc	4,75 Ab	4,65 Ab	4,72 b
P3	5,00 Aa	5,03 Aa	5,18 Aa	4,90 Aab	5,18 Aa	5,08 Aa	5,06 a
P4	4,90 Aab	5,10 Aab	5,30 Aa	5,03 Aa	5,08 Aa	5,03 Aa	5,07 a
MÉDIA	4,87 A	4,96 A	5,00 A	4,77 A	4,92 A	4,78 A	4,88
CV % (tratamentos)	= 6,8600						
CV% (profundidades)	= 3,1300						
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 0,3853						
DMS (Tukey 5%) profundidade	= 0,1171						
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de prof.	= 0,4549						
DMS (Tukey 5%) prof. dentro de trat.	= 0,2869						

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na linha e minúscula na coluna), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

Quadro 69: Acidez potencial (H+Al) do solo (mmol_c dm⁻³), no final da fase experimental em quatro profundidades.

Profundidade	Tratamentos						MÉDIA
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	
P1	39,8 Aa	35,7 Aa	52,8 Aa	51,3 Aa	59,3 Aa	50,0 Aa	48,1 a
P2	55,5 Aa	50,0 Aa	53,8 Aa	58,5 Aa	46,0 Aa	46,3 Aa	51,7 a
P3	40,0 Aa	36,5 Aa	35,3 Aa	33,0 Aa	37,0 Aa	37,0 Aa	36,5 b
P4	43,0 Aa	36,0 Aa	36,0 Aa	41,0 Aa	33,8 Aa	30,3 Aa	36,7 b
MÉDIA	44,6 A	39,6 A	44,4 A	45,9 A	44,0 A	40,9 A	43,2
CV % (tratamentos)	= 25,6900						
CV% (profundidades)	= 27,6000						
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 12,8625						
DMS (Tukey 5%) profundidade	= 9,2034						
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de prof.	=						
DMS (Tukey 5%) prof. dentro de trat.	=						

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na linha e minúscula na coluna), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

Quadro 70: Matéria orgânica do solo (g dm⁻³), no final da fase experimental em quatro profundidades.

Profundidade	Tratamentos						MÉDIA
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	
P1	18,0 Ca	19,0 Ca	24,0 Ba	25,3 ABa	28,8 Aa	18,3 Ca	22,2 a
P2	16,0 Aa	13,8 Ab	14,3 Ab	14,5 Ab	15,8 Ab	12,8 Ab	14,5 b
P3	11,0 Ab	10,0 Abc	11,5 Abc	12,0 Abc	10,8 Ac	10,3 Ab	10,9 c
P4	9,3 Ab	9,3 Ac	10,0 Ac	10,0 Ac	7,0 Ac	9,0 Ab	9,1 d
MÉDIA	13,6 BC	13,0 C	14,9 AB	15,4 A	15,6 A	12,6 C	14,2
CV % (tratamentos)	= 11,3400						
CV% (profundidades)	= 14,8200						
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 1,8481						
DMS (Tukey 5%) profundidade	= 1,6085						
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de prof.	= 4,1244						
DMS (Tukey 5%) prof. dentro de trat.	= 3,9401						

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na linha e minúscula na coluna), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

Quadro 71: CTC do solo (mmol_c dm⁻³), no final da fase experimental em quatro profundidades.

Profundidade	Tratamentos						MÉDIA
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	
P1	72,0 Aa	70,3 Aa	87,5 Aa	88,5 Aa	105,0 Aa	78,5 Aa	83,5 a
P2	89,8 Aa	75,3 Aa	84,8 Aa	85,5 Aa	75,3 Aa	71,5 Aa	80,4 a
P3	65,0 Aa	60,3 Aa	60,8 Aa	60,0 Aa	66,0 Aa	62,8 Aa	62,5 b
P4	67,3 Aa	60,3 Aa	61,0 Aa	66,5 Aa	60,8 Aa	55,3 Aa	61,8 b
MÉDIA	73,5 A	66,5 A	73,5 A	75,1 A	76,8 A	67,0 A	72,1
CV % (tratamentos)	= 16,2500						
CV% (profundidades)	= 17,7400						
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 13,4661						
DMS (Tukey 5%) profundidade	= 9,7898						
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de prof.	=						
DMS (Tukey 5%) prof. dentro de trat.	=						

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na linha e minúscula na coluna), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

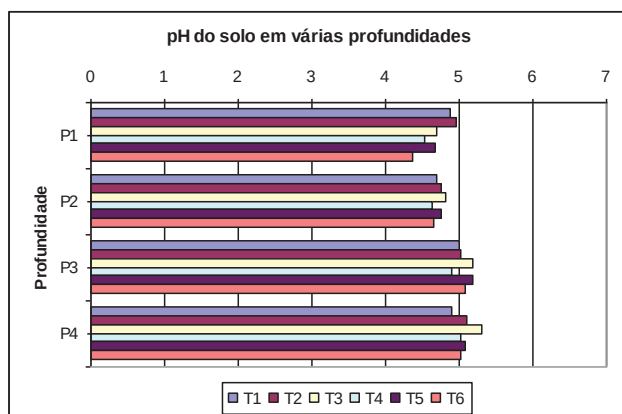


Figura 31: Variação do pH do solo nas quatro profundidades amostradas.

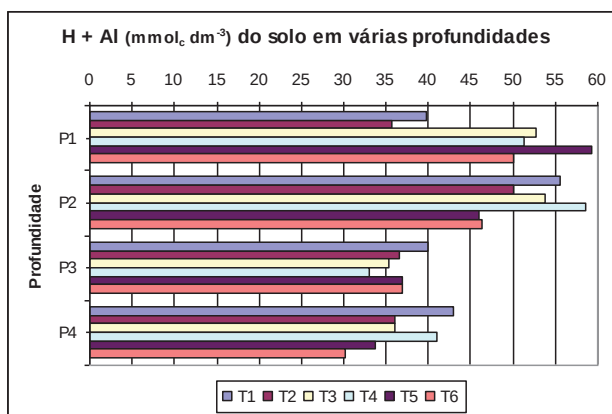


Figura 32: Acidez potencial (H+Al) do solo nas quatro profundidades amostradas.

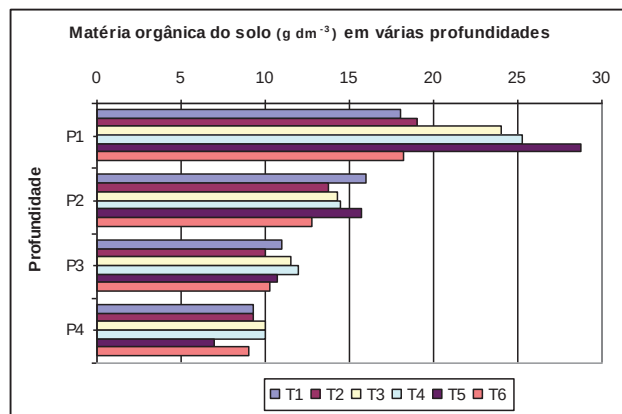


Figura 33: Matéria orgânica do solo nas quatro profundidades amostradas.

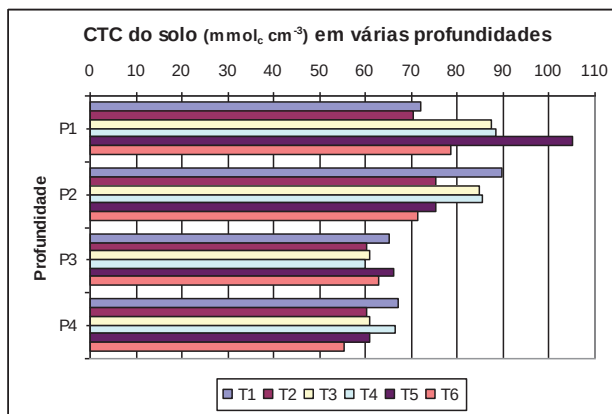


Figura 34: CTC do solo nas quatro profundidades amostradas.

Sui (1999), citado por Galdos et al. (2003), salienta que pode haver acúmulo de P no solo pelo fato das doses de lodo utilizado como fertilizante serem calculadas em função dos seus teores de N e das necessidades desse nutriente pelas culturas. Esse fato foi claramente observado no presente trabalho, apesar de não terem sido feitos cálculos baseados nas necessidades das plantas para a determinação das doses de lodo. O mesmo autor alerta que esse elemento quando acumulado poderá ser transportado em forma particulada ou solúvel, causando a eutrofização dos corpos de água.

No Quadro 73 e na Figura 36 pode-se observar os valores de potássio encontrados no solo de todos os tratamentos nas quatro profundidades amostradas. Mais uma vez a deficiência desse nutriente no lodo foi mostrada, concordando com Cripps e Matocha (1991), Ros et al. (1993) e Fiest et al. (1999), que afirmaram que o biossólido não é uma boa fonte desse nutriente. Nota-se que, a 20cm os teores na testemunha e no tratamento com adubo foram significativamente maiores que todos os tratamentos com lodo. Deve-se ressaltar que o alto teor observado em T1 se deve, provavelmente, à não extração do elemento devido ao pequeno desenvolvimento das plantas.

Para o cálcio (Quadro 74 e Figura 37), observou-se teores significativamente maiores nos tratamentos com lodo na profundidade de 20cm, sendo que os valores numericamente mais baixos foram observados para o tratamento com adubo, o qual não diferiu estatisticamente da testemunha.

