



## II-024 - RECUPERAÇÃO DE ÁREA DEGRADADA COM UTILIZAÇÃO DE LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA (ETA)

**Simone Bittencourt<sup>(1)</sup>**

Engenheira Agrônoma. Mestre em Agronomia. Analista da SANEPAR.

**Lia Márcia K. De Souza Marin**

Engenheira Agrônoma. Mestre em Geologia Ambiental. Analista da SANEPAR.

**Caio César Simão**

Acadêmico de agronomia. Estagiário da SANEPAR.

**Cleverson Vitório Andreoli**

Engenheiro Agrônomo. Doutor em Meio Ambiente e Desenvolvimento. Prof do Programa de Pós-graduação em Gestão Ambiental da FAE. Gerente da Assessoria de Pesquisa e Desenvolvimento – SANEPAR

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Engenheiro Rebouças, 1376, 80215-900, Curitiba – Paraná, e-mail: [sbittencourt@sanepar.com.br](mailto:sbittencourt@sanepar.com.br).

### RESUMO

O trabalho objetivou avaliar o potencial do uso de lodo de Estação de Tratamento de Água - ETA na recuperação de área degradada, na presença e ausência de lodo de Estação de Tratamento de Esgoto - ETE, sob monitoramento, caracterizando os lodos utilizados; avaliando as produções de milho; analisando a evolução dos atributos químicos do solo; monitorando a água subterrânea de poços a montante e a jusante ao experimento. A degradação da área experimental foi resultante de depósito de materiais oriundos da construção da ETE Padilha Sul – Sanepar, em Curitiba. Utilizou-se 7 tratamentos com 3 repetições em unidades experimentais de 5 x 8 m. Os blocos casualizados foram arranjados em parcelas subdivididas e uma testemunha, sendo a parcela principal: ausência e presença de lodo de ETE (77 Mg ha<sup>-1</sup> ST) e a subparcela doses de lodo de ETA: 24, 37 e 61 Mg ha<sup>-1</sup> (ST). O lodo de água foi gerado na ETA Passaúna, onde utilizou-se Policloreto de Alumínio (PAC) no processo de coagulação. O lodo de esgoto proveniente de tratamento de esgoto biológico anaeróbio da ETE Padilha Sul, adicionado polímero, desaguado por centrífuga e higienizado por processo alcalino. Os lodos foram avaliados quanto aos seus aspectos agrônômicos, de sanidade e de substâncias inorgânicas. No início e após o primeiro cultivo realizou-se a coleta de amostras compostas do solo das unidades experimentais (0 a 0,20 m) para análise de atributos químicos, físicos e de sanidade. Realizaram-se dois cultivos de milho avaliando-se a matéria seca aos 90 dias após a semeadura. O efeito dos tratamentos na área experimental foi avaliado através de análise da variância. O teste de Dunnett a 95% de confiabilidade comparou a média do tratamento testemunha com a média de cada um dos demais tratamentos. O teste de Tukey a 95% de confiabilidade comparou as médias na parcela principal e na subparcela. Concluiu-se que a aplicação de lodo de ETA não teve efeito sobre as produtividades do milho, tampouco sobre os teores dos elementos no solo durante o período experimental, ou seja, não interferiu na contaminação nem na recuperação do solo da área em estudo; no entanto, na presença do lodo de esgoto a aplicação de lodo de água foi favorável à dinâmica do nitrogênio até a dose de 37 Mg kg<sup>-1</sup> e a aplicação do lodo de ETE neutralizou o Al e alterou pH, Ca, H+Al, C, P e V%. Há necessidade de investigação mais aprofundada quanto ao aumento do teor de Al observado na água dos poços a jusante do experimento, quantificando-se a contribuição relativa dos tratamentos, bem como a dos materiais de solo depositados na área.

**PALAVRAS-CHAVE:** Disposição de lodo no solo, Produção de milho, Atributos químicos do solo, Lodo de esgoto, Aplicação conjunta de lodos.

### INTRODUÇÃO

Um dos desafios para as empresas de saneamento é a adoção de alternativas adequadas para a destinação final do lodo gerado nas Estações de Tratamento de Água – ETA, sob os aspectos: econômico, técnico e ambiental. O lodo de ETA é um resíduo sólido, NBR 10.004/2004, (ABNT, 2004) gerado no processo de transformação da água bruta, captada principalmente em rios e reservatórios, em água potável para consumo humano. Nas Estações de Tratamento de Água utilizam-se processos como coagulação, floculação, decantação e filtração para a retirada das impurezas da água, as quais acumulam-se nos decantadores, formando o lodo de ETA. Para garantir a eficiência do processo de tratamento de água, periodicamente o lodo de ETA é removido dos



decantadores e filtros. É composto por resíduos sólidos orgânicos e inorgânicos provenientes da água bruta, tais como: microorganismos, partículas orgânicas em suspensão, colóides, areia, argila, silte e elementos minerais. (Gradin, Além Sobrinho e Garcia Júnior, 1993). Os floculantes, hidróxidos de alumínio e polímeros condicionantes, utilizados no processo de tratamento, também fazem parte do lodo de ETA (Silva, Bidone e Marques, 2000). A frequência de remoção do lodo dos decantadores tem influência direta em sua quantidade e qualidade (Gradin, Além Sobrinho e Garcia Júnior, 1993), sendo que a quantidade depende também da qualidade físico-química da água bruta, dos coagulantes e de outros produtos utilizados no processo de tratamento. Segundo Richter (2001) o volume de lodo gerado é diretamente proporcional à dosagem de coagulante e varia entre 0,2 a 5% do volume total da água tratada pela ETA.

Entre as alternativas de disposição final utilizadas tem-se a aplicação controlada no solo, incorporação em materiais de construção civil, lançamento em rios e em aterros sanitários, sendo estas últimas com tendência decrescente em função de exigências legais cada vez mais restritivas (Motta *et al.*, 2005).

As características químicas e físicas do lodo de ETA são determinantes na definição da forma mais adequada de destino final. Em virtude dos compostos em maior proporção no lodo de ETA serem óxidos e hidróxidos de alumínio e ferro, argilas silicatadas e matéria orgânica (AWWA, 1990) e considerando que estes compostos são constituintes do solo, a aplicação no solo vem sendo uma alternativa crescente de disposição viável para o resíduo. Para Reali (1999) e Richter (2001), a aplicação no solo consiste em esparramar o lodo em terreno natural ou em solos agricultáveis. No entanto, para que esta prática seja considerada uma alternativa de disposição viável é necessário comprovar que a mesma não cause impactos negativos no solo receptor. Uma ressalva importante está na avaliação da quantidade disposta, principalmente quando da presença de alumínio, já que este pode ligar-se ao fósforo do solo indisponibilizando-o para as plantas, e em excesso pode ter efeito tóxico às plantas cultivadas (Motta *et al.*, 2005).

Moreira *et al* (2007) verificaram que o lodo de ETA pode ser considerado como um resíduo não-inerte e compatível com o uso em recuperação de áreas degradadas, pois a aplicação do material promoveu a transferência de nutrientes para os horizontes mais profundos, permitindo a fixação de vegetação. Os autores também verificaram que a aplicação do lodo de ETA na área degradada em estudo promoveu a imobilização do Al trocável e do Pb disponível do solo.

A utilização do lodo de ETA na recuperação de áreas degradadas pode ser otimizada pela aplicação conjunta de um resíduo orgânico (Teixeira, Melo e Silva, 2005) como o lodo gerado em Estações de Tratamento de Esgoto – ETE; material de elevado potencial agronômico, rico em matéria orgânica e nutrientes, como nitrogênio e fósforo, tendo comprovada em diversas pesquisas a sua eficiência como corretivo de solo e/ou fornecedor de nutrientes de plantas.

