

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS - UNICAMP
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA – FEAGRI

**RECUPERAÇÃO DE SOLO DE ÁREA DE EMPRÉSTIMO
COM LODO DE ESGOTO**

GILBERTO COLODRO

CAMPINAS
SETEMBRO DE 2005

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS - UNICAMP
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA – FEAGRI

RECUPERAÇÃO DE SOLO DE ÁREA DE EMPRÉSTIMO COM
LODO DE ESGOTO

*Tese apresentada à Faculdade de Engenharia
Agrícola da Universidade Estadual de Campinas
para obtenção do título de Doutor em Engenharia
Agrícola, Área de Concentração: Água e Solo.*

GILBERTO COLODRO

Orientador: **Prof. Dr. Carlos Roberto Espindola**

CAMPINAS
SETEMBRO DE 2005

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

C714r Colodro, Gilberto
Recuperação de solo de área de empréstimo com lodo
de esgoto / Gilberto Colodro.--Campinas, SP: [s.n.],
2005.

Orientador: Carlos Roberto Espindola.
Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Solos - degradação. 2. Solos - Qualidade. 3. Física
do solo. 4. Química do solo. I. Espindola, Carlos
Roberto. II. Universidade Estadual de Campinas.
Faculdade de Engenharia Agrícola. III. Título.

PARECER

Este exemplar corresponde à redação final da Tese de Doutorado defendida pelo Engenheiro Agrônomo, Mestre em Agronomia Gilberto Colodro e aprovada pela Comissão

Julgadora em

02 de setembro de 2005.

Campinas, 23 de Setembro de 2005.

Prof. Dr. Carlos Roberto Espíndola

Presidente da Banca

A CRISTO, marcando a presença de
DEUS em meu coração.

Aos meus pais, **Mateus Colodro e Maria Sagrillo Colodro**
(*in memoriam*).

À **Adriana e à Isabela**,
por eu ser feliz, amado e realizado.

À **Maria José da Silva Magalhães e ao Florisvaldo Magalhães**,
pelo exemplo de trabalho, simplicidade e humildade.

Aos meus amados irmãos, **João, Maria Elena,**
Antônio, Marina, Geremias, Persival e Tereza,
pela grande amizade e afeto.

Ao **Caio, ao Gabriel, à Gabriela** e seus pais
Edson, Josiane, Anderson e Rosiane,
pelo amor e companheirismo.

Dedico este trabalho.

Agradecimentos

Ao Mestre

Prof. Dr. **Carlos Roberto Espíndola**,
pela orientação e amizade.

À Profa. Dra. **Marlene Cristina Alves**,
pela colaboração e inestimável ajuda,

Ao Prof. Dr. **Tsunao Matsumoto** e Profa. Dra. **Ana Maria Cassiolato** e ao
Prof. MSc. **Carlos Augusto Moraes de Araújo**,
pela ampla colaboração e amizade,

Ao Engº **Reinaldo Murakame**
pela amizade e contribuição.

Ao **João, à Terezinha, à Sandra** e aos **demais funcionários**
da biblioteca da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Unesp, pela colaboração e
orientação.

À **Ana, à Marta e à Rosângela**,
funcionárias da Secretaria de Pós-Graduação da Feagri, pelo carinho e pelo especial
atendimento.

Aos amigos **José Geraldo de Souza, Ricardo Alves, Valdivino e Hernandes**,
pelo auxílio no desenvolvimento do trabalho e das análises.

Ao Curso de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI) da
Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), pela oportunidade e acolhida.

À Sanear – Saneamento de Araçatuba S/A,
pela contribuição financeira para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Departamento de Fertilidade do Solo, Engenharia Rural e Solos, da Faculdade de
Engenharia de Ilha Solteira (FE/Unesp), pela ampla colaboração no desenvolvimento
do projeto de pesquisa.

Ao diretor e funcionários da Fazenda de Ensino e Pesquisa da Unesp de Ilha Solteira,
pela colaboração na instalação e condução do experimento.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes),
pela bolsa de estudos concedida.

À todos que, direta e indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

SUMÁRIO	viii
LISTA DE SÍMBOLOS	x
LISTA DE ABREVIATURAS	xii
LISTA DE FIGURAS	xiii
LISTA DE TABELAS	xv
RESUMO	xvii
ABSTRACT	xix
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
3. REVISÃO DE LITERATURA	4
3.1. Constituição do lodo de esgoto	4
3.2. Risco ambiental pelo uso agrícola do lodo de esgoto.	6
3.2.1. Metais pesados ou elementos-traço	6
3.2.2. Contaminação por patógenos e desinfecção	8
3.2.3. Contaminação por Nitrato	12
3.3. Disposição final do lodo de esgoto	14
3.4. Uso do lodo de esgoto na agricultura	16
3.4.1. Reflexo no rendimento das culturas	16
3.4.2. Reflexo nas propriedades químicas do solo	17
3.4.2.1. Nitrogênio, fósforo e potássio	17
3.4.2.2. Matéria orgânica e capacidade de troca catiônica	20
3.4.3. Reflexo nas propriedades físicas do solo	22
3.4.3.1. Porosidade e densidade do solo	22
3.4.3.2. Estabilidade de agregados em água do solo	24
3.4.4. Reflexo na atividade microbiana do solo	26
3.4.5. Aspectos ambientais do uso agrícola do lodo de esgoto	28
3.5. Lodo de esgoto na recuperação de áreas degradadas e no reflorestamento	29

4. MATERIAL E MÉTODOS	32
4.1. Histórico e caracterização da área de experimental	32
4.1.1. Localização	32
4.2.. Delineamento experimental	34
4.3. Preparo e correção do solo	37
4.4. Origem e forma de aplicação do lodo de esgoto	39
4.5. Métodos de amostragem e análise	42
4.5.1. Análises físicas do solo	43
4.5.2. Complexo sortivo do solo	44
4.5.3. Microbiologia do solo	44
4.5.4. Desenvolvimento das plantas de eucalipto	44
4.6. Características do lodo de esgoto	45
4.7.. Suplementação de nutrientes para a cultura do eucalipto	47
4.8. Caracterização física e química do solo da área experimental	49
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
5.1. Influência do lodo na fertilidade do solo	51
5.2. Influência do lodo nos parâmetros físicos do solo	54
5.3. Influência do lodo sobre a microbiota do solo	59
5.4. Efeito do lodo no desenvolvimento do eucalipto	62
6. CONCLUSÕES	65
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA	66
ANEXOS	80

LISTA DE SÍMBOLOS

<i>Al</i>	<i>Alumínio</i>
<i>As</i>	<i>Ascórbio</i>
<i>B</i>	<i>Boro</i>
<i>C</i>	<i>Carbono</i>
<i>Ca</i>	<i>Cálcio</i>
<i>CaCl₂</i>	<i>Cloreto de Cálcio</i>
<i>C-CO₂</i>	<i>Carbono do do gás carbônico liberado</i>
<i>Cd</i>	<i>Cadmio</i>
<i>C_{mic}</i>	<i>Carbono microbiano</i>
<i>C/N</i>	<i>Relação Carbono Nitrogênio</i>
<i>CO₂</i>	<i>Dióxido de Carbono</i>
<i>Cr</i>	<i>Cromo</i>
<i>Cu</i>	<i>Cobre</i>
<i>CV</i>	<i>Coeficiente de variação</i>
<i>dm³</i>	<i>Decímetro cúbico</i>
<i>Fe</i>	<i>Ferro</i>
<i>g</i>	<i>Gramma</i>
<i>H</i>	<i>Hidrogênio</i>
<i>ha</i>	<i>Hectare</i>
<i>Gt</i>	<i>Gigatoneladas</i>
<i>Hg</i>	<i>Mercúrio</i>
<i>kg</i>	<i>kilograma</i>
<i>K₂O</i>	<i>Óxido de Potássio</i>
<i>L</i>	<i>Litro</i>
<i>m</i>	<i>Metro</i>
<i>mg</i>	<i>Miligrama</i>
<i>Mg</i>	<i>Magnésio</i>
<i>Mg</i>	<i>Megagrama</i>

<i>mm</i>	<i>Milimetro</i>
<i>mmol_c</i>	<i>Milimol de carga</i>
<i>Mn</i>	<i>Manganês</i>
<i>Mo</i>	<i>Molibidênio</i>
<i>N</i>	<i>Nitrogênio</i>
<i>NaOH</i>	<i>Hidróxido de sódio</i>
<i>NaHCO₃</i>	<i>Carbonato de sódio</i>
<i>Ni</i>	<i>Niquel</i>
<i>N-NH₄</i>	<i>Nitrato na forma de am</i>
<i>N-NO₃</i>	<i>Nitrogênio na forma de nitrato</i>
<i>O₂</i>	<i>Oxigênio</i>
<i>P</i>	<i>Fósforo</i>
<i>Pb</i>	<i>Chumbo</i>
<i>pH</i>	<i>Índice de acidez</i>
<i>S</i>	<i>Enxofre</i>
<i>SB</i>	<i>Soma de Bases</i>
<i>Se</i>	<i>Selênio</i>
<i>V%</i>	<i>Saturação por Bases</i>
<i>Zn</i>	<i>Zinco</i>
<i>μg</i>	<i>Micrograma</i>
<i>μm</i>	<i>Micrômetro</i>

LISTA DE ABREVIATURAS

<i>CBM</i>	<i>Carbono na Massa Microbiana</i>
<i>CETESB</i>	<i>Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo</i>
<i>CO</i>	<i>Carbono Orgânico</i>
<i>CTC</i>	<i>Capacidade de Troca Catiônica</i>
<i>DBO</i>	<i>Demanda Bioquímica de Oxigênio</i>
<i>DF</i>	<i>Distrito Federal</i>
<i>DMP</i>	<i>Diâmetro Mediano Ponderado</i>
<i>DQO</i>	<i>Demanda Química de Oxigênio</i>
<i>EMBRAPA</i>	<i>Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária</i>
<i>EPA</i>	<i>Environment Protection Agency</i>
<i>ETE</i>	<i>Estação de Tratamento de Esgoto</i>
<i>FEIS</i>	<i>Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira</i>
<i>IAC</i>	<i>Instituto Agrônomo de Campinas</i>
<i>IAP</i>	<i>Instituto Ambiental do Paraná</i>
<i>IBAMA</i>	<i>Instituto Brasileiro do Meio Ambiente</i>
<i>MO</i>	<i>Matéria Orgânica</i>
<i>MS</i>	<i>Matéria Seca</i>
<i>MS</i>	<i>Mato Grosso do Sul</i>
<i>NMP</i>	<i>Número Mais Provável</i>
<i>OMS</i>	<i>Organização Mundial de Saúde</i>
<i>PR</i>	<i>Paraná</i>
<i>SANEAR</i>	<i>Saneamento de Araçatuba S/A</i>
<i>SANEPAR</i>	<i>Saneamento Básico do Paraná</i>
<i>SP</i>	<i>São Paulo</i>
<i>UASB</i>	<i>Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente</i>
<i>UHE</i>	<i>Usina Hidrelétrica</i>
<i>UNESP</i>	<i>Universidade Estadual Paulista</i>

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 3.1</i>	<i>Porosidade Total de um solo de textura média tratado com diferentes doses de lodo de esgoto anaeróbio</i>	24
<i>Figura 4.1</i>	<i>Imagem de satélite da área experimental com indicação da área do experimento pela seta vermelha</i>	32
<i>Figura 4.2</i>	<i>Detalhe de veículo utilizado na retirada de solo da área de empréstimo, por ocasião da construção da Usina Hidrelétrica, em 1969</i>	34
<i>Figura 4.3</i>	<i>Vista geral do local de instalação do experimento, em novembro de 2002</i>	35
<i>Figura 4.4</i>	<i>Croqui da área experimental e disposição dos tratamentos</i>	36
<i>Figura 4.5</i>	<i>Detalhes do subsolador e aspecto da superfície do solo</i>	37
<i>Figura 4.6</i>	<i>Aspecto da superfície do solo após duas subsolagens</i>	38
<i>Figura 4.7</i>	<i>Detalhe da Estação de Tratamento de Esgoto da Sanear, Saneamento de Araçatuba S/A</i>	39
<i>Figura 4.8</i>	<i>Vista geral da área após a distribuição do lodo em superfície</i>	40
<i>Figura 4.9</i>	<i>Detalhe do lodo na superfície do solo sem incorporação</i>	41
<i>Figura 4.10</i>	<i>Detalhe da desuniformidade na incorporação do lodo no solo, mesmo com a utilização de enxada rotativa</i>	42
<i>Figura 4.11</i>	<i>Detalhe da coleta de amostras para densidade e porosidade</i>	43
<i>Figura 5.1</i>	<i>Contraste da densidade do solo entre a testemunha e os tratamentos com fertilizante e lodo de esgoto</i>	55
<i>Figura 5.2</i>	<i>Relação entre densidade do solo e doses de lodo de esgoto</i>	56
<i>Figura 5.3</i>	<i>Porosidade total, macroporosidade e microporosidade do solo, em função dos tratamentos e das profundidades</i>	59
<i>Figura 5.4</i>	<i>Efeito das doses de lodo no diâmetro do caule, em duas épocas de avaliação</i>	63
<i>Figura 5.5</i>	<i>Efeito das doses de lodo na altura de plantas em duas épocas,</i>	

	<i>após o plantio</i>	64
<i>Figura 8.1</i>	<i>Detalhe da área antes da instalação do experimento</i>	80
<i>Figura 8.2</i>	<i>Detalhe da área experimental 6 meses após a instalação</i>	80
<i>Figura 8.3</i>	<i>Aspecto da braquiária em parcela sem aplicação de lodo de esgoto</i>	81
<i>Figura 8.4</i>	<i>Aspecto da braquiária em parcela com aplicação de lodo de esgoto</i>	81
<i>Figura 8.5</i>	<i>Morro testemunha da retirada de solo por ocasião da construção da Usina Hidrelétrica no período de 1967 a 1970</i>	82

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 3.1</i>	<i>Constituição química, umidade e produção de lodo em algumas estações de tratamento de esgoto (ETE) com valores expressos em base seca</i>	5
<i>Tabela 3.2</i>	<i>Fontes de geração dos principais metais pesados encontrados em lodos de esgoto</i>	7
<i>Tabela 3.3</i>	<i>Principais parasitos que podem ser encontrados no lodo de esgoto</i>	9
<i>Tabela 3.4</i>	<i>Tempo de sobrevivência de microorganismos patogênicos no solo</i>	10
<i>Tabela 3.5</i>	<i>Teor de nutrientes e carbono em diversos tipos de lodo de esgoto, utilizados em pesquisa no Brasil (dados em % de matéria seca)</i>	17
<i>Tabela 3.6</i>	<i>Distribuição do carbono na atmosfera</i>	29
<i>Tabela 4.1</i>	<i>Composição do lodo de esgoto utilizado e limites máximos permitidos</i>	45
<i>Tabela 4.2</i>	<i>Constituição microbiológica do lodo de esgoto e limites máximos permitidos</i>	46
<i>Tabela 4.3</i>	<i>Teores de nutrientes contidos no lodo em estudo para as diferentes dosagens utilizadas e excedente de nutrientes</i>	48
<i>Tabela 4.4</i>	<i>Características químicas do subsolo em estudo sem preparo de solo</i>	49
<i>Tabela 4.5</i>	<i>Distribuição de tamanho de partículas primárias do solo estudado</i>	49
<i>Tabela 4.6</i>	<i>Valores de porosidade e densidade do subsolo degradado antes do preparo do solo em dezembro de 2002</i>	50
<i>Tabela 5.1</i>	<i>Médias e probabilidades de F das características químicas do solo em função das doses utilizadas</i>	52
<i>Tabela 5.2</i>	<i>Densidade do solo em profundidade, para os tratamentos estudados, em fevereiro de 2003</i>	55
<i>Tabela 5.3</i>	<i>Médias e probabilidades de F da Porosidade Total, Macroporosidade e Microporosidade, do solo em função das doses</i>	

	<i>e profundidades</i>	57
<i>Tabela 5.4</i>	<i>Relação entre volumes de macroporos e microporos</i>	58
<i>Tabela 5.5</i>	<i>Características químicas do subsolo em estudo, teores de carbono da biomassa microbiana (C_{mic}) e CO_2 (C-CO_2) liberado para as doses de lodo de esgoto, em diferentes condições de solo</i>	61
<i>Tabela 5.6</i>	<i>Médias e probabilidades de F dos parâmetros determinados do desenvolvimento do eucalipto em duas épocas de avaliação</i>	62

RESUMO

Foi avaliado o efeito do lodo de esgoto na recuperação de um subsolo degradado em decorrência da construção da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira, por retirada de espessa camada de solo original (área de empréstimo), há mais de 30 anos.

A área está localizada no município de Selvíria, MS, tendo sido utilizados, na construção da barragem, caminhões “fora-de-estrada” e máquinas pesadas que promoveram elevada compactação do subsolo remanescente e conseqüente decréscimo da sua capacidade produtiva, refletida pela vegetação arbustiva empobrecida que aí se instalou, sem a capacidade de cobrir toda a superfície do terreno. Por tratar-se de gleba inserida na Fazenda de Ensino e Pesquisa da Unesp do Campus de Ilha Solteira, sua recuperação se afigura fundamental, para inserir-se às demais, produtivas.

No processo de recuperação foi empregado lodo de lagoas aeradas, obtido junto à Estação de Tratamento de Esgoto de Araçatuba, tendo sido aplicado em superfície e incorporado a uma profundidade de 0,10 m.

O delineamento estatístico foi o de blocos casualizados com 4 tratamentos e 4 repetições cada, totalizando 16 parcelas com dimensões de 10,0 x 12,0 metros, sendo definidas as seguintes doses de lodo de esgoto: 0, 30, 60 Mg ha⁻¹ em base seca, além de fertilizante mineral, com dosagem estabelecida a partir de análise preliminar do solo e da necessidade da cultura. Foi plantado o *Eucalipto citriodora* em sulco, com aproximadamente 0,30m de profundidade e semeado capim *Brachiária decumbens* a lanço, trinta dias após a incorporação do lodo. O espaçamento do eucalipto foi de 1,5 x 2,0 m, totalizando 40 plantas por parcela e 640 plantas no experimento. O experimento foi instalado no início de 2002, e os parâmetros do solo e da cultura avaliados aos 180 e 360 dias após a aplicação do lodo e plantio do eucalipto.

Para determinar a qualidade do solo (sua recuperação) foram estudados os seguintes parâmetros físicos, químicos e biológicos do solo: densidade, porosidade, capacidade de troca catiônica, atividade respiratória, carbono na massa microbiana. Avaliou-se também o desenvolvimento da cultura do eucalipto aos 180 e 360 dias após a incorporação do lodo de esgoto.

Pode se afirmar que, nesse período, o manejo empregado promoveu incremento na qualidade do solo, a julgar pelo aumento significativo de fósforo, potássio, magnésio, matéria orgânica e CTC.

O lodo de esgoto promoveu redução no valor da densidade do solo, com aumento da macroporosidade e da porosidade total na camada superficial. Entretanto, a microporosidade não se mostrou afetada pelo tratamento com o resíduo, provavelmente em decorrência do curto período de observação, devendo continuar a ser objeto de investigações na área experimental.

O lodo de esgoto promoveu aumento na atividade microbiana, confirmando tratar-se de um adequado indicativo de qualidade ao monitoramento da área em recuperação, mesmo para um curto período de observação. Entretanto, os níveis de carbono na biomassa microbiana não se mostraram afetados pelo tratamento com o resíduo, o que deverá ocorrer com o transcorrer do tempo, requerendo observações posteriores. O desenvolvimento das plantas de eucalipto foi outro parâmetro que respondeu muito prontamente ao manejo aplicado.

Palavras-chave: Áreas degradadas; biomassa microbiana, qualidade de solos, propriedades físicas do solo, propriedades químicas do solo.

ABSTRACT

The effect of the sewage sludge mud was evaluated in the recovery of an underground degraded due to the retreat of thick layer of original soil (loan area) more than 30 years ago, for occasion of the construction of the Ilha Solteira Hydroelectric Power Plant. The area is located in the municipal district of Selvíria, MS State, having been used in the construction of the dam, trucks "out-of-road" and heavy machines which promoted high compactation of the remaining underground and consequent decrease of its fertility which is visualized by the pooriness of the underbrush vegetation that has been settled, without the capacity to cover the whole land surface. The recovery of this area is much more important because it stays in the Experimental Farm of the Unesp, Ilha Solteira campus, and it must to be incorporated in the Farm productive area. In the recovery process it was used aerobic sewage sludge, obtained in the Araçatuba Sewage Treatment Station close to, having been applied in surface and incorporated to a depth of 0,10 m. The statistical design utilized was the randomized blocks with 4 treatments and 4 repetitions each, totalizing 16 plots with dimensions of 10,0 x 12,0 meters, being defined the following doses of sewer mud: 0, 30, 60 Mg ha⁻¹ in dry basis, besides mineral fertilizer, with doses established since previous soil analysis of the soil and of the culture requisitions. The *Eucalyptus citriodora* was planted with approximately 0,30 m of depth and sowed *Brachiaria decumbens* grass, thirty days after the sewage sludge incorporation. The spacing of the eucalyptus was of 1,5 x 2,0 m, totalizing 40 plants for plot and 640 plants in the hole experiment. The experiment was installed in the beginning of 2002, and the parameters of the soil and of the culture determined to 180 and 360 days after the application of the sludge and plantation of the eucalyptus.

In order to determine the soil quality (its recovery) the following physical, chemical and biological parameters were studied: soil: density, porosity, cationic change capacity (CTC), breathing activity and carbon level in the microbial mass. It was also evaluated the development of the eucalyptus culture at 180 and 360 days after the sewage sludge incorporation. It can be affirmed that in the period, the handling utilized promoted increment in the soil quality, considering the significant increase of phosphorous, potassium, magnesium, organic matter and CTC levels. The sewage sludge promoted

reduction in the value of the density of the soil with increase of the macro porosity and of the total porosity in the superficial stratum. However, the micro porosity wasn't affected by the treatment with the residue, probably due to the short observation period, should continue to be object of investigations in the experimental area. The sewage sludge increased the microbial activity, confirming to be an appropriate quality indicative of monitoring of the area in recovery, even for a short observation period. However, the biomass microbial carbon levels weren't affected by the treatment with the residue, what should happen with elapsing of the time, requesting posterior observations. The eucalyptus plants development was other parameter that answered very quickly to the applied handling.

Word-key: Degraded areas; microbial biomass, quality of soils, physical properties of the soil, chemical properties of the soil.

1. Introdução

O lodo de esgoto é um produto do tratamento de efluentes urbanos e industriais. Com a urbanização acentuada e crescente, o volume de dejetos produzidos aumenta continuamente. Até há pouco tempo, o lodo era lançado em corpos d'água, sem a devida preocupação com a qualidade dos mananciais. Com o aumento nos volumes de esgoto coletados e as correspondentes pressões de órgãos ambientais, os esgotos, nos grandes centros, passaram a ser tratados mediante o emprego de diversas técnicas e equipamentos.