Uma explicação para esse fato decorre da não aplicação de calcário durante todas as etapas do período experimental e a contribuição com Ca nos tratamentos com lodo pela utilização do SABESFÉRTIL, em mistura com o lodo da ETL no E2.

Não foram observadas diferenças significativas nos teores de magnésio entre todos os tratamentos nas profundidades estudadas, bem como não houve uma tendência definida no comportamento das médias (Quadro 75 e Figura 38). Nota-se que o maior valor absoluto foi observado para a testemunha a 20cm de profundidade.

Quadro 72: Concentração de fósforo no solo (mg dm^{-3}), no final da fase experimental em quatro profundidades.

Profundidade	Tratamentos						MÉDIA
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	
P1	13,3 Da	17,0 Da	28,3 Ca	45,0 Ba	63,8 Aa	18,0 Da	30,9 a
P2	3,8 Ab	3,3 Ab	7,0 Ab	5,8 Ab	5,0 Ab	2,3 Ab	4,5 b
P3	2,0 Ab	1,3 Ab	1,8 Ab	2,0 Ab	1,5 Ab	2,0 Ab	1,8 b
P4	1,8 Ab	1,0 Ab	1,3 Ab	2,8 Ab	1,3 Ab	1,3 Ab	1,6 b
MÉDIA	5,2 C	5,6 C	9,6 BC	13,9 AB	17,9 A	5,9 C	9,7
CV % (tratamentos)	= 47,4000						
CV% (profundidades)	= 44,8300						
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 5,2696						
DMS (Tukey 5%) profundidade	= 3,3182						
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de prof.	= 8,1279						
DMS (Tukey 5%) prof. dentro de trat.	= 9,1184						

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na linha e minúscula na coluna), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

Quadro 73: Concentração de potássio no solo ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$), no final da fase experimental em quatro profundidades.

Profundidade	Tratamentos						MÉDIA
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	
P1	1,30 ABa	0,83 CDa	0,73 Da	1,10 ABCa	1,08 BCa	1,38 Aa	1,07 a
P2	0,88 Ab	0,65 ABa	0,50 Ba	0,58 Bb	0,53 Bb	0,73 ABb	0,64 b
P3	0,33 Ac	0,25 Ab	0,20 Ab	0,28 Ac	0,25 Ac	0,30 Ac	0,27 c
P4	0,38 Ac	0,30 Ab	0,23 Ab	0,30 Ac	0,28 Ac	0,33 Ac	0,30 c
MÉDIA	0,71 A	0,51 AB	0,41 B	0,56 AB	0,53 AB	0,68 A	0,57
CV % (tratamentos)	= 32,6700						
CV% (profundidades)	= 21,9600						
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 0,2137						
DMS (Tukey 5%) profundidade	= 0,0956						
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de prof.	= 0,2975						
DMS (Tukey 5%) prof. dentro de trat.	= 0,2343						

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na linha e minúscula na coluna), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

Quadro 74: Concentração de cálcio no solo ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$), no final da fase experimental em quatro profundidades.

Profundidade	Tratamentos						MÉDIA
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	
P1	23,0 CDa	27,3 BCa	29,0 Ba	31,3 Ba	38,8 Aa	21,8 Da	28,5 a
P2	19,8 ABab	19,0 Bb	24,5 Ab	22,0 ABb	24,3 ABb	19,0 Ba	21,4 b
P3	19,3 Aab	17,5 Ab	19,0 Ac	20,8 Ab	22,8 Ab	18,8 Aa	19,7 bc
P4	17,3 Ab	17,5 Ab	18,8 Ac	18,8 Ab	20,0 Ab	18,3 Aa	18,5 c
MÉDIA	19,8 B	20,4 B	22,8 AB	23,2 AB	26,4 A	19,4 B	22,0
CV % (tratamentos)	= 15,6800						
CV% (profundidades)	= 10,1400						
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 3,9549						
DMS (Tukey 5%) profundidade	= 1,7028						
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de prof.	= 5,3941						
DMS (Tukey 5%) prof. dentro de trat.	= 4,1710						

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na linha e minúscula na coluna), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

Quadro 75: Concentração de magnésio no solo ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$), no final da fase experimental em quatro profundidades.

Profundidade	Tratamentos						MÉDIA
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	
P1	7,8 Aa	6,5 Aa	5,5 Aa	5,5 Aa	5,8 Aa	5,8 Aa	6,1 ab
P2	6,0 Aa	6,0 Aa	6,0 Aa	4,8 Aa	4,8 Aa	5,3 Aa	5,5 b
P3	6,0 Aa	5,8 Aa	6,3 Aa	6,0 Aa	6,3 Aa	6,3 Aa	6,1 ab
P4	6,3 Aa	6,3 Aa	5,8 Aa	6,0 Aa	7,0 Aa	6,5 Aa	6,3 a
MÉDIA	6,5 A	6,1 A	5,9 A	5,6 A	5,9 A	5,9 A	6,0
CV % (tratamentos)	= 24,3700						
CV% (profundidades)	= 17,2600						
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 1,6783						
DMS (Tukey 5%) profundidade	= 0,7914						
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de prof.	=						
DMS (Tukey 5%) prof. dentro de trat.	=						

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na linha e minúscula na coluna), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

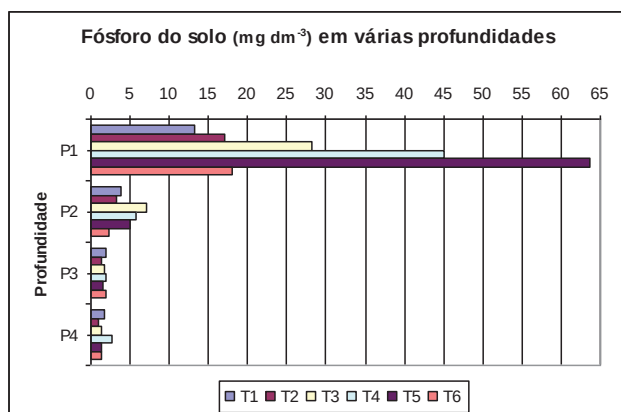


Figura 35: Fósforo do solo nas quatro profundidades amostradas.

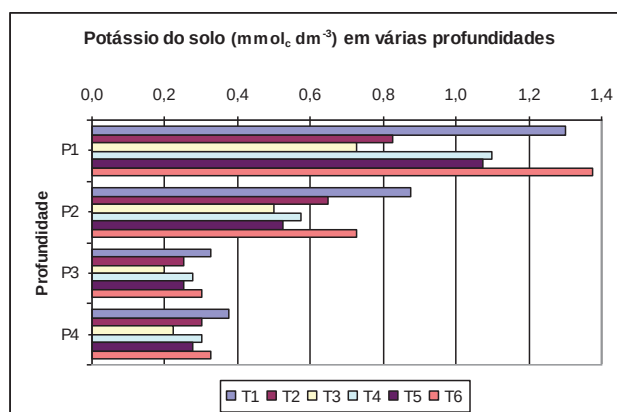


Figura 36: Potássio do solo nas quatro profundidades amostradas.

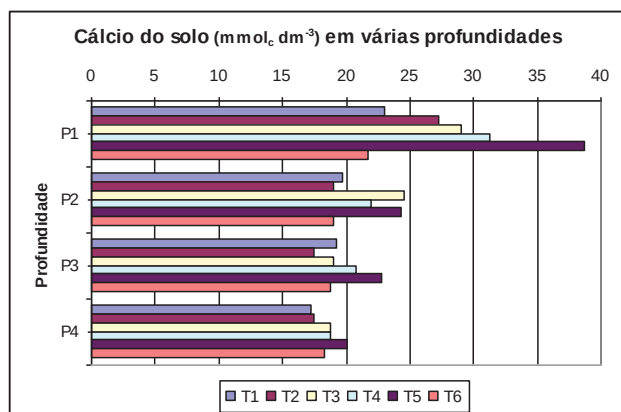


Figura 37: Cálcio do solo nas quatro profundidades amostradas.

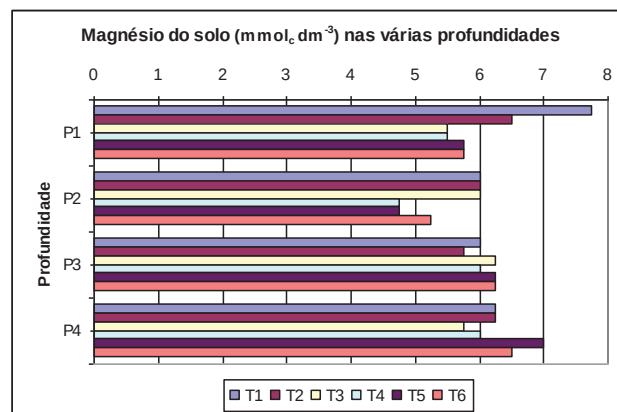


Figura 38: Magnésio do solo nas quatro profundidades amostradas.