O trabalho teve por objetivo geral avaliar o potencial do uso de lodo de ETA na recuperação de área degradada, com e sem lodo de ETE, sob condições de monitoramento e por objetivos específicos: Caracterizar os lodos de ETA e ETE utilizados no experimento; Avaliar a produção de culturas desenvolvidas em uma área degradada em solo que recebeu doses crescentes de lodo de ETA, na presença e ausência de lodo de ETE; Analisar a evolução dos atributos químicos do solo em função de diferentes taxas de aplicação do lodo de ETA, com e sem lodo de ETE; Monitorar a água subterrânea do experimento de poços a montante e jusante.

O desenvolvimento deste trabalho contou com o apoio da Unidade de Serviço de Produção da Região Metropolitana de Curitiba (USPD) e da Unidade de Serviço Processo Água (USAG) e com a contribuição direta da Unidade de Serviço de Operação de Esgoto da Região Metropolitana de Curitiba (USEG) e dos profissionais da ETE Padilha Sul, na cessão dos equipamentos e nas atividades de campo.



## MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida em uma área degradada de 3.000 m<sup>2</sup>, localizada na área externa da Estação de Tratamento de Esgoto Padilha Sul - Sanepar, no município de Curitiba, coordenadas UTM 676538 E e 7171505 N, a uma altitude média de 873 m. A área foi degradada por depósito de diversos materiais oriundos da construção da Estação de Tratamento de Esgoto Padilha Sul, no ano de 2002.

A área apresenta topografia predominantemente plana (0 a 3% de declividade), não estando suscetível à ação da erosão. Originalmente com presença de cobertura vegetal escassa bem como, com baixa possibilidade de regeneração natural, como observado nas visitas a campo (figura 1). A área não havia recebido nenhuma medida de recuperação do solo, tampouco de revegetação.



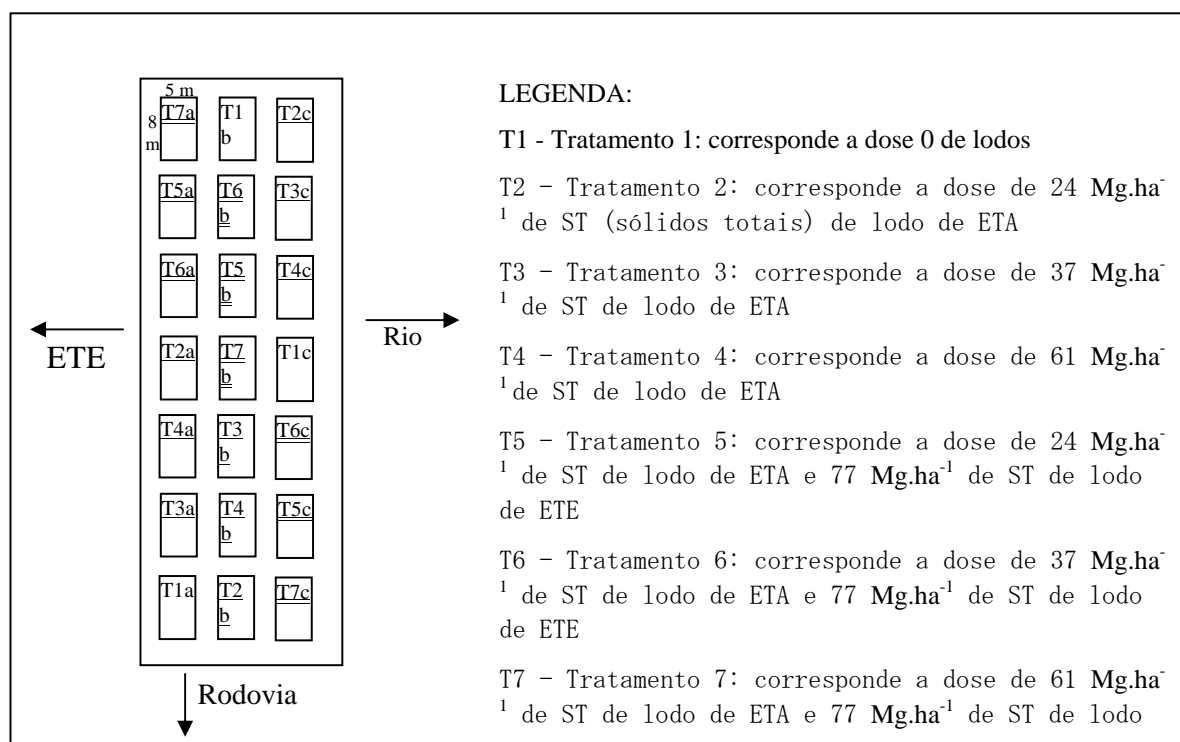
**Figura 1:** Área degradada situada na ETE Padilha Sul, Curitiba antes e durante a aplicação de elevadas doses de lodos, janeiro e fevereiro de 2008.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é Cfb, caracterizado por ser mesotérmico (subtropical e temperado), úmido e superúmido, com verões brandos e invernos rigorosos, com média do mês mais quente inferior a 22°C e mínima de 12°C. As geadas são frequentes, as chuvas são de 1.500 mm bem distribuídos durante o ano e sem estação seca definida, com umidade relativa do ar da ordem de 80%.

Antes da instalação do experimento foram construídos quatro poços de monitoramento do lençol freático, conforme normativas do IAP – Instituto Ambiental do Paraná e SMMA – Secretaria Municipal de Meio Ambiente. Os poços foram construídos com acabamento conforme NBR 13895 – 06/1997 (ABNT, 1997), sendo localizados um a montante da área experimental e três a jusante da mesma.

O experimento foi disposto em parcelas subdivididas, com duas parcelas principais: a) presença de lodo de esgoto e b) ausência de lodo de esgoto, contendo três subparcelas com doses de lodo de ETA, possuindo um tratamento adicional sem aplicação de lodos (testemunha). O delineamento a campo foi em blocos ao acaso, envolvendo 7 tratamentos e 3 repetições, num total de 21 unidades experimentais com 40 m<sup>2</sup> cada uma. As unidades experimentais foram dimensionadas com 5 metros de largura por 8 metros de comprimento, com um metro de bordadura, além de uma faixa de um metro como área de circulação e redução dos riscos de contaminação entre tratamentos, conforme esquema demonstrado na figura 2.

As três doses de lodo de ETA corresponderam às quantidades de 24, 37 e 61 Mg ha<sup>-1</sup> de Sólidos Totais (ST), e a dose de lodo de ETE da parcela principal correspondeu a 77 Mg ha<sup>-1</sup> (ST). Entretanto, considerando o teor de umidade do material no dia da aplicação (79,9% para o lodo de ETA e 57,4% para o lodo de ETE), foram aplicadas aproximadamente as quantidades de 119, 184 e 303 Mg ha<sup>-1</sup> de matéria úmida de lodo de ETA e 180 Mg ha<sup>-1</sup> de matéria úmida de lodo de ETE.



**Figura 2: Esquema da disposição das unidades experimentais. ETE Padilha Sul, Curitiba - PR.**

O lodo de ETA utilizado foi gerado na Estação de Tratamento de Água Passaúna, cujo tratamento de água é realizado por meio de coagulação, floculação, decantação, filtração, clarificação, desinfecção, fluoretação e eventualmente no final do processo fosfatização. Normalmente adiciona-se  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  líquido ou Policloreto de Alumínio (PAC) como coagulantes; cloro gasoso para desinfecção e eventualmente  $\text{ClO}_2$  para pré-cloração e orto-polifosfato na fosfatização. O lodo utilizado no estudo, com uma granulometria de 93  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$  de argila, 44  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$  de silte e 863  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$  de areia (textura “Franco-arenosa”, conforme Olenik *et al.*, 2004), foi transportado da ETA Passaúna até a ETE Padilha Sul, em dezembro de 2007, ficando armazenado em pátio coberto, com laterais abertas, até o momento da aplicação.