Como forma alternativa de baixo custo, o lodo de esgoto, vem, de maneira crescente, revelando-se como um importante insumo agrícola, de especial interesse na recomposição de matas e para reflorestamentos. Em países desenvolvidos, a reciclagem agrícola do lodo tem sido a principal forma de disposição final; esta forma aumenta sua importância à medida que as outras formas costumam sofrer pressões ambientais, restringindo sua utilização, como nos casos da disposição marítima, forma proibida já em grande parte da Europa e Estados Unidos, além da disposição em aterros sanitários, devido à necessidade de extensas áreas e altos investimentos. A incineração, como forma de eliminação dos resíduos, apresenta custo muito elevado, sendo utilizada apenas para resíduos com alto poder impactante sobre o ambiente, ou em países como o Japão, com áreas restritas para disposição e tratamento.

O lodo de esgoto apresenta-se como importante insumo na recuperação de áreas com solos degradados, principalmente por seu elevado teor de matéria orgânica, e elevada capacidade de retenção de água, devido às características de seus componentes.

O reflorestamento, por ser uma atividade que não envolve produtos para consumo alimentar e, pelo fato de poder ser instalado em áreas distantes de núcleos urbanos, com acesso restrito a pessoas e animais, apresenta-se com grande vantagem em relação às demais culturas, quando se pensa na aplicação de resíduo.

No aspecto ambiental, tendo o solo como destino final dos resíduos dos efluentes, os mananciais são poupados da poluição, além de favorecer um maior equilíbrio na distribuição do carbono no ambiente. Desta forma, respeitando a profundidade do lençol freático, a distância de mananciais e, principalmente, a dose não poluidora, considerando também o baixo custo relativo e a possibilidade de redução da carga de poluentes dos mananciais, o uso

do lodo de esgoto constitui uma alternativa de melhoramento da estrutura do solo e de sua fertilidade, principalmente pelos acréscimos de material orgânico.

A partir da década de 60, com a crescente demanda de energia elétrica, grandes investimentos foram direcionados ao setor energético, redundando num aumento de construções de usinas hidroelétricas. Apesar de estas produzirem a chamada energia limpa, por não afetarem o ambiente, aquelas obras causaram grandes impactos nas áreas circunvizinhas, tendo sido requeridas, para a construção, grandes volumes de solo, principalmente para fundação e terrapleno da barragem, ocasionando a degradação de extensas áreas. No limite entre o Estado de São Paulo e Mato Grosso do Sul foi construída a Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira, no Rio Paraná sem a adequada preocupação com a degradação ambiental em áreas circunvizinhas à obra, localizadas nos municípios de Ilha Solteira (SP) e Selvíria, (MS), ambos margeando o Rio Paraná. Esses solos até hoje carecem de um tratamento adequado de recuperação, para o suporte de atividades agrícolas, como nas áreas vizinhas.

2. Objetivos

O objetivo primordial deste trabalho é o de estudar a possibilidade de emprego de lodo de esgoto na recuperação do solo de uma área de empréstimo, definindo, como hipótese de trabalho, que aquele material influencia, positivamente, a curto prazo, as características físicas, químicas e biológicas do subsolo aí ocorrente, e que tais influências acarretarão melhor desenvolvimento da cultura em estudo. Constitui objetivo específico a pesquisa de indicadores da qualidade do solo tratado, a partir dos seguintes parâmetros:

- a) Propriedades físicas e químicas do solo;
- b) Propriedades biológicas;
- c) Desenvolvimento da cultura do eucalipto.

3. Revisão de literatura

3.1 Constituição do lodo de esgoto

O lodo de esgoto é um resíduo semi-sólido, predominantemente orgânico, com teores variáveis de componentes inorgânicos, originado do tratamento de esgotos domiciliares e/ou industriais (ANDRADE, 1999). O tratamento de esgoto, realizado nas ETEs – Estação de Tratamento de Esgoto, tem por objetivo principal reduzir seu teor de material orgânico e a população de microrganismos patogênicos. As novas legislações em vigor estabelecem níveis máximos de matéria orgânica, a partir de bioindicadores, como é caso da DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) e da DQO (Demanda Química de Oxigênio), sendo a primeira a mais utilizada. A DBO máxima, para efluentes líquidos, permitida pela legislação de alguns estados, como é o caso de São Paulo, Minas Gerais e Paraná é de 60 mg L^{-1} (ALEM SOBRINHO, 2001). O lodo de esgoto recebe a denominação de biossólidos quando apresenta características tais que permita o seu retorno ao ambiente sem que sejam agentes de poluição, ou seja, devidamente higienizado, estabilizado e seco (MELO et al. 2001).

A constituição do lodo produzido em determinada localidade é dependente de alguns fatores, a saber: condições sócio-econômica e sanitária da população, região geográfica, presença de indústrias e tipo de tratamento a que foi submetido o efluente (MELO e MARQUES, 2000).

Certos elementos traços com alto poder de contaminação do ambiente, em geral, são oriundos de atividades industriais. A eventual ocorrência de doenças daí advindas varia conforme o local, principalmente em função das peculiaridades do clima. O tipo de tratamento define a qualidade e quantidade de agentes patogênicos, os elementos químicos e compostos orgânicos (TSUTYIA, 2000).

O lodo de esgoto apresenta características químicas que variam em função do material que o originou e do tipo de tratamento utilizado, resumindo-se em três tipos: a) lodo bruto, produzido nos decantadores primários das Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs), com coloração acinzentada, de odor ofensivo e facilmente fermentável; b) lodo secundário, produzido a partir de processos biológicos, com aparência floculenta, coloração marrom e odor pouco ofensivo; c) lodo digerido, como sendo aquele que sofreu processo de

estabilização biológica, obtida por digestores aeróbios e anaeróbios, apresentando-se com coloração marrom escura, não possuindo odor ofensivo (LUDUVICE, 1996). Na Tabela 3.1 são apresentadas algumas características de diferentes tipos de lodo de esgoto.

Tabela 3.1 – Constituição química, umidade e produção de lodo em algumas estações de tratamento de esgoto (ETE) com valores expressos em base seca

Macronutriente	ETE ⁽¹⁾ Barueri, SP	ETE ⁽¹⁾ Franca, SP	ETE ⁽²⁾ Brasília, DF	ETE Araçatuba, SP
Tipo de lodo	digerido + cal	digerido	digerido	Lagoa aerada
.....Macronutrientes, g kg ⁻¹				
N total	22,5	91,5	53,5	57,0
P	14,8	18,1	17,5	12,2
K	0,1	3,5	1,8	6,9
MO	370,0	598,0	625,0	699,0
Ca	72,9	21,3	26,8	3,9
Mg	nd	2,5	4,1	3,3
S	5,1	20,7	6,2	3,5
.....Micronutrientes, mg kg ⁻¹				
Cu	2860	1.270	186	160,0
Fé	150.800	272.530	20.745	7.385
Zn	11.400	15.470	1.060	474
Mn	810	2.300	143	78
B	nd	920	22	11
Mo	nd	0,07	nd	nd
.....Outros parâmetros.....				
PH	11,0	6,6	5,8	7,1
Umidade (%)	-	-	87	84
Produção Mg dia ⁻¹	-	4	30	5

Fonte: (1) TSUTIYA (2000); (2) SILVA, et al (2000); nd – Não detectado.

Segundo dados da SANEPAR (1997), tanto a quantidade como as características do lodo de esgoto variam conforme sua origem e sistema de tratamento a que foi submetido. Os decantadores primários produzem de 3 a 7 % de sólidos do volume total, sendo que neste estágio tem-se um teor de matéria orgânica que varia de 60 a 80 %. No tratamento secundário, com a atividade microbiana aeróbia ou anaeróbia, ocorre a conversão de sólidos dissolvidos em sólidos suspensos, ocasionado a formação de uma biomassa microbiana e a conseqüente redução da matéria orgânica, pela sua respiração, da ordem de 50 a 60 %.

Dentre os constituintes do esgoto, a matéria orgânica é o componente de maior interesse para o uso agrícola, devido à sua benéfica influência sobre os atributos do solo, como condicionante das suas propriedades e fertilidade. Para as condições tropicais, principalmente para os solos sob vegetação de cerrado, cujo teor de matéria orgânica é baixo, essa importância aumenta. MELO e MARQUES (2000) salientaram a importância do lodo de esgoto quanto ao seu teor de matéria orgânica e de elementos nutrientes às plantas, considerando atrativa a aplicação deste em solos agrícolas.

3.2. Risco Ambiental pelo uso agrícola do lodo de esgoto

Dependendo da origem e das condições da ETE, o lodo de esgoto pode constituir um resíduo com potencial poluidor ao meio ambiente, pelo conteúdo em metais pesados, em agentes patogênicos, pelo seu potencial em gerar nitratos, por ser um agente de atração para vetores e doenças, pela presença de compostos orgânicos persistentes e tóxicos e, em última instância, pelo seu mau odor, se não for adequadamente tratado (MELO et al., 2004a).

3.2.1 Metais Pesados ou Elementos-traço

Ao contrário dos poluentes orgânicos sintéticos, criados pelo homem, os metais pesados são componentes naturais no meio ambiente, estando presentes em teores muito baixos em praticamente todos os ambientes naturais (rochas, solos etc), cuja elevação de concentração geralmente é ocasionada pela atividade antropogênica, podendo causar riscos ambientais e à saúde, tanto humana como animal (SILVA et al., 2001). Os metais pesados não podem ser destruídos e são altamente reativos, do ponto de vista químico e, quando lançados no ambiente, como resíduos industriais, podem ser absorvidos e acumulados nos tecidos animais e vegetais.

A presença de metais pesados está associada, principalmente, aos despejos industriais, lançados nas redes coletoras de esgotos urbanos, conforme é apresentado na Tabela 3.2, obtido de MORITA (1993) e FERNANDES e SILVA (1999).

Tabela 3.2 – Fontes de geração dos principais metais encontrados em lodos de esgoto

Principais fontes industriais de contaminação	Metais ocorrentes no lodo de esgoto								
Produtos metalúrgicos: ferro, aço e galvanoplastia	Cd	Cu	Zn	Ni	Hg	Cr	Pb	As	Se
Indústria química	Cd	Cu	Zn	Ni	Hg	Cr	Pb	As	Se
Tintas vernizes, sabões e detergentes, cosméticos	Cd	Cu	Zn	Ni	Hg	Cr	Pb	As	Se
Minerais não metálicos: vidro, cimento	Cd	Cu	Zn	Ni		Cr	Pb	As	Se
Componentes mecânicos e eletroeletrônicos	Cd	Cu	Zn	Ni	Hg	Cr	Pb		Se
Indústria têxtil	Cd	Cu	Zn	Ni	Hg		Pb	As	Se
Indústria da madeira	Cd	Cu	Zn	Ni		Cr		As	Se
Produtos farmacêuticos	Cd		Zn	Ni	Hg	Cr	Pb	As	
Hospitais		Cu	Zn	Ni	Hg	Cr	Pb	As	
Plásticos	Cd	Cu	Zn	Ni		Cr	Pb	As	
Couro, peles e seus derivados		Cu	Zn	Ni		Cr	Pb		
Material fotográfico	Cd		Zn	Ni	Hg		Pb		Se
Lavanderias		Cu	Zn	Ni			Pb	As	
Borracha	Cd		Zn				Pb		Se
Indústria do petróleo, óleo, cera, gasolina		Cu	Zn			Cr	Pb		
Fertilizantes					Hg	Cr		As	
Laboratórios				Ni	Hg			As	
Canalizações de água quente		Cu					Pb		
Pesticidas			Zn					As	
Fungicidas					Hg				
Papel e papelão					Hg				

Fonte: MORITA (1993) e FERNANDES e SILVA (1999)

O termo metal pesado tem sido utilizado para definir elementos presentes em baixas concentrações no ambiente, com teores menores do que $1,0 \text{ mg kg}^{-1}$, aplicado também para o ferro, o alumínio, e o titânio, que ocorrem em quantidades elevadas na atmosfera (MELO et al., 2004a). Ainda segundo esses autores, a expressão elemento-traço vem sendo preferencialmente utilizada em relação ao termo metal pesado; uma vez presentes no ambiente, tais elementos podem adentrar a cadeia alimentar e, ao atingirem concentrações elevadas nas plantas, animais e no homem podem causar problemas de toxicidade, levando a

diminuição da produtividade de plantas e causando doenças nos humanos, podendo culminar com a morte.

O lodo proveniente do tratamento de esgotos predominantemente domésticos tende a apresentar baixos teores de metais pesados como o cádmio, o cobre, o molibdênio, o níquel, o zinco, o chumbo, o selênio, o cromo e o mercúrio. Entretanto, quando os elementos industriais contribuem com percentual acentuado no esgoto urbano, o lodo gerado pode conter teores mais elevados de metais pesados ou elementos-traço, aumentando seu potencial poluidor e os riscos ao meio ambiente e à saúde das plantas, dos animais e dos homens (MELO et al., 2004a).

3.2.2. Contaminação por patógenos e desinfecção

O lodo de esgoto, por ser oriundo de efluentes urbanos e industriais, pode conter, de acordo com o tratamento que sofreu, e conforme as condições do local de coleta, níveis de infecção por organismos variáveis, que podem ser prejudiciais à saúde humana e dos animais, quando se pensa na sua reciclagem agrícola. Os microrganismos encontrados no lodo de esgoto podem ser saprófitos, comensais, simbioses, ou parasitos. Apenas a categoria de parasitos é patogênica e capaz de causar doenças no homem e nos animais. Dentre os patogênicos, cinco grupos podem estar presentes no lodo: helmintos, protozoários, fungos, vírus e bactérias. A origem desses agentes patogênicos pode ser de procedência humana, o que reflete diretamente o nível de saúde da população e as condições de saneamento básico de cada região. Pode ser também de procedência animal (fezes de cães, gatos, ou pela presença de animais na rede coletora de esgotos, principalmente roedores), de acordo com THOMAZ SOCCOL et al. (2000).

Os riscos à saúde humana ocorrem devido aos fatores seguintes: alta frequência de parasitismo encontrados no lodo; sobrevivência longa no meio externo para os helmintos (ovos de *Ascaris* sp podem sobreviver até 7 anos); dose infectante (um ovo ou cisto de helmintos é suficiente para infectar o hospedeiro, no caso, o próprio homem).

Os métodos de tratamento influenciam a concentração dos patógenos no lodo. Uma maior carga de organismos patogênicos decorre principalmente, no momento do tratamento, de sua aderência às partículas sólidas dos sedimentos. Os processos de tratamento

são capazes de desnaturar parte dos patógenos, reduzindo sua infectibilidade. Na Tabela 3.3 estão dispostos os principais grupos de parasitos do lodo e os respectivos hospedeiros, de acordo com THOMAZ SOCOOL et al. (2000).

A disposição agrícola do lodo de esgoto exerce uma pressão de redução de sua carga patogênica, tendo em vista as condições inadequadas ao desenvolvimento e reprodução dos mesmos. O tempo de sobrevivência de parasitos presentes no ambiente e em solos cultivados são fatores importantes a serem considerados na disposição agrícola. São poucas as informações ainda disponíveis quanto a essa questão.

Tabela 3.3 - Principais parasitos que podem ser encontrados no lodo de esgoto

Grupo	Parasito	Hospedeiro
Nematóides	<i>Ascaris lumbricoides</i>	Homem
	<i>Ascaris suum</i>	Suíno
	<i>Ancylostomas duodenale</i>	Homem
	<i>Necator americanus</i>	Homem
	<i>Tricuris trichiura</i>	Homem
	<i>Toxocara canis</i>	Cães, homens
	<i>Trichostrogylus axei</i>	Bovinos, eqüinos, homem
Cestóides	<i>Taenia solium</i>	Suínos, homens
	<i>Taenia saginata</i>	Bovinos, homens
	<i>Hymenolepis nana</i>	Artrópodos, homens
	<i>Echinococcus granulosus</i>	Cães, ovinos e homens
Protozoários	<i>Entamoeba histolytica</i>	Homem
	<i>Giardia lamblia</i>	Homens, cães e gatos
	<i>Toxoplasma gondii</i>	Gatos, homens, mamíferos, aves
	<i>Balantidium coli</i>	Homens e suínos
	<i>Cryptosporidium</i>	Homens e suínos

Fonte: THOMAZ SOCCOL et al. (2000)

Os ovos de *T. saginata* podem permanecer viáveis nas fezes humanas por um período de 71 dias; nas águas residuárias das cidades, por 16 dias; nas águas dos córregos, por 33 dias e nas pastagens por 159 dias (BORCHERT, 1975).

A dispersão de ovos no meio hídrico é altamente epidemiológica, facilitada em localidades situadas à margem de um rio receptor de descargas de esgoto de um centro urbano.

Foram constados casos de cisticercose bovina em 100 % de algumas localidades em até 40 km a jusante (UNGAR e GERMANO, 1991).

Na Tabela 3.4 são apresentados os tempos de sobrevivência de alguns microrganismos patogênicos no solo, segundo THOMAZ SOCCOL e PAULINO (2000).

A liberação de esgoto “in natura” ou efluentes tratados nos rios e o uso desse material de origem humana como fertilizantes, pode contribuir para a disseminação das cisticercose. Pássaros ciscadores, como as gaivotas, podem facilitar a disseminação, uma vez que os ovos de *T. saginata* podem passar pelos seus tratos digestivos e ainda permanecerem viáveis (SMITH, 1994). Um fator muito importante na disseminação e manutenção desses parasitos nos rios é o uso cada vez mais freqüente de detergentes, que impedem a destruição natural dos ovos de parasitos no sistema de esgoto (ACHA e SZYFRES, 1996).

Tabela 3.4 – Tempo de sobrevivência de microorganismos patogênicos no solo

Agentes patogênicos	Tipos de solo	Tempo de sobrevivência (dias)	
		médio	máximo
Enterovirus	Diferentes tipos	12	100
Bactérias	Superfície	40	90
Coliformes fecais	Solo arenoso	30	60
<i>Salmonella sp</i>	Solo (camada profunda)	70	90
Nematodas	Solo irrigado	Muitos meses	2 a 3 anos
<i>Ascaris sp</i>	Solo	Muitos meses	7 a 14 anos
<i>Toxocara sp</i>	Solo	Muitos meses	8 meses
<i>Taenia sp</i>	Solo	15 a 30 dias	3 a 15 meses
		(no verão)	(no inverno)

Fonte: TOMAZ SOCCOL e PAULINO (2000)

FERNANDES (2001), estudando a cisticercose bovina em animais da região de Araçatuba, SP, no período de 1990 a 2000, observou um aumento de 4,89 % na prevalência desse parasito, com um índice médio de 4,18 % dos animais abatidos nos frigoríficos. Relatou que as maiores percentuais de cisticercose de origem em animais abatidos em frigoríficos estão nos Estados de São Paulo (4,6 %) e Minas Gerais (4,36 %), seguidos pelo de Mato Grosso do Sul (3,56 %) e Mato Grosso (3,29 %). Segundo o autor, tal proporção observada

nos Estados de São Paulo e Minas Gerais deve-se, principalmente, ao fato de estes apresentarem grandes concentrações de rebanhos próximos a núcleos urbanos.

A sobrevivência de parasitos em solo agrícola foi estudada por THOMAZ SOCCOL et al. (1997), em diferentes tipos de lodo. Para o lodo digerido aeróbio, utilizando-se dose de 60 Mg ha^{-1} , os autores observaram uma redução de 10,6 ovos de helmintos por grama de MS, para 0,19 e 0,03 ovos g^{-1}MS aos 40 e 180 dias após a aplicação, respectivamente. A redução na viabilidade dos ovos, que era de 74 %, passou para 45,23 e 19,85 % , respectivamente aos 40 e 180 dias após a aplicação. Considerando que o limite máximo de ovos de helmintos, sem riscos à saúde humana, adotado pelas agências de fiscalização ambiental do Estado de São Paulo e Paraná, que segue a normativa da EPA (USEPA, 1992), é de 0,25 ovos viáveis g^{-1} de MS, a redução de patógenos obtida por esses autores foi significativa.

O lodo de esgoto pode sofrer desinfecção parcial para alguns agentes patogênicos e total para outros, principalmente pelo tratamento à base de cal. Nesse processo, a cal é adicionada ao lodo de modo a elevar seu pH a um valor maior ou igual a 12. Esta condição de pH alto cria um meio que não permite a sobrevivência da maioria dos microrganismos, não ocorrendo a putrefação do lodo, a geração de maus odores e, em consequência, vindo a eliminar os riscos à saúde. QASIM (1999) observou que a adição de uma dosagem apropriada de cal pode atingir uma redução de agentes patogênicos igual ou superior a 99 %, sendo mínimo o desenvolvimento de patógenos posterior.

FERNANDES (1996) testou doses de 30, 40 e 50 % de cal em relação à massa seca de lodo e obteve uma porcentagem média de remoção de patógenos da ordem: de 99,4 a 99,95 para coliformes totais; de 100 % de coliformes fecais; de 100 % de salmonelas; de 92,23 a 100 % de estreptococos; de 75,33 a 81,00% de ovos de helmintos; de 98,38 a 100 % de larvas de helmintos e 100 % para cistos de protozoários.

O uso de lodo digerido com cal tem a finalidade de reduzir os níveis de infestação por patógenos, possibilitando maior segurança na sua aplicação. Porém, em lodos obtidos a partir de processos que originam produtos com menor uso de cal e cloreto de ferro, a disponibilidade de P para as culturas pode ser maior, reduzindo a demanda de suplementação com fertilizantes fosfatados, conforme observado por VAZ e GONÇALVES (2002). Também JORGE et al. (1991) concluíram que o uso de lodo tratado com cal promove o aumento do pH e do teor de

cálcio no solo, reduzindo o teor de alumínio trocável, podendo resultar numa menor estabilidade de agregados.

Ao ser depositado no terreno, os organismos (bactérias, ovos de helmintos ou cistos de protozoários) permanecem na superfície do solo e dos vegetais, sendo o tempo de sobrevivência dependente do próprio organismo. Os ovos de *Ascaris* sp são os mais resistentes, e, por isso mesmo, utilizados para o monitoramento da qualidade do tratamento de lodo em solos. A granulometria e o pH do solo afetam a sobrevivência desses organismos. Em solos arenosos o tempo de sobrevivência de helmintos é menor (HAYS, 1977). Os raios solares incidindo diretamente sobre os microrganismos produzem sua dessecação, reduzindo seu tempo de sobrevivência. O lodo aplicado em superfície sem incorporação resulta na redução no tempo de sobrevivência pela incidência direta dos raios solares (ROSAZ, 1991).

3.2.3 Contaminação por Nitrato

A conversão do N orgânico a formas minerais geralmente acontece de forma rápida em solos com alto teor de matéria orgânica, influenciados por fatores climáticos, físicos e biológicos. No que se refere ao lodo de esgoto em estudo, os fatores de maior importância na mineralização do nitrogênio são a relação C/N e a umidade. Segundo TISDALE et al. (1985), em razões superiores a 30/1, ocorre a imobilização de N; em razões de 20 a 30/1 pode haver tanto a imobilização quanto a mineralização, e, em razões menores que 20/1 usualmente ocorre a mineralização.