O enxofre foi o único elemento que apresentou comportamento diferente dos demais quando analisou-se o solo em profundidade, pois mostrou teores menores em superfície, os quais foram aumentando em profundidade (Quadro 76 e Figura 39). Observando-se as médias, pode-se notar claramente esse fato, apesar de não terem ocorrido diferenças significativas em profundidade dentro de um mesmo tratamento. A Figura 39 também ilustra muito bem o ocorrido com o S, fato que pode ser atribuído à grande mobilidade vertical desse elemento no solo, o qual é utilizado como componente do gesso agrícola, quando se deseja fazer o arraste de nutrientes para as camadas de solo mais profundas.

A soma de bases (Quadro 77 e Figura 40), apresentou, na observação dos valores médios, um comportamento semelhante àquele observado para as bases K, Ca e Mg, uma vez que é calculada a partir das mesmas.

Pelo Quadro 78 e Figura 41 pode-se notar que não foram observadas diferenças significativas nos valores de saturação por bases (V%) em função dos tratamentos e profundidades estudadas.

6.5.2 Análise de Micronutrientes

No Quadro 79 e Figura 42 são apresentados os teores de boro, os quais se mostraram significativamente maiores na profundidade de 20cm para os tratamentos com doses mais elevadas de lodo de esgoto e também na adubação mineral. Nas demais profundidades, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos. Em média, pode-se afirmar que houve uma diminuição significativa de acordo com a profundidade, fato que condiz com os teores de MO, que é a responsável pelos teores de B no solo.

Quanto aos demais micronutrientes, cobre (Quadro 80 e Figura 43), ferro (Quadro 81 e Figura 44), manganês (Quadro 82 e Figura 45) e zinco (Quadro 83 e Figura 46), observou-se a 20cm uma tendência de aumento dos teores de acordo com a dose de lodo aplicada para T3, T4 e T5. Deve-se ressaltar que esses aumentos foram significativos apenas para o Fe e para o Zn. Outra observação importante é que, para todos os micronutrientes, o tratamento com menor dose de lodo não apresentou diferenças significativas quando comparado com T1 e com T6 a 20cm de profundidade. Para Mn, os maiores teores a 20cm de profundidade foram observados em T6, apesar da diferença não ser significativa em relação aos demais tratamentos.

Quadro 76: Concentração de enxofre no solo ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$), no final da fase experimental em quatro profundidades.

Profundidade	Tratamentos						MÉDIA
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	
P1	12,8 Aa	20,8 Aa	32,8 Aa	41,5 Aa	41,3 Aa	30,8 Aa	30,0 c
P2	113,8 Aa	68,8 Aa	111,3 Aa	147,8 Aa	149,8 Aa	87,8 Aa	113,2 b
P3	75,8 Aa	119,3 Aa	118,3 Aa	188,3 Aa	176,3 Aa	176,3 Aa	129,9 ab
P4	82,8 Aa	138,8 Aa	137,8 Aa	161,8 Aa	183,3 Aa	183,3 Aa	143,8 a
MÉDIA	71,3 B	86,9 AB	100,0 AB	134,8 A	137,6 A	94,6 AB	104,2
CV % (tratamentos)		= 44,4400					
CV% (profundidades)		= 33,9100					
DMS (Tukey 5%) tratamento		= 53,2457					
DMS (Tukey 5%) profundidade		= 27,0505					
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de prof.		=					
DMS (Tukey 5%) prof. dentro de trat.		=					

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na linha e minúscula na coluna), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

Quadro 77: Soma de bases no solo ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$), no final da fase experimental em quatro profundidades.

Profundidade	Tratamentos						MÉDIA
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	
P1	32,3 BCa	34,5 BCa	34,5 BCa	37,5 Ba	45,8 Aa	28,8 Ca	35,5 a
P2	26,3 Ab	25,3 Ab	31,0 Aab	27,3 Ab	29,3 Ab	25,0 Aa	27,3 b
P3	25,8 Ab	23,8 Ab	26,0 Abc	27,0 Ab	29,0 Ab	25,3 Aa	26,1 bc
P4	24,3 Ab	24,5 Ab	24,8 Ac	25,3 Ab	27,0 Ab	25,0 Aa	25,1 c
MÉDIA	27,1 B	27,0 B	29,1 AB	29,3 AB	32,8 A	26,0 B	28,5
CV % (tratamentos)		= 15,7000					
CV% (profundidades)		= 9,4500					
DMS (Tukey 5%) tratamento		= 5,1500					
DMS (Tukey 5%) profundidade		= 2,0651					
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de prof.		= 6,7810					
DMS (Tukey 5%) prof. dentro de trat.		= 5,0585					

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na linha e minúscula na coluna), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

Quadro 78: Saturação por bases (V%) no solo ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$), no final da fase experimental em quatro profundidades.

Profundidade	Tratamentos						MÉDIA
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	
P1	45,0 Aa	49,0 Aa	41,5 Aa	43,0 Aa	42,5 Aa	36,8 Aa	43,0 a
P2	30,3 Aa	33,8 Aa	36,8 Aa	32,0 Aa	40,0 Aa	35,8 Aa	34,8 b
P3	39,8 Aa	40,5 Aa	43,3 Aa	45,5 Aa	45,0 Aa	41,3 Aa	42,5 a
P4	39,8 Aa	41,5 Aa	41,8 Aa	39,5 Aa	45,8 Aa	45,8 Aa	42,3 a
MÉDIA	38,7 A	41,2 A	40,8 A	40,0 A	43,3 A	39,9 A	40,6
CV % (tratamentos)		= 16,4100					
CV% (profundidades)		= 15,1100					
DMS (Tukey 5%) tratamento		= 7,6568					
DMS (Tukey 5%) profundidade		= 4,6937					
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de prof.		=					
DMS (Tukey 5%) prof. dentro de trat.		=					

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na linha e minúscula na coluna), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

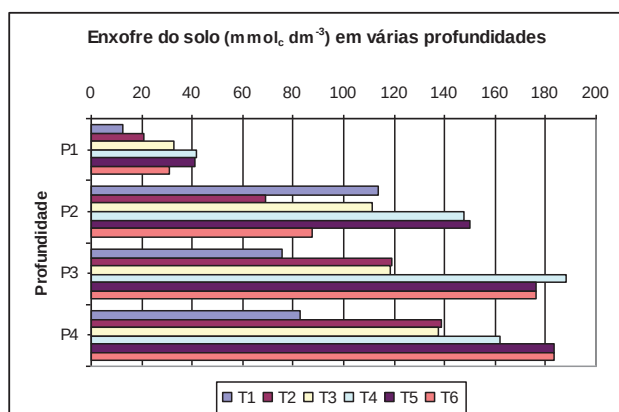


Figura 39: Enxofre do solo nas quatro profundidades amostradas.

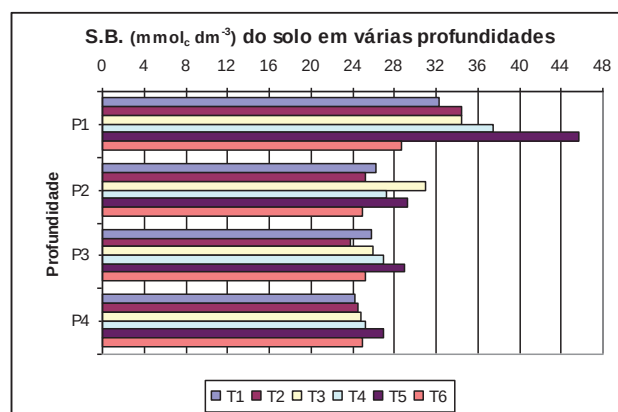


Figura 40: Soma de Bases do solo nas quatro profundidades amostradas.

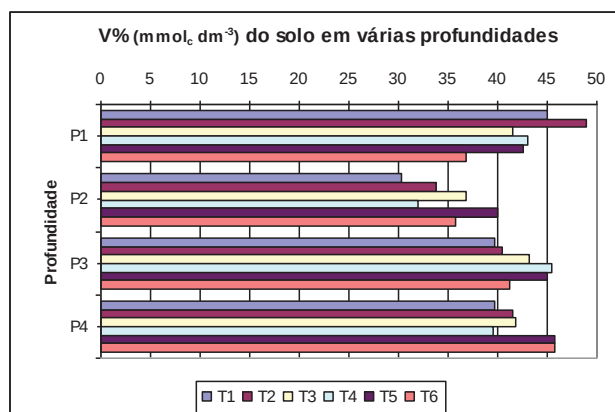


Figura 41: V% do solo nas quatro profundidades amostradas.

Quadro 79: Concentração de boro no solo (mg dm⁻³), no final da fase experimental em quatro profundidades.

Profundidade	Tratamentos						MÉDIA
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	
P1	0,23 ABa	0,11 Cab	0,17 BCa	0,21 ABCa	0,28 Aa	0,22 ABa	0,20 a
P2	0,10 Ab	0,15 Aa	0,12 Aab	0,11 Ab	0,11 Ab	0,13 Ab	0,12 b
P3	0,11 Ab	0,09 Aab	0,08 Ab	0,09 Ab	0,08 Ab	0,07 Ab	0,09 bc
P4	0,05 Ab	0,05 Ab	0,05 Ab	0,04 Ab	0,06 Ab	0,06 Ab	0,05 c
MÉDIA	0,12 A	0,10 A	0,10 A	0,11 A	0,13 A	0,12 A	0,11
CV % (tratamentos)	= 40,1600						
CV% (profundidades)	= 41,7200						
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 0,0531						
DMS (Tukey 5%) profundidade	= 0,0367						
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de prof.	= 0,0985						
DMS (Tukey 5%) prof. dentro de trat.	= 0,0899						

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na linha e minúscula na coluna), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

Quadro 80: Concentração de cobre no solo (mg dm⁻³), no final da fase experimental em quatro profundidades.