O lodo de esgoto foi produzido na própria ETE Padilha Sul, onde o tratamento de esgoto é realizado por processo biológico anaeróbio, através de reator anaeróbio de leito fluidizado – RALF, que gera aproximadamente 530  $\text{Mg} \cdot \text{ano}^{-1}$  de lodo de esgoto (ST). O lodo de ETE foi desaguado por meio de centrífuga, com adição de polímeros e com posterior higienização utilizando-se o processo de estabilização alcalina prolongada, que consiste na adição de cal virgem a 50% dos ST e armazenamento por 30 dias. O objetivo do processo é inativar os organismos patogênicos através da elevação e manutenção do pH no nível de 12, durante o período. O lodo foi mantido em armazém coberto, com laterais abertas, até o momento da aplicação, ou seja, aproximadamente 80 dias após a adição da cal.

Os lodos foram avaliados quanto a parâmetros agrônômicos, de sanidade e de substâncias inorgânicas, conforme estabelecido pelas resoluções Conama 375/06 (Brasil, 2006) e Sema 001/07 (Paraná, 2007).

Após a definição da área experimental, realizou-se a coleta de amostras compostas do solo das unidades experimentais a uma profundidade de 0 a 0,20 m com a utilização de trado holandês. As amostras foram encaminhadas para laboratório para análise inicial de parâmetros agrônômicos, físicos, microbiológicos e de metais pesados.

Os solos da região onde o experimento foi instalado são originalmente Organossolos, Cambissolos Húmicos Alumínicos e Latossolos Brunos Ácrico (Bhering, 2007). Atualmente o solo da área é heterogêneo e antropogênico devido à deposição de diversos materiais oriundos da construção da ETE. A drenagem deste solo pode ser considerada como moderada tornando-se mais lenta em maiores profundidades.



No preparo da área realizou-se uma aração seguida de gradagem para o nivelamento da área experimental. A aplicação dos lodos foi realizada, nas dosagens descritas anteriormente, com equipamento próprio para distribuição de materiais pastosos na agricultura. Esta operação foi realizada em três dias consecutivos, buscando-se minimizar o erro experimental. Posteriormente, foi realizada a incorporação através de aração a 0,20 cm de profundidade seguida de nivelamento com grade.

Após 20 dias da aplicação realizou-se a semeadura da espécie forrageira milheto (*Pennisetum americanum* CL, Leeke [P. Glaucum (L.) R. Br]). A distribuição das sementes foi manual, a lanço em toda a área experimental, em um total de 50 kg ha<sup>-1</sup>, com uma leve incorporação ao solo. Aproximadamente 90 dias após o plantio, realizou-se a colheita do vegetal e determinação da produção em matéria seca. As amostras foram coletadas em área total da unidade experimental, secas em estufa a 60<sup>o</sup> C até atingir peso constante.

Após a colheita da cultura do milheto, foram coletadas amostras compostas de solo em cada unidade experimental, a uma profundidade de 0 a 0,20 m, com o objetivo de avaliar a qualidade do solo posterior à aplicação dos tratamentos quanto a macro e micronutrientes, metais pesados e sanidade.

Com o objetivo de dar continuidade à recuperação da área em estudo realizou-se, no mês de julho de 2008, o plantio de aveia preta (*Avena sp*), azevém (*Lolium multiflorum*) e ervilhaca (*Vicia sativa*), sendo que aos 90 dias de desenvolvimento as plantas foram incorporadas ao solo, com grade aradora.

Em dezembro de 2008, o preparo da área foi realizado com grade niveladora. As parcelas sem lodo de esgoto, devido ao aparecimento de sintomas visuais de deficiência nutricional, receberam adubação mineral com 10 kg ha<sup>-1</sup> de N, 50 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 50 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, no momento da segunda semeadura da espécie forrageira milheto (*Pennisetum americanum* CL, Leeke [P. Glaucum (L.) R. Br]). Aos 45 dias aplicou-se 50 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura e aos 90 dias, realizou-se a colheita das plantas por meio de amostragem, selecionado-se um metro quadrado em local padrão para todas as unidades experimentais. As amostras foram secas em estufa a 60 °C até atingir peso constante e pesadas para a determinação da matéria seca.

Aos 180 dias após a aplicação dos lodos foram coletadas amostras de água em cinco poços de monitoramento de água subterrânea (um pré-existente a montante da área experimental e quatro construídos antes da instalação do experimento) visando a avaliação da contaminação do lençol freático por contaminantes detectados no lodo de esgoto e/ou no lodo de água.

O efeito dos tratamentos na área experimental foi avaliado através da análise da variância. Utilizou-se o teste de Dunnett a 95% de confiabilidade para comparar a média do tratamento testemunha com a média de cada um dos demais tratamentos e teste de Tukey a 95% de confiabilidade para comparação das médias na parcela principal e nas subparcela. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software Assistat versão 7.5 beta (Silva, 2008).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### CARACTERIZAÇÃO DOS LODOS

#### Aspectos Agronômicos:

Os resultados da caracterização dos lodos utilizados no presente estudo quanto aos parâmetros agronômicos, estão apresentados na tabela 1.





**Tabela 1: – Aspectos agrônômicos dos lotes de lodo utilizados comparados com os valores observados por diversos autores**

	unidade	LODO DE ETA							LODO DE ETE		
		Passaúna (resultado)	Iraí (1)	Passaúna (2)	Despique e <sup>(3)</sup>	Descobert o <sup>(4)</sup>	Bolonh a <sup>(5)</sup>	AWWA <sup>(6)</sup>	Padilha S (resultado)	RMC (7)	Jundiaí (8)
pH	-	<b>6,8</b>	5,35	nd	nd	nd	5,4	6,8	<b>11,7</b>	nd	10,2
ST	g 100 g <sup>-1</sup>	<b>20,10</b>	7,04	11,9	15,19	nd	21,7	6,6	<b>42,6</b>	35,8	34,2
N Kjeldahl		<b>0,68</b>	nd	nd	nd	nd	0,7	0,6	<b>0,73</b>	1,81	3,4
N - NH <sub>3</sub>		<b>3,3.10<sup>-3</sup></b>	nd	nd	nd	nd	nd	0,05	<b>4,0.10<sup>-3</sup></b>	nd	nd
N nitrito		<b>&lt;3,0.10<sup>-4</sup></b>	nd	nd	nd	nd	nd	nd	<b>&lt;6,0.10<sup>-4</sup></b>	nd	nd
N nitrato		<b>&lt;1,3.10<sup>-3</sup></b>	nd	nd	nd	nd	nd	nd	<b>&lt;3,0.10<sup>-3</sup></b>	nd	nd
P total		<b>nd</b>	0,26	0,11	0,19	0,12	0,6	0,2	<b>nd</b>	0,27	1,25
K		<b>0,06</b>	0,14	0,05	0,42	0,45	0,7	nd	<b>0,19</b>	0,17	nd
Ca	g 100 g <sup>-1</sup>	<b>&lt;2,0.10<sup>-5</sup></b>	0,13	0,31	0,3	0,86	0,2	4,0a10,0	<b>1,97</b>	17,8	15,65
Mg	de ST	<b>nd</b>	0,11	0,09	0,28	0,62	0,2	nd	<b>nd</b>	0,82	nd
Al		<b>6,40</b>	6,42	6,9	15,69	18,47	nd	7,1	<b>0,09</b>	nd	0,74
Fe		<b>4,11</b>	5,6	2,9	7,04	7,69	2,15	6,9	<b>2,33</b>	nd	0,76
S		<b>0,29</b>	nd	nd	0,21	nd	1,5	nd	<b>0,32</b>	nd	nd
Na		<b>0,01</b>	0,03	0,03	0,1	0,05	nd	nd	<b>0,07</b>	nd	nd
C org		<b>2,30</b>	nd	nd	nd	3,6	3,5	3	<b>10,00</b>	nd	30,2
SV		<b>2,50</b>	2,79	nd	nd	nd	nd	nd	<b>2,5</b>		51,3

nd: não determinado

<sup>(1)</sup> Andreoli, Carneiro e Pegorini (2003) média de 13 amostras de lodo com utilização de sulfato de alumínio como coagulante