A umidade, como fator condicionante da mineralização, conforme HIROSE e KUMADA (1963), tem sua taxa de mineralização aumentada com a elevação da umidade, observando o limite entre 50 e 90 % da capacidade de retenção.

MAGDOFF e AMADON (1980) constataram que mais de 55 % do N orgânico adicionado ao solo foi mineralizado no primeiro ano após aplicação. Porém, para lodo digerido anaerobicamente, MAGDOFF e CHROMECH (1977) observaram que houve mineralização de 14 a 25% do N orgânico no primeiro ano após a aplicação. Também HSIEH et al. (1981) observaram maior taxa de mineralização do lodo digerido, em comparação ao ativado.

O emprego de lodo de esgoto na agricultura, de forma continuada, é uma forma de disposição de baixo custo, porém pode trazer riscos de poluição das águas subterrâneas causados pela lixiviação do nitrato.

Ao contrário dos aspectos relacionados com metais pesados, o potencial de lixiviação de nitrogênio, proveniente da aplicação do lodo de esgoto em áreas agrícolas, não tem sido avaliado nas condições brasileiras. Nos Estados Unidos e em diversos países da Europa verifica-se que este problema tem recebido grande atenção, principalmente no que concerne aos riscos de contaminação de águas subterrâneas (HUE, 1995). Com relação a esse assunto, GOMES e ESPÍNDOLA (2003) mapearam a vulnerabilidade e verificaram o índice de nitrato no aquífero livre na área urbana de Pereira Barreto, SP.

De acordo com MUCHOVEJ e RECHCIGL (1995), águas com concentrações de N-NO_3 maiores que $3,0 \text{ mg L}^{-1}$ já podem ser consideradas contaminadas. Segundo esses autores, a Organização Mundial de Saúde (OMS) estabelece para a água potável uma concentração máxima aceitável de 10 mg L^{-1} , padrão também adotado no Brasil pela Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos do Ministério da Saúde (BRASIL, 1990).

OLIVEIRA et al. (2001) estudaram a lixiviação de nitrato em um Latossolo Amarelo Distrófico, utilizando doses elevadas de lodo de esgoto: 33, 66 e 99 Mg ha^{-1} numa primeira aplicação e 37, 74, 110 Mg.ha^{-1} um ano após a primeira aplicação. Considerando o teor de N-NO_3 contido no lodo, foram aplicados 844, 1688 e 2532 kg ha^{-1} de N no primeiro ano, e 803, 1607 e 2388 kg ha^{-1} de N. Foram feitas avaliações do nitrogênio nas formas de N-NO_3^- e N-NH_4^+ na solução do solo, coletada a 0,3; 0,6 e 0,9 m de profundidade, em função da ocorrência de chuvas, aos 39, 94, 175, 209, 313, 342, e 396 dias após a incorporação da segunda aplicação de lodo de esgoto. Os autores observaram que maiores fluxos descendentes de N-NO_3^- e N-NH_4^+ ocorreram aos 39 e 94 dias após a incorporação. Aos 175, 209 e 313 dias após a incorporação, observaram fluxo ascendente de água devido à baixa quantidade de chuvas aliada à evapotranspiração. Observaram também que, do total de N-NO_3^- lixiviado, o N-NH_4^+ representava apenas 0,6 %, indicando que no solo bem drenado e com predomínio de condições anaeróbias o N-NH_4^+ fora rapidamente oxidado a N-NO_3^- . À profundidade de 0,3 m as maiores concentrações foram observadas aos 39 dias após a incorporação, sendo de 2,75; 27,67; 41,17; 59,98 e $137,87 \text{ mg L}^{-1}$ para a testemunha, tratamento mineral, e doses de mínima, média e máxima de lodo, respectivamente. À profundidade de 0,9 m foi observado

teor de N-NO_3^- de $1,47 \text{ mg L}^{-1}$ para a testemunha e de $8,08$ para o tratamento com fertilizante mineral. Para os tratamentos com lodo, as concentrações foram bem levadas ($48,10$; $64,16$ e $124,52 \text{ mg L}^{-1}$ de N-NO_3^- para a dose mínima, média e máxima de lodo, respectivamente), acima, portanto dos 10 mg L^{-1} , adotado pela Organização Mundial da Saúde, segundo os autores, traduzindo-se num elevado risco de contaminação do lençol freático.

Elevados teores de nitrato foram também observados por VIEIRA (2000), em estudos da mineralização do N com aplicação de doses 8 , 16 , 32 e 64 Mg ha^{-1} de lodo de esgoto num LATOSSOLO AMARELO textura arenosa, onde os teores de nitrato observados na camada de $0,0$ a $0,20 \text{ m}$ foram de $168,67 \text{ mg kg}^{-1}$ para o tratamento com dose máxima de lodo, estando esse valor muito acima do obtido na testemunha ($3,3 \text{ mg kg}^{-1}$) e do limite máximo adotado pelo Ministério da Saúde ($10,0 \text{ mg kg}^{-1}$). Segundo a autora, os dados foram obtidos num período de baixos índices pluviométricos, podendo se obter valores superiores nos períodos de chuvas, quando a taxa de mineralização se eleva, além de acentuar o risco com a lixiviação do excesso de nitrato.

3.3. Disposição final do lodo de esgoto

A par de suas potencialidades negativas, o lodo de esgoto encerra em sua composição todos os nutrientes essenciais às plantas, principalmente o nitrogênio, fósforo e micronutrientes, assim como elevado teor de matéria orgânica, o que torna atrativo seu uso como fertilizante, ou como condicionador de propriedades do solo (MELO et al., 2004a).

Mais de 90% do lodo produzido no mundo tem sua disposição final por meio de três processos: incineração, disposição em aterro e uso agrícola. A forma predominante é o uso agrícola denominada “uso benéfico”. Nos Estados Unidos, cerca de $55,0 \%$ do lodo produzido tem como destino a disposição agrícola, e deverá atingir $61,5 \%$ até o ano de 2010, segundo dados da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA, 1999).

Na Europa, segundo DAVIS e HALL (1997), a reciclagem agrícola, assim como a disposição em aterros sanitários são alternativas predominantes, onde são direcionadas, para cada uma dessas formas de disposição, 40% do lodo produzido.

Atualmente, a produção de lodo no Brasil está estimada em 150 a 220 mil toneladas de matéria seca por ano, segundo ANDREOLI e PINTO (2001). Esses autores consideraram

que, devido aos baixos índices de coleta e tratamento de esgoto ainda existentes no País, e à pressão da sociedade por melhores condições ambientais, há uma potencial tendência de ocorrer um incremento substancial na quantidade de lodo produzido na próxima década, podendo alcançar valores próximos a 325 mil toneladas por ano.

No Brasil, grande parte do lodo produzido tem como destino final o aterro sanitário, sendo esse processo denominado “co-disposição”, uma vez que o lodo é disposto juntamente com os resíduos sólidos domiciliares (LUDUVICE e FERNANDES, 2001). Segundo esses autores, o lodo deve apresentar, no mínimo, 20 % de sólidos totais, e que, resíduos com elevada umidade podem aumentar a produção de percolados no aterro e diminuir a estabilidade do talude, além de dificultar a compactação do lixo sólido.

Apesar de não haver no Brasil uma legislação específica que normatize e autorize o uso agrícola do lodo de esgoto, algumas estações de tratamento o têm feito mediante licenciamentos junto a órgãos ambientais, uma vez que o material é considerado um resíduo e, portanto, passível de fiscalização ambiental. No Estado de São Paulo, em particular, duas estações de tratamento obtiveram autorização para o uso agrícola do lodo, pelo registro deste como produto orgânico, junto ao Ministério da Agricultura. Tratam-se das estações de tratamento das cidades de Franca e Jundiaí, cujo lodo produzido é todo disponibilizado à agricultura a partir de doação do material via projeto agrícola apresentado pelo agricultor (Informes pessoais junto ao escritório do MINISTÉRIO DA AGRICULTURA em Campinas, SP).

Com o aumento no número de estações de tratamento de esgoto gerando mais lodo e com o impacto causado pela falta de alternativa para disposição de grande parte de lodo atualmente em produção, principalmente pelas estações da Região Metropolitana de São Paulo, e considerando-se ainda a produção elevada de lodo pelas duas estações da CAESB, em Brasília, DF, passou a constituir preocupação uma normatização do seu uso em áreas agrícolas, tendo em vista ser esta considerada mais econômica e, considerando alguns cuidados quanto ao seu uso, a forma ambiental mais correta. Com isso, o Ministério do Meio Ambiente, pelo CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente - deu início ao desenvolvimento de uma nova resolução que regulamentará o uso agrícola desse material.

3.4. Uso do lodo de esgoto na agricultura

O uso de lodo de esgoto na agricultura constitui uma alternativa viável e interessante, pois o resíduo é fonte de matéria orgânica e de nutrientes para as plantas (ROS et al., 1993), além de proporcionar, de forma contínua, o fornecimento de nutrientes para o solo e para o sistema radicular das árvores ao longo de vários anos, garantindo a manutenção do teor desse elemento nas folhas, com reflexo positivo na produtividade (ZABOWSKI e HENRY, 1994).

3.4.1. Reflexo no rendimento das culturas

Diversas culturas têm sido testadas para o emprego do lodo de esgoto em solos agrícolas. Dentre as que oferecem boas respostas ao seu uso, o milho tem se revelado como uma das mais promissoras ao seu emprego. Seu ciclo se adequa ao tempo de mineralização da matéria orgânica e, com isso, possibilita melhor aproveitamento dos constituintes dos resíduos de esgoto. A aplicação do lodo de esgoto compensa, de certa forma, o depauperamento do solo proporcionado pela exportação de nutrientes da cultura quando esta se destina a silagem. Vários experimentos têm acusado um aumento de produção de até 60 % na produção de milho, quando utilizado o lodo de esgoto, como indicam os dados da SANEPAR (1997).

A aplicação de doses de lodo de esgoto com teores de nutrientes duas vezes superiores ao recomendado promoveu um acréscimo de 25 % na produção de milho, quando comparada ao tratamento com fertilizantes químicos (GALDOS et al., 2004). Os resultados de matéria seca do tratamento com a dose máxima de lodo ($21,6 \text{ Mg.ha}^{-1}$ de massa seca) apresentaram valores superiores a 39 % em relação a testemunha, tratada com fertilizante químico no primeiro ano de avaliação, sendo essa diferença reduzida para 26 % no segundo ano.

SILVA et al. (2000), em estudo com lodo de esgoto em um LATOSSOLO VERMELHO com milho, observaram que uma dose de $5,4 \text{ Mg ha}^{-1}$ foi suficiente para manter a produção da cultura em 4700 kg ha^{-1} , sendo que o efeito residual manteve esse nível de produção por mais três anos. Esses autores determinaram a dose de 19 Mg ha^{-1} como a de produtividade máxima do milho.

Aplicando lodo de esgoto a uma rotação milho x aveia preta-ervilhaca, ROS et al. (1993) obtiveram aumentos na produção de matéria seca tanto do milho (efeito imediato), como para a consorciação aveia-ervilhaca (efeito retardado).

O lodo de esgoto, quando em dose adequada, não interfere na nodulação da soja, podendo substituir a fertilização fosfatada, de acordo com VIEIRA e SILVA (2004). Esses autores testaram doses com teores de fósforo equivalente à metade e ao dobro da dose adequada, em um LATOSSOLO VERMELHO textura média. Quanto à produção, observaram valores de produção semelhantes entre os tratamentos com lodo (3,0 e 6,0 Mg ha⁻¹) e o tratamento com fertilizantes, demonstrando que, nessas doses, o lodo poderia suprir a necessidade de fósforo para a cultura da soja.

3.4.2. Reflexo nas propriedades químicas do solo

3.4.2.1. Nitrogênio, fósforo e potássio

A qualidade dos nutrientes contidos no lodo depende do esgoto que lhe deu origem e do tipo de tratamento que sofreu, como pode ser observado na Tabela 3.5. Os nutrientes encontrados em maior quantidade são o nitrogênio e o fósforo.

Tabela 3.5 – Teor de nutrientes e carbono em diversos tipos de lodo de esgoto, utilizados em pesquisa no Brasil (dados em % de matéria seca)

Estação	Processo de produção	CO	N	P	K	Ca	Mg	Fonte
Barueri (SP)	Ativado	21,0	2,25	1,48	0,01	7,29	-	TSUTIYA (2000)
Franca (SP)	Ativado	34,0	9,15	1,81	0,35	2,13	-	TSUTIYA (2000)
Belém (PR)	UASB	32,1	4,19	3,70	0,36	1,59	0,60	SANEPAR (1997)
Curitiba (PR)	RALF	20,1	2,22	0,87	0,95	0,83	0,30	SANEPAR (1997)
ETE SUL (DF)	Aerado	62,5	5,35	1,70	0,18	2,88	0,41	SILVA et al. (2000)
Sanear (SP)	Lagoa aerada	40,6	5,71	1,22	0,70	0,39	0,33	

Fonte: adaptado de ANDREOLI et al. (2001)

O nitrogênio é o elemento de maior valor econômico contido no lodo, sendo também o que conduz a maiores resposta de produção pelas culturas. Suas origens são os dejetos presentes no lodo de esgoto e da biomassa microbiana, ocorrendo na forma inorgânica (mineralizados) como nitrato e amônio, e orgânica, constituindo moléculas de proteínas, aminoácidos, amidos, associados a polímeros etc.

A fração orgânica do N no lodo constitui a maior porção, variando de 70 a 90 %, dependendo do tipo e da idade do lodo. As formas minerais (nitrato e amoniacal), apesar de representarem pequena fração, apresentam-se prontamente disponíveis para as plantas, enquanto o N orgânico deverá passar pelo processo de mineralização, transformando-se lentamente em formas minerais, para só então ser absorvido pelas plantas.

O N mineral no solo é considerado elemento efêmero, pois é logo absorvido pela planta, lixiviado ou perdido para a atmosfera, pela desnitrificação. A disponibilidade do N contido no lodo para as plantas pode ser determinada pela soma dos nitrogênios orgânico, nítrico e amoniacal, devendo se considerar, para tanto, as proporções de mineralização do N orgânico e a volatilização do N amoniacal. A mineralização do N orgânico deve ser determinada para cada tipo de solo e de lodo utilizado, porém as pesquisas apontam um valor médio de mineralização da ordem de 30 a 40% no primeiro ano após a aplicação, 10 a 20 % no segundo ano e 5 a 10 % no terceiro ano. Quanto à volatilização do N amoniacal, esta é variável com a aplicação do lodo. O resíduo incorporado logo após a geração e aplicação tende a perder menos N. Considera-se, para efeito de cálculo, que haja uma perda aproximada de 20% do N amoniacal, sendo o N nas formas de nitrato e nitrito os mais prontamente disponíveis às plantas (KIEHL, 1985).

A alta solubilidade do N representa grande risco de contaminação do lençol freático. Por essa razão, as doses de lodo, muitas vezes, são limitadas em função do aporte de N adicionado com o lodo, que não deve ser superior à demanda da cultura.

Os elementos nutrientes contidos em altas proporções no lodo de esgoto podem permitir, quando adicionados ao solo, não somente um maior desenvolvimento vegetal, pela maior assimilação desses elementos pela planta, como também pelo aumento nas concentrações desses elementos no solo ao longo do tempo, principalmente pela mineralização do C orgânico contido nesse material, aumentando sua disponibilidade (VAZ e GONÇALVES, 2002). Esses autores observaram maior assimilação do N e S pela planta a

partir da constatação de aumento nos teores desses elementos nos tecidos de plantas de eucalipto, sob tratamento com doses de 40 Mg ha⁻¹ de lodo, aos 6 e 12 meses após a aplicação. Segundo esses autores, a maior absorção e assimilação do N é aceita como uma das principais causas da resposta ao crescimento das árvores às doses crescentes de lodo de esgoto e que, no estágio juvenil, até aproximadamente 24 meses, período em que ocorre a expansão da área foliar e sistema radicular, a demanda de N é muito elevada.

A adição de N, principalmente em solos com baixo teor de matéria orgânica, como é o caso da maioria das áreas de plantio de eucalipto e também das áreas degradadas, resulta em acréscimos na taxa de crescimento das plantas, sendo que esse efeito perdura até o fechamento das copas, ocasião em que o fator limitante ao crescimento das árvores passa a ser a competição por luz e água, e que o suprimento de N via mineralização da matéria orgânica do solo e ciclagem de nutrientes atende à demanda das árvores (BARROS et al., 1990).

RAIJ (1998) apresentou resultados do incremento de nitrogênio disponível e de fósforo no solo pela adição de lodo de esgoto da ordem de três vezes a quantidade máxima necessária recomendada para a maior parte das culturas de grãos, para uma dose de 32 Mg ha⁻¹. Esse autor observou que, para essa mesma dosagem, ocorreu uma adição de 100 kg de Nitrogênio disponível, sendo que outros 170 kg foram inseridos na forma orgânica, contribuindo para aumentar ainda mais o nitrogênio disponível ao longo do tempo. Assim, o uso do lodo de esgoto, como adubo orgânico, contribui para reduzir os gastos com fertilizantes, principalmente os fosfatados e nitrogenados (CARVALHO e BARRAL, 1981).

SILVA et al. (2000) observaram que o lodo de esgoto melhora a fertilidade do solo pelo fornecimento de nutrientes, principalmente de Ca, P, S e Zn e pelo aumento da CTC efetiva, utilizando lodo tratado com calcário.

O fósforo contido no lodo provém de dejetos, células de microrganismos que atuam no tratamento de esgoto e detergentes e sabões que utilizam fosfatos como aditivos (TSUTIYA, 2000b). O lodo é rico em fósforo e apresenta uma biodisponibilidade superior a 80 % do total contido no lodo (RAIJ et al., 1997).

Devido à alta capacidade de fixação do P no solo (adsorção, precipitação), apenas 5 a 30 % do P aplicado por meio do fertilizante químico são aproveitados pelas plantas (MALAVOLTA, 1980). O lodo pode contribuir para a otimização do P na agricultura, apresentando liberação lenta e contínua às plantas; pode atuar no ciclo do P no solo,

auxiliando a disponibilidade do P mineral fixado, uma vez que a matéria orgânica contida no lodo, ao ser decomposta, libera ácidos, solubilizando parte do P fixado no solo; complexa o P da solução do solo, liberando-o mais tarde, podendo ainda revestir os componentes do solo que fixam o P mineral (ANDREOLI et al., 2001).

GALDOS et al. (2004) observaram aumento do teor de fósforo em solo que recebeu 21 Mg ha^{-1} de lodo de esgoto, passando de médio para alto na profundidade de 0,00 a 0,05 m. Esses autores observaram também maior teor de P disponível (extraído por NaHCO_3) e do P solúvel ligado aos óxidos de Fe e Al (extraídos com NaOH). Isso indica, segundo os autores que, se a aplicação de lodo pode disponibilizar P, essa disponibilidade pode ser rapidamente reduzida pela interação do nutriente com os componentes dos solos tropicais (óxidos de Fe e Al).

3.4.2.2. Matéria Orgânica e Capacidade de Troca Catiônica (CTC)

KLADIVKO e NELSON (1979) estudaram o efeito do lodo, com doses crescentes, no teor de matéria orgânica do solo, em três sistemas de distribuição do resíduo e preparo do solo. Para todas as técnicas estudadas houve incremento do teor de matéria orgânica no solo, porém a incorporação com grade de disco, a 0,05 m de profundidade e a distribuição em superfície sem incorporação, foram os que maiores teores apresentaram, sendo de 1,03 para 3,37 % da testemunha e da dose máxima de lodo ($89,6 \text{ Mg ha}^{-1}$) respectivamente. Segundo os autores, isso se deveu ao fato de se ter concentrado todo o lodo numa camada bem menor do que o sistema com enxada rotativa, que incorporou o material até a profundidade de 0,15 m. Observaram também que os teores adicionais se mantiveram ao longo do tempo, quando das amostragens de solo aos 2, 4 e 12 meses após a aplicação. Nesse mesmo estudo foi avaliada a CTC do solo, que recebeu um acréscimo com a adição de lodo ($97\,248 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para a testemunha e para a dose máxima de $89,6 \text{ Mg ha}^{-1}$).

O tempo de degradação da matéria orgânica contida no lodo determinará seu efeito nas propriedades do solo. Considerando que grande parte dos solos de regiões tropicais são altamente intemperizados, com predomínio de argilas de baixa atividade e com abundante presença de óxidos e de ferro e alumínio, a matéria orgânica passa a ter importância fundamental nas propriedades físico-químicas desses solos. Ao se decompor e atingir uma fase

mais estável, humificada, ela promove o aumento da densidade de cargas elétricas em sua superfície, contribuindo para o aumento da capacidade desses solos na permuta de cátions (LEPSCH, 2002).

MELO et al. (1994) observaram um tempo de degradação muito curto da matéria orgânica oriunda do lodo de esgoto, quando comparado a de outros materiais orgânicos. Utilizando doses de 32 Mg ha⁻¹, observaram diferenças nos teores de carbono orgânico de até 230 dias após o plantio da cana-de-açúcar, em relação ao tratamento sem lodo de esgoto. O fracionamento da matéria orgânica revelou que os maiores teores de carbono orgânico ocorreram na fração humina, seguindo-se as frações ácidos fúlvicos e ácidos húmicos.

O uso de lodo de esgoto na agricultura constitui uma alternativa muito viável e interessante, pois o resíduo é fonte de matéria orgânica e de nutrientes para as plantas (ROS et al., 1993). Assim, seu uso como fertilizante orgânico contribui para reduzir os gastos com fertilizantes minerais, principalmente os fosfatados e nitrogenados (CARVALHO e BARRAL, 1981).

A matéria orgânica é a principal responsável pela capacidade de troca catiônica dos solos (CTC), atuando como reservatório de nutrientes para as plantas, como o cálcio, magnésio e potássio (SEKI, 1995). Como fator ambiental, a matéria orgânica melhora o estado de agregação das partículas do solo (BERNARDES, 1982), aumentando a infiltração da água no solo e reduzindo, portanto, o escoamento superficial. A matéria orgânica é, ainda, responsável pelo aumento da capacidade de retenção de água no solo (BARRETO, 1995) e incremento da atividade biológica, favorecendo o desenvolvimento vegetal.

Para o estudo da dinâmica da matéria orgânica no solo, experimentos de curto prazo têm sido realizados para determinar suas taxas de adição e decomposição em diferentes tipos de solos e culturas. Estudos conduzidos por MARQUES (1997) em LATOSSOLO VERMELHO textura média, cultivado com cana-de-açúcar, após um ano de incorporação de doses crescentes de lodo de esgoto, mostraram acréscimos anuais de matéria orgânica da ordem de 0,05 a 0,12 g dm⁻³ por tonelada de lodo aplicado em um hectare, respectivamente na linha e na entrelinha de plantio. Os resultados com a dose máxima observada nesse estudo demonstraram um acréscimo de 23 % da matéria orgânica do solo.