Profundidade	Tratamentos						MÉDIA
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	
P1	8,9 Aa	6,0 Aa	7,9 Aa	8,1 Aa	8,5 Aa	7,4 Aa	7,8 a
P2	5,1 Aa	5,9 Aa	5,8 Aa	5,1 Aa	6,2 Aa	6,0 Aa	5,7 b
P3	4,4 Aa	5,0 Aa	3,3 Aa	3,9 Aa	4,8 Aa	3,8 Aa	4,2 c
P4	2,6 Aa	2,7 Aa	2,9 Aa	3,1 Aa	2,3 Aa	2,7 Aa	2,7 d
MÉDIA	5,2 A	4,9 A	5,0 A	5,0 A	5,4 A	5,0 A	5,1
CV % (tratamentos)	= 21,5800						
CV% (profundidades)	= 24,9700						
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 1,2648						
DMS (Tukey 5%) profundidade	= 0,9745						
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de prof.	=						
DMS (Tukey 5%) prof. dentro de trat.	=						

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na linha e minúscula na coluna), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

Quadro 81: Concentração de ferro no solo (mg dm⁻³), no final da fase experimental em quatro profundidades.

Profundidade	Tratamentos						MÉDIA
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	
P1	33,2 Ca	33,0 Ca	58,2 Ba	85,1 Aa	106,0 Aa	45,6 BCa	60,2 a
P2	24,7 Aa	26,3 Aa	24,0 Ab	20,4 Ab	25,9 Ab	28,5 Aab	25,0 b
P3	17,4 Aa	20,1 Aa	14,5 Ab	15,6 Ab	16,1 Ab	15,0 Ab	16,5 bc
P4	12,3 Aa	11,7 Aa	12,5 Ab	14,4 Ab	12,8 Ab	13,8 Ab	12,9 c
MÉDIA	21,9 C	22,8 BC	27,3 BC	33,8 AB	40,2 A	25,7 BC	28,6
CV % (tratamentos)	= 39,9900						
CV% (profundidades)	= 40,0200						
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 11,5208						
DMS (Tukey 5%) profundidade	= 8,7733						
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de prof.	= 23,0418						
DMS (Tukey 5%) prof. dentro de trat.	= 24,4901						

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na linha e minúscula na coluna), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

Quadro 82: Concentração de manganês no solo (mg dm⁻³), no final da fase experimental em quatro profundidades.

Profundidade	Tratamentos						MÉDIA
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	
P1	13,2 Aa	11,4 Aa	13,9 Aa	17,1 Aa	17,3 Aa	18,6 Aa	15,3 a
P2	7,4 Aa	15,3 Aa	10,1 Aa	7,6 Aa	7,7 Aa	8,7 Aa	9,5 b
P3	8,6 Aa	3,8 Aa	5,3 Aa	6,7 Aa	4,9 Aa	4,2 Aa	5,6 c
P4	3,9 Aa	3,2 Aa	4,9 Aa	2,3 Aa	3,8 Aa	4,2 Aa	3,8 c
MÉDIA	8,3 A	8,4 A	8,5 A	8,4 A	8,4 A	8,9 A	8,5
CV % (tratamentos)	= 46,8900						
CV% (profundidades)	= 53,2600						
DMS (Tukey 5%) tratamento	= 4,5980						
DMS (Tukey 5%) profundidade	= 3,4771						
DMS (Tukey 5%) trat. dentro de prof.	=						
DMS (Tukey 5%) prof. Dentro de trat.	=						

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na linha e minúscula na coluna), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

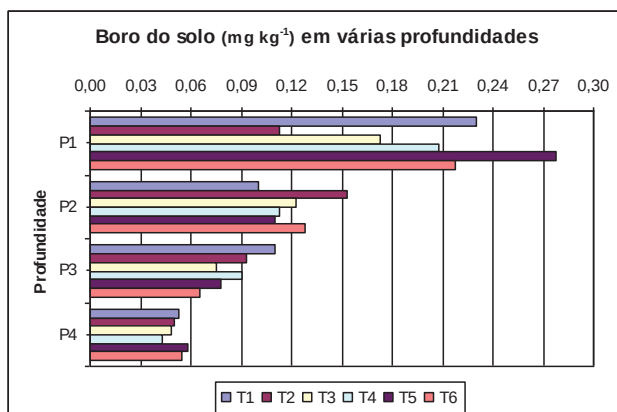


Figura 42: Boro do solo nas quatro profundidades amostradas.

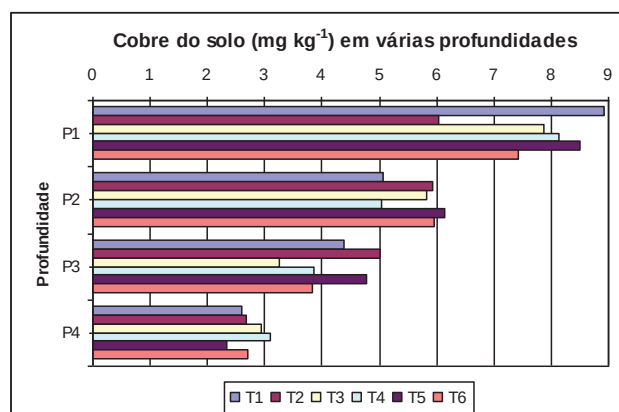


Figura 43: Cobre do solo nas quatro profundidades amostradas.

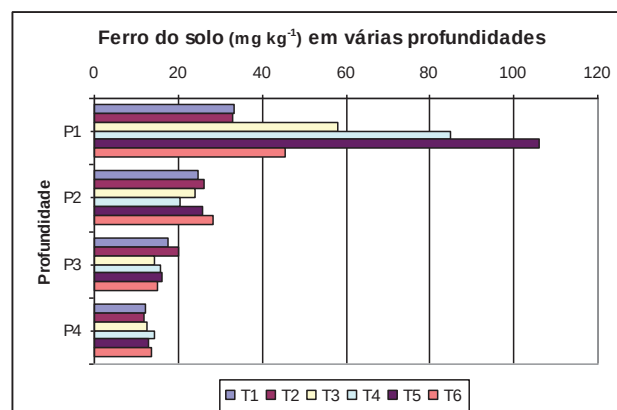


Figura 44: Ferro do solo nas quatro profundidades amostradas.

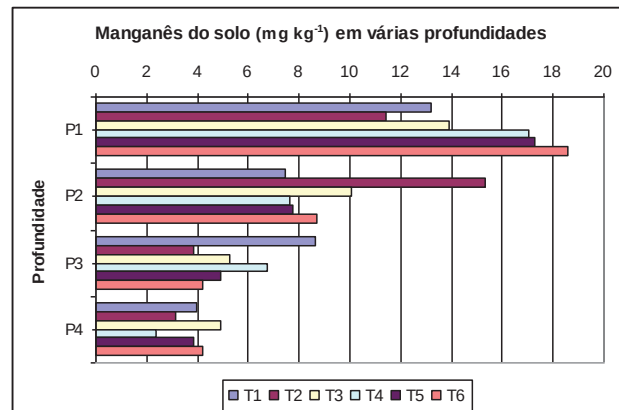


Figura 45: Manganês do solo nas quatro profundidades amostradas.

Quadro 83: Concentração de zinco no solo (mg dm^{-3}), no final da fase experimental em quatro profundidades.

Profundidade	Tratamentos						MÉDIA
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	
P1	4,2 Ca	4,4 Ca	7,4 Ca	12,8 Ba	18,9 Aa	4,7 Ca	8,7 a
P2	2,3 Aab	1,4 Aab	0,8 Ab	1,0 Ab	1,3 Ab	1,9 Aab	1,5 b
P3	1,2 Aab	1,2 Aab	0,8 Ab	0,7 Ab	0,6 Ab	0,5 Ab	0,8 b
P4	0,5 Ab	0,4 Ab	0,6 Ab	0,7 Ab	0,6 Ab	0,7 Ab	0,6 b
MÉDIA	2,1 B	1,8 B	2,4 B	3,8 AB	5,3 A	1,9 B	2,9

CV % (tratamentos) = 64,2500

CV% (profundidades) = 62,5100

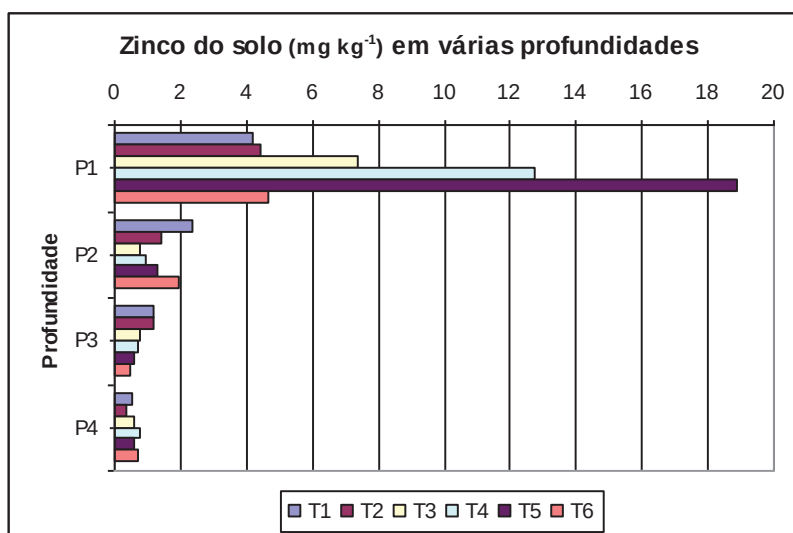
DMS (Tukey 5%) tratamento = 2,1356

DMS (Tukey 5%) profundidade = 1,3883

DMS (Tukey 5%) trat. dentro de prof. = 3,7715

DMS (Tukey 5%) prof. dentro de trat. = 3,3885

* médias seguidas de mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

**Figura 46:** Zinco do solo nas quatro profundidades amostradas.

Por fim, cabe ressaltar que nas demais profundidades não ocorreram diferenças significativas entre os teores de todos os micronutrientes analisados, para todos os tratamentos. Em média, foram observadas diminuições nos teores dos mesmos à medida que se aumentou a profundidade de amostragem.

