DISSERTAÇÃO

LODO DE ESGOTO LÍQUIDO NA DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES E ALTERAÇÕES DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM ARGISSOLO.

LUIZ CARLOS CEOLATO

Campinas, SP
2007

INSTITUTO AGRONÔMICO

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA TROPICAL E SUBTROPICAL

LODO DE ESGOTO LÍQUIDO NA DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES E ALTERAÇÕES DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM ARGISSOLO.

LUIZ CARLOS CEOLATO

Orientador: Ronaldo Severiano Berton

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre** em Agricultura Tropical e Subtropical Área de Concentração em Gestão de Recursos Agroambientais

Campinas, SP
Abril 2007

Ficha elaborada pela bibliotecária do Núclea de Informação e Documentação do Instituto Agronômico

C398l Ceolato, Luiz Carlos
Lodo de esgoto líquido na disponibilidade de nutrientes e alterações dos atributos químicos de um argissolo / Luiz Carlos Ceolato. Campinas: Instituto Agronômico, 2007.
45fls.: il.

Orientador: Ronaldo Severiano Berton
Dissertação (Mestrado em Gestão de Recursos Agroambientais) – Instituto Agronômico

1.Atributos do solo. 2. Propriedades químicas do solo. 3.Disposição de lodo. 4. Lodo de esgoto líquido. I. Berton, Ronaldo Severiano. II.Campinas. Instituto Agronômico. III. Título

CDD 631.45

Aos meus pais
Océlia e Pedro
DEDICO

À Fátima e ao Gustavo, pelo carinho e apoio na realização deste trabalho.
OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

- À DEUS, pela minha saúde, e às Equipes de Nossa Senhora, pela força nas horas necessárias;
- Ao pesquisador, amigo, e orientador Dr. Ronaldo Berton, pelo apoio, ensinamentos e experiência dividida neste período que farão parte da minha vida profissional;
- Ao pesquisador Dr. Otávio Antonio Camargo, pelo auxílio e conselhos fundamentais para a realização deste trabalho;
- Ao pesquisador Dr. Armando Conagim, pela ajuda na análise estatística deste trabalho;
- Aos professores da Gestão de Recursos Agroambientais da PG-IAC, pelos ensinamentos e experiência profissional compartilhada durante as aulas;
- Aos funcionários da PG-IAC, pelo auxílio e suporte no decorrer do curso;
- Aos colegas da pós-graduação, pela constante divisão dos conhecimentos e dicas durante o curso;
- Às minhas irmãs Maria Célia e Cidinha que sempre me apoiaram e incentivaram na busca de novos conhecimentos;
- À minha esposa Fátima e ao meu filho Gustavo, pela compreensão nas noites e finais de semana em que estive ausente, e pelo incentivo na realização deste trabalho;
- A todos que colaboraram para a realização e finalização deste trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO..... vi
ABSTRACT..... vii
1. INTRODUÇÃO..... 1
2. REVISÃO DE LITERATURA..... 3
2.1 Legislação para aplicação de lodo de esgoto em solo agrícola..... 3
2.2 Aumento de nutrientes e micronutrientes no solo que recebeu lodo de esgoto 4
2.3 Aumento de nutrientes e micronutrientes em plantas que receberam lodo de esgoto 9
3. MATERIAL E MÉTODOS..... 14
3.1 Localização da área experimental..... 14
3.2 Caracterização do lodo de esgoto..... 15
3.3 Espécie utilizada..... 16
3.4 Delineamento experimental..... 16
3.5 Instalação e condução do experimento..... 17
3.6 Atributos avaliados..... 18
3.7 Amostragens e análises químicas..... 18
3.7.1 Plantas..... 18
3.7.2 Solo..... 19
3.8 Análise estatística do experimento..... 20
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO..... 21
4.1 Efeito da aplicação de lodo de esgoto no solo..... 21
4.1.1 Matéria orgânica 27
4.1.2 pH do solo..... 27
4.1.3 Fósforo..... 28
4.1.4 Potássio trocável..... 28
4.1.5 Cálcio trocável..... 29
4.1.6 Magnésio trocável..... 29
4.1.7 H+Al no solo..... 30
4.1.8 CTC..... 30
4.1.9 Saturação por bases no solo..... 31
4.1.10 Zinco disponível..... 31
4.2 Efeito da aplicação de lodo de esgoto nas folhas da *Brachiaria decumbens*..... 32
4.2.1 Nitrogênio..... 37
4.2.2 Fósforo..... 37
4.2.3 Potássio..... 37
4.2.4 Cálcio..... 38
4.2.5 Magnésio..... 38
4.2.6 Boro..... 39
4.2.7 Ferro..... 39
4.2.8 Manganês..... 40
4.2.9 Zinco..... 40
5 CONCLUSÕES..... 41
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 42

CEOLATO, Luiz Carlos. **Lodo de esgoto líquido na disponibilidade de nutrientes e alterações dos atributos químicos de um Argissolo.** 2007. 45f. Dissertação (Mestrado em Gestão de Recursos Agroambientais) – Pós-Graduação – IAC.