A adição de lodo de esgoto em um ARGISSOLO promoveu aumento nos teores de matéria orgânica, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre e na CTC (SIMONETE et al,

2003), com redução no pH do solo. Esta redução foi também observada por LOGAN et al. (1997). Cabe observar que o lodo utilizado nesses estudos não sofreu calagem para redução de patógenos e que, portanto, não promoveu aumento no pH do solo, como observado por BERTON et al (1989) e SILVA et al (2001).

MELO et al. (1994) verificaram que em solos cultivados com cana-de-açúcar o carbono orgânico adicionado ao solo pelo lodo, numa dose de 16 Mg ha⁻¹, apresentou um tempo de residência muito curto (77 dias). No entanto, para doses de 32 Mg ha⁻¹, o efeito prolongou-se para 230 dias, com um aumento significativo na Capacidade de Troca Catiônica (CTC) do solo; os valores passaram de 56,3 para 77,6 mmol_c dm⁻³, representando um aumento de 37 %, com uma alta correlação entre a CTC e o carbono-humina.

A aplicação do lodo de esgoto pode provocar, na fase inicial, uma redução da matéria orgânica do solo, como foi observado por VAZ e GONÇALVES (2002) em estudos com eucalipto. Eles consideraram que as maiores reduções nos primeiros meses de instalação da cultura ocorreriam, provavelmente, devido à maior disponibilidade de frações de carbono decomponível, além do que, segundo STEVENSON (1986), a adição de material orgânico no solo pode estimular a decomposição de húmus, graças ao aumento da atividade microbiana.

3.4.3. Reflexo nas propriedades físicas do solo

3.4.3.1. Porosidade e densidade do solo

Os efeitos do lodo de esgoto nos parâmetros físicos do solo dependem do tipo de solo e da quantidade de lodo aplicada (MELO et al., 2004a). Esses autores verificaram um aumento na macroporosidade de um LATOSSOLO VERMELHO textura média, utilizando doses de 50 Mg ha⁻¹ acumuladas durante cinco anos, e uma redução da densidade, na camada de 0,00 a 0,10 m. No entanto, a adição de lodo nessa dosagem não alterou a porosidade total, a microporosidade e a retenção de água.

Em estudos de aplicação de doses crescentes de lodo de esgoto em diferentes formas de preparo de solo, KLADIVKO e NELSON (1979) constataram um aumento significativo na porosidade, de 7,5 % da testemunha para 21,4 % para a dose de 86 Mg ha⁻¹. Analisando a porosidade ao longo do tempo, observaram decréscimo, sendo de 21,4 % aos dois meses e 14,2 % aos 12 meses após a aplicação do lodo.

A redução dos valores da densidade do solo também foi observada por AGGELIDES e LONDRA (2000), com a adição do lodo de esgoto. Entretanto, JORGE et al. (1991) não observaram alterações na densidade do solo, na sua porosidade total e nos parâmetros de infiltração da água no solo, em avaliação de um LATOSSOLO VERMELHO, quatro anos após tratamento do solo com a adição de 40 e 80 Mg ha⁻¹ de lodo de esgoto. Esses autores observaram que o acréscimo do calcário elevou o pH de 4,0 para 6,0, tendo aumentado também o teor de cálcio, com redução do Al³⁺ trocável do sistema, sendo este último o cátion com maior poder de floculação. Constataram aumento na porosidade total de um solo franco arenoso cultivado com milho.

PAGLIAI et al. (1981) estudaram a interação do lodo de esgoto e resíduos sólidos urbanos nas propriedades físicas do solo, mediante métodos micromorfológicos, em que foram feitas análises de imagens eletro-ópticas de algumas secções delgadas do solo, para determinação da disposição e tamanho de poros, em um solo de textura média, com CTC de 134 mmol_c dm⁻³. Constataram incremento significativo da porosidade total com a adição de 50 Mg ha⁻¹ de lodo de esgoto anaeróbico, quando comparado à testemunha, sendo de 8,2 % no primeiro período medido (30 dias após a aplicação) e de 15,2 % no segundo período de medição (4 meses após), conforme mostrado na Figura 3.1. Observaram também que as diferenças no incremento mantiveram-se próximas de 12,6 %, em avaliações procedidas um ano após a aplicação dos resíduos. Para a dose de 150 Mg ha⁻¹, as diferenças observadas na porosidade total do solo aos 30 dias, após 4 meses e 1 ano da aplicação do lodo foram, respectivamente: 9,0; 22,0 e 22,5 %.

A distribuição do tamanho de poros afeta diretamente a porosidade total do solo, e os efeitos diretamente ligados à cultura, tais como facilidade de penetração radicular, armazenamento e movimento da água e dos gases no solo. Uma classificação dos poros com vistas às funções agronômicas no solo foi proposta por GREENLAND (1977), em que os *poros de armazenamento de água* apresentariam tamanho de 0,5 a 50 µm; *poros transmissores* de água e gases com tamanho de 50 a 500 µm e poros com tamanho superior a 500 µm de *fissuras*, sendo esta última especialmente importante em solos de textura fina. PAGLIAI et al. (1981) observaram efeito de doses de lodo de esgoto na proporção de poros de armazenamento e transmissão de água e gases (de 0,5 a 50 µm), o que, segundo os autores, reflete melhora na estrutura do solo. Segundo esses autores a aplicação promoveu acúmulo de matéria orgânica

em todas as parcelas tratadas, com importante papel no desenvolvimento de poros, principalmente pela maior presença de poros grandes e irregulares; em alguns casos, a fina camada de material orgânico translocado cobriu parcialmente as paredes dos poros, principalmente em solos estruturados.

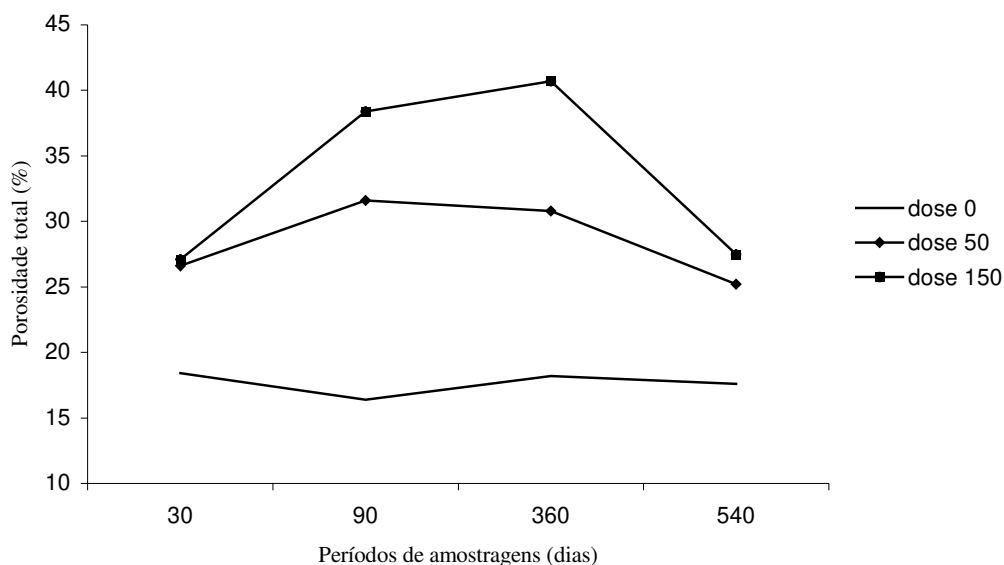


Figura 3.1 – Porosidade Total de um solo de textura média tratado com diferentes doses de lodo de esgoto anaeróbico (A partir dos dados de PAGLIAI et al., 1981)

3.4.3.2. Estabilidade de agregados do solo

SILVA et al. (2004) verificaram que o lodo de esgoto proporcionou maior estabilidade dos agregados estáveis em água nas camadas superficiais de um LATOSSOLO VERMELHO textura média sob cultivo de sorgo; o aumento da dose fez aumentar linearmente a estabilidade dos agregados. A dose de 40 Mg ha^{-1} serviu para diferenciar a estabilidade de agregados com e sem emprego de lodo de esgoto. Para essa dose máxima foram obtidos diâmetros medianos ponderados superiores em 59 % aos da testemunha.

A adição de doses de 56 Mg ha^{-1} de lodo promoveu um aumento no diâmetro mediano ponderado (DMP) de 1,49 contra 0,59 da testemunha, na camada de 0,00 a 0,05 m, com incorporação procedida com enxada rotativa, de acordo com estudos de KLADIVKO e

NELSON (1979). Esses autores concluíram que a maior agregação se deveu à presença de partículas de lodo de esgoto estáveis em água, além da cimentação das partículas do solo promovida pelo metabolismo microbiano, cujo aumento foi induzido pelo aporte de matéria orgânica, quando da aplicação de lodo. Os autores observaram maior agregação no sistema de cultivo com lodo sobre a superfície, sem incorporação, e lodo incorporado com grade de disco a 0,05 m de profundidade, de modo diferente ao praticado com a enxada rotativa, devido, possivelmente, à grande concentração de resíduo numa camada de menor profundidade para os dois primeiros sistemas de preparo de solo. Observaram também que a estabilidade de agregados em água decresceu com o tempo, quando analisaram o solo em períodos bimensais (até 12 meses), tendo atribuído o decréscimo ao estresse físico.

Agregados e porosidade do solo podem ser facilmente destruídos pelo estresse hídrico, principalmente em solos de textura grosseira, pela maior dificuldade dos compostos orgânicos em aglutinarem as grandes partículas de areia, além da mais rápida decomposição da matéria orgânica. Nessas circunstâncias, o efeito na estabilidade desses agregados por compostos orgânicos é fraco, de acordo com PAGLIAI et al. (1981). Esses autores, ao estudarem a ação de diversos compostos de lixo e lodo de esgoto na estabilidade de agregados em água em um solo de textura média, observaram efeito significativo para o lodo de esgoto aeróbio e anaeróbio, cujos resultados apontaram para uma estabilidade maior no período que coincidiu com o período de maior atividade microbiana, que, por sua vez, estava vinculada ao período de incidência de altas temperaturas ambientais (de julho a setembro, na Itália). Quanto ao tipo de lodo utilizado, o anaeróbio apresentou maior duração no efeito da estabilidade de agregados, o que poderia estar relacionado com o aumento na quantidade de compostos orgânicos estáveis presentes nesse tipo de lodo, como a lignina, celulose, lipídeos e material húmico, não modificados no processo de tratamento anaeróbio (MAC COY, 1971). Esses compostos são altamente estáveis e podem interagir diretamente com a superfície do solo, provocando um fortalecimento nos agregados, além do que, tais compostos são mais resistentes à degradação microbiana, o que também poderia explicar o fato de as taxas de decomposição do lodo anaeróbio serem mais baixas do que as do lodo produzido por processos aeróbios (PAGLIAI et al, 1981).

JORGE et al. (1991), em estudos das condições físicas de um LATOSSOLO VERMELHO, quatro anos após a aplicação de lodo de esgoto, observaram aumento na

quantidade de agregados com diâmetros médios superiores a 1,0 mm no tratamento com lodo, além de um acréscimo no índice de agregação de 0,76 para 1,44 mm. A estabilidade dos agregados maiores que 2,0 e 4,0 mm foi reduzida com a adição de calcário ao lodo, indicando a destruição desses agregados, uma vez que a adição do corretivo promoveu a elevação do pH e do teor de cálcio do solo, reduzindo, com isso, o teor de alumínio trocável, cátion com maior poder de floculação.

3.4.4. Reflexos na atividade microbiana do solo

O ecossistema do solo costuma sofrer distúrbios em consequência das práticas agrícolas, ou seja, do manejo, em suas diferentes intensidades. Há um grande desafio em desenvolver ou adaptar métodos para monitorar ou avaliar o impacto antrópico sobre os processos biológicos do solo e sobre os organismos que nele habitam, em condições de campo, sendo que qualquer índice de qualidade do solo deve incluir, além dos índices convencionais (físicos e químicos), diversas variáveis biológicas e bioquímicas para que, no conjunto, possam refletir os complexos processos que afetam a qualidade do solo (FRIGHETTO e VALARINI, 2000).

Cerca de 50 a 80 % da matéria seca dos vegetais é constituída por carboidratos, enquanto os microrganismos contêm até 60 % de C orgânico. A degradação da matéria orgânica envolve, pelo menos, quatro grupos distintos de microrganismos: celulolíticos, hemicelulolíticos, pectinolíticos e ligninolíticos, cuja rapidez está associada mais à presença de uma comunidade microbiana do que a uma única população (TAUK, 1990). Segundo essa autora, os microrganismos decompositores precisam de muita energia e, exceto em casos dos anaeróbios e dos quimiotróficos, as reações requerem consumo de O₂ e liberação de CO₂. A evolução desta última tem sido utilizada para indicar taxas de decomposição da matéria orgânica, cuja determinação é complicada pela sua solubilidade em soluções, além do que os resultados expressam a respiração total da comunidade, não distinguindo a contribuição individual de plantas ou dos microrganismos.

A avaliação da atividade microbiana de um solo está relacionada à grandeza de sua biomassa microbiana, ou seja, com a quantidade de matéria microbiana. Existem vários métodos que possibilitam estimar a biomassa microbiana, mas nenhum deles reflete a situação real da atividade de todos os microorganismos presentes em um determinado solo. Um modo

pelo qual isto pode ser feito é medindo a quantidade de oxigênio consumido, ou a de dióxido de carbono liberado por uma amostra de solo em um determinado período de tempo (JACKSON e RAW, 1966).

A biotransformação (biodecomposição ou biodegradação) propiciada pela biomassa microbiana no solo é um dos processos mais importantes que atuam sobre os compostos orgânicos, sendo utilizados em estimativas da biomassa da população microbiana presente no solo (GRISI, 1984).

Dentre os nutrientes imprescindíveis aos microrganismos, destaca-se o Carbono, na forma de aminoácidos, ácidos graxos e açúcares, e o Nitrogênio como amônia e nitratos, que são absorvidos pelos microrganismos decompositores, e o Nitrogênio molecular atmosférico, pelos fixadores deste elemento (PICCOLO, 1996).

A avaliação da biomassa é útil para se obter informações rápidas sobre mudanças nas propriedades orgânicas do solo tais como: mudanças causadas por cultivos ou por devastação de florestas; medição da regeneração do solo após remoção da camada superficial e avaliação de efeitos poluentes tais como metais pesados e pesticidas. Além disso, a biomassa reflete a dinâmica da decomposição da matéria orgânica, influenciando na disponibilidade de nutrientes para as plantas e alterando as propriedades físicas do solo. O conhecimento sobre a biomassa microbiana é mais útil quando combinado com outros fatores ligados ao solo, como os oriundos de interação trófica, funcionamento dos ecossistemas, atividades do solo e produtividade primária, ou mesmo em conjunto com avaliações sobre estresses e alterações ecológicas (SIQUEIRA, 1994).

A biomassa microbiana tem sido utilizada como indicadora da qualidade de solos, sendo definida por JENKINSON e LADD (1981) como a parte viva da matéria orgânica do solo, excluindo raízes e animais maiores que $5,0 \times 10^{-15}$, constituindo um meio de transformação para todos os materiais orgânicos do solo e atuando como reservatório de nutrientes disponíveis às plantas.

LIMA et al. (1994) observaram que a biomassa microbiana evidenciou supremacia dos sistemas que mantêm cobertura morta à superfície do solo, com redução nos níveis de carbono para sistemas de cultivo como o plantio direto, cultivo mínimo e convencional, quando comparado a um ecossistema natural.

MATSUOKA et al. (2003) também consideraram que o carbono da biomassa microbiana é um indicador biológico sensível para identificar alterações no solo de acordo com os diferentes sistemas de uso da terra. A biomassa microbiana é um constituinte da matéria orgânica do solo; a quantificação da porcentagem de carbono microbiano (C_{mic}) em relação carbono orgânico permite acompanhar, de forma mais rápida, as perturbações sofridas pelo desequilíbrio ecológico e variações no total de matéria orgânica ocasionadas pelo manejo do solo, pois reage com maior rapidez do que os parâmetros físico-químicos (CATELAN e VIDOR, 1990).

Dentre os constituintes da fração orgânica do solo, a biomassa microbiana, embora quantitativamente pouco representada, é de grande importância, sendo que os produtos do seu metabolismo constituem, por exemplo, uma das principais fontes do nitrogênio mineral e fósforo para as plantas (JENKINSON e LADD, 1981).

O aumento na atividade microbiana, avaliada pela respiração do solo, tem sido justificado pelo acúmulo de matéria orgânica rica em frações lábeis à superfície (VARGAS e SCHOLLES, 2000). Uma atividade biológica maior tem sido observada em sistemas de plantio direto devido ao acúmulo de matéria orgânica na superfície do solo, quando comparado a sistemas convencionais (BALOTA et al., 1998).

3.4.5. Aspectos ambientais do uso agrícola do lodo de esgoto

A disposição agrícola do lodo de esgoto interfere na dinâmica do carbono na atmosfera. O carbono existente no planeta é distribuído em vários componentes da biosfera, sendo que 96 % estão concentrados nos oceanos e combustíveis fósseis, enquanto que na atmosfera apenas 1,6 7 % estão presentes (Tabela 3.6).

Nos últimos 200 anos a influência antrópica reduziu consideravelmente o carbono da biomassa, pelos desmatamentos e sua devolução para a atmosfera, mediante queima de combustíveis fósseis. Dos 6 a 8 Gt de carbono lançados na atmosfera nestes processos, 37,5 % são transferidos aos oceanos; pode ocorrer um acúmulo de até 62,5 Gt de carbono na atmosfera (LASHOF e LIPAR, 1989). A estimativa de retirada de carbono da atmosfera, considerando técnicas que incrementam a produção da biomassa no solo, pode chegar a 1,23 Gt de carbono por ano, considerando 50 % dos solos hoje utilizados.

O tempo de permanência do CO₂ nos solos é de aproximadamente 25 a 30 anos e de 3 anos na atmosfera. Os solos têm, portanto, um grande potencial no manejo do ciclo do carbono e, conseqüentemente, sobre o efeito estufa (ANDREOLI et al., 2001).

Tabela 3.6 – Distribuição do carbono na atmosfera

Componentes	Quantidade (10 ² Gt)	%
Oceanos	380,00	85,92
Combustíveis fósseis	40,00	8,94
Solos	15,50	3,46
Biota	4,50	1,01
Atmosfera	7,48	1,67
Total	447,48	100,00

Fonte: LASHOF e LIPAR (1989)

3.5. Lodo de esgoto na recuperação de áreas degradadas e no reflorestamento

Na recuperação de áreas degradadas preocupa-se com o retorno destas a uma forma produtiva, tecnicamente compatível com os valores ambientais, culturais e sociais locais, segundo o IBAMA (1990). Consiste, pois, do processo inverso à degradação (KOBAYASHI, 1993). Hoje, a recuperação assume várias formas, procurando atingir determinados quesitos. A recuperação pode ser conseqüência de qualquer processo que vise à obtenção de uma nova utilização para a área degradada, desde que resulte na formação de uma paisagem estável (MAJER, 1989).

Grande parte das principais áreas intensamente degradadas pela atuação antrópica decorre da inadequação das práticas de estabelecimento de mineração e de áreas remanescentes da construção de usinas hidrelétricas. Pela utilização indevida da paisagem e dos ecossistemas envolvidos, a degradação progride, alterando as características físicas, químicas e biológicas dos solos envolvidos (MELO, 1994). Segundo esse autor, estas áreas, em muitos casos, acabam sendo naturalmente recolonizadas, com a instalação de uma

vegetação empobrecida e de forma lenta. A baixa capacidade de retenção de água e de íons, reduzindo a disponibilidade de água às plantas, constitui importante limitação à capacidade produtiva dos solos. O manejo adequado deve prever o enriquecimento e a manutenção, pelo maior tempo possível, da matéria orgânica no solo, o que pode ser conseguido com a aplicação de resíduos orgânicos e com a prática da adubação (PEREIRA et al., 1992).

PINTO (1998), estudando a recuperação de uma cascalheira no Distrito Federal, em 600 ha de área de materiais para a construção da cidade de Brasília, utilizou gramínea e lodo nesse processo, tendo em vista o seu rápido crescimento e grande consumo de Nitrogênio disponível, controlando, assim, o risco ambiental pela contaminação do lençol freático por nitrato.

Em estudo de recuperação de um LATOSSOLO VERMELHO degradado, utilizando adubo verde, ALVES (2001) observou melhora na qualidade do solo ao avaliar aspectos físicos e químicos num período de quatro anos; houve, porém, redução no teor de matéria orgânica nos primeiros anos, vindo a elevar-se no último ano de observação, além de um acréscimo nos valores da CTC do solo.

A fertilização de povoamentos florestais com lodo de esgoto tem como ponto positivo o fato de que os produtos dessas culturas não são voltados para a alimentação humana ou animal, reduzindo, portanto, os riscos de contaminação do homem (GONÇALVES et al., 2000).

O lodo puro manteve uma umidade mínima necessária à sobrevivência de árvores por até seis semanas, com doses de 66% e 80% do volume da cova, aplicadas a um solo degradado por atividade de mineração e com um teor de água de 8,5 % na época da seca, segundo (CORREA e MELO FILHO, 1998).. A umidade do substrato foi suficiente para manter a planta viva até a quarta semana (15 % e 17 % respectivamente). A manutenção lenta da umidade por um tempo prolongado foi considerada importante para situações como a encontrada em solos dos cerrados, sujeitos a períodos de estiagem embutida no período chuvoso, conhecidos como “veranico”.

VAZ e GONÇALVES (2002) avaliaram o efeito do lodo de esgoto em povoamento de eucalipto instalado em um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, textura média. Após 13 meses da aplicação, observaram a elevação do pH e dos teores de P, Ca, K e S somente na camada de 0,00 a 0,05 m; com o aumento das doses de lodo, os teores de N e S do tecido foliar

elevaram-se. Observaram também que a disponibilidade do P aumentou com o tempo, resultando em maior absorção do P e crescimento das plantas. Para doses maiores que 10 Mg ha⁻¹, de um lodo com baixos teores de K, os autores sugeriram a complementação do K na forma de fertilizante mineral, o que elevaria a fertilidade do solo, além de um aumento significativo no desenvolvimento das plantas. A elevação das doses de lodo de 0 a 40 Mg ha⁻¹ resultou numa resposta quadrática na produção de madeira, sendo que a resposta à aplicação de lodo expressou-se melhor com a idade das plantas, refletindo, principalmente, os efeitos benéficos decorrentes da elevação da disponibilidade de nutrientes para as árvores.