Galdos et al. (2003) também observaram aumentos nos teores de Cu, Zn, Fe e MO, principalmente na camada de 0-5cm, prevendo uma tendência de aumento nas camadas mais inferiores após seguidas aplicações. Essa previsão não condiz com o observado no presente estudo, uma vez que, após quatro aplicações sucessivas de doses relativamente altas de lodo, no intervalo de dois anos, não foram encontrados, em profundidade, teores significativamente diferentes da testemunha e do tratamento com adubo mineral.

Com base nessas informações e discussões relativas às amostras de solo coletadas em quatro diferentes profundidades, pode-se afirmar que a aplicação de doses relativamente altas de lodo de esgoto por quatro vezes consecutivas em dois anos, para o tipo de solo em estudo, causou acúmulo de nutrientes e matéria orgânica nas camadas superficiais do solo, na mesma profundidade de incorporação, aumentos esses que foram significativos ou não, de acordo com as características do lodo de esgoto utilizado. Porém, em profundidades maiores não se observou o mesmo comportamento, uma vez que os valores obtidos para os tratamentos com lodo foram iguais àqueles obtidos na testemunha e no tratamento com adubação mineral, permitindo a suposição de que não há riscos de carreamento dos elementos analisados ao longo do perfil do solo, quando se consideram as doses, o período de utilização e o tipo de solo estudados neste trabalho, cabendo ressaltar que outros resultados poderão ser obtidos quando forem consideradas situações diferentes daquelas definidas para o presente estudo.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O grande idealizador deste trabalho, Prof. Dr. Paulo Rodolfo Leopoldo, falecido em 2000, que em conjunto com o autor elaborou o plano de pesquisa, tinha como objetivo principal tornar a Estação de Tratamento de Esgoto do Lageado (ETL) uma estrutura auto-sustentável, simples, de baixo custo e possível de ser colocada em prática nos locais afastados das zonas urbanas e, conseqüentemente, das redes coletoras de esgoto.

Como o lodo de esgoto é gerado em grandes quantidades até em pequenas estações de tratamento e a sua reciclagem como fertilizante sempre foi tida como a melhor e mais interessante alternativa, achou-se por bem verificar se isso se confirmaria para o lodo da ETL, uma vez que este não passava por nenhum tratamento que não fosse a secagem ao sol. Caso essa viabilidade fosse observada, o sistema como um todo daria um importante passo no sentido da sustentabilidade, restando ainda alguns pontos para estudos posteriores.

Daí decorreu a preocupação em se realizar uma proposta de pesquisa tão detalhada, ou seja, baseada nas determinações de parâmetros relacionados ao solo, plantas e água do freático.

Porém, nem todas as atividades planejadas inicialmente puderam ser realizadas de maneira satisfatória, pois algumas necessitaram de alterações no decorrer da fase experimental para se enquadrarem nas reais condições existentes para o seu desenvolvimento,

enquanto que outras, mesmo com muito esforço não foram, capazes de fornecer resultados satisfatórios.

O maior problema encontrado foi com as coletas de solução do solo, que estavam previstas para cada ensaio, com o intuito de avaliar a existência do caminhamento de nutrientes no perfil do solo, verificando os perigos de contaminação das águas subterrâneas quando se utiliza lodo de esgoto como fertilizante. Porém, a ocorrência de problemas nos extratores, ligados à perda de vácuo e à retirada de solução, fez com que poucas amostras fossem retiradas e, portanto, seus resultados não puderam ser apresentados nem discutidos no decorrer deste trabalho por não apresentar subsídios à discussões.

A grande variabilidade observada nos resultados de água drenada para o freático pode ser atribuída à quebra da estrutura natural do solo quando se enterrou as caixas de coleta, apesar da retirada de solo ter sido feita com muito critério, dividindo-o em três montes para serem recolocados de acordo com a profundidade, de modo a se ter no interior das caixas uma estrutura mais próxima da original. Outro agravante foi a pequena profundidade de coleta (aproximadamente 0,60m), que não condiz com a recomendação mínima de altura do lençol freático para a utilização do lodo como adubo, ficando como sugestão para estudos posteriores a construção de poços mais profundos e parcelas mais distantes para minimizar as possibilidades de contaminações entre os tratamentos.

Outra falha ocorrida durante a fase experimental foi a não determinação das lâminas de água aplicadas via irrigação, principalmente nos ensaios de inverno, pois certamente essa prática teve alguma influência nos resultados obtidos. Porém não se pode determinar até que ponto tais influências foram benéficas ou maléficas.

A maioria dos trabalhos relacionados com o uso do lodo de esgoto na agricultura não deixa de ressaltar os problemas encontrados nas diversas fases, os quais estão sempre relacionados com a falta de conhecimento total do material e, principalmente, à resistência dos colaboradores em se trabalhar com resíduos dessa natureza. Isso ocorre, principalmente, quando se utiliza o material úmido, o qual se apresenta pastoso e com aspecto e odores desagradáveis. Além disso, causa desuniformidade na aplicação e incorporação, podendo ficar aderido nas carretas, pneus e ferramentas utilizadas para transporte e operações agrícolas. Porém, cabe ressaltar que para as grandes estações de tratamento de esgoto, a secagem total do

lodo, como foi feita no presente trabalho, se torna inviável devido aos custos e ao volume gerado.

Problemas dessa natureza não foram observados na realização deste trabalho, provavelmente devido a utilização de lodo seco e moído, o qual se apresentou com aspectos semelhantes ao de fertilizantes minerais e com odores bem diferentes dos característicos. Sendo assim, os funcionários e alunos da FCA/UNESP que colaboraram com o autor realizaram de maneira satisfatória as aplicações, salientando a facilidade na separação das quantidades necessárias para cada parcela, bem como na aplicação, uniformização e incorporação ao solo. Para eles, o único incômodo foi a utilização obrigatória de máscaras, luvas e roupas compridas.

Um agravante relacionado ao lodo foi a necessidade de coletas diárias para se conseguir alcançar as quantidades referentes a cada ensaio. Essas coletas diárias, teoricamente, não permitem uma estabilização do material e, provavelmente, foi responsável pela variabilidade de composição do material utilizado e dos resultados obtidos.

Diante de todas essas observações, pode-se afirmar que, mesmo com o desbalanceamento nos teores de nutrientes apresentado pelo lodo, principalmente a baixa concentração de potássio, sua utilização como fertilizante agrícola, mais uma vez, se mostrou uma interessante alternativa de disposição, confirmando a recomendação de muitos autores que uma suplementação com fonte potássica para maximizar seu potencial fertilizante é de grande importância para o sucesso dessa prática.

Porém, não se pode desprezar os critérios e normas já existentes ou em fase de aprovação, que regulamentam essa prática, através de monitoramentos utilizando algumas técnicas apresentadas nesse trabalho, visando evitar contaminações do solo, das plantas e das águas superficiais e subterrâneas, contribuindo para a preservação ambiental.

Por fim, cabe ressaltar que mesmo diante das dificuldades encontradas, comum em todas as atividades de pesquisa, acredita-se que o objetivo foi alcançado, tanto na formação de material humano para dar continuidade aos estudos nessa área, quanto no fornecimento de informações e subsídios importantes para o desenvolvimento de novas pesquisas relacionadas ao meio ambiente e, principalmente, ao uso racional do lodo de esgoto na agricultura.

8. CONCLUSÕES

Nas condições e no período de tempo em que foi realizado o presente trabalho, pode-se concluir que:

- A aplicação de doses crescentes de lodo proporcionou aumentos de altura, diâmetro de colmo e número de folhas em plantas de milho quando comparadas com a testemunha e com o tratamento com adubação mineral. Esses aumentos foram crescentes à medida que se aumentou a dose de lodo.
- Os componentes de produção não mostraram diferenças significativas entre os tratamentos, porém, quando foram consideradas as médias, os tratamentos com lodo sempre mostraram resultados superiores à testemunha e iguais ao tratamento com adubo.
- No primeiro ensaio as produtividades foram altas e iguais para todos os tratamentos com lodo, inclusive a testemunha. Nos ensaios subsequentes foi maior que a testemunha em todos os tratamentos com lodo e naquele com adubo. As produtividades de todos os tratamentos

apresentaram quedas significativas a cada ensaio, as quais foram mais marcantes para a testemunha.