<sup>(2)</sup> Hoppen (2004) lodo de ETA com utilização de sulfato de alumínio como coagulante

<sup>(3)</sup> Padilha (2007) lodo de ETA com utilização de sulfato de alumínio como coagulante

<sup>(4)</sup> Moreira *et al.* (2007) média de 6 amostras de lodo de ETA com sulfato de alumínio como coagulante

<sup>(5)</sup> Machado *et al.* (2004) média de 4 amostras de lodo de ETA com coagulante sulfato de alumínio ferroso

<sup>(6)</sup> AWWA (1990) média de 71 amostras de lodo de ETA com utilização de ferro e alumínio como coagulantes

<sup>(7)</sup> Bittencourt *et al.* (2008) média de 22 amostras de lotes de lodo de esgoto das ETEs Belém e Atuba Sul higienizados pelo processo de estabilização alcalina prolongada.

<sup>(8)</sup> Pires *et al.* (2004) amostra de lote de lodo de esgoto da ETE Jundiaí.

Observa-se na tabela 1, que lodos de diferentes origens e épocas apresentam variações em sua composição. Segundo Reali (1999) as características do lodo de ETA podem variar com o tipo de coagulante e auxiliares utilizados no tratamento e com a qualidade da água bruta, que varia sazonalmente. Saron e Leite (2001) relatam que pode ocorrer a variação destas características, também em função da tecnologia usada no tratamento de água.

É possível verificar (tabela 1) que o lodo de ETA utilizado no presente estudo apresenta níveis semelhantes ao observado por diferentes autores quanto aos valores, pH, Nitrogênio Kjeldahl (N Kj), Potássio (K), Alumínio (Al), Enxofre (S), Sódio (Na), Carbono orgânico (C org) e Sólidos Voláteis (SV).

A baixa quantidade de sólidos voláteis (2,5 g 100g<sup>-1</sup>) condiz com as observações de Richter (2001), o qual relata que o conteúdo de compostos orgânicos no lodo de ETA coagulado com compostos de Al depende da concentração na água bruta verificando-se geralmente níveis entre 15 a 25%, sendo que cerca de 20 a 35% são compostos voláteis apresentando pequena proporção de biodegradáveis e valores de pH próximos ao neutro.

O lodo de esgoto apresenta composição variável em função das características do esgoto afluente e dos processos utilizados no sistema de tratamento de esgoto (USEPA, 1997; Andreoli e Pegorini, 2000; MELO e Marques, 2000). O processo utilizado no tratamento e higienização do lodo de esgoto também interfere na constituição final do material, como se observa na tabela 1 lodos higienizados por processos alcalinos, como o



utilizado no presente estudo, possuem pH elevado e conseqüentemente, característica de corretivo de acidez do solo.

### Substâncias Inorgânicas dos Lodos:

A tabela 2 mostra a caracterização dos lodos quanto à substâncias inorgânicas. Foram utilizados como indicadores de contaminação os elementos Arsênio (As), Bário (Ba), Mercúrio (Hg), Cádmio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Molibidênio (Mo), Selênio (Se), Níquel (Ni), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn), seguindo os limites estabelecidos pela Resolução Sema 001/07 (Paraná, 2007) e pela EPA - CFR part. 503 (USEPA, 1997) para lodo de esgoto classe B com limites propostos para solos de áreas degradadas. Observa-se que os níveis destes parâmetros inorgânicos apresentaram-se em quantidades baixas quando comparadas com as quantidades estabelecidas pela legislação mais restritiva ou seja, no caso a Resolução Sema 001/07 (Paraná, 2007). Para o lodo de ETA as quantidades representaram em média 9 % dos limites estabelecidos pela Resolução Sema 001/07 (variação de < 0,2 a 40 %). Já para o lodo de esgoto os valores representam em média 14 % dos limites da legislação paranaense (variação de < 0,2 a 36,6%).

As quantidades dos parâmetros inorgânicos adicionadas ao solo por meio da aplicação das diferentes taxas de lodo de ETA e da aplicação de lodo de ETE encontram-se na tabela 3. Observa-se que as quantidades incorporadas, inclusive na dose mais alta de lodo de ETA somada a dose de lodo de esgoto, apresentaram-se abaixo dos limites de carga acumulada teórica estabelecidos pela Resolução Sema 001/07 (Paraná, 2007) para lodo de esgoto, demonstrando baixo potencial de contaminação do material aplicado.

**Tabela 2: Concentração de substâncias inorgânicas dos lodos utilizados, comparados com os níveis de restrição para o Estado do Paraná (PARANÁ, 2007) e para CFR PART 503 (EPA, 1997)**

Parâmetros Inorgânicos	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Se	Zn
	mg kg <sup>-1</sup>											
Lodo ETA	< 1,0	106,3	8,0	<2	32,5	< 0,1	649,0	15,3	5,8	30,2	< 1,0	80,5
Lodo ETE	7,9	174,4	5,2	<2	99,0	0,4	189,0	12,6	20,0	44,5	1,1	916,2
Limite Sema	41,0	1300,0	20,0	1000	1000,0	16,0	-	50,0	300,0	300,0	100,0	2500,0
CRF PART 503	-	-	85,0	3000	4300,0	57,0	-	-	420,0	840,0	-	7500,0

**Tabela 3: Quantidade de substância inorgânica incorporada ao solo com a aplicação das doses de lodo de ETA e de lodo de esgoto em relação à carga acumulada teórica permitida pela aplicação de lodo de esgoto para o Estado do Paraná (Paraná, 2007)**

Dose de lodo Mg ha <sup>-1</sup> de ST		CARGA APLICADA kg ha <sup>-1</sup>													
		As	Ba	Cd	Cr	Cu	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Se	Zn	Fe	Al
ETA	24	< 0,02	2,55	0,2	< 0,05	0,78	< 0,002	15,58	0,37	0,14	0,73	< 0,02	1,93	985,5	1539,5
ETA	37	< 0,04	3,93	0,3	< 0,07	1,20	< 0,004	24,02	0,57	0,21	1,12	< 0,04	2,98	1519,4	2373,4
ETA	61	< 0,06	6,48	0,5	< 0,12	1,98	< 0,01	39,61	0,93	0,35	1,84	< 0,06	4,91	2504,9	3912,9
ETE	77	0,61	13,43	0,4	< 0,15	7,62	0,03	14,54	0,97	1,54	3,43	0,09	70,55	1793,2	67,62
ETA+ETE	61+77	0,67	19,91	0,9	0,27	9,6	0,04	54,15	1,9	1,89	5,27	0,15	75,46	4298,1	3980,6
Limite Sema		30	265	4	154	137	1,2	-	13	74	41	13	445	-	-

### Parâmetros de Sanidade dos Lodos:

Os resultados da caracterização dos lodos quanto aos parâmetros de sanidade, estão apresentados na tabela 4. Os níveis dos parâmetros de ovos viáveis de helmintos e coliformes termotolerantes apresentaram-se compatíveis com a legislação vigente. No entanto, devido ao parâmetro *Salmonella sp* apresentar-se em níveis divergentes da legislação vigente foi realizado o monitoramento da presença do agente patogênico no solo após a aplicação dos tratamentos.