4. Material e Métodos

4.1 Histórico e caracterização da área experimental

4.1.1. Localização

A área experimental está localizada no município de Selvíria, MS, à margem direita do Rio Paraná, com as coordenadas de $51^{\circ} 22'$ de longitude a oeste de Greenwich e $20^{\circ} 22'$ de latitude sul, com altitude média de 327 metros (Figura 4.1). A área faz parte da Fazenda de Ensino e Pesquisa da Faculdade de Engenharia, Campus de Ilha Solteira, pertencente à Universidade Estadual Paulista – Unesp.



Figura 4.1 – Imagem de satélite da área experimental com indicação da área do experimento pela seta vermelha

As características climáticas da área em estudo, segundo DEMATTÊ (1980), são: temperatura média anual de 23,7⁰ C, sendo a média do meses mais quentes (janeiro e fevereiro) de 25,7⁰ C, e a dos meses mais frios (junho e julho) de 20,6⁰ C; a precipitação média anual é de 1300 mm; a umidade relativa média dos meses chuvosos é de 60 a 80 %, e nos meses mais secos de 50 a 60 %; o tipo climático segundo Köppen é Aw (clima tropical úmido, com estação chuvosa no verão e seca no inverno). O período chuvoso se estende de outubro a março, sendo que os meses de dezembro, janeiro e fevereiro constituem o trimestre mais chuvoso, e o trimestre mais seco corresponde aos meses de junho e agosto (média de 27 mm).

A Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira, no Rio Paraná, foi construída de 1967 a 1977 na divisa do Estado de São Paulo com o Estado de Mato Grosso do Sul, para a geração de 3.240 Mega-watts. Tendo em vista não se exigirem, na época, relatórios de impacto ambiental, a construção transcorreu sem a adequada preocupação com a degradação ambiental. Assim, foram retirados grandes volumes de solo para essa construção, determinando a degradação da área circunvizinha à represa nos municípios de Ilha Solteira (SP) e Selvíria, (MS), ambos margeando o Rio Paraná, utilizando-se veículos “fora-de-estrada” (Figura 4.2). A área total impactada nos dois municípios ultrapassa 1000 hectares. A fazenda de Ensino e Pesquisa da Unesp apresenta uma área total de 1000 hectares dos quais, 700 hectares foram utilizados para retirada de solo (área de empréstimo).

O solo original da área de estudo fora designado anteriormente Latossolo Vermelho-Escuro textura média (DEMATTÊ, 1980), que no atual Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999b), corresponde ao LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, textura média. Quanto ao subsolo degradado (o que restou do solo após a retirada de terra), apresenta-se também com textura média, com teor de argila de 295 a 315 g.kg⁻¹ na camada de 0,00 a 0,10 m, conforme dados da caracterização da área experimental.



Figura 4.2 - Detalhe de veículo utilizado na retirada de solo da área de empréstimo, por ocasião da construção da Usina Hidrelétrica, em 1969

No momento da instalação do experimento, a área encontrava-se totalmente desprovida de vegetação (Figura 4.3), em decorrência da retirada da camada mais fértil, e da intensa compactação promovida por máquinas pesadas, gerando um substrato degradado. O subsolo encontra-se exposto há 35 anos, requerendo uma recuperação, mormente por fazer parte de uma área de ensino, pesquisa e experimentação.

4.2. Delineamento experimental

Foi utilizado um delineamento experimental em blocos casualizados com 4 tratamentos e 4 repetições, totalizando 16 parcelas. Cada parcela ocupou uma área de 120 m² (12,0 m x 10,0 m), perfazendo um total de 1920 m² nas 16 parcelas. O espaçamento entre blocos foi de 7 m, os quais ficaram 10 metros distantes da cerca divisória.



Figura 4.3 – Vista geral do local de instalação do experimento em novembro de 2002

A área total do experimento é de 6923 m², sendo o espaçamento entre plantas de eucalipto de 2,0 m x 1,5 m, totalizando, portanto, 40 plantas por parcela e 640 plantas no experimento (Figura 4.4).

Em todas as parcelas foi plantado o eucalipto (*E. citriodora*) em sulcos de aproximadamente 0,40 m, tendo sido os mesmos seccionados após o plantio, de tal forma a se formar uma cova, facilitando a irrigação. Foi também semeada gramínea braquiária (*Brachiaria decumbens*) a lanço, com o objetivo de contribuir para o aumento de matéria orgânica do solo e reduzir inicialmente o elevado volume de N adicionado ao solo, em função das doses de lodo utilizadas. A escolha da braquiária se deveu ao fato de esta contribuir mais para o aporte de carbono, uma vez que apresenta maior relação C/N, dentre as aptas a semeadura nas condições de solo degradado (menor exigência quanto à fertilidade do solo). Não foi realizado nenhum corte na gramínea. As parcelas foram irrigadas somente no período de instalação da cultura, por ter coincidido com dias de seca.

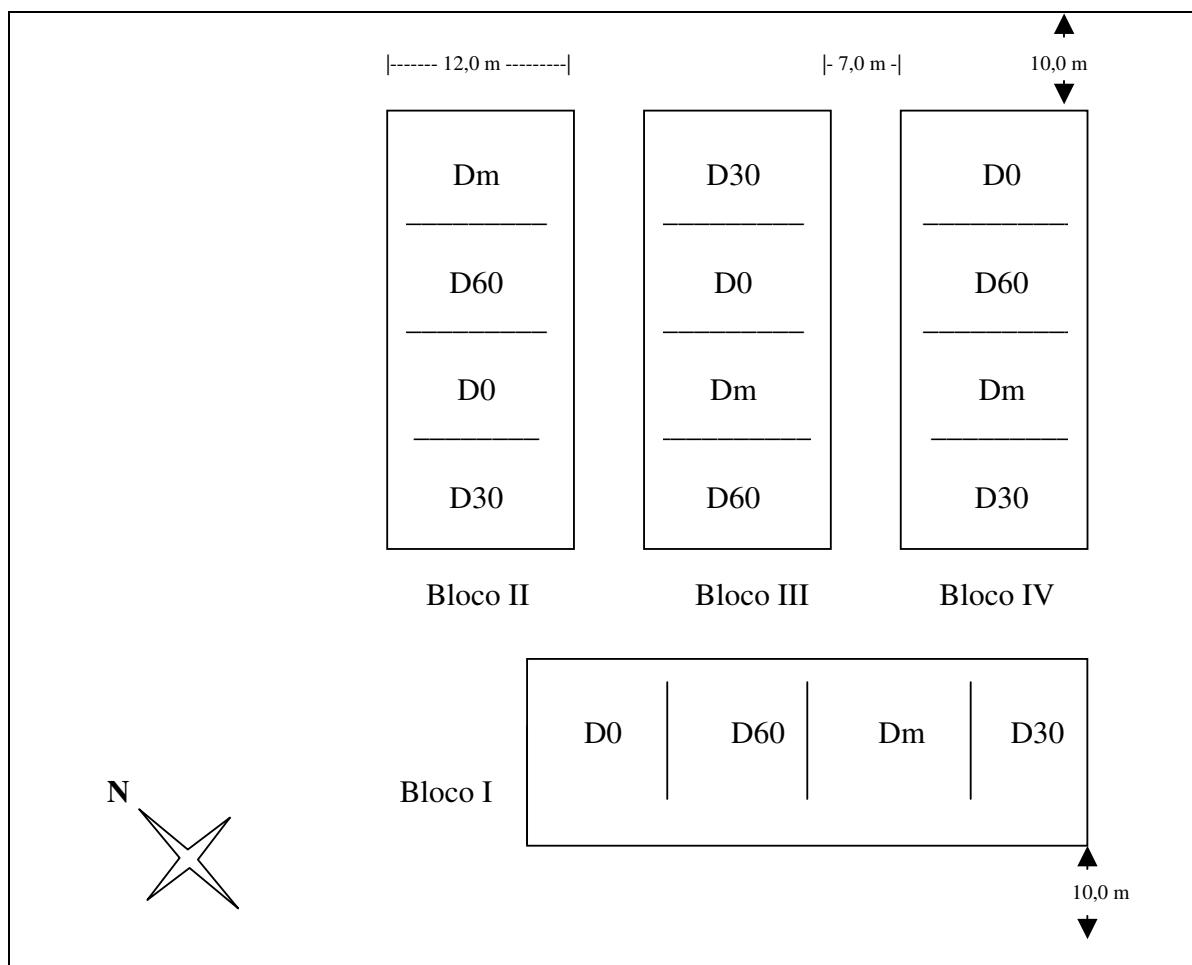


Figura 4.4 – Croqui da área experimental e disposição dos tratamentos

Os tratamentos foram definidos como: D₀ – sem aplicação de lodo (Testemunha); D_m - Dose mineral, sendo aplicado fertilizante mineral conforme análise de solo e a necessidade da cultura; D₃₀ – Dose de 30 Mg ha⁻¹ e D₆₀ – Dose de 60 Mg ha⁻¹ de lodo de esgoto à base seca. Nas parcelas com fertilizante mineral foram aplicadas as seguintes doses de nutrientes: 20 kg ha⁻¹ de N, 90 kg ha⁻¹ de P e 20 kg ha⁻¹ de K. Em cobertura, foram aplicados 39 kg ha⁻¹ de N e 39 kg ha⁻¹ de K, divididos em três vezes de 13,0 kg.ha⁻¹ no ano.

4.3. Preparo e correção do solo

Foram realizadas duas subsolagens cruzadas atingindo profundidade de 0,40 m, proporcionando uma boa descompactação mecânica do solo, eliminando a necessidade do uso de arados (Figura 4.5 e 4.6).



Figura 4.5 – Detalhes do subsolador e aspecto da superfície do solo

Para a correção da acidez do solo foram distribuídos 800 kg de calcário dolomítico, representando uma dose de 1400 Mg.ha^{-1} , conforme determinado na recomendação de calagem pela análise de solo, tendo sido o mesmo incorporado com grade leve em toda área experimental antes da aplicação do lodo e do plantio do eucalipto.



Figura 4.6 – Aspecto da superfície do solo após duas subsolagens

Construiu-se um terraço em todo o perímetro da área experimental, visando ao seu isolamento, evitando-se, assim, a disseminação de patógenos pela água de chuva.

Em dezembro de 2002, antes da implantação do experimento e antes da subsolagem, realizou-se uma amostragem para caracterização física e química da área experimental, a partir da divisão da área em quatro partes. Foi coletada uma amostra indeformada (em anel volumétrico) em cada uma das partes da área e em 4 profundidades, totalizando 16 anéis na área toda. Para a determinação da granulometria e da fertilidade do solo foram retiradas amostras deformadas em cada um dos pontos de retirada dos anéis, constituindo 4 amostras em cada profundidade.

Foram analisadas a densidade do solo, a macroporosidade, a microporosidade, a porosidade total e a composição granulométrica do solo nas profundidades: 0,00 a 0,05 m; 0,05 a 0,10 m; 0,10 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m.

Foi cavada uma trincheira de 2,0 m de profundidade, para observações adicionais do perfil vertical tendo-se constatado expressiva camada de cascalhos abaixo de 1,60 m da superfície.

As camadas logo acima do contato com a cascalheira revelaram-se com características típicas de solos com B latossólico (alta porosidade, maciez, friabilidade); em direção à superfície, constatou-se a severa compactação já anteriormente mencionada, objeto da investigação proposta, para tentativa de sua recuperação.

4.4. Origem e forma de aplicação do lodo de esgoto

Utilizou-se o lodo de esgoto produzido pela Estação de Tratamento de Esgoto - ETE da empresa Saneamento de Araçatuba S/A - Sanear, no município de Araçatuba, distante de 208 km da Fazenda de Ensino e Pesquisa da Unesp (Figura 4.7).



Figura 4.7 – Detalhe da Estação de Tratamento de Esgoto da Sanear, Saneamento de Araçatuba S/A

Nesta, utiliza-se o tratamento em lagoa com aeração prolongada, mediante oxigenação por equipamento eletromecânico, por 18 a 24 horas. O tempo de residência do lodo em lagoa é de 30 a 40 dias. Após a aeração, o efluente é desaguado por centrífuga, reduzindo o seu teor de água para 80 a 86%.

Foram enviadas amostras do lodo para o Instituto Agronômico de Campinas, para análises de macronutrientes, micronutrientes, elementos-traço (“metais pesados”), umidade, carbono, pH e sólidos voláteis. As análises microbiológicas (coliformes fecais, salmonelas) e de patogenicidade foram realizadas na Universidade Federal do Paraná, instituições essas de referência nacional para tais análises.

O lodo foi aplicado um mês antes do plantio (Figuras 4.8 e 4.9), em dias sem chuva, sendo distribuído manualmente com pás, enxadadas e carrinhos de mão, determinando-se assim, uma melhor dosagem do material. Todo o material foi dosado e distribuído por uma única pessoa, evitando-se diferenças na dosagem, em função da operação.



Figura 4.8 - Vista geral da área após a distribuição do lodo em superfície

O resíduo foi incorporado com máquina do tipo enxada rotativa a uma profundidade máxima de 0,10 m. O uso da enxada rotativa foi decorrente de ser esta a forma de incorporação recomendada por diversos pesquisadores, por promover melhor maior distribuição do material (que se apresentava na forma pastosa) no solo e promovendo uma maior decomposição.

O lodo, depois de distribuído (Figura 4.9), permaneceu exposto por 7 dias, sob efeito da radiação solar e de temperaturas entre 35 a 40° C, tendo em vista a época de aplicação ter coincido com o período mais quente do ano para a região. Com isso, objetivou-se uma redução do teor de N orgânico a partir da volatilização do excesso de amônia, uma vez que, de acordo com MELLO et al. (1983), algumas condições favorecem a volatilização da amônia: temperaturas elevadas, déficit de saturação do ar em amônia, baixo teor de água, rápida evaporação de água, baixa CTC e forma de aplicação do lodo.



Figura 4.9 – Detalhe do lodo na superfície do solo sem incorporação.

Esta operação foi necessária devido às elevadas doses de lodo utilizadas (60 Mg ha^{-1}), considerando que a dose média para culturas anuais, e com certo grau de segurança quanto ao impacto ambiental, seja de, no máximo, 20 Mg ha^{-1} , conforme sugere a literatura. Desta forma, o risco de contaminação do lençol freático foi reduzido. A Figura 4.10 apresenta o aspecto heterogêneo na incorporação do lodo ao solo, mesmo com o uso da enxada rotativa. A área experimental foi cercada, para evitar a entrada de pessoas e animais.



Figura 4.10. Detalhe da desuniformidade na incorporação do lodo no solo, mesmo com a utilização de enxada rotativa

4.5. Método de amostragem e das análises

A pesquisa foi iniciada em dezembro de 2002, sendo o plantio do eucalipto e a semeadura da baquiária efetuados em março de 2003.

Após a instalação do experimento, foram feitas amostragens para análises microbiológicas no período de seca (em agosto de 2003), seis meses após a instalação, na profundidade de 0,00 a 0,10 m. Para os parâmetros físicos e químicos do solo foram retiradas uma amostra composta de 4 amostras por parcela, em março de 2004 (um ano após a instalação do experimento) nas profundidades de: 0,00 a 0,05 m; 0,05 a 0,10 m; 0,10 a 0,20 m

e 0,20 a 0,40 m.. Para a análise microbiológica foi retirada uma amostra composta de 10 amostras simples por parcela. As análises para a caracterização física e química do solo foram procedidas no Laboratório de Fertilidade do Solo e de Física do Solo da FEIS/Unesp de Ilha Solteira. As análises microbiológicas foram feitas no Laboratório de Microbiologia da mesma Faculdade.

Os dados foram processados estatisticamente pela análise de variância, regressão não linear e contraste de médias entre os tratamentos, empregando-se o teste de Tukey no nível de 5 % de probabilidade.

4.5.1. Análises físicas do solo

Para a análise da porosidade e da densidade do solo foram coletadas amostras com anel volumétrico em cada uma das parcelas, nas quatro profundidades, totalizando 4 anéis por parcela (Figura 4.11) e 64 anéis na área experimental.



Figura 4.11 – Detalhes da coleta de amostras para densidade e porosidade do solo

A densidade do solo foi obtida utilizando o método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997) e a porosidade foi determinada, nas mesmas amostras, com o emprego da mesa de tensão, segundo a EMBRAPA (1997). Os dados de granulometria foram obtidos pelo método da pipeta, com as amostras destorroadas e secas ao ar passadas em peneira de 2 mm de malha, seguindo-se a dispersão das partículas com NaOH (EMBRAPA, 1997).

4.5.2. Complexo sortivo do solo

Foram realizadas as seguintes avaliações químicas: fósforo-resina (mg.dm^{-3}), matéria orgânica total (g dm^{-3}), índice de acidez (pH CaCl_2), potássio, cálcio, magnésio, acidez potencial (H+Al) e alumínio (Al), soma de bases ($\text{SB} = \text{Ca} + \text{Mg} + \text{K}$), capacidade de troca catiônica [$\text{CTC} = \text{SB} + (\text{H} + \text{Al})$] e saturação de bases ($\text{V\%} = 100 \times \text{SB}/\text{CTC}$), de acordo com os métodos descritos em RAIJ e QUAGGIO (1983).

4.5.3. Microbiologia do solo

Para as análises microbianas foram realizadas 4 repetições por tratamento, cada uma delas constituída da média aritmética dos resultados da análise microbiana de 2 amostras compostas por 4 amostras simples do solo por parcela. O Carbono da Biomassa Microbiana (CBM) foi avaliado pelo método de fumigação-extração (VANCE et al., 1987). Para a quantificação do carbono do C-CO_2 liberado, o método utilizado foi o descrito por ANDERSON e DOMSECH (1982).

4.5.4. Desenvolvimento das plantas de eucalipto

Para análise do desenvolvimento da planta foram feitas medições na sua altura e no diâmetro do caule, em dois períodos: setembro de 2002 e março 2003. O diâmetro do caule aos 180 dias foi obtido fazendo-se a medição do diâmetro das plantas à altura do colo; aos 360 dias, determinou-se o DAP (diâmetro à altura do peito) empregando paquímetro e trena. O comprimento foi obtido por régua de madeira regulável com comprimento máximo de 5,0 metros.

4.6. Características do lodo de esgoto

A Tabela 4.1 apresenta a composição do lodo de esgoto, determinada pelo Instituto Agrônômico - IAC. São apresentados também os valores máximos permitidos para alguns metais pesados por algumas agências de fiscalização ambiental.

Tabela 4.1 - Composição do lodo de esgoto utilizado e limites máximos permitidos

Característica ⁽¹⁾	Unidade ⁽²⁾	Teor	Cetesb	IAP	US-EPA
pH (in natura)		7,1			
Umidade	% m.m ⁻¹	85,0			
Sólidos voláteis	% m.m ⁻¹	71,5			
Carbono orgânico	mg kg ⁻¹	406059			
N amoniacal	mg kg ⁻¹	8875			
N nitrato-nitrito	mg kg ⁻¹	105,7			
N total	mg kg ⁻¹	57054			
Alumínio	mg kg ⁻¹	4968			
Arsênio	mg kg ⁻¹	ND	75	-	41
Boro	mg kg ⁻¹	10,7			
Cádmio	mg kg ⁻¹	1,6	85	20	39
Cálcio	mg kg ⁻¹	3894			
Chumbo	mg kg ⁻¹	28,7	840	750	300
Cobre	mg kg ⁻¹	159,8	4300	1000	1500
Cromo total	mg kg ⁻¹	20,4	-	1000	1200
Enxofre	mg kg ⁻¹	3512			
Ferro	mg kg ⁻¹	7385			
Fósforo	mg kg ⁻¹	12238			
Magnésio	mg kg ⁻¹	3290			
Manganês	mg kg ⁻¹	77,8			
Mercúrio	mg kg ⁻¹	ND	57	16	17
Molibdênio	mg kg ⁻¹	ND	75	-	18
Níquel	mg kg ⁻¹	18,1	420	300	420
Potássio	mg kg ⁻¹	6957			
Selênio	mg kg ⁻¹	ND	100	-	36
Sódio	mg kg ⁻¹	1255			
Zinco	mg kg ⁻¹	474,4	7500	2500	2800

(1) Método empregado para metais SW3051, EPA-USA, determinação por ICP-AES (2) Todos os valores de concentração são dados com base na matéria seca. Cetesb – Companhia de Saneamento do Estado de São Paulo (CETESB,1999). IAP – Instituto Ambiental do Paraná (PR). US-EPA – Norma 40 CFR Part 503 (EPA. 1993) com limites para lodo de qualidade excepcional. ND – Não detectado.

Os teores dos componentes apresentaram-se com valores inferiores aos limites estabelecidos pelas principais agências de fiscalização ambiental, em relação às suas características físicas e químicas.

Os metais pesados originários da atividade industrial podem estar presentes no lodo, de modo que regiões com maior atividade industrial tendem a produzir lodo com elevados teores desse elemento. No caso específico do lodo em estudo, a sua origem é predominantemente de esgotos domésticos, apresentando, assim, baixos teores de metais pesados. Pode-se afirmar, portanto, que este lodo é adequado ao uso agrícola, quanto aos atributos químicos.

Quanto à sua composição microbiológica (Tabela 4.2) este lodo não apresentou restrição para uso agrícola quanto à quantidade de ovos de helmintos, de acordo com as normas da CETESB (1999), que adota as recomendações da EPA CFR Part 503 (USEPA, 1993), norte americana. Nesse caso, a quantidade de ovos do lodo em estudo é de 0,16 por grama de sólidos totais, sendo que o limite máximo estabelecido é de 0,25 ovos por grama de sólidos totais. Portanto, de acordo com os limites determinados, o lodo em estudo pode ser classificado como do tipo B, sem restrições para uso agrícola, desde que atenda as recomendações determinadas nas normas citadas.

Tabela 4.2 – Constituição microbiológica do lodo de esgoto e limites máximos permitidos

Parâmetro microbiológico ⁽¹⁾	Unidade	Constituição do lodo utilizado ⁽²⁾	CETESB (1999) P.4.230
Coliformes fecais	NMP / g de ST	-	2×10^6
Helmintos	nº de ovos / g de ST	0,04	0,25
Protozoários	nº de ovos / g de ST	0,04	0,25

⁽¹⁾ Dados à base seca; ⁽²⁾ Analisado pelo CEPPA/Universidade Federal do Paraná; NMP – Número mais provável; CETESB (1999); ST – Sólidos Totais

Considerando os aspectos mais relevantes quanto à qualidade do lodo no tocante aos impactos ambientais e teores de macro e micronutrientes, o material produzido pela Sanear pode ser considerado um excelente produto para disposição agrícola. No entanto, 100 % desse resíduo tem como disposição final o aterro sanitário. Segundo informações da empresa

operadora do aterro sanitário que recebe este lodo, há necessidade de acrescentar de 2 a 3 vezes o volume de lodo, com terra, tendo em vista o elevado teor de água, que varia de 80 a 86%, reduzindo ainda mais o volume útil do aterro e, conseqüentemente, sua vida útil. Segundo esta empresa, a disposição do lodo em períodos de chuva torna-se uma operação com elevado grau de dificuldade, principalmente na compactação do material.