- A aplicação de lodo, independentemente da dose, promoveu aumentos nos teores de matéria orgânica, P e micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn), bem como na CTC do solo. Além disso houve diminuição do pH e nos teores de K, Ca e Mg, com consequente aumento da acidez potencial (H+Al).
- Nas análises foliares observou-se, exceto para o potássio, que os teores dos nutrientes nas plantas fertilizadas com lodo de esgoto apresentaram-se dentro das faixas de valores definidas como adequadas pela literatura. Os tratamentos com lodo apresentaram maiores teores de P e Zn em relação aos demais tratamentos e de N, S e Cu apenas em relação à testemunha. Os teores de K foram menores em relação aos demais tratamentos.
- Para as amostras de solo coletadas em diferentes profundidades, observou-se que a aplicação de altas doses de lodo de esgoto por quatro vezes consecutivas em dois anos causou acúmulo de nutrientes e matéria orgânica apenas nas camadas superficiais do solo, com exceção do enxofre que lixiviou para camadas mais profundas. Essa conclusão é pertinente quando se considera o período estudado, não sendo possível fazer afirmações para intervalos de tempo diferentes. Há que se considerar também as condições de solo, clima, cultura, tipo de lodo, etc.
- Se fosse necessária a recomendação de uma dose de lodo ideal para o fornecimento de nutrientes à cultura do milho, baseada nos resultados ora apresentados, esta ficaria entre 10 e 20t ha⁻¹, que é a faixa onde foram observadas as maiores produtividades e a permanência de menos “resíduos” no solo. Porém, seria imprescindível uma complementação com uma fonte de K e, no caso de haver essa complementação, a dose ideal provavelmente mudaria.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ²

ABRAHÃO, E.C. **Efeito de doses de lodo de esgoto sobre a fertilidade, atividade de amilase e celulase de um Latossolo Vermelho textura média.** 1992. 110 f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Jaboticabal, 1992.

ALABURDA, J.; NISHIHARA, L. Presença de compostos de nitrogênio em águas de poços. **Revista Saúde Pública**, vol. 32, n. 2, p.160-165, abr.1998.

ALGUZ, E.S. **Produção de matéria seca e absorção de nutrientes pelo sorgo granífero cultivado em solo que recebeu biossólido.** 1993. 140 f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Jaboticabal, 1993.

ANDRÉ, E.M. **Atividade biológica do solo e disponibilidade de nutrientes e metais pesados para a cultura do sorgo granífero , em solo acrescido de lodo de esgoto.** 1994. 123 f. Monografia (Graduação em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Jaboticabal, 1994.

ANDREOLI, C.V.; PEGORINI, E.S. Gestão de biossólidos: situação e perspectivas. In: SEMINÁRIO SOBRE GERENCIAMENTO DE BIODSÓLIDOS DO MERCOSUL, 1., 1998, Curitiba-PR. **Anais...** Curitiba: SANEPAR/ABES, 1998. p.11-18.

² ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023:** informação e documentação – Referências – Elaboração. Rio de Janeiro, 2002. 24 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RECURSOS HÍDRICOS. **Política e sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos**. São Paulo, 1997. 64 p.

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPB, 1991. 218 p. (Estudos da FAO)

AYUSO, M. et al. Utilización d'un lodo aerobio como sustitutivo de fertilizantes fosforados inorgánicos. **Suelo y Planta**, Murcia, v.2, p.271-280, 1992.

BARRETO, M.C.V. **Degradação da fração orgânica de diferentes resíduos e efeitos em algumas propriedades químicas e físicas de dois solos**. 1995, 106 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", USP, Piracicaba, 1995.

BATAGLIA, O.C. et al. Resíduos orgânicos como fontes de nitrogênio para capim-braquiária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.7, p. 277-284, 1983.

BENICASA, M.; ORTOLANI, A.F.; LUCAS JR.; J. **Biodigestores convencionais**. Jaboticabal: FCAV, UNESP, 1986. 25 p. (Boletim técnico, 8).

BERNARDES, L.F. **Efeitos da aplicação de lodo de esgoto nas propriedades físicas do solo**. 1982, 63 f., Monografia (Graduação em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Jaboticabal, 1982.

BERTHET, B. Coefficient de degradation de la charge bacterienne en Presqu'ile Guerandaise. In: SEMINAIRE L'ÉPURATION PAR LAGUNAGE, 1982, Montpellier. **Resumes ...** Montpellier: Ed. Cerete, 1982. p. 4.

BERTON, R.S. et al. Peletização do lodo de esgoto e adição de CaCO_3 na produção de matéria seca e absorção de Zn, Cu e Ni pelo milho em três latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, p. 685-691, 1997.

BERTON, R.S.; CAMARGO, O.A.; VALADARES, J.M.A.S. Absorção de nutrientes pelo milho em resposta à adição de lodo de esgoto a cinco solos paulistas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.13, n.2, p. 187-192, 1989.

BERTONCINI, E. I.; MATIAZZO, M. E. Lixiviação de metais pesados em solos tratados com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v. 23, n. 3, p. 737-744, 1999.

BERTONCINI, E.I. **Mobilidade de metais pesados em solos tratados com lodo de esgoto**. 1997, 90 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", USP, Piracicaba, 1997.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: EMBRAPA, 2000. 312 p.

BETTIOL, W.; CARVALHO P.C.T. Lodo de esgoto como fertilizante para a cultura do milho (*Zea mays* L.) híbrido HMD, 7974. **Fertilizantes**, v. 4, n. 3 p. 9-11, 1982a.

BETTIOL, W.; CARVALHO P.C.T. Utilização do lodo de esgoto primário e fertilizante organomineral IPT na cultura do milho. **Fertilizantes**, v. 4, n. 1 p. 14-15, 1982b.

BLAKE, G. Utilization des plantes vasculaires aquatiques en lagunage. In: SEMINAIRE L'ÉPURATION PAR LAGUNAGE, 1982, Montpellier. **Resumes ...** Montpellier: Ed. Cerete, 1982. p. 5.

BOARETTO, A.E. (Coord.) **Uso de lodo de esgoto como fertilizante**. Botucatu: UNESP/FINEP, 1986. 185 p. (Relatório técnico).

BRAILE, P.M. Disposição de efluentes sobre o terreno. In: BRAILE, P.M.; CAVALCANTE, J.E.W.A. **Manual de tratamento de águas residuárias industriais**. São Paulo: CETESB/Ed. Hamburg, 1979. p. 565-601.

BRANCO, S.M. **Hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária**. 3.ed. São Paulo: CETESB/ASCETESB, 1986. 640 p.

BRASIL. **Legislação Federal**: controle da poluição ambiental. São Paulo: CETESB, 1995. 213 p. (Série Documentos) .

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 1469. Normas e padrão da potabilidade da água destinada ao consumo humano. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, 2000.

BREDA C.C. et al. Utilização de húmus de lodo de esgoto doméstico na produção de hortaliça: Efeitos na qualidade da água drenada pelo solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002, Salvador. **Anais...** Salvador: SBEA, 2002. 1 CD-ROM (Paper: SCA-20).

BREDA, C.C. **Ensaio de tratamento de efluentes de indústria de chapa dura de fibra de madeira**. 1999, 107 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Botucatu, 1999.

BREDA, C.C.; LEOPOLDO, P.R. Ensaio de tratamento de efluentes de indústria de chapa dura de fibra de madeira. In: SIMPÓSIO EM ENERGIA NA AGRICULTURA, 1., 1999, Botucatu. **Anais ...** Botucatu: FCA/UNESP, 1999. p. 73-78.

CABRAL, B. **Legislação estadual de recursos hídricos**. Senado Federal: Brasília, v. 21, 1997.

CAPOZOLI, U. Escassez é o grande temor do futuro. **O Estado de São Paulo**, São Paulo, 19out. 1997. Cidades, p. C3.

CARVALHO, W. A.; ESPINDOLA, C. R.; PACCOLA, A. A. **Levantamento de solos da Fazenda Lageado**. Botucatu, 1983, Boletim Científico FCA/UNESP, n. 1, 95 p. (Segunda edição revisada e atualizada, 2001) - no prelo.

CLAPP, C. E. et al. Sewage sludge organic matter and soil properties. In: CHEN, Y.; AVNIMELECH, Y. (Ed.) **The role of organic matter in modern agriculture**. Dordrecht: Martinus Nijhoff Publishers, 1986. cap. 10, p. 209-253.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Tratamento de esgotos na Região Metropolitana de São Paulo, 2003**. Disponível em: <http://www.sabesp.com.br/o_que_fazemos/coleta_e_tratamento/tratamento_metropolitano.htm>. Acesso em: 12jan.2004.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Tratamento de esgotos na Região Metropolitana de São Paulo, 2000: números do Sistema Principal**. Disponível em: <http://www.sabesp.com.br/o_que_fazemos/coleta_e_tratamento/tratamento_metropolitano_numerossistemaprincipal.htm> Acesso em: 12jan.2004.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ **Manual técnico para utilização agrícola do lodo de esgoto no Paraná**. Curitiba: SANEPAR, 1997.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL. **Aplicação de biossólidos em áreas agrícolas: critérios para projeto e operação**. São Paulo: CETESB, 1998. 36 p. (Documento não homologado).