<b>Atributos Sanitários</b>	<b>Ovos Viáveis de Helmintos (Ovos/g ST)</b>	<b>Coliformes Termotolerantes (NMP/g ST)</b>	<b><i>Salmonella</i> sp.</b>
<b>Lodo ETA</b>	0	330	<3 NMP 4g <sup>-1</sup> de ST
<b>Lodo ETE</b>	0	<100	<2 NMP 4g <sup>-1</sup> de ST
<b>Limite Sema</b>	0,25	1000	ausência em 10g de ST

### Características Químicas e Físicas do Solo:

**Tabela 5: Médias, limites de confiança e coeficiente de variação de atributos químicos dos solos das 21 unidades experimentais**

Em relação as variáveis de fertilidade analisadas, apesar da variabilidade do solo na área, esses em sua maioria apresentaram níveis predominantes numa única faixa, conforme classificação de Oleynik et al. (2004). O nível de Al e a CTC a pH 7 (T) em todas as unidades experimentais classificaram-se como altos e a saturação em Al (m%) muito alta, a exceção de uma única parcela classificada como média. Os níveis de Ca, K e P corresponderam a classe baixa, com exceção de 2 unidades experimentais para Ca e P e de 6 para K, classificadas como média. Os níveis de Mg em 19 unidades experimentais corresponderam a classe alta e 2 na classe média.

O parâmetro pH apresentou-se homogêneo, com baixo coeficiente de variação (1,75%), classificado como acidez muito alta. A Saturação de Bases apresentou níveis de classe muito baixa, com exceção de uma parcela com nível baixo e o C apresentou comportamento heterogêneo apresentando níveis na classificação baixa ( $8,0 \text{ g dm}^3$ ) e média ( $8,0$  a  $4,1 \text{ g dm}^3$ ), sendo que 2 parcelas apresentaram-se na classe alta ( $> 14,1 \text{ g dm}^3$ ). Na Tabela 6 verifica-se que a maioria das unidades experimentais apresentaram solo de textura “Argilosa” e “Franco-argilosa” ( $320$  a  $516 \text{ g kg}^{-1}$  de argila).

Foram exceções apenas 3 parcelas, 2 de textura “Franca” e uma de textura “Muito-argilosa”, refletindo, juntamente com outros atributos como o N, a problemática do estudo de recuperação de áreas de depósito. Nessa tabela observa-se que o Na apresentou valor médio inicial de 730 mg kg<sup>-1</sup>, o qual corresponde a 1,6 vezes a média do Estado do Paraná (437 mg kg<sup>-1</sup>), apresentada pela Mineropar (2005). Porém se encontra entre os valores indicados para a região onde está localizada a área experimental.





**Tabela 6: Médias, limites de confiança e coeficiente de variação de atributos químicos e granulométricos dos solos das 21 unidades experimentais**

Parâmetro	N	N	N nítrico	N	Na	S	Fe	Areia	Silte	Argila
		g kg <sup>-1</sup>			mg/ kg <sup>-1</sup>				g kg <sup>-1</sup>	
Média	4,74	1,22	0,11	0,60	730,0	0,2	768,3	349	181,6	469
Lim. Conf. Inf. (95%)	3,12	1,07	0,09	0,48	639,1	0,1	654,5	319,6	161,3	425,3
Lim. Conf. Sup. (95%)	6,36	1,37	0,13	0,73	820,9	0,2	882,1	378,1	202	513,7
Coef. Variação (%)	74,82	27,28	34,50	46,62	27,3	45,7	32,5	18,39	24,59	20,65

Os parâmetros Arsênio, Cádmio, Mercúrio, Selênio e Fenóis apresentaram-se no solo em todas as unidades experimentais abaixo do limite de detecção laboratorial ( $< 0,01 \text{ mg kg}^{-1}$  para Cd, Hg e Se e  $< 0,1 \text{ mg kg}^{-1}$  para Arsênio e Fenóis). A tabela 7 apresenta médias, limites de confiança e coeficiente de variação dos resultados das análises das demais substâncias químicas nos solos das 21 unidades experimentais antes da aplicação dos tratamentos, observa-se que a média de todos os parâmetros com exceção do Manganês (Mn) que apresentou-se abaixo da média verificada pela Mineropar (2005) para horizonte B de solos da Região Metropolitana de Curitiba.

**Tabela 7: Médias, limite de confiança e coeficiente de variação de atributos químicos dos solos das 21 unidades experimentais e média de teores de solo da Região de Curitiba (Mineropar, 2005).**

Parâmetros	Ba	Cr	Cu	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn
				mg kg <sup>-1</sup>				
Média	72,95	57,60	21,39	568,06	0,88	15,39	26,71	58,72
Lim. Conf. Inf. (95%)	44,31	47,72	16,06	325,63	0,63	13,67	23,73	45,72
Lim. Conf. sup. (95%)	101,58	67,61	26,72	810,49	1,14	17,10	29,69	71,72
Coef. Variação (%)	86,08	37,82	54,66	93,57	64,02	24,50	24,46	48,55
Mineropar RMC (méd)	343,96	63,47	35,10	500,49	1,40	20,00	27,98	61,14

## INFLUÊNCIA DAS DOSES DE LODO DE ETA NA PRESENÇA E AUSÊNCIA DE LODO DE ETE

### No desenvolvimento vegetal:

O primeiro cultivo de milho (*Pennisetum americanum*) apresentou desenvolvimento desuniforme com falhas e crescimento heterogêneo em todas as unidades experimentais. Fato provavelmente ocasionado por impedimentos físicos e químicos dos solos nas unidades experimentais resultantes da diversidade de materiais depositados na área. Outros fatores que possivelmente contribuíram, foram: a semeadura do milho no limite da data recomendada e a ocorrência de período de seca logo após a semeadura.

Desta forma, a produção de massa verde foi extremamente variável, com plantas de diversos tamanhos em uma única unidade experimental, resultando em uma produção de matéria seca sem diferença significativa entre os tratamentos (tabela 8). No cultivo de inverno, observou-se, visualmente, nas unidades experimentais uma maior homogeneidade de desenvolvimento, em relação ao primeiro cultivo, tanto das plantas semeadas, quanto da vegetação espontânea.

No segundo cultivo do milho as plantas apresentaram um crescimento mais uniforme, com maior altura e produção quando comparadas ao primeiro cultivo (tabela 8). No entanto, houve problemas no desenvolvimento vegetal em unidades experimentais do primeiro bloco, devido a um alagamento. Dessa forma, como verificado para o primeiro cultivo de milho, apesar da realização de adubação nas parcelas sem lodo de esgoto, não houve diferença significativa entre a testemunha e cada um dos tratamentos, bem como não houve interação entre os tratamentos da parcela principal (doses de lodo de esgoto) e os tratamentos das subparcelas (doses de lodo de ETA).



Tabela 8: Produção de milho no primeiro e segundo anos de cultivo

Parâmetros Estatísticos*	Produção de Milho (g m <sup>-2</sup> de MS)	
	Primeiro ano de cultivo	Segundo ano de cultivo
Média Geral	21,23	349,84
Média máxima	29,58	479,87
Média Mínima	12,27	248,27
Diferença Mínima Significativa - DMS	28,72	505,13
Coefficiente de Variação - CV (%)	55,6	59,3

\*Teste de Dunnett as médias não diferiram estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade.

#### Nos atributos de fertilidade do solo:

Aos 120 dias após a aplicação dos tratamentos, para os atributos de fertilidade do solo não houve diferença significativa entre a testemunha e cada um dos tratamentos com doses crescentes de lodo de ETA (tabela 9), demonstrando que o material não alterou as características do solo quanto à estes atributos. Verifica-se que os resultados aqui alcançados estão de acordo com as conclusões de Motta *et al.* (2005) quando estes afirmam que não há evidências de que o lodo de ETA possa acidificar o solo e aumentar o alumínio tóxico. Destaca-se para o caso em questão fatores como o período de avaliação e a quantidade de lodo de ETA aplicada.