A disposição em aterro sanitário torna-se uma medida mais cômoda de disposição final do lodo, tanto para quem produz, quanto para quem fiscaliza, porém, esta vem cercada de preocupações pelas agências de fiscalização ambiental, principalmente com relação à estabilidade do talude, que pode vir a ser um problema futuro ainda maior do que o destino do lodo. Há que se considerar ainda o aspecto do desperdício de material condicionante de fertilidade do solo. Considerando a produção aproximada de 1800 toneladas de matéria seca de lodo por ano e definindo uma dose média de 15 toneladas por hectare, o volume descartado de lodo poderia fertilizar uma área de 120,0 hectares por ano, com poder residual perdurando por dois anos, no mínimo. Aliado a isso, evidencia-se o custo elevado da disposição em aterro, quando comparado à disposição agrícola. No presente caso, há um custo anual de 300 mil reais que são repassados ao consumidor pelas tarifas de serviços.

4.7. Suplementação de nutrientes para a cultura do eucalipto

Os teores contidos no lodo de esgoto, de 0,05705, 0,01224 e 0,00696 kg kg⁻¹, respectivamente, para N, P, K, na forma elementar, foram ajustados para a forma N, P₂O₅ e K₂O, com valores de 0,05705; 0,028009 e 0,008385 kg kg⁻¹ de MS, respectivamente.

Foram determinadas as quantidades de nutrientes disponíveis às plantas no primeiro ano, em que se considerou a mineralização de 30 % do N orgânico e a volatilização de 30 % do N amoniacal, segundo ANDREOLI et al. (2001). Quanto ao fósforo, foi considerada uma disponibilidade de 70 % (RAIJ et al., 1997). Os valores calculados estão apresentados na Tabela 4.3, onde estão relacionados também as necessidades desses nutrientes para a cultura do eucalipto (20–90–20 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente) e a necessidade de suplementação de nutrientes para a cultura instalada.

O nitrogênio disponível foi calculado partir da Tabela 4.1 e da Equação 1 com dados em kg de N kg⁻¹ de matéria seca.

$$N_{\text{disponível}} = (N_{\text{orgânico}} \times 0,3) + (N_{\text{amoniaco}} \times 0,7) + N_{\text{nitrato-nitrico}} \quad (1)$$

Desta forma, o nitrogênio disponível foi assim determinado:

$$ND = 0,04807 \times 0,3 + 0,00888 \times 0,7 + 0,00011 = 0,020747 \text{ kg de N kg}^{-1} \text{ de MS}$$

Dessa forma, para as doses de 30 e 60 Mg ha⁻¹ de lodo de esgoto (em base seca), foram aplicados, respectivamente, 622 e 1245 kg.ha⁻¹ de nitrogênio prontamente disponível às plantas.

De acordo com os dados do Tabela 4.3, as doses utilizadas suprem as necessidades da cultura do eucalipto, sendo elevada a quantidade de nutrientes aplicados ao solo, cujo teor de nitrogênio apresenta-se 10 e 20 vezes superior à necessidade observada para a cultura do eucalipto, nas doses de 30 e 60 Mg ha⁻¹, respectivamente. O fósforo aplicado foi 6 e 13 vezes superior ao necessário para as mesmas doses, e o potássio de 12 e 24 vezes.

Tabela 4.3 - Teores de nutrientes contido no lodo em estudo, disponíveis no primeiro ano, para as diferentes dosagens utilizadas e excedentes de nutrientes

Nutriente	Nitrogênio (N)		Fósforo (P ₂ O ₅)		Potássio (K ₂ O)	
Dose (Mg ha ⁻¹)	30	60	30	60	30	60
Quantidade aplicada (kg ha ⁻¹)	622	1245	588	1176	252	504
Necessidade da cultura (kg ha ⁻¹)	60	60	90	90	20	20
Excedente de nutriente (kg ha ⁻¹)	562	1185	166	1086	232	484

Considerando-se que cerca de 20 e 10 % do N orgânico são mineralizados no segundo e terceiro anos, respectivamente (ANDREOLI et al., 2001), o fornecimento de N disponível para o segundo ano será de 288 e 576 kg ha⁻¹, respectivamente, para as doses de 30 e 60 Mg ha⁻¹.

4.8. Caracterização física e química do solo da área experimental

O subsolo degradado apresentou-se com baixos valores dos principais elementos nutrientes, pH baixo, resultando numa baixa fertilidade natural (Tabela 4.4). Os baixos teores de nutrientes e de matéria orgânica são os principais responsáveis pela incapacidade deste solo em sustentar qualquer cultura, o que é evidenciado pela não revegetação natural deste, mesmo após 32 anos da retirada de camada de 8,6 m do solo original.

Tabela 4.4 – Características químicas do subsolo, sem preparo de solo (dez de 2002)

Profundidade	P	MO	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	CTC	V
	resina		CaCl ₂								
m	mg dm ⁻³	g dm ³		.....			mmol _c dm ³	.....			%
0,00 – 0,05	1	5	4,5	0,6	4	2	15	1	6,6	21,6	31
0,05 – 0,10	1	4	4,6	0,1	4	2	15	1	6,1	21,1	29
0,10 – 0,20	2	3	4,7	0,1	4	2	15	1	6,1	21,1	29
0,20 – 0,40	2	3	4,5	0,1	3	2	15	1	5,1	20,1	25

O solo remanescente tem uma classe textural franco argilo arenosa, de acordo com o diagrama textural recomendado pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (LEMOS e SANTOS, 1996), ou textura média, segundo a EMBRAPA (1999), de acordo com os dados de granulometria apresentados na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Distribuição de tamanho de partículas primárias do solo estudado

Profundidade	Argila	Areia	Silte
m	.....	g kg ⁻¹	.....
0,00 a 0,05	295	483	138
0,05 a 0,10	315	521	164
0,10 a 0,20	270	541	188
0,20 a 0,40	189	526	285

Estes resultados são compatíveis com os obtidos por SOUZA (2000) em área contígua à presente pesquisa, também em processo de recuperação de solos, utilizando outros procedimentos.

Na Tabela 4.6 são apresentados os valores de microporosidade, macroporosidade, porosidade total e densidade do solo antes da implantação do experimento, revelando baixos valores de macroporos, de porosidade total, ao lado de uma alta densidade do solo, de modo semelhante ao observado por ALVES (2001), na área anexa.

Tabela 4.6 – Valores de Porosidade e densidade do subsolo degradado antes do preparo de solo em dezembro de 2002

Profundidade	Macroporosidade	Microporosidade	Porosidade	Densidade do
m	.....	m ³ m ⁻³	Total	solo
				kg dm ⁻³
0,00 a 0,05	0,08	0,23	0,31	1,70
0,05 a 0,10	0,09	0,24	0,33	1,68
0,10 a 0,20	0,08	0,25	0,33	1,68
0,20 a 0,40	0,07	0,24	0,31	1,80

5. Resultados e Discussão

5.1. Influência do lodo na fertilidade do solo

Os resultados de P, MO, pH, K, Ca, Mg, CTC e V % decorrentes da metodologia empregada encontram-se no Tabela 5.1. Em todos os tratamentos, o teor de fósforo apresentou-se superior em relação ao da testemunha, sendo mais evidente na camada de 0,00 a 0,05 m. Foram observados os maiores valores nos tratamentos com lodo de esgoto, que podem ser considerados altos, de acordo com RAIJ et al. (1997). O aumento significativo do fósforo no solo pode ser explicado, principalmente, pela disponibilização deste elemento com a aplicação do lodo de esgoto, uma vez que com as doses de 30 e 60 Mg ha⁻¹ foram adicionados cerca de 563 e 1127 kg de fósforo, respectivamente. Tendo em vista seu elevado teor de matéria orgânica, o lodo permite a redução da fixação do fósforo por óxidos amorfos, pois os radicais orgânicos bloqueiam os sítios de fixação.

A elevação do teor de P, com a dose de 30 Mg ha⁻¹ foi de 1 para 81 mg dm⁻³, nos primeiros 5 cm (0,00 a 0,05 m) e de 1 para 50 mg dm⁻³ na camada logo abaixo (0,05 a 0,10 m). Acréscimos no teor de P também foram observados por VAZ e GONÇALVES (2002), que aplicaram doses crescentes de lodo na instalação da cultura de eucalipto, sendo essa elevação de 6 para 25 mg dm⁻³, 13 meses após a aplicação. Esses autores observaram também alterações de P no teor foliar, mas somente 20 meses após a aplicação do lodo de esgoto, indicando maior absorção nesse período.

A adição do lodo de esgoto promoveu aumento na matéria orgânica do solo, não sendo observada, entretanto, diferença entre as duas doses utilizadas. Os valores para as parcelas com lodo são superiores em 66 % aos da testemunha, porém ainda são valores baixos quando se compara à condição natural desse solo não degradado, que deveria estar com 16 a 30 g dm⁻³, segundo RAIJ et al. (1997).

Conquanto esses valores apresentem-se abaixo dos níveis adequados, pode-se observar que houve um importante incremento desse material para o solo em estudo. A diferença obtida em relação à testemunha evidencia o efeito desse resíduo.

Tabela 5.1 – Médias e probabilidades de F das características químicas do solo em função das doses de lodo utilizadas

Causa da variação		P	MO	pH	K	Ca	Mg	CTC	V
Profundidade	Dose								
(m)	(Mg ha ⁻¹)	mg dm ⁻³	g dm ⁻³	Ca Cl ₂	..... mmol _c dm ⁻³				%
0,00 - 0,05	D60	173 a	10 a	5,6	2,9 a	13 a	14 a	44,9 a	66 a
	D30	81 b	10 a	5,5	0,5 b	10 b	11 b	34,5 b	61 a
	DM	52 c	4 c	5,8	0,6 b	13 a	5 d	31,1 bc	59 a
	D0	1 d	6 b	6,0	0,4 b	9 b	8 c	28,7 c	62 a
0,05 - 0,10	D60	93 a	9 a	5,1	0,6 a	7 b	7 ab	32,1 a	48 b
	D30	50 b	6 b	5,1	0,3 ab	6 ab	6 bc	28,3 a	45 b
	DM	27 c	3 c	5,7	0,3 ab	6 ab	5 c	22,3 b	51 ab
	D0	1 d	6 b	6,0	0,2 b	9 a	8 a	28,4 a	59 a
0,10 - 0,20	D60	31 a	5 a	5,0	0,5 a	5 b	5 ab	26,3 a	41 b
	D30	8 b	3 a	5,0	0,1 b	4 b	4 b	20,6 b	38 b
	DM	5 b	3 a	5,6	0,3 ab	6 ab	5 ab	22,2 ab	48 ab
	D0	1 b	4 a	5,9	0,2 b	7 a	6 a	24,9 ab	55 a
0,20 - 0,40	D60	10 a	3 a	4,7	0,3 a	4 ab	5 a	23,3 a	38 a
	D30	3 a	2 a	4,7	0,1 a	2 b	2 b	17,4 b	24 b
	DM	2 a	3 a	5,2	0,2 a	5 a	4 a	22,1 ab	43 a
	D0	1 a	1 a	4,9	0,2 a	4 ab	3 ab	20,2 ab	37 a
Prob. F	Dose	0,001**	0,001**	ns	0,001**	0,046**	0,001**	0,001**	0,014**
(%)	Dose*Prof	0,001**	0,007**	ns	0,001**	0,009**	0,001**	0,004**	0,112**
CV (%)		13,6	28,4	9,0	33,7	19,4	18,3	10,7	12,1

* e **: significativo nos níveis de 5 e 1 %, respectivamente; (ns) não significativo; médias seguidas de mesma letra, na coluna e dentro de cada parâmetro, não diferem entre si (Tukey a 5 %).

O aumento no teor de matéria orgânica com a adição de lodo foi superior ao observado por ALVES (2001), em estudo de recuperação do mesmo em área adjacente, utilizando adubação verde. Essa autora observou redução no teor de matéria orgânica, de 7,0 para 5,3 mg dm⁻³, em cinco anos de estudo, o que equivale a um valor duas vezes menor do que o obtido no presente estudo, em apenas um ano, para a maior dose de lodo utilizada (10,0 mg dm⁻³).

Quanto ao pH do solo, não foi observado efeito da adição do lodo e nem do fertilizante, demonstrando que a correção da acidez realizada antes da instalação do experimento foi suficiente para mantê-lo em níveis adequados para as culturas instaladas, o que não está em conformidade com os dados de LOGAN et al. (1997) e SIMONETE et al. (2003), que observaram redução no pH do solo com a adição de lodo de esgoto. Cabe observar que o lodo utilizado neste estudo não sofreu calagem para redução de patógenos, e que, portanto, não promoveu aumento no pH do solo, como observado por BERTON et al. (1989) e SILVA et al. (2001).

O resíduo na dose de 60 Mg ha⁻¹ promoveu, para cada camada, aumento significativo nos teores de K, Ca e Mg. Tanto para o Ca quanto para o Mg, os valores observados podem ser considerados altos segundo RAIJ et al. (1997), porém para o K o teor observado é baixo (Tabela 5.1) em razão dos baixos teores deste último elemento na composição do lodo, conforme caracterizado anteriormente.

A aplicação do resíduo elevou os níveis de K na camada superficial, de 0,04 a 2,9 mmol_c dm⁻³, respectivamente para a testemunha e para a dose máxima (60 Mg ha⁻¹), os quais são considerados adequados ao desenvolvimento do eucalipto (GONÇALVES et al., 1997). Dados semelhantes foram observados por VAZ e GONÇALVES (2002), que verificaram um aumento de 0,8 a 1,1 mmol_c dm⁻³, para a testemunha e para a dose máxima (40 Mg ha⁻¹), respectivamente.

Quanto à CTC, foi observado um efeito mais nítido a partir da dose máxima de lodo. O valor observado é superior ao de um solo de cerrado em condições naturais, que é de aproximadamente 10 mmol_c dm⁻³, segundo RAIJ et al. (1997), e 11 mmol_c dm⁻³, por Lopes (1984), a partir de 84 % de amostras de solo analisadas. BUOL et al. (1975) sugeriram um nível de 40 mmol_c dm⁻³ como limite para a baixa capacidade de troca catiônica. Mesmo

considerando este último valor, a dose máxima de lodo no presente estudo foi superior, podendo, assim, evidenciar o efeito positivo na qualidade do solo.

A elevada CTC permite um maior armazenamento de elementos catiônicos, sendo este um importante parâmetro na avaliação da recuperação de um solo degradado. Os elevados teores de matéria orgânica contida no lodo de esgoto contribuíram para esse aumento na CTC, sendo isto também observado por MELO et al. (1994), que utilizaram dose de 32 Mg ha⁻¹, assim como SIMONETE et al. (2003), em estudo com doses crescentes.

O impacto do lodo na qualidade do solo, indicado pela CTC, pode ser evidenciado pelo acréscimo de 28,7 para 44,9 mmol_c.dm⁻³ no período de um ano de observação. ALVES (2001), em área próxima, observou uma elevação de 23,2 para 29,19 mmol_c dm⁻³ num período de avaliação de seis anos, utilizando adubo verde. Não houve efeito dos tratamentos sobre a saturação por bases do solo, no período de observação.

5.2. Influência do lodo nos parâmetros físicos do solo

Na Tabela 5.2 são apresentados os resultados obtidos em março de 2003, com o emprego do manejo indicado anteriormente. Para a densidade do solo, a análise estatística apenas detectou diferença significativa entre os tratamentos para a camada superficial (0,00 a 0,05 m), mostrando que houve uma redução na densidade do solo entre a testemunha e a dose máxima de lodo de 1,45 da 1,23 kg dm⁻³. Tal redução pode ter decorrido mais do efeito mecânico do preparo do solo (enxada rotativa), realizado somente nos tratamentos com lodo de esgoto, do que propriamente da ação do lodo de esgoto. A mais adequada influência do lodo de esgoto só poderá ser observada em avaliações posteriores, uma vez que o solo não deverá sofrer nenhum tipo de preparo ou movimentação.

Observando a densidade do solo para os tratamentos com dose 0 e 60 Mg ha⁻¹ de lodo (Figura 5.1), verifica-se que, para a dose máxima de lodo, seu valor assemelha-se à condição natural do solo de cerrado, uma vez que, com o aumento da profundidade ocorreu diminuição da matéria orgânica, como também constado por SOUZA (2000).

Nas profundidades maiores, atingidas pelo efeito dos implementos agrícolas, a ação do lodo de esgoto ainda não se mostrou, o que poderá ocorrer em um tempo maior do que o da observação no presente trabalho.

Tabela 5.2 – Densidade do solo em profundidade, para os tratamentos, em fevereiro de 2003.

Tratamento	Profundidade (m)			
	0,00 a 0,05	0,05 a 0,10	0,10 a 0,20	0,20 a 0,40
	..... kg dm ⁻³			
D ₀	1,45 a C	1,32 c D	1,56 b B	1,63 c A
D _m	1,43 a C	1,44 ab C	1,60 ab B	1,85 a A
D ₃₀	1,34 b D	1,49 a C	1,59 ab B	1,74 b A
D ₆₀	1,23 c D	1,40 b C	1,66 a B	1,56 d A

Probabilidade de F para dose e profundidade de 0,00001, significativos no nível de 1 %. Coeficiente de variação de 2,4 %. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si (Tukey a 5 %).

O próprio desenvolvimento posterior do sistema radicular poderá auxiliar a propiciar isso, como observado por BONI et al. (1994). Resultados semelhantes foram obtidos por JORGE et al. (1991), lembrando que a matéria orgânica e os cátions presentes (Ca e Al, dentre outros), ao promoverem a agregação das partículas do solo, determinam aumento no seu volume, causando redução na sua densidade.

Observou-se um comportamento semelhante para os valores de densidade do solo entre os tratamentos testemunha e adubação mineral (Figura 5.1), porém em todas as profundidades estudadas, indicando que somente o uso isolado da adubação mineral não levou à recuperação da organização estrutural do solo.

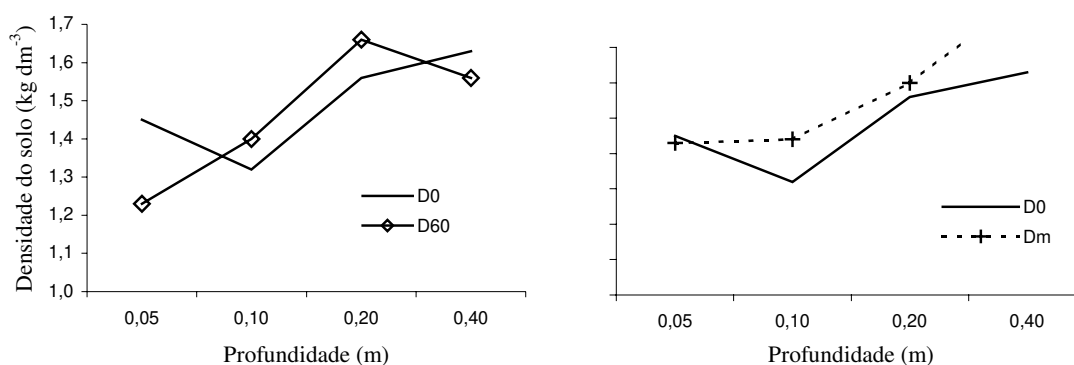


Figura 5.1 – Contraste da densidade do solo entre a testemunha e os tratamentos com fertilizante e lodo de esgoto

Considerando a camada de 0,00 a 0,05 m, a resposta à aplicação de lodo de esgoto na densidade do solo foi linear, conforme pode ser observado na Figura 5.2, com coeficiente de determinação igual a 1,0, ocorrendo uma correlação inversa.

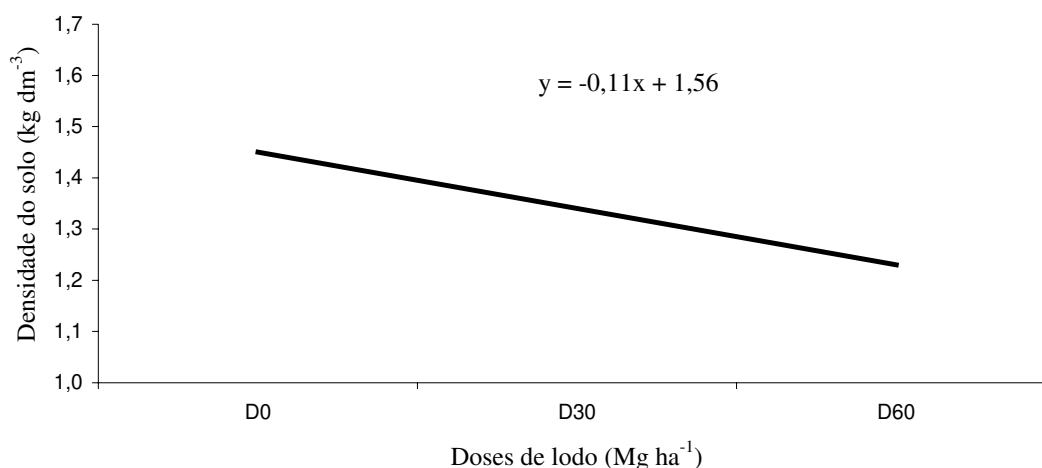


Figura 5.2 – Relação entre densidade do solo e doses de lodo de esgoto

Houve diferença significativa entre os tratamentos com relação à macroporosidade do solo nas profundidades de 0,00 a 0,05 m e 0,05 a 0,10m, conforme observado na Tabela 5.3. Considerando que o valor crítico do volume de macroporos para um bom crescimento das plantas deve ser de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, de acordo com BAYER (1972) e GREENLAND (1981), em todas as profundidades estudadas a macroporosidade apresentou-se acima deste nível. Isso evidencia a tendência de melhoria na qualidade do solo com a adição do lodo de esgoto. De outra forma, considerando como o nível ideal de macroporos como sendo de $0,16 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, observou-se uma porosidade maior do solo, principalmente nas profundidades de 0,00 a 0,005 m e 0,05 a 0,10 m.

Comparando-se os valores médios de densidade do solo e macroporosidade ($1,46 \text{ kg dm}^{-3}$ e $0,18 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ respectivamente), com os valores correspondentes no mesmo solo ($1,24 \text{ kg dm}^{-3}$ e $0,22 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), obtido por SOUZA (2000), verifica-se uma sensível melhoria dessas propriedades em relação à condição do solo degradado, ainda que considerado o exíguo período de análise de apenas um ano.