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Comparativo de área, produção e produtividade de milho nas safras 2000/2001 e 2001/2002. Disponível em: <http://www.corretoramercado.com.br/estatistica_detalhes.asp?idestatistica=15>. Acesso em: 15ago.2003.

CONSÓRCIO ETEP/ESTÁTICA/JNS. **Relatório de Contrato SABESP 14.002/93: diretrizes para a implantação da desidratação mecânica nas ETE's PNM e SMG e secagem térmica na ETE SMG**. Ver. 3: 1996.

CONTE, M.L. **Espécies químicas dissolvidas no Ribeirão Lavapés, Botucatu - SP**. 1992, 123 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Botucatu, 1992.

CONTE, M.L. et al. Tratamento de águas servidas no meio rural através de processo fitopedológico: resultados preliminares. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 21., 1992, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: SBEA, 1992. p. 1018-1029.

CONTE, M.L. et al. Variables físico-químicas y calidad del agua em cuenca hidrografica utilizada para actividades agrícolas. **Revista Agrociencia**, Concepción, v. 18, n. 2, p. 117-122, 2002.

CONTE, M.L.; LEOPOLDO, P.R. Aspectos de direito ecológico internacional. **Revista Ciência Geográfica**, Bauru, n. 9, p. 14-16, 1998.

CONTE, M.L.; LEOPOLDO, P.R. **Avaliação de recursos hídricos: Rio Pardo, um exemplo**. São Paulo: EDUNESP, 2001. 141 p.

CONTE, M.L.; LEOPOLDO, P.R.; AMORIM, R.F.C. Uso da taboa na remoção de carga poluidora originária de efluente doméstico. In: CONGRESO LATINOAMERICANO DE INGENIERIA RURAL, 2., CONGRESO ARGENTINO DE INGENIERIA RURAL, 5., 1998, La Plata. **Anais ...** La Plata: Asociación Latinoamericana de Ingenieria Agrícola, 1998. 6 p. 1 CD-ROM (Paper: IRC53).

CRIPPS, R.W.; MATOCHA, J.E. Effect of sewage sludge application to ameliorate iron deficiency of grain sorghum. **Communications in soil science and plant analysis**, New York, n. 22, p. 1705-1715, 1992.

D'AMBROSIO, O. O planeta pede água. **Jornal da UNESP**, São Paulo, n. 58, p. 8-9, ago.2001.

DAVID, A.C. **Secagem térmica de lodos de esgoto. Determinação da umidade de equilíbrio**. 2002, 163 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, USP, São Paulo, 2002.

DEFELIPO, B.V. et al. Eficiência agronômica do biossólido proveniente de uma siderúrgica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15. p. 389-393, 1991.

DIAS, F. L. F. **Efeito da aplicação de calcário, lodo de esgoto e vinhaça em solo cultivado com sorgo gramífero (*Sorghum bicolor* L. Moench)**. 1994, 74 f. Monografia (Graduação em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Jaboticabal, 1994.

DOS SANTOS, H.F. Uso do lodo de estações de tratamento de esgoto em solos agrícolas. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES ORGÂNICOS, 1., 1984, Botucatu. **Anais...** São Paulo: IPT, 1984. p. 69-93.

DOWDY, R.H. et al. Trace metal movement in an aeric ochraqualf following 14 years of annual sludge applications. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 20, n. 1, p 119-123, 1991.

DYNIA, J.F.; BOEIRA, R.C. Implicações do uso de lodo de esgoto como fertilizante em culturas anuais: nitrato no solo. **Comunicado Técnico da Embrapa Meio Ambiente** Ministério da Agricultura e do Abastecimento novembro, n. 4, nov.2000. 2 p.

FAVARETTO, N. et al. Efeito do lodo de esgoto na fertilidade do solo e no crescimento e produtividade do milho (*Zea mays* L.). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 40, n. 4, p. 837-848, 1997.

FIEST, L.C. et al. Influência da aplicação de lodo de esgoto nas propriedades químicas do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27., 1999, Brasília. **Anais...** Brasília: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999, 1 CD-ROM (Paper: 059-7).

FREITAS, M.B. de; BRILHANTE, O.M.; ALMEIDA, L. M. de. Importância da análise de água para a saúde pública em duas regiões do Estado do Rio de Janeiro: enfoque para coliformes fecais, nitrato e alumínio. **Caderno de Saúde Pública**, v. 17, n. 3, p. 651, jun.2001.

GALDOS, M.V.; DE MARIA, I.C.; CAMARGO, O.C. Alterações em propriedades químicas de um latossolo vermelho eutrófico tratado com lodo de esgoto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Anais ...** Ribeirão Preto: Agromídia, 2003, 4 p. 1 CD-ROM (Paper: P3-15).

GASI, T.M.T. **Opções para tratamento de esgotos de pequenas comunidades**. São Paulo: CETESB, 1988. 36 p. (Série Manuais, 3).

GLÓRIA, N.A. Uso agrônomo de resíduos. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 22., 1992, Piracicaba. **Anais ...** Campinas: Fundação Cargill, 1992, p. 195-212.

GUIMARÃES, A.B.; BREDAS, C.C.; LEOPOLDO, P.R. Papel do Agupé na despoluição de águas servidas no meio rural. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 28., 1999, Pelotas. **Anais ...** Pelotas: SBEA, 1999, 5 p. 1 CD-ROM. (Paper: SCA-45).

GUIMARÃES, A.B.; CONTE, M.L. Processo fito-pedológico para o tratamento de águas servidas. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNESP, 9., 1997, Jaboticabal. **Anais ...** Jaboticabal: UNESP, 1997. Não paginado.

HUE, N.V. Sewage sludge In: RECHCIGL, J.E. (Ed.) **Soil amendments and environmental quality**. Boca Raton: Lewis Publishers, 1995. p.199-247.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa nacional de saneamento básico, 2000: IBGE mapeia os serviços de saneamento básico no país**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/27032002pnsb.shtm>>. Acesso em: 12jan.2004. (a)

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa nacional de saneamento básico, 2000: Distritos, total e sem rede coletora de esgoto, por principal solução alternativa, segundo as grandes regiões, unidades da federação, regiões metropolitanas e municípios das capitais – 2000 (Tabela 46)**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb/esgotamento_sanitario/esg_sanitario46.shtm>. Acesso em: 12jan.2004. (b)

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa nacional de saneamento básico, 2000: Distritos com coleta de esgoto sanitário, com tratamento de esgoto sanitário e sem tratamento de esgoto sanitário, por tipo de corpos receptores, segundo as grandes regiões, unidades da federação, regiões metropolitanas e municípios das capitais - 2000 (Tabela 50).** Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb/esgotamento_sanitario/esg_sanitario50.shtm. Acesso em: 12jan.2004. (c)

KAWAY, H. et al. Avaliação de desempenho de lagoas de estabilização. São Paulo: CETESB, 1990. 15 p. (Série Manuais, 7).

KHALEEL, R.; REDDY, KR; OVERCASH, M.R. Changes in soils physical properties due to organic wastes applications: a review. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 10, n. 2, p. 133-141, 1981.

KIEHL, J.C. **Manual de edafologia e relações solo-planta**. 2. ed., São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 262 p.

KING, L.D.; MORRIS, H.D. Land disposal of liquid sewage sludge II. The effect on soil, pH, manganese, zinc, and growth and chemical composition of rye (*Cecale cereale* L.). **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 1, n. 4, p. 425-429, 1972.

LEOPOLDO, P.R.; GUIMARÃES, A.B.; BREDA, C.C. Tratamento de efluentes domésticos em zona rural através do uso de sistema com plantas aquáticas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 28., 1999, Pelotas. **Anais ...** Pelotas: SBEA, 1999, 6 p. 1 CD-ROM (Paper: SCA-19).

LOGAN, T. J. et al. Field assessment of sludge metal bioavailability to crops: sludge rate response. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 26, n. 2, p. 534-550, 1997.

LUCAS JR., J. **Algumas considerações sobre o uso de estrume de suínos como substrato para três sistemas de biodigestores anaeróbio**. 1994, 137 f. Tese (Livre Docência) Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Jaboticabal, 1994.

LUDUVICE, M. Gestão de biossólidos e o mercosul. In: SEMINÁRIO SOBRE GERENCIAMENTO DE BIOSSÓLIDOS DO MERCOSUL, 1., 1998, Curitiba. **Palestras ...** Curitiba: SANEPAR/ABES, 1998. p. 9-10.

MALAVOLTA, E; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFÓS, 1997. 201 p.

MANCUSO, P.C.S. et al. Reuso da água. Rev. DAE, São Paulo, n. 167, 1992.

MARCIANO, C.R. et al. Processo de formação de solos salinizados no perímetro hidroagrícola Califórnia, em Canindé do São Francisco, SE. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Anais ...** Ribeirão Preto: Agromídia, 2003. 4 p. 1 CD-ROM (Paper: M5-23).

MARQUES, M.O. **Efeitos da aplicação de lodo de esgoto na produtividade e qualidade da cana-de-açúcar.** 1990, 164f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, USP, Piracicaba, 1990.

MARQUES, M.O. **Incorporação de lodo de esgoto em solo cultivado com cana-de-açúcar.** 1996, 137 f. Tese (Livre Docência) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Jaboticabal, 1996.