Apesar do lodo de ETA utilizado no experimento apresentar uma significativa quantidade de Al total (6,4%, tabela 1) sua aplicação nas dosagens adotadas resultou em quantidades relativamente pequenas adicionadas ao solo quando comparadas ao teor total médio dos solos paranaenses (tabela 10).

Tabela 9: Comparação de médias entre a testemunha e os demais tratamentos\*

Tratamentos	Dose de Lodo (S T) Mg ha <sup>-1</sup>		Atributos de Fertilidade do Solo									
	ETA	ETE	pH CaCl <sub>2</sub>	K	Ca	Mg	Al	H+Al	T	C	P	V
				cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>						g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	%
T1 Testemunha	0	0	4,28 b	0,15 a	5,24 b	2,28 b	3,08 a	9,51 a	17,18 a	10,41 b	6,71 b	45,60 b
T2	24	0	4,33 b	0,15 a	4,56 b	2,20 b	4,05 a	11,27 a	18,18 a	11,03 b	5,43 b	40,40 b
T3	37	0	4,42 b	0,11 a	4,31 b	1,82 b	2,66 a	10,71 a	16,94 a	11,75 b	4,26 b	36,60 b
T4	61	0	4,28 b	0,13 a	3,65 b	1,82 b	3,30 a	11,40 a	16,99 a	10,40 b	5,46 b	33,20 b
T5	24	77	6,55 a	0,18 a	15,97 a	4,17 a	0 a	2,33 b	22,65 a	21,33 a	12,17 a	89,6 a
T6	37	77	6,49 a	0,19 a	14,12 a	4,24 a	0 a	2,36 b	20,91 a	20,01 b	18,93 a	88,4 a
T7	61	77	5,74 a	0,15 a	12,15 a	3,57 a	0,12 a	3,73 b	19,60 a	16,88 b	14,10 a	80,9 a
DMS			0,99	0,06	5,46	2,36	4,38	7,87	9,66	7,69	5,76	34,45
CV (%)			7,93	17,5	26,21	33,8	95,44	44,12	27,3	33,01	12,5	23,89

\*Teste de Dunnett – letras iguais significam que a testemunha não diferiu estatisticamente dos outros tratamentos na mesma coluna, ao nível de 5% probabilidade.

Tabela 10: Quantidade de alumínio total adicionada ao solo com aplicação das doses de lodo de ETA comparada à média observada em solos do Paraná

Material	Al Total (mg kg <sup>-1</sup> de solo)
24 Mg ha <sup>-1</sup>	641
Dose de Lodo de ETA (ST)	
37 Mg ha <sup>-1</sup>	989
61 Mg ha <sup>-1</sup>	1630
Média Paraná (Minerpar 2005)	123204



Para o fósforo (tabela 9), embora AWWA (1995) comente que diversos autores verificaram redução da sua disponibilidade para diversos cultivos, em consequência da aplicação de lodo de ETA em solos agrícolas, esse fato não foi observado nas dosagens adotadas para o solo do presente experimento.

Os resultados dos atributos de fertilidade do solo nos tratamentos com doses de ETA acrescidos de uma única dose de lodo de ETE, não foram comparados com a testemunha pois foram objeto de análise específica (parcela subdividida – tabela 11) a qual permitiu testar possíveis interações, sendo os mesmos apresentados na sequência. Desta forma, manteve-se o foco no objetivo desta pesquisa, ou seja, verificar o efeito do lodo de ETA na presença e ausência de lodo de ETE.

No modelo estatístico de parcelas subdivididas, para os atributos pH, P, C, Ca, V% e H + Al verificou-se diferença significativa entre os tratamentos da parcela principal (presença e ausência de lodo de esgoto) na comparação de médias por teste de Tukey (tabela 11), não havendo diferença entre os tratamentos das subparcelas (doses de lodo de ETA), tampouco interação entre as parcelas principais e as subparcelas. Resultados que demonstram que devido à composição do lodo de esgoto, rico em material alcalinizante e em matéria orgânica, sua aplicação na dosagem adotada alterou as características do solo quanto à esses atributos. Particularmente para o fósforo esse resultados complementam a tabela 1 (valores encontrados para a região metropolitana de Curitiba) indicando que o lodo de esgoto aplicado ao solo possuía quantidade significativa deste elemento.

**Tabela 11: Comparação de médias entre testemunha e os tratamentos da parcela principal para atributos de fertilidade do solo no modelo parcelas subdivididas**

Tratamentos da Parcela Principal (S T)	Atributos de Fertilidade do Solo									
	pH	K	Ca	Mg	Al**	H+Al	T	C	P	V
	CaCl <sub>2</sub>									
				cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>				g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	%
0 Mg ha <sup>-1</sup> de lodo ETE	4,35 b	0,13 a	4,17 b	1,94 a	3,34	11,11 a	17,37 a	11,06 b	5,05 b	36,73 b
77 Mg ha <sup>-1</sup> de lodo ETE	6,15 a	0,17 a	14,08 a	3,99 a	0,04	2,81 b	21,06 a	19,41 a	15,06 a	86,32 a
DMS	1,29	0,07	4,14	2,47	-	5,7	3,82	1,17	6,2	23,28
CV (%)	12,14	23,16	22,37	40,94	-	40,31	9,79	3,8	30,36	18,64

\*Teste de Tukey – letras iguais na coluna significam que as médias não diferiram estatisticamente ao nível de 5% probabilidade.

\*\* Análise estatística não realizada para o arranjo em parcelas subdivididas.

Devido ao poder corretivo de acidez do lodo de esgoto utilizado, verificou-se que os teores de Al e acidez potencial (H+Al) do solo decresceram com a aplicação dos tratamentos com o material. Porém a diferença entre os tratamentos da parcela principal foi observada apenas para a variável acidez potencial (tabela 11), enquanto para o Al não foi possível a comprovação estatística em função da obtenção e repetição de valor iguais a zero nas unidades experimentais com lodo de esgoto, fato que impossibilitou a realização de análise estatística para o modelo de parcelas subdivididas. Todavia é importante observar que a quantidade de lodo de esgoto alcalinizado pelo processo de estabilização prolongada (com a adição de cal virgem a 50% de ST) foi suficiente para neutralizar o alumínio tóxico, elevando em média o pH e a saturação de bases (V%) acima de 5,4 e 80%, respectivamente.

Para K, Mg e Capacidade de Troca de Cátions (T) não houve diferença significativa entre os tratamentos principais no modelo parcelas subdivididas, indicando que o Ca que em maior proporção contribuiu para a elevação do V% e que o T manteve-se estável pela redução da acidez potencial (H+Al).

#### Nos demais atributos químicos do solo:

Aos 120 após a aplicação dos tratamentos, os fenóis e os elementos químicos Cádmio, Mercúrio e Selênio apresentaram-se no solo, em todas as unidades experimentais, abaixo do limite de quantificação laboratorial (< 0,1 mg kg<sup>-1</sup> para Fenóis; < 0,01 mg kg<sup>-1</sup> para Cd, Hg e Se), sendo que para o As somente uma das 21 unidades experimentais apresentou-se acima do limite de quantificação (< 0,1), com valor igual a 0,7 mg kg<sup>-1</sup> (valor abaixo do limite máximo permitido pela legislação – Paraná, 2007).

Para os demais elementos analisados não houve diferença significativa entre a testemunha e cada um dos tratamentos com doses crescentes de lodo de ETA (tabela 12), demonstrando não haver efeito da aplicação do material nas características do solo quanto à estes atributos.