Tabela 5.3 – Médias e probabilidades de F da Porosidade Total, Macroporosidade e Microporosidade, do solo em função das doses e profundidades

Tratamento	Profundidade, m				Prob de F		CV
	0,00 a 0,05	0,05 a 0,10	0,10 a 0,20	0,20 a 0,40	Dose	Prof.	
	.....m ³ m ⁻³						%
	Porosidade Total				0,00143**	0,00001**	6,3
D ₆₀	0,48a	0,46a	0,36a	0,38a			
D ₃₀	0,44c	0,40 b	0,35a	0,36a			
D _m	0,42c	0,41 b	0,40a	0,34a			
D ₀	0,47b	0,44ab	0,36a	0,39a			
	Macroporosiade				0,03239*	0,00001**	14,4
D ₆₀	0,25a	0,20 b	0,12 b	0,15a			
D ₃₀	0,24ab	0,17 b	0,14ab	0,13a			
D _m	0,20 b	0,19 b	0,17a	0,11a			
D ₀	0,24ab	0,27a	0,12 b	0,13a			
	Microporosidade				0,17963ns	0,25635ns	12,7
D ₆₀	0,23a	0,27	0,24a	0,23a			
D ₃₀	0,21a	0,23	0,21a	0,24a			
D _m	0,22a	0,22	0,23a	0,23a			
D ₀	0,23a	0,17	0,24a	0,26a			

* e ** : significativo nos níveis de 5 e 1 %, respectivamente; ns: não significativo. Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si (Tukey a 5 %).

ALVES (2001), em estudos de recuperação do solo na mesma área, utilizando adubo verde ao longo de seis anos, observou uma redução na densidade de: 1,65 (em 1992) para 1,58 kg dm⁻³ (em 1998), considerando a média de dados de profundidades de 0,0 a 0,40 m. Para a macroporosidade, obteve um incremento de 0,08 para 0,12 m³ m⁻³. Tanto a porosidade do solo, quanto a microporosidade, apresentaram níveis inferiores aos de um solo com condições ideais para um bom desenvolvimento de plantas.

De acordo com KIEHL (1979), a relação de macroporos e microporos pode evidenciar melhor a condição da porosidade de um solo, tendo considerado como ideal uma

relação de 2 para 1 entre ambos os parâmetros. Dessa forma, a condição ideal poderia ser traduzida como a que apresentasse 0,50 ou 50 % de macroporos em relação aos microporos.

Esta relação é apresentada no Tabela 5.4, mostrando que na profundidade de 0,00 a 0,05 m tal relação mostrou-se muito elevada, com o dobro do valor da relação ideal. Isto significa que o valor da macroporosidade está acima da relação ideal (0,50), ou seja, há mais macroporos do que se deveria supor. Tal fato pode ter explicação na forma de incorporação do lodo, com enxada rotativa regulada para 0,05 a 0,10 m de profundidade.

Tabela 5.4 – Relação entre os volumes de macroporos e microporos

Doses	Macroporos	Microporos	Macro/Micro	Macroporos	Microporos	Macro/Micro
	..... 0,00 a 0,05 m.....			.....0,10 a 0,20 m.....		
D ₀	0,24	0,23	1,08	0,12	0,24	0,50
D _m	0,20	0,22	0,89	0,17	0,23	0,75
D ₃₀	0,24	0,21	1,15	0,14	0,21	0,68
D ₆₀	0,25	0,23	1,07	0,12	0,24	0,49
	..... 0,05 a 0,10 m.....			.....0,20 a 0,40 m.....		
D ₀	0,27	0,17	1,55	0,13	0,26	0,51
D _m	0,19	0,22	0,83	0,11	0,23	0,49
D ₃₀	0,17	0,23	0,76	0,13	0,24	0,53
D ₆₀	0,20	0,27	0,75	0,15	0,23	0,65

Na profundidade de 0,05 a 0,10 m essa relação já apresenta valores tendendo a uma relação ideal, com exceção, naturalmente, para a testemunha, uma vez que esse tratamento não sofreu a incorporação com enxada rotativa como os tratamentos com lodo. Tal tendência persiste nas demais profundidades.

Não foi observada diferença significativa entre os tratamentos para a porosidade total, (Tabela 5.4), porém os valores apresentados pelo tratamento com dose máxima de lodo de esgoto aproximaram-se dos valores ideais, segundo KIEHL (1979), que é de $0,50 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (Figura 5.3).

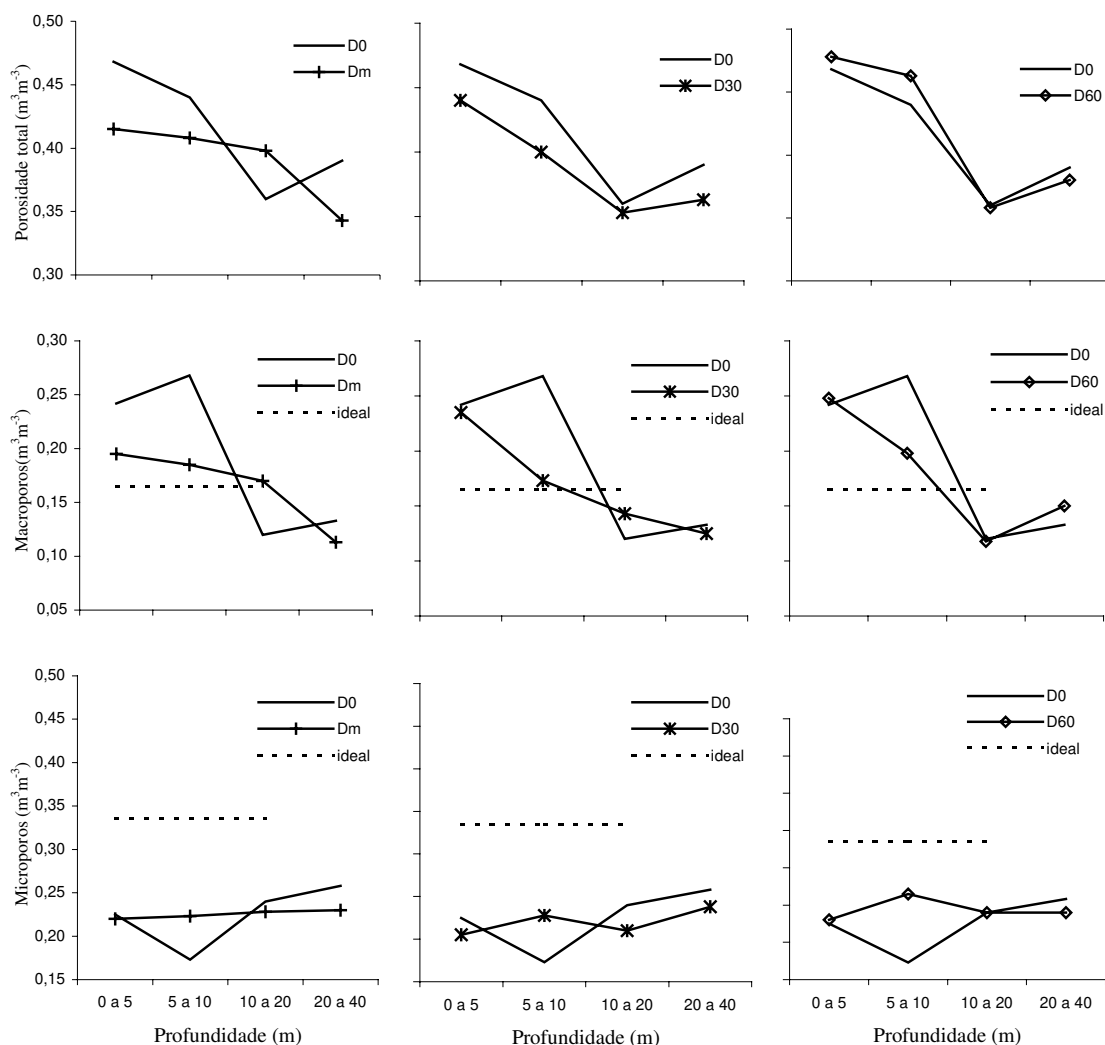


Figura 5.3 – Porosidade total, macroporosidade e microporosidade do solo, em função dos tratamentos e das profundidades estudadas

Esse fato evidenciou melhoria nas condições físicas do solo, sendo isto observado também por PAGLIAI et al. (1981), que constataram aumento na porosidade total de um solo franco arenoso cultivado com milho.

5.3. Influência do lodo sobre a microbiota do solo

Conforme dados apresentados na Tabela 5.5, para a taxa de C-CO₂ liberado e de C_{mic}, foram observadas diferenças significativas entre as doses de lodo utilizadas para o solo

degradado, quando se efetuam comparações com o solo sob vegetação de cerrado e com solo não degradado. Não houve diferenças entre as doses utilizadas para os níveis de C_{mic} ; no entanto, para o $C-CO_2$ liberado, observou-se efeito do lodo de esgoto com níveis 2,7 vezes maiores do que a testemunha e 4,3 vezes superiores ao do solo não degradado.

Os níveis de carbono foram bem inferiores aos de uma condição natural ou de cultivo. LIMA et al. (1994) obtiveram valores de C_{mic} da ordem de 381, 371, 294 e $147 \mu g C 100 g^{-1}$, respectivamente, para campo com vegetação natural, plantio direto, cultivo mínimo e plantio convencional. No presente trabalho, no entanto, foram verificados valores inferiores para o tratamento com dose máxima de lodo, comparados ao plantio convencional, sendo este o sistema de cultivo que apresentou menores níveis de carbono orgânico.

Os valores do teor de C_{mic} do tratamento com dose máxima de lodo ($60 Mg ha^{-1}$) foram superiores aos da testemunha, em 37 %. Mesmo apresentando média inferior ao de um solo com vegetação natural, o tratamento superou em 19 % o teor de carbono de solo não degradado sem vegetação natural. Isso demonstra que, mesmo após a estabilização da atividade microbiana pela mineralização da maior parte da matéria orgânica, a atividade estimada ainda persiste acima dos níveis de solo não degradado sem vegetação natural. Isso pode ser explicado pelo resíduo de lodo, ainda persistente no solo, e também pelo desenvolvimento radicular das culturas instaladas, principalmente a braquiária, além da contribuição de carbono pela massa vegetal da parte aérea das plantas.

Valores semelhantes, entre si, ocorreram nos distintos tratamentos com lodo de esgoto, sendo superiores aos da testemunha e ao tratamento com fertilizante mineral, o que evidencia uma liberação de $C-CO_2$ maior nos tratamentos com lodo, devido, possivelmente, ao acúmulo de matéria orgânica rica em frações lábeis à superfície do solo. Isto também foi observado por BALOTA et al. (1998), em estudos com sistemas de plantio direto comparados com o sistema de cultivo tradicional (VARGAS e SCHOLLES, 2000).

Apesar do aumento da atividade microbiana para os tratamentos com lodo de esgoto, não se verificou o mesmo com o tratamento químico. Em termos relativos, o tratamento com dose máxima de lodo promoveu um aumento de 75 % de $C-CO_2$ liberado, em relação à testemunha, sendo ainda superior (em 177 %) em relação a um solo não degradado sem vegetação natural.

A análise química dos tratamentos revela valores elevados de fósforo para os tratamentos com lodo de esgoto, como o demonstra a Tabela 5.5, no qual são apresentados também os valores de matéria orgânica para determinação da relação entre C_{mic} e o carbono orgânico dos tratamentos.

Os valores da relação do C_{mic} e o carbono orgânico dos tratamentos apresentados no Quadro 5.6 variaram de 1,22 a 4,39, estando dentro do que propuseram JENKINSON e LADD (1981), que consideram normal que 1 a 4 % do carbono total do solo corresponda ao componente microbiano.

Tabela 5.5 – Características químicas do subsolo em estudo, teores de carbono da biomassa microbiana (C_{mic}) e CO_2 (C- CO_2) liberado para as doses de lodo de esgoto, em diferentes condições de solos

Designação	Cerrado	D ₆₀	D ₃₀	D _m	D ₀	Solo pastagem
pH (CaCl ₂)	4,5	5,4	5,5	6,4	5,9	4,2
P resina (mg dm ⁻³)	4	220	136	5	2	5
K	0,7	2,4	1,4	0,3	0,3	0,9
Ca	1	11	12	10	9	3
Mg	2	17	16	10	9	6
H+Al	13	16	15	10	11	42
S Bases	4,3	31,2	28,6	20,1	17,9	9,9
CTC	17,3	47,2	43,6	30,1	28,9	51,9
Saturação por bases (%)	25	66	66	67	62	19
Matéria orgânica (g dm ⁻³)	26	5	7	4	4	4
C- CO_2 (µg CO_2 .g solo dia ⁻¹)	13,46 a	8,78 b	8,28 b	5,13 c	5,00 c	3,16 d
C_{mic} (µg CO_2 g solo ⁻¹)	157,75 a	70,38 b	67,88 bc	59,13 bc	53,25 bc	51,25 c
C_{org} (µg C g solo ⁻¹)	1,22	3,16	2,37	3,65	3,18	4,39
C_{mic}/C_{org} (%)	0,09	0,12	0,12	0,09	0,09	0,061

D₀ - dose de 0 Mg ha⁻¹ (Testemunha); D_m - dose mineral; D₃₀ – dose de 30 Mg ha⁻¹ e D₆₀ – dose de 60 Mg ha⁻¹. Médias seguidas de mesma letra, na horizontal e dentro de cada parâmetro, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade. Probabilidade de F das doses de 0,00001 para C_{mic} e C- CO_2 . Coeficiente de variação de 14,33 % para C_{mic} e de 12,76 % para C- CO_2 .

Os valores elevados dos tratamentos (próximos de 4,0 %) indicam que ainda ocorre uma degradação da matéria orgânica fornecida pelo lodo de esgoto, em função do curto período da análise (6 meses). O aumento da biomassa microbiana em relação ao carbono orgânico pode também ser devido a características intrínsecas das culturas (eucalipto e braquiaria), tais como produtos orgânicos novos gerados pelas plantas cultivadas, principalmente pelas suas raízes (SAURBECK et al., 1982).

Tendo em vista a condição de solo degradado, há que se estabelecer valores desta relação como referência para o solo em estudo, para verificar seu comportamento e validade em avaliações posteriores, tendo em conta que a análise isolada da relação C_{mic}/C_{org} não pode ser considerada um indicativo da recuperação do estado da matéria orgânica nos solos cultivados, de acordo com SPARLING (1992).

5.4. Efeito do lodo sobre o desenvolvimento do eucalipto

Os valores constantes do Tabela 5.6 referem-se às médias do diâmetro do caule e comprimento de plantas de eucalipto em duas amostragens temporais, aos 180 e aos 360 dias após o plantio.

Tabela 5.6 – Médias e probabilidades de F dos parâmetros determinados do desenvolvimento do eucalipto em duas épocas de avaliação

Causa da variação	Diâmetro caule (180 dias)	Diâmetro caule (360 dias)	Altura da planta (180 dias)	Altura da planta (360 dias)
Dose	..... m			
D60	0,0113 a	0,0340 a	1,22 a	3,16 a
D30	0,0110 ab	0,0262 ab	1,13 a	2,36 b
DM	0,0073 ab	0,0211 bc	0,74 b	1,72 bc
D0	0,0066 b	0,0133 c	0,83 b	1,61 c
Prob. de F - Dose	0,06635	0,00609	0,00028	0,00096
CV (%)	30,4	27,9	11,34	18,8

Os tratamentos com lodo de esgoto promoveram um melhor desenvolvimento do eucalipto, sendo que a dose máxima de lodo foi significativamente superior a todos os demais tratamentos.

Quanto ao diâmetro do caule aos 180 dias, observou-se um incremento de 0,004 m entre o tratamento com dose máxima de lodo e a testemunha, representando 36 %. Aos 360 dias, porém, tal diferença foi maior (62 %). Isto pode ser devido ao fato de a decomposição da matéria orgânica do lodo ter ocorrido ao longo do ano de avaliação, sendo maior no terço final deste. Para a altura de plantas, também se observou tal efeito, sendo que as plantas apresentaram diferença de desenvolvimento entre a dose máxima e a testemunha aos 180 dias de 32 % e aos 360 dias de 49 %.

As Figuras 5.4 e 5.5 apresentam as curvas de regressão para o diâmetro do caule e comprimento de plantas, respectivamente, para os dois períodos estudados.

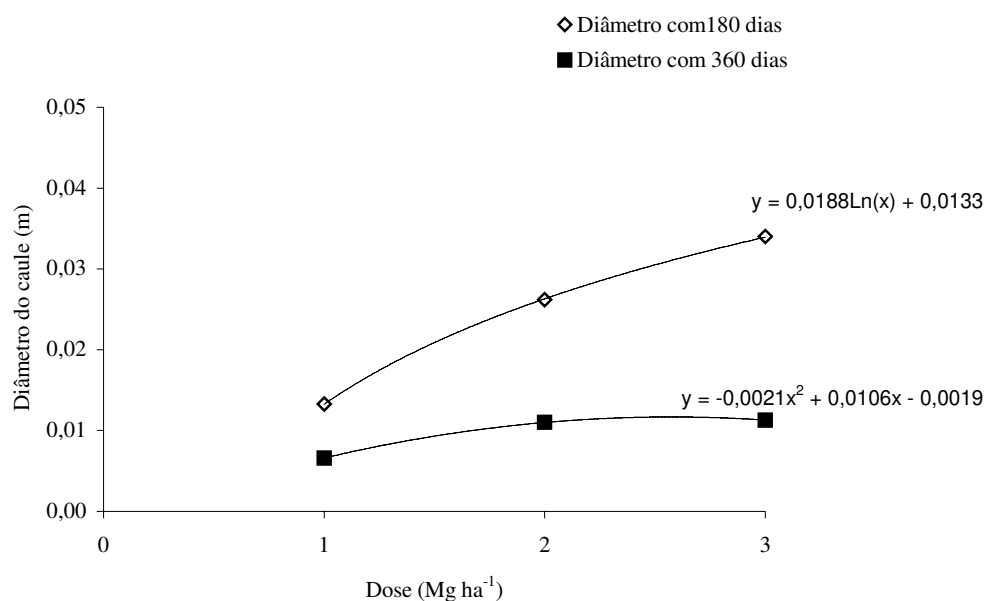


Figura 5.4- Efeito de doses crescentes de lodo no diâmetro do caule em duas épocas de avaliação (1 –D0, 2 – D30, 3 – D60)

O diâmetro do caule, em função dos tratamentos, apresentou uma curva de regressão do tipo polinomial tanto para os dados de 180 como para os de 360 dias (Figura 19),

demonstrando tendência de redução do seu desenvolvimento para doses acima da dose máxima utilizada (60 Mg ha^{-1}). Há que se considerar, no entanto, que as plantas sofreram estiolamento, com redução no diâmetro do caule na sua fase inicial, devido à competição com a gramínea instalada, que superou o eucalipto em tamanho, interferindo no seu desenvolvimento.

Para a altura de plantas, no entanto, observou-se uma regressão do tipo polinomial em sua fase inicial de desenvolvimento, passando para um crescimento do tipo linear.

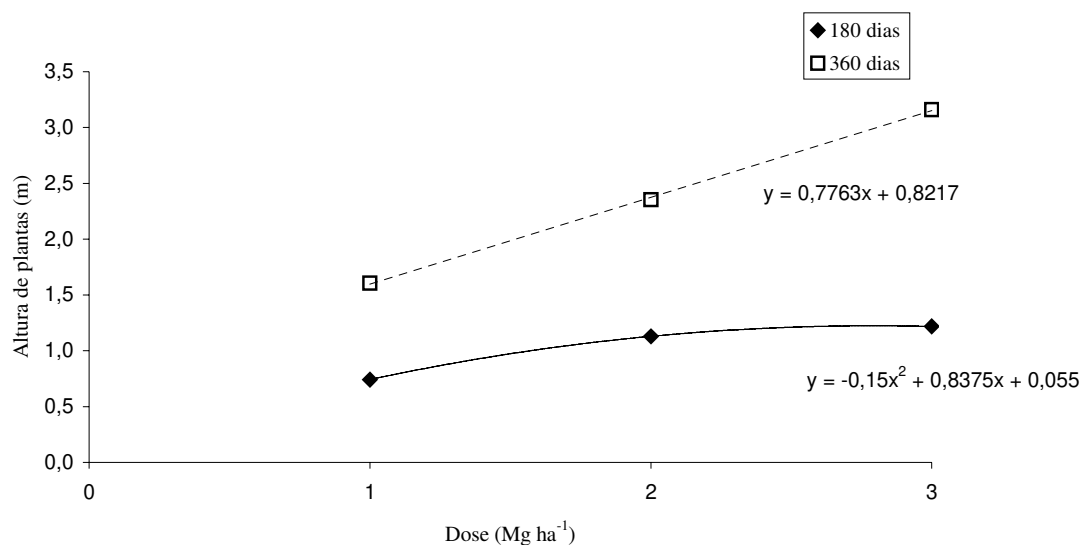


Figura 5.5 - Efeito de doses crescentes de lodo na altura de plantas em duas épocas de avaliação (1 –D0, 2 – D30, 3 – D60)

6. Conclusões

Para o tipo e condição do solo utilizado e dentro do período de estudo de 360 dias, pode se afirmar que o lodo de esgoto promoveu um incremento na qualidade do solo, observado pelo aumento significativo de seus conteúdos de fósforo, potássio, magnésio, matéria orgânica e CTC.

Quanto ao aspecto físico, não foi possível concluir, de modo eficiente, sobre a influência do lodo de esgoto, uma vez que as diferenças observadas nas avaliações de densidade e porosidade do solo podem ter ocorridas devido ao tipo de preparo de solo diferenciado para os tratamentos com lodo de esgoto. As ações podem também ter sido somadas, mas o importante foi a recuperação atingida para o solo degradado.

Dentro do prazo de observação de 180 dias, verificou-se que o lodo de esgoto promoveu aumento na atividade microbiana, avaliada pelo carbono do CO₂ liberado, constituindo um indicativo de qualidade adequado ao monitoramento da melhoria da área em recuperação para um curto período de observação. Entretanto, os níveis de carbono na biomassa microbiana não se mostraram afetados pelo tratamento com o resíduo, o que poderá ocorrer com o transcorrer do tempo, requerendo observações posteriores. O lodo de esgoto influenciou positivamente o desenvolvimento das plantas de eucalipto.

5. Referências das literaturas

ACHA, P.N., SZYFRES B. *Zoonosi y enfermedades transmisibles comunes al hombre y a los animales*. 2.ed. Washington: Organización Panamericana de la salud, 1996. p. 763-74. (Publicaion cientifica, 503).

AGGELIDES, S.M.; LONDRA, P. A. *Effects of compost produced from town wastes and sewage sludge on the physical properties of a loamy and clay soil*. Bioresource Thecnology, v.71, p.253-259, 2000.

ALÉM SOBRINHO, P. Tratamento de esgoto e geração de lodo. In: TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; ALÉM SOBRINHO, P.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; MELFI, A.J.; MELO, W.J.; MARQUES, M.O. (Eds.). *Biossólidos na agricultura*. São Paulo: SABESP, 2001. p. 7-40.

ALVES, M.C. *Recuperação de um subsolo utilizado para terrapleno e fundação da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira, SP*. 2001. f 83. Tese (Livre- Docência)- Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2001.

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K.H. Ratios of micorbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. *Soil biology & Biochemistry*, v.21, p.471-479. 1982.