MATSUMOTO, T. **Comparação entre filtração ascendente e descendente de água decantada utilizando areia como meio filtrante.** 1987, Não paginado. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 1987.

McBRIDE, M.B. Environmental Issues. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 24, p. 5-18, 1995.

MELO, W.J. et al. Efeitos de doses crescentes de lodo de esgoto sobre frações da matéria orgânica e CTC de um latossolo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, p. 449-455, 1994.

MELO, W.J. et al. Uso de resíduos sólidos urbanos na agricultura e impactos ambientais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. **Palestras...** Rio de Janeiro: SBCS, 1997.

MELO, W.J.; MARQUES, M.O.; MELO, V.P. O uso agrícola do biossólido e as propriedades do solo. In: TSUTIYA, M. T. et al. **Biossólidos na agricultura.** São Paulo: SABESP, 2001. p. 289-363.

METCALF & EDDY INCORPORATION. Wastewater engineering treatment, disposal and reuse. 2. ed. New York: McGraw Hill, 1979. 920 p.

NANNI, D. **Nitrato na água potável pode aumentar o risco de câncer na bexiga?** Disponível em: <<http://www.ifi.unicamp.br/~knobel/radar/newspro/fullnews.cgi?newsid987635568,73509,Medicina>>. Acesso em: 14jan.2004.

NASCIMENTO, E.B.; BOTEGA, J.C. **Utilização de lodo de esgoto na propriedade agrícola.** Curitiba: SANEPER, 1996. 156 p.

OLIVEIRA, F.C. **Disposição de lodo de esgoto e composto de lixo urbano num latossolo vermelho-amarelo cultivado com cana de açúcar.** 2000, 247 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Solos e nutrição de plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, USP, Piracicaba, 2000.

OLIVEIRA, F.C. **Metais pesados e formas nitrogenadas em solos tratados com lodo de esgoto**. 1995, 90 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, USP, Piracicaba, 1995.

PAGANINI, W.S. **Disposição de esgotos no solo**. 2.ed. São Paulo: Fundo Editorial da AESABESP, 1997. 232 p.

PAIVA, R. O lodo do bem. **Revista Globo Rural**, Rio de Janeiro, n. 158, p. 11-12, 1998.

PALHARES, J.C.P. **Aplicação de dejetos de suínos “in natura” e biofertilizados e suas implicações ambientais e de qualidade de água na aquicultura**. 1998, 130 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Botucatu, 1998.

PATERNIANI, J.E.S. **Utilização de mantas sintéticas não tecidas na filtração lenta em areia de águas de abastecimento**. 1971. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 1971

PESSOA, M.L. Água potável: o que estamos fazendo com ela? Boletim Informativo da Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 36, p. 3-4, 1989.

PIEIDADE, A.R. et al. Reciclagem do lodo produzido por efluente doméstico no meio rural. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNESP, 9., 1999, Botucatu. **Anais ...** Botucatu: UNESP, 1999. p. 223.

PIETZ, R. I. et al. Application of sewage sludge and other amendments to coal refuse material: III effects on percolate water composition. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 18, p. 174-179, 1989.

PIGOZZO-JORDÃO, A.T. **Comportamento de metais pesados com a disposição de lodo de esgoto: acúmulo no solo e plantas de milho de milho (*Zea mays* L.)**. 2003, Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Botucatu, 2003.

POSTEL, S.L.; DAILY, G.C.; EHRLICH, P.R. Human appropriation of renewable fresh water. *Science*, v. 271, p. 785-788, 1996.

RAIJ, B.V. et al. (Eds.) Recomendação de adubação e calagem para o estado de São Paulo, 2. ed., Boletim Técnico do Instituto Agrônomo, Campinas, n. 100, p. 1-285, 1996.

RAIJ, B.V.; et al. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas: Fundação Cargill, 1987, 170 p.

REBOUÇAS, A.C. Panorama da água doce no Brasil. In: _____. (Org.) **Panoramas da degradação do ar, da água doce e da terra no Brasil**. São Paulo: IEA/USP, 1997. 150 p.

REUTER, J.E.; DJOHAN, T.; GOLDMAN, C.R. The use of wetlands for nutrient removal from surface runoff in a cold climate region of California - results from a newly constructed wetland at Lake Tahoe. **J. Environ. Manage**, v. 35, p. 35-53, 1992.

ROCCO, E.C.; BREDA, C.C. **Sistema de disposição de efluente líquido da fábrica Paula Souza - SDEL P.S..** Botucatu: Duratex ^{S/A}, Fábrica Paula Souza, 1996. 27 p.

RODELLA, A.A.; ALCARDE, J.C. Legislação sobre micronutrientes e metais pesados. In: SIMPÓSIO SOBRE MICRONUTRIENTES E METAIS PESADOS NA AGRICULTURA, 1., 1999, Jaboticabal. **Palestras apresentadas ...**, Jaboticabal: FCAV/UNESP, 1999. (No prelo).

ROS, C.O. et al. Lodo de esgoto: efeito imediato no milho e residual na associação aveia-ervilhaca. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 17, n. 3, p. 257-261, 1993.

ROSTOM, D.M. Considerações sobre o uso de leitos de macrófitas no tratamento de resíduos de pequenas comunidades rurais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22., 1993, Ilhéus. **Anais ...** Ilhéus: SBEA, 1993. p. 3062-3070.

SANTOS, H. F. Aplicação do lodo de estações de tratamento de esgoto em solos agrícolas. **Revista DAE**, São Paulo, n. 122, p. 31-45, 1979.

SÃO PAULO. Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Obras. **Legislação sobre recursos hídricos**. São Paulo: DAEE, 1994. 72 p.

SEKI, L.T. **Estudo da aplicação de doses de calcário e de lodo de esgoto na cultura da aveia branca (*Avena sativa* L.) cv.UFRGS-7, cultivada em latossolo vermelho**. 1995, 63 f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Jaboticabal, 1995.

SHIMADA, P.; BIDONE, F.R.; ALMEIDA FILHO, M. Estudos de lagoas de estabilização para tratamento de esgoto doméstico na região centro-oeste. Cuiabá, **Revista DAE**, v. 47, n. 150, p. 268-276, 1987.

SILVA, F. C. **Uso agrônomo de lodo de esgoto: efeitos em fertilidade do solo e qualidade da cana-de-açúcar**. 1995, 170 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, USP, 1995.

SILVA, M.O.S.A. **Análise físico-química para controle de estações de tratamento de esgoto**, 18. ed. São Paulo: ABES, 1977. 226 p.

SIMONETE, M.A. **Alterações nas propriedades químicas de um argissolo adubado com lodo de esgoto e desenvolvimento e acúmulo de nutrientes em plantas de milho**. 2001, 89 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, USP, Piracicaba, 2001.

SIMONETE, M.A.; KIEHL, J.C.; PLESE, L.P.M. Efeito do lodo de esgoto nas propriedades químicas de um solo podzólico vermelho-amarelo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27., 1999, Brasília. **Anais ...** Brasília: SBCS, 1999. 1 CD-ROM (Paper: 049-2).

SLOAN, J. J.; BASTA, N. T. Remediation of acid soils by using alkaline biosolids. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 24, n. 6, p. 1097-1103, 1995.

SOCOL, V.T. Aspectos sanitários do lodo de esgoto: In: SEMINÁRIO SOBRE GERENCIAMENTO DE BÍOSSÓLIDOS DO MERCOSUL, 1., 1998, Curitiba. **Palestras ...** Curitiba: SANEPAR/ABES, 1998. p. 65-72.

SOMMERS, L.E. Chemical composition of sewage sludges and analysis of their potential use as fertilizers. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 6, n. 2, p. 225-232, 1977.

SOMMERS, L.E. Variable nature of chemical composition of sewage sludges. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 5, n. 3, p. 303-306, 1976.

SOPPER, W.E. **Municipal sludge use in land reclamation**. Boca Raton: Lewis Publishers, 1993. 163 p.

TOLEDO, A.A.G.F.de. **Tratamento de águas residuárias de pocilgas, utilizando biodigestores USAB, sob quatro tempos de retenção hidráulica**. 1996, 67 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Botucatu, 1996.

TSUTIYA, M. T. Características de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgotos. In: TSUTIYA, M. T. et al. **Biossólidos na agricultura**. São Paulo: SABESP, 2001. p. 89-131.

VANZOLINI, S. **Incorporação de calcário, lodo de esgoto e vinhaça na cultura do sorgo granífero (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) em areia quartzosa, em condições de casa de vegetação**. 1994, 114 f. Monografia (Graduação em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Jaboticabal, 1994.

VIEIRA, S.M.M. Tratamento de esgotos por digestores anaeróbios de fluxo ascendente. **Revista DAE**, São Paulo, v.44, n. 139, p. 322-328, 1984.

ZAPPAROLI, A. Sujeira faz gasto com água explodir. **O Estado de São Paulo**, São Paulo, 19out.1997, Cidades, p. C1 e C3.

ZIRSCHKY, J. **Basic design rational for artificial wetlands**. California: Environmental Protection Association, , 1986. (Contract report 68-01-7108).

ZUCCARI, M.L. **Determinação de fatores abióticos e bióticos do Ribeirão Lavapés (Botucatu-SP)**. 1992, 113 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Botucatu, 1992.