**Tabela 12: Comparação de médias entre testemunha e os demais tratamentos\* e comparação com a média verificada por MINEROPAR (2005)**

Tratamento	Dose de Lodo(S T)		Elementos químicos											
	ETA	ETE	Ba	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Na	Nkjl	Ni	Pb	S	Zn
	Mg ha <sup>-1</sup>		mg kg <sup>-1</sup>											
<b>T1</b>														
Testemunha	0	0	53,2a	10,1b	25,0b	944,3a	513,3a	1,3a	770,0 a	2,6b	18,3 a	20,0b	0,1 a	49,2a
T2	24	0	88,2a	18,4b	18,2b	516,7a	457,1a	3,83a	735,0 a	2,6b	23,3 a	20,0b	0,1 a	36,0a
T3	37	0	26,8a	20,0b	26,5b	823,3a	381,5a	0,50a	893,3 a	2,6b	23,3 a	20,0b	0,2 a	84,0a
T4	61	0	57,3a	23,3b	22,5b	1091,7a	478,7a	0,87a	791,6 a	3,8b	23,3 a	20,0b	0,2 a	67,5a
T5	24	77	51,9a	50,0 a	41,6a	1116,7a	515,5a	0,63a	786,7a	6,0a	43,3a	26,7b	0,1a	268,8a
T6	37	77	31,5a	27,7 b	27,3b	899,7a	354,3a	1,03a	863,3a	15,2 a	15,3a	30,0a	0,2a	88,9a
T7	61	77	69,4a	40,0 b	36,9b	822,0a	630,5a	1,83a	816,6a	2,93 b	21,7a	31,7a	0,2a	111,4a
DMS			91,6	31,8	13,7	1438,7	768	2,88	378,2	2,15	31,4	8,3	0,18	293,1
CV (%)			69,7	48,3	19,9	66,6	66,3	83,3	19,2	17,3	53,5	14,1	49,3	119,5
<b>Média Mineropar RMC</b>			343,9	63,47	35,1	26900	500,49	1,4	639,77	700	20	27,98	11	61,14

\*Teste de Dunnett – letras iguais significam que a testemunha não diferiu estatisticamente dos outros tratamentos na mesma coluna, ao nível de 5% probabilidade.

Observa-se ainda na tabela 12 que a média de todos os parâmetros com exceção do Manganês apresentou-se abaixo da média verificada por Mineropar (2005) para horizonte B dos solos da Região Metropolitana de Curitiba.

Da mesma forma que para os atributos de fertilidade, os tratamentos com doses de lodo de ETA na presença de lodo de ETE foram objeto de análise específica (parcela subdividida) a qual permitiu testar possíveis interações. Assim, dos elementos citados na tabela 12, nenhum apresentou separadamente efeito significativo para a parcela principal (lodo de ETE), nem para as subparcelas (lodo de ETA). No entanto verificou-se efeito da interação entre os tratamentos aplicados para os elementos N kjeldahl, Cu e Mo (tabela 13), ou seja, a resposta destes atributos do solo às doses de lodo de ETA aplicadas variou com a presença ou ausência do lodo de ETE.

**Tabela 13: Médias de interação entre os tratamentos da parcela principal e das subparcelas para elementos químicos do solo no modelo parcelas subdivididas**

Tratamentos da Parcela Principal [a] (S T)	N Kjeldahl			Mo			Cu		
	Tratamentos da Subparcela [b] - Mg ha <sup>-1</sup> de lodo ETA (ST)								
	24	37	61	24	37	61	24	37	61
0 Mg ha <sup>-1</sup> de lodo ETE	2,6 bA	2,63 bA	3,8 aA	3,8 aA	0,5 aB	0,87 aB	18,17 bA	26,47 aA	22,5 bA
77 Mg ha <sup>-1</sup> de lodo ETE	6,0 aB	15,17 aA	2,93 aC	0,6 bA	1,03 aA	1,83 aA	41,6 aA	27,3 aB	36,87aAB
CV [a] %	20,1			90,23			25,3		
CV [b] %	16			78,81			20,19		

\*As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 5% probabilidade, sendo as colunas classificadas por letras minúsculas e as linhas com letras maiúsculas

Dos resultados da tabela 13, cabe ressaltar que os valores obtidos para o Nitrogênio apresentam um ponto de máximo, sugerindo aumento da atividade biológica na segunda dose de lodo de água quando na presença de lodo de esgoto. Todavia na maior dose o valor médio do nitrogênio foi novamente reduzido. Isso sugere que



na presença do lodo de esgoto a aplicação de lodo de água foi favorável à dinâmica do nitrogênio até a dose de 37 Mg kg<sup>-1</sup>, sendo prejudicial na dose mais elevada.

### CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

Na avaliação da água subterrânea coletada nos cinco poços de monitoramento em 26 de agosto de 2008, 180 dias após a aplicação dos lodos, verificou-se que os elementos químicos apresentados na tabela 14 estavam abaixo do nível de detecção laboratorial.

**Tabela 14: Elementos químicos verificados na água dos poços de monitoramento abaixo do limite de quantificação laboratorial após a aplicação dos tratamentos**

Parâmetro	Fenóis	As	Ba	Cd	Cu	Cr	Hg	Se	Zn	Mn	DQO
	mg L <sup>-1</sup>										mg L <sup>-1</sup> O <sub>2</sub>
Limite de Quantificação	0,001	0,01	0,1	0,001	0,001	0,01	0,0002	0,01	0,01	0,1	10

A tabela 15 apresenta os resultados obtidos para os demais elementos químicos monitorados na água subterrânea, em comparação com os limites da Resolução Conama 396 para irrigação como uso preponderante. Apenas o alumínio aumentou os seus teores a jusante do experimento, o que indica a necessidade de estudos mais detalhados para este elemento.

**Tabela 15: – Elementos químicos nos poços de monitoramento após a aplicação dos tratamentos**

Elementos Químicos	Unidade	Montante	Montante	Jusante	Jusante	Jusante	LQ	Conama 396*
		ETE	1	1	2	3		
Chumbo		0,9	0,93	0,88	0,88	0,88	0,001	5,00
Molibdênio		0,2	0,1	0,3	0,3	0,1	0,1	0,01
Níquel		0,12	0,11	0,12	0,16	0,11	0,001	0,20
Ferro		1,0	7,5	2,3	1,7	0,9	0,1	5,00
Sódio		2	5,1	1,2	2	0,9	0,1	-
Enxofre		1,0	0,9	1,8	1,3	1,1	0,1	-
N kjeldahl		0,23	4,05	1,02	4,2	0,21	0,01	-
N amoniacal		0,05	0,81	0,21	0,83	0,04	0,01	-
N - NO <sub>2</sub>	mg L <sup>-1</sup>	0,001	0,002	0,001	0,003	0,001	0,001	1,00
N- NO <sub>3</sub>		0,15	0,18	0,25	0,22	0,13	0,01	-
Alumínio		0,6	0,77	11,86	29,69	6,47	0,01	5,00
C org		3,97	8,31	7,21	6,04	5,38	0,01	-
P		0,01	0,05	0,03	0,06	0,028	0,01	-
Mg		0,47	0,74	0,73	0,5	0,42	0,01	-
K		0,78	0,71	0,9	0,85	0,55	0,01	-
pH		6,15	6,39	6,17	6,3	6	0,01	-
Sólidos dissol.		8,9	40,2	12,6	13,7	5,8	0,01	-
DBO		8,5	8,5	8,5	8,5	8,4	0,01	-

### ASPECTOS SANITÁRIOS

Na avaliação tanto na água subterrânea quanto no solo observou-se que aspectos sanitários apresentaram-se abaixo do limite de detecção ou ausentes (tabela 16).