ANDRADE, C.A. *Nitratos e metais pesados em solos e plantas de Eucalyptus grandis após aplicação de biossólidos da ETE de Barueri*. 1999. f.65. Dissertação (Mestrado - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - ESALQ, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

ANDREOLI, C.V., PEGORINI, E.S., FERNANDES, F. Disposição do lodo de esgoto no solo. In: ANDREOLI, C.V., Von SPERLING, M.;FERNANDES, F. (Coords.) *Lodo de esgotos: tratamento e disposição final*. DESA/UFMG, SANEPAR. v.6, p.319-395. 2001

ANDREOLI, C.V.; PINTO, M.A. Introdução. In: ANDREOLI, C.V. (Coord.). *Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final*. Curitiba: Rima Artes e Textos, 2001. p 1-2. (PROSAB 2).

BALOTA, E.L.; COLOZZI FILHO, A.; ANDRADE, D.S.; HUNGRIA, M. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, n.22, p.641-649, 1998.

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

BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L. Fertilização e correção do solo para o plantio de eucalipto. In: BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. (Eds.). *Relação solo-eucalipto*. Viçosa: Folha de Viçosa, 1990. p-127-186.

BAVER, L.D.; GARDNER, W.H.; GARDNER, W.R. *Soil Physics*. 4.ed. New York: J. Wiley, 1972. 529p.

BERNARDES, L.F. *Efeitos da aplicação de lodo de esgoto nas propriedades físicas do solo*. Jaboticabal, UNESP /FCAV, 1982. 50p.

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

BONI, N.R.; ESPÍNDOLA, C.R.; GUIMARÃES, E.C. *Uso de leguminosa na recuperação de um solo decapitado*. In: SIMPÓSIO SUL AMERICANO, 1, SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADAS, 2, Curitiba, *Anais...* Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 1994. p.563-568.

BORCHERT A. *Taenia Saginata*. In:_____PARASITOLOGIA veterinária.Zaragoza: acríbia, 1975. p.166-73.

BRASIL. *Ministério da Saúde. Divisão Nacional de Vigilância Sanitária de Alimentos*. Portaria nº 36 – SVS/MS, de 19 de janeiro de 1990. In: Associação Brasileira de Indústria de Alimentação. *Compêndio de legislação de alimentos*, São Paulo: ABIA, p.711-777. 1990.

BUOL, S.W.; SANCHES, P.A.;CATE, R.B.; GRANGER, M.A. Soil Fertility capability calssification: a technical soil calssification for fertility management. In: *Soil management in tropical america*, Raleigh: North Carolina State University, 1975. p.25-45.

CARVALHO, P.C.T.; BARRAL, M.F. *Aplicação de lodo de esgoto como fertilizante*. Fertilizantes. Piracicaba: 1981. v.3, p. 1- 4.

CATTELAN, A.J.; VIDOR, C. Sistemas de culturas e a população microbiana do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.14, n.2, p. 125-132, 1990.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BASICO DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB *Aplicação de lodos de sistemas de tratamentos biológicos em áreas agrícolas – critérios para projeto e operação*. 1999. 32p. (Manual Técnico P 4.230).

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ - SANEPAR *Manual técnico para utilização agrícola do lodo de esgoto no Paraná*. Curitiba: 1997. 96p.

CORRÊA, R. S.; MELO FILHO, B. M. *Ecologia e recuperação de áreas degradadas no cerrado*. Brasília: Paralelo 15, 1998. 178p

DAVIS, R.D.; HALL, J.E. Production, treatment and disposal of wasterwater sludge in Europe from a uk perspective. *European Water Pollution Control*, v.7, n.2, 1997.

DEMATTE, J.L.I. *Levantamento detalhado dos solos do Campus Experimental de Ilha Solteira (SP)*. Piracicaba, 1980.131 p. (Mimeografado).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA.- Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema brasileiro de classificação de solos*: Brasília: EMBRAPA, 1999b.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. *Manual de métodos de análise de solo*. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPQ, 212p. 1997.

FERNANDES, F. Eficiência dos processos de desinfecção do lodo da ETE-Belem, com vistas ao seu uso agrícola. *Revista Sanare*, Curitiba, v.5, 1996 .

FERNANDES, F.; SILVA, S.M.C.P. *Manual prático para compostagem de biossólidos*.– Rio de Janeiro. 1999. 84p. (PROSAB – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico).

FERNANDES J.O.M. *Prevalência de cisticercose bovina em animais abatidos em frigoríficos sob inspeção federal da 9ª. Região Administrativa de Araçatuba, SP*. 2001 defesa. f.51. Dissertação (Mestrado)- Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2000.

FRIGHETTO, R.T.S.; VALARINI, P.J. Estratégias para análise integrada do solo. In: Indicadores biológicos e bioquímicos da qualidade do solo. In: FRIGHETTO R.T.S ; VALARINI, P.J.(Coords.). *Manual técnico EMBRAPA Meio Ambiente*, Jaguariúna, 2000. p.13-17.

GALDOS M.V, DE MARIA, I.C., CAMARGO, O.A. Atributos químicos e produção de milho em um LATOSSOLO VERMELHO eutrófico tratado com lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, p.569-577, 2004.

GONÇALVES, J.L.M.; RAIJ, B. Van; GONÇALVES, J.C. Florestais. In: RAIJ, B. Van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A; FURLANI, A.M.C, (Eds.) *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas & Fundação IAC, 1997. p.245-259.

GONÇALVES, J.L.M.; VAZ, L.M.S.; AMARAL, T.M.; POGGIANI, F. Aplicabilidade de biossólidos em plantações florestais: II Efeito na fertilidade do solo, nutrição e crescimento das árvores. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. (Eds.) *Impacto ambiental do uso de lodo de esgoto*. São Paulo. EMBRAPA, 2000. p.179-196.

GREELLAND, D.J. Soil damage by intensive arable cultivation: temporary or permanent? *Philos. Trans. R. Soc. Lond. Ser. B.*, v. 281, 193-208. 1977.

GREENLAND, D.J.. Soil Management and soil degradation. *Journal of soil Science*, London, v.31, p.301-322, 1981.

GOMES, R.D.; ESPÍNDOLA, C.R. Mapeamento da vulnerabilidade e verificação do Índice de nitrato no aquífero livre na área urbana de Pereira Barreto-SP . In: ENCONTRO NACIONAL DA ANPENGE, 5, Florianópolis, 2003, Anais... p.1191-1200.

GRISI, B.M. Metodologia da determinação de biomassa microbiana de solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.8, p.167-172, 1984.

HAYS, B.D. Potential for parasitic disease transmission with land application of sewage plant effluents and sludges. *Water Research*, v.11, p.583-595, 1977.

HIROSE, S.; KUMADA, K. Mineralization of native organic nitorgen. *Journal Soil Sci.*, v.34, p.339-334, 1963.

HSIEH, Y.P.; DOUGLAS, L.A.; MOTTO, H.L. Modeling sewage sludge decomposition in soil: II. Nitrogen transformation. *Journal Environ. Qual*, v.10, n.1, p.59-64, 1981.

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 DO MEIO AMBIENTE. *Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de vegetação*. Brasília, 1990. 1990.

JACKSON, R.M.; RAW. F. *Life in the soil*. In: Studies in biology n° 2. London: Edward Arnold, 1966. 60p.

JENKINSON, D.S., LADD, J.N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: PAUL, E.A.; LADD J.N (Eds). *Soil Biochemistry*. 1981. p. 425-471.

JORGE J. A., CAMARGO O. A.; VALADARES J.M.A.S. Condições físicas de um Latossolo vermelho escuro quatro anos após aplicação de lodo de esgoto e calcário. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, n.15, p.237-240, 1991.

KIEHL, E.J. *Fertilizantes orgânicos*. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1985.

KIEHL, E.J. *Manual de Edafologia: relação solo-água-planta*. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 262p.

KLADIVKO, E.J. NELSON, D.W. Changes in soil properties from application of anaerobic sludge. *Journal WPCF*, v.51, n.2, p.325-332, 1979.

KOBYIANA, M. Recuperação de áreas degradadas – conceito, um exemplo e uma sugestão. *Bios*, Rio de Janeiro, v. 2, n.6, p. 95-102, 1993. (Encarte).

LASHOF, D.A. ; LIPAR, D.A. *Policy options for stabilizing global climate*. Draft report congress. Washington, D.C., UNITED STATES ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY – USEPA. 1989.

LEMOS, R. C.; SANTOS, R. D. *Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Campinas. 3.ed., 1996. 83p.

LEPSCH, I. *Formação e Conservação dos Solos*. São Paulo: Oficina de Texto, 2002..

LIMA, V.C.; LIMA, J.M.J.C., EDUARDO, B.J.F.P., CERRI, C.C. Conteúdo de carbono e biomassa microbiana em agroecossistemas: comparação entre métodos de preparo do solo. *Revista do Setor de Ciências Agrárias*, v.1391-2, p. 297-302, 1994.

LOGAN, T.J.; LINSAY, B.J.; GOINS, L.E.; RYAN, L.A. . Field assesment of sludge metal bioavailability to crops: sludge rate response. *Journal Environ. Qual.*, v. 26, n. , p.534-550, 1997.

LUDUVICE, M.L.; FERNANDES, F. Principais tipos de transformação e descarte do lodo. In: ANDREOLI, C.V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. (Coords.). *Lodo de esgoto: tratamento e disposição final*. 2001. v.6.

LUDUVICE, M.L. Uso e disposição final de lodos orgânicos – Biossólidos: In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO DE ESGOTOS SANITÁRIOS, numero do evento, 1996, Brasília *Anais...* Brasília: CAESB, 1996. p.58-96.

MAGDOFF, F.R.; AMADON, F.W. Nitrogen availability from sewage sludge. *Journal Environ. Qual.*, v.9, p.451-455, 1980.

MAGDOFF, F.R.; CHROMECH, F.W. Nitrogen mineralization from sewage sludge. *Journal Environ. Sci. Health*, v.A12, p.191-201, 1977.

MAJER, J.D. Fauna studies and land degradation tecnology: a review of history and need for such studies. In: *ANIMALS in primary succession: the role of fauna in reclaimed lands..* Londres: Cambridge University,1989. p. 3-33.

MALAVOLTA, E.. *Elementos de nutrição mineral de plantas*. São Paulo: Agronômica Ceres, São Paulo, 1980.

MAC COY, J.H.C. Sewage pollution of natural waters. In: SIKES, G. ; SKIMER, F.A. (Eds.). *Microbial aspect of pollution*. New York: Academic Press, 1971. p.46-64.

MARQUES, M.O. *Incorporação do lodo de esgoto em solo cultivado com cana-de-açúcar*. 1997. f. 111. Tese (Livre-docência) – FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS - FCAV, UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA. Jaboticabal, 1997.

MATSUOKA, M.; MENDES, I.C.; LOUREIRO, M.F. Biomassa microbiana e a atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste, MT. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, 2003, p.425-433.

MELO, E.F.R.Q. Alterações nas características químicas do solo de uma área degradada em recuperação. In: BALENSIEFER, M., ARAÚJO, A.J. ; ROSSOT, N.C., SIMPÓSIO SUL AMERICANO, 1, SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADA, 2, 1994, Lugar do evento. *Anais...* Curitiba: Editora, 1994. p.371-81.

MELLO, F.A.F., BRASIL SOBRINHO, M.D.C.; ARZOLLA, S.; SILVEIRA, R.I.; NETTO, A.C., KIEHL, J.C. *Fertilidade do solo*. 2.ed. Piracicaba, 1983. p.

MELO, G.M.P.; MELO, V.P.; MELO, W.J. *Metais pesados no ambiente decorrente da aplicação de lodo de esgoto na agricultura*. Grupo de Trabalho Regulamentação do uso agrícola do Lodo de Esgoto. Brasília: CONAMA, MMA. 2004a. Disponível em: <www.mma.gov.br/conama>. Acessado em: 02/07/1005. (Grupo de Trabalho Regulamentação do uso agrícola do Lodo de Esgoto).

MELO, V. P.; BEUTLER, A. N.; SOUZA, Z. M.; CENTURIO, J. F.; MELO, W. J. Atributos físicos de Latossolos adubados durante cinco anos com biossólido. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Brasília, v.39, n.1, p.67-72, 1994a.

MELO, W.J.; MARQUES M.O.; MELO, V.P. O uso agrícola do bio sólido e as propriedades do solo. In: TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; ALÉM SOBRINHO, P.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; MELFI, A.J.; MELO, W.J.; MARQUES, M.O. (Ed.). Bio sólidos na Agricultura. São Paulo: SABESP. 2001.

MELO, W.J. ; MARQUES M.O. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: BETTIOL, W.;CAMARGO, O.A (Eds.).*Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto*. Jaguariuna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. p. 245-258.

MELO, W.J.; MARQUES M.O.; SANTIAGO, G.; CHELLI, R.A.; LEITE, S.A.S. Efeito 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.449-445, 1994.

MORITA, D.M. *Tratabilidade de águas residuárias contendo poluentes perigosos – estudo de caso*. 1993. f.885. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da UNIVERSIDADE ESTADUAL DE SÃO PAULO – USP, São Paulo, 1993.

MUCHOVEJ, R.M. ; REHCIGL, J.E. Nitrogen fertilizers. In: REHCIGL, J.E. (Ed.) *Soil amendments and environmental quality*. Boca Raton: Lewis Publishers, 1995. p.1-64. 1995.

OLIVEIRA, F.C.; MATTIAZZO, M.E.; MARCIANO, C.R.; MORAIS, S.O. Lixiviação de nitrato em um LATOSSOLO AMARELO, distrófico tratado com lodo de esgoto e cultivado com cana-de-açúcar. *Sci. Agric*, v.58, n.1, Piracicaba, p. ,2001.

PAGLIAI, M.; GUIDI, G.; LA MARCA, M.; GIACHETTI, M.; LUCAMANTE, G. Effects of sewage sludges and composts on soil porosity and aggregation. *J. Environ. Qual*, v. 10, n. 4, p. 556-561, 1981.

PEREIRA, J., BURLE, M.L., RESK, D.V.S. Adubos verdes e sua utilização no Cerrado. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO NO CERRADO, 1, 1992, Goiânia. *Anais...* Goiânia: Fundação Cargill, 1992. p. 140.

PICCOLO, A. *Humus substances in terrestrial ecosystems*. Amsterdam: Elsevier Science. 1996.

PINTO, M. T. Recuperação de Cascalheiras – uma alternativa complementar para a reciclagem de biossólidos. In: SEMINÁRIO SOBRE GERENCIAMENTO DE BIODSÓLIDOS DO MERCOSUL, 1, , 1998, Curitiba. *Anais...* Curitiba, 1998. p. 93-96.

QASIM S. R. *Wastewater Treatment Plants. Planning Design and Operation*. 2^o Ed. Technomic Publishing Company, 1999.

RAIJ B.V., CANTARELLA, H.; QUAGGIO J.A.; FURLANI, A.M.C. (Eds.). Adubação orgânica. In: _____ *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*., 2. ed., 1997. p.30-35. (Boletim Técnico 100).

RAIJ B.V., QUAGGIO J.A. *Métodos de análises de solo para fins de fertilidade*. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas. 1983. 31p. (Boletim Técnico n. 81).

RAIJ B.V. Uso agrícola de biossólidos. In: SEMINÁRIO SOBRE GERENCIAMENTO DE BIODSÓLIDOS DO MERCOSUL, 1, 1998, Curitiba, *Anais...* Curitiba, Editora, 1998. p 147-151.

ROSAZ, C. *Risques sanitaires liés a l'épandage des boues de stations d'épuration. Application la végétalisation des pistes de ski*.1991. f. 124 Thèse (Docteur Vétérinaire)- Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon, Université Claude Bernard de Lyon, 1991.

ROS, C.O.; AITA, C.; CERETTAN, C.A.; FRIES, M.R. . Lodo de esgoto: efeito imediato no milho e residual na associação aveia-ervilhaca. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.17, 1993. p. 257-261.

SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO - SABESP Projeto tietê. *Revista Engenharia*, v. , n. 527, p. 82-90, 1998.

SAUERBECK, D.R.; HELAL, H.M.; NONNEN, S.; ALLARD, J.L. Photosynthate consumption and carbon turnover in the rhizosphere depending on plant species and growth conditions. In: COLÓQUIO REGIONAL SOBRE MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO, 1, 1982, Piracicaba. *Anais...* São Paulo: CENA/PROMOCET, 1982. p.171-174.

SEKI, L.T. *Estudo da aplicação de doses de calcário e lodo de esgoto na cultura da aveia branca (Avena sativa L.) cv. UFRGS 7, cultivada em Latossolo Vermelho Escuro*. Jaboticabal: FCAV/UNESP, 1995. 63p.

SILVA E. S., RESCK D. V. S., SHARMA R. D. Alternativa agronômica para o biossólido: a experiência de Brasília I. Efeito na produção de milho e na adição de metais pesados em latossolo no cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.26, p.487-495, 2000.

SILVA, F. C.; BOARETTO, A. E.; BERTON, R. S.; ZOTELLI, H. B.; PEXE, C.A.; BERNARDES, E.M. Efeito do lodo de esgoto na fertilidade de um *ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO* cultivado com cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.36, n.5, p. 831-840, 2001.

SILVA, W.D.; ALVES, M.C.; COLODRO, G. Estabilidade de agregados de um solo tratado com lodo de esgoto. DEFERS/Unesp – Ilha Solteira. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 15, 2004, Santa Maria, *Anais...* Santa Maria, 2004. 1 CD- ROM.

SIMONETE, M.A.; KIEHL, J.C.; ANDRADE, C.A.; TEIXEIRA C.F. Efeito do lodo de esgoto em um Argissolo e no crescimento e nutrição de milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.38, n.10, 2003.

SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S; GRISI, B.M.; HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R.S. *Microrganismos e processos biológicos do solo: perspectiva ambiental*. Brasília: Embrapa, 1994. p.40-41.

SMYTH J.D. Family Taeniidae. In: *Introduction to animal parasitology*. 3. ed. Cambridge University, 1994. p. 326-30.

SOUZA, Z.M. *Propriedades físicas e químicas de um LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO de Selvíria (MS) sob diferentes usos e manejos*. 2000 f. 127. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista. Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2000.

SPARLING, G.P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. *Aust. J. Soil Res.*, v.30, p.195-207, 1992.

STEVENSON, F.J. *Cycles of soil*. John Wiley & Sons, 1986 380p.

TAUK, S.M. Biodegradação de resíduos orgânicos no solo. *Revista Brasileira de Geociências*, v.20, n.1-4, 1990, p.299-301.

THOMAZ-SOCCOL V., PAULINO R.C., CASTRO E. A. Metodologia para análise parasitológica em lodo de esgoto. In: ANDREOLI ; Bonnet. *Manual de métodos para análises microbiológicas e parasitológicas em reciclagem agrícola de lodo de esgoto*. 2.ed. Curitiba: Editora, 2000. p.28-41.

THOMAZ-SOCCOL V., PAULINO R.C., CASTRO E. A., TRACZ, J. Eficácia de diferentes processos de tratamento de lodo na redução da viabilidade de ovos de helmintos. *Sanare*, Curitiba, v.8, n.8, p.24-32. 1997.

THOMAZ-SOCCOL V., PAULINO R.C. Riscos de contaminação do agroecossistema com parasitos pelo uso do lodo de esgoto. In: BETTIOL, W., CAMARGO, O.C. (Eds.). *Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto*. Campinas, 2000. p.245-258.

TISDALE, S.L.; NELSON, N.L.; PEATON, J.D.; HAVLIN, J.L. *Soil fertility and fertilizers*. 5.ed. New York: Editora, 1985.

TSUTIYA M. T. Alternativas de disposição final de biossólidos. In: TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; ALÉM SOBRINHO, P.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; MELFI, A.J.; MELO, W.J.; MARQUES, M.O. (Ed.). *Biossólidos na Agricultura*. São Paulo: SABESP. 2001.

TSUTIYA M. T. Alternativas de disposição final de biossólidos gerados em estações de tratamentos de esgotos. In: BETTIOL, W.; CAMARGO O.C. (Eds.). *Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto*. EMBRAPA, 2000. p.69-106.

TSUTIYA M. T. *Características de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgoto*. In: *Biossólidos na Agricultura*. TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; ALÉM SOBRINHO, P.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; MELFI, A.J.; MELO, W.J.; MARQUES, M.O. (eds.), cap 4, p.89-131. (2001b).

UNGAR M. L., GERMANO P.M.L. Epidemiologia e controle da cisticercose bovina. *Comunicação científica da faculdade de medicina veterinária e zootecnia da universidade de São Paulo*, v. 15, n.1, 1991, p. 15-20. 1991.

UNITED STATES ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY - USEPA. *Biossolids generation, use and disposal in the United States*. Washington, EPA 530, R 99, 009, 1999.

UNITED STATES ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY - USEPA . *Control of pathogens and vector attraction in sewage sludge under 40CFR part 503*. Office of water, Office of Science and Technology Sludge Risk Assessment Branch. Washington: – 20460, 147. 1992.

UNITED STATES ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY - USEPA. *Standart for the use or disposal of sewage sludge*. Federal Register, Washington, v.58, n.32,p. 9248-9415. 1993.

VANCCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology & Biochemistry*, v.19, p.773-77; 1987.

VARGAS, L.K.; SCHOLLES, D. Biomassa microbiana e produção de C-CO₂ e N mineral em um Podzólico Vermelho-Escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.24, n. , p.35-42; 2000.

VAZ, L.M.S.; GONÇALVES, J.L.M. Uso de biossólidos em povoamento de eucalipto; efeito em atributos químico do solo, no crescimento e na absorção de nutrientes. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.26, p.747-758, 2002.

VIEIRA, R.F. *Atividade microbiana e mineralização de nitrogênio em solo suplementado com lodo de esgoto*. Jaguariúna: Embrapa/CNPMA, 2000. p.1-2 . (Pesquisa em andamento, n.8).

VIEIRA, R.F.; SILVA, C.M.M.S. *Utilização de lodo de esgoto como fonte de fósforo na cultura da soja*. Jaguariúna: Embrapa/CNPMA, 2004. p.1-3. (Circular Técnica)

ZABOWSKI D.; HENRY C.L. *Soil and foliar nitrogen after fertiliser treatment of Pinus ponderosa*. *Journal of Forestry Scienc*, New Zealand, v.24, n. 2-3, p.333-343, 1994.

7. Anexos



Figura 8.1. – Detalhe da área antes da instalação do experimento



Figura 8.2 – Detalhe da área experimental 6 meses após a instalação

Comparação do aspecto da área experimental antes da instalação do experimento e, 12 meses após a instalação. Observar que na área original, há mais de 34 anos que só se desenvolve uma vegetação bem empobrecida.



Figura 8.3 – Aspecto da braquiária em parcela sem aplicação de lodo de esgoto



Figura 8.3 – Aspecto da braquiária em parcela com aplicação de lodo de esgoto



Figura 8.3 – Morro testemunha da retirada de solo por ocasião da construção da Usina Hidrelétrica no período de 1967 a 1970