**Tabelas 16: Atributos sanitários avaliados na água subterrânea após a aplicação dos tratamentos e no solo antes e após a aplicação dos tratamentos.**

Atributos Sanitários	unidade	Poços de monitoramento	unidade	SOLO - 21 parcelas antes e depois
Coliformes totais	NMP 100 mL <sup>-1</sup>	< 1,1	NMP g <sup>-1</sup>	< 0,3
Coliformes fecais	NMP 100 mL <sup>-1</sup>	< 1,1	NMP g <sup>-1</sup>	< 0,3
<i>Salmonella</i>	presença	ausência	presença 25g <sup>-1</sup>	ausência

## CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

- Os lodos utilizados possuíam níveis de substâncias inorgânicas abaixo dos limites da legislação vigente;
- A aplicação do lodo de ETA não alterou as características do solo quanto as variáveis analisadas;
- Não houve influência dos tratamentos no desenvolvimento vegetal;
- O lodo de ETA não interferiu na contaminação nem na recuperação do solo da área em estudo;
- Na presença do lodo de esgoto a aplicação de lodo de água foi favorável à dinâmica do nitrogênio até a dose de 37 Mg kg<sup>-1</sup>;
- Aplicação do lodo de ETE neutralizou o Al e alterou pH, Ca, H+Al, C, P e V%;
- Há necessidade de investigação mais aprofundada quanto aumento do teor de Al observado na água dos poços a jusante do experimento, quantificando-se a contribuição relativa dos tratamentos, bem como a dos materiais de solo depositados na área.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Classificação de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004. 71 p.
2. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13895**: Norma para construção de poços de monitoramento e amostragem. Rio de Janeiro, 1997. 21p.
3. ANDREOLI, C. V.; CARNEIRO, C.; PEGORINI, E. S. Projeto Interdisciplinar de Pesquisa sobre Eutrofização de Águas de Abastecimento Público na Bacia do Altíssimo Iguaçu: Sub-projeto estudo das relações entre produção e composição do lodo gerado na estação de tratamento de água com parâmetros ambientais do lago irai. Curitiba: FINEP CT HIDRO, dezembro, 2003. 23p. Relatório final.
4. ANDREOLI, C.V.; PEGORINI, E.S. Gestão pública do uso agrícola do lodo de esgoto. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O A (orgs). Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Jaguariúna, SP, EMBRAPA Meio Ambiente, 2000, p. 281-312.
5. AWWA – American Water Works Association. An Assessment of Cropland Application of Water Treatment Residuals. USA: AWWARF, 1995. 71p.
6. AWWA – American Water Works Association. *Land Application of Water Treatment Sludge's: Impact and Management*. USA: AWWARF, 1990. 100p.
7. BITTENCOURT, S.; ANDREOLI, C. V.; MOCHIDA, G. A.; SOUZA, L. M. K. M. Uso agrícola de lodo de esgoto, estudo de caso da Região Metropolitana de Curitiba. VI Simpósio Interamericano de Biossólidos, Rio de Janeiro. 2008. p. 1-8.
8. BHERING, S. B. Mapa de solos do Estado do Paraná : escala 1:250.000 : legenda /Silvio Barge Bhering ... [et al.]. - Dados eletrônicos. — Rio de Janeiro:Embrapa Solos, 2007.(Documentos / Embrapa Solos, ISSN 1517-2627 ; ) : <<http://www.cnps.embrapa.br/solosbr/conhecimentos.html>>Título da página da Web (acesso em 4 set. 2007).
9. BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Conama nº 375. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, n. 167, 30 ago 2006, p. 141-146.



10. GRANDIN, S. R.; ALEM SOBRINHO, P.; GARCIA JR., A. D. Desidratação de Lodos Produzidos em Estações de Tratamento de Água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 17., 1993, Natal. *Anais...* Natal: ABES, 1993. v.2, p. 324-341.
11. HOPPEN, C. *Reciclagem de Lodo de ETA Centrifugado na Construção Civil, Método Alternativo para Preservação Ambiental*. Curitiba, 2004. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental). UFPR.
12. MACHADO, L. C. G. T.; PEREIRA, J. A. R.; PONTE, M. X.; LOPES, L. N. A. Avaliação do aproveitamento agrícola do lodo produzido na ETA Bolonha – RMB. Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável, Florianópolis. Anais do Congresso, Núcleo de informações de saúde ambiental da USP, 2004, p. 917-926.
13. MELO, W. J.; MARQUES, M. O. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (orgs). Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Jaguariúna, SP, EMBRAPA Meio Ambiente, 2000, p. 109-141.
14. MINEROPAR. Minerais do Paraná S.A. Geoquímica de solo - Horizonte B: Relatório final de projeto. Curitiba : Mineropar, 2005. 2 v. 408p.
15. MOREIRA, R. C. A.; BOAVENTURA, G.R.; NASCIMENTO, C. T. C.; GUIMARÃES, E. M.; OLIVEIRA, R. P. Uso do lodo químico, rico em alumínio, produzido pela estação de tratamento de água Rio Descoberto para a recuperação de uma área degradada. *Geoquímica Brasiliensis*, Rio de Janeiro. v. 21, n. 2, 2007 p. 22-35.
16. MOTTA, A. C. V.; HOPPEN, C. ANDREOLI, C. V.; TAMANINI, C. R.; FERNANDES, C. V. S.; PEGORINI, E. S.; SOCCOL, V. T. Disposição final de lodos de estação de tratamento de água. Parecer apresentado à Sanepar em julho/2005. UFPR, Curitiba. 2005. 43p
17. OLENIK, J.; BRAGAGNOLO, N.; BUBLITZ, U.; SILVA, J.C.C. Análise de solo; tabela para transformação de resultados analíticos e interpretação 3 ed. Curitiba: EMATER, 2004. p. 35
18. PADILHA, J. C. Aplicação de lodos de tratamentos de água e esgoto em Latossolos cultivados com milho e soja. Curitiba. 2007. 346 f. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo. UFPR.
19. PARANÁ. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Resolução Sema 001/07**. Dispõe sobre licenciamento ambiental, estabelece condições e padrões ambientais e dá outras providências, para empreendimentos de saneamento. Diário Oficial do Estado do Paraná, Edição 7395, 23 de janeiro de 2007.
20. PIRES, A.M.M.; MATIAZZO M. E.; BERTON, R.S. Ácidos orgânicos como extratores de metais pesados fitodisponíveis em solos tratados com lodo de esgoto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.39, n.7, Brasília, 2004, p. 671-676.
21. REALI, M. A. P. Principais Características Quantitativas e Qualitativas do Lodo de ETAs. In: REALI, M. A. P. (coord.) *Noções Gerais de Tratamento de Disposição Final de Lodos de ETA*. Rio de Janeiro: ABES / PROSAB, 1999. p. 21-39.
22. RICHTER, C.A. *Tratamento de Lodos de Estações de Tratamento de Água*. São Paulo: Editora Edgard Blücher LTDA, 2001. 102 p.
23. SARON, A.; LEITE, V.M.B. *Quantificação de lodo em estação de tratamento de Água*. In: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, João Pessoa. Anais. ABES. 2001.Tomo I – 075
24. SILVA, F. de A. S. Assistat, assistência estatística, versão beta 7.5, (2008), [www.assistat.com](http://www.assistat.com). <http://www.assistat.com/indexp.html>. Acesso em 05/032009.
25. SILVA, A. P. da; BIDONE, F. R. A.; MARQUES, D. M. L da M. Avaliação da Lixiviação de Alumínio e da Produção de Ácidos Graxos Voláteis em Reatores Anaeróbios Utilizados para Estudar a Disposição Final de Lodos de ETAs em Aterros Sanitários. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA, XXVII., 2000, Porto Alegre. *Anais...* Porto Alegre: AIDIS, 2000. 1 CD-ROM.
26. TEIXEIRA, A.T.; MELO, W.J. de; SILVA, E. T. Aplicação de lodo da estação de tratamento de água em solo degradado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 40, n.1, Brasília. Jan. 2005.
27. USEPA – ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Land application of biossolids: process design manual. Cincinnati, 1997.