RESUMO

A disposição final adequada de lodo de esgoto gerado nas estações de tratamento de esgoto é um desafio que inclui a viabilidade econômica e o aspecto ambiental dessa prática. O objetivo do presente trabalho foi avaliar o impacto, nos atributos químicos do solo e na fitodisponibilidade de macronutrientes e do micronutriente Zn de uma área plantada com *Brachiaria decumbens*, num Argissolo Vermelho-Amarelo que recebeu lodo de esgoto no período de 2003 e 2006. A quantidade de lodo aplicada foi limitada ao teor nitrogênio, sendo 12 aplicações de 2,08 t ha^{-1} (base seca) de lodo de esgoto digerido por processo aeróbio de digestão e aplicados na forma líquida. A análise dos atributos químicos do solo mostrou que o lodo de esgoto aplicado forneceu micro e macronutrientes necessários para o desenvolvimento da *Brachiaria decumbens*, com exceção do boro. A aplicação do lodo não poluiu o solo e pode ser uma alternativa economicamente viável e ambientalmente segura para a disposição final de lodo de esgoto gerado em estações municipais de tratamento.

Palavras-chave: *Brachiaria decumbens*, fertilidade do solo, nutrição mineral, disposição de lodo

CEOLATO, Luiz Carlos. **Liquid sludge and Nutrients availability and Chemical characteristics changes on an oxisol.** 2007. 45f. Dissertação (Mestrado em Gestão de Recursos Agroambientais) – Pós-Graduação – IAC.

ABSTRACT

Sewage sludge disposal from wastewater treatment plants will be a challenge that includes solving environmental and economic aspects. The objective of this study was to evaluate the changes in soil chemical characteristics and nutrient and heavy metals availability to *Brachiaria decumbens* cropped on an oxisol which received 12 sewage sludge loads from 2003 to 2006. The quantity applied was 2.08 ton ha^{-1} of sewage sludge previous digested in aerobic plant and applied liquid. The chemical analyses attributes shows that sewage sludge provides micro and macronutrients suitable to *Brachiaria decumbens* grown, excepted of B. The experiment demonstrate that sewage sludge did not pollute the soil and can be an alternative economic and environment feasible to final disposal of sewage sludge from municipality wastewater treatment plants.

Key words: *Brachiaria decumbens*, soil fertilizer, mineral nutrition, biosolids disposal

1 INTRODUÇÃO

A poluição exerce efeito deletério sobre os organismos que vivem em uma porção de água. A morte de peixes constitui o efeito biológico mais visível da poluição dos cursos d'água (BRANCO, 1978) Entretanto, além disso, ocorre destruição em massa de outros organismos, cuja ausência passa despercebida.

A etapa inicial de controle de poluição das águas visa, principalmente, o tratamento da fase líquida do esgoto *in natura* gerado nas cidades e municípios e com isso proteger os recursos hídricos e a saúde da população (BARBOSA, 2002). Porém, o tratamento da fase líquida do esgoto gera um resíduo sólido conhecido por lodo biológico ou lodo de esgoto. O lodo é formado, principalmente, pela massa de fungos, bactérias e protozoários que são os responsáveis pela degradação da matéria orgânica existente no esgoto. Esse lodo possui um alto potencial poluidor e deve ser disposto de forma ambientalmente correta. Normalmente, alguma solução provisória, não adequadamente controlada de disposição do lodo de esgoto, acaba sendo adotada. Dentre elas destacam-se: disposição em aterro sanitário ou aterramento do lodo em área próxima a estação de tratamento de esgoto (ETE), acúmulo em lagoas de lodo, disposição em áreas agrícolas de maneira aleatória. Com o decorrer do tempo de operação das ETEs e com aumento da geração de lodo, soluções de longo prazo e mais adequadas a esse tipo de resíduo passam a receber maior atenção dos técnicos e das autoridades envolvidas com o controle do ambiente (ALEM SOBRINHO, 2000).

Como no Brasil 76% das cidades não possuem aterro sanitário adequado para a disposição de resíduos sólidos, que são, normalmente, dispostos a céu aberto (BRASIL, 2004), a aplicação de lodo de esgoto em áreas agrícolas pode ser uma solução econômica e ambientalmente viável.

O lodo de esgoto pode melhorar a estrutura do solo e aumentar a produtividade de várias culturas (BERTON ET AL., 1989). O lodo pode também ser aplicado em florestas, na recuperação de áreas degradadas e áreas públicas (ex. parques, encostas de rodovias, canteiros centrais de rodovias), gramados e jardins residenciais (LAND APPLICATION OF SEWAGE SLUDGE, 1994). O lodo de esgoto deve ser tratado e estabilizado para reduzir ou eliminar microrganismos patogênicos e inibir, reduzir ou eliminar o potencial de putrefação do lodo e, conseqüentemente, seu potencial de produção de odores (FERNANDES, 2000).

Normalmente a disposição de lodo de esgoto em solo agrícola é realizada após a desidratação e secagem. No processo de desidratação são utilizados equipamentos específicos como: decanter, filtros prensas, centrífugas, etc. Para a secagem utilizam-se secadores industriais, estufas, leito de secagem, etc.

Entretanto, o lodo também pode ser aplicado na forma líquida, as vantagens dessa aplicação são as seguintes: menor custo operacional, melhor homogeneidade de aplicação, economia de energia elétrica e de produtos químicos, facilidade de manuseio, e adição de maior quantidade de potássio ao solo.

Este trabalho teve por objetivo verificar o efeito de aplicações sucessivas de lodo de esgoto na forma líquida, nas características físico-químicas do solo, e na absorção de nutrientes pela *Brachiaria decumbens*.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Legislação para aplicação de lodo de esgoto em solo agrícola

No ano de 1999 a CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental) do estado de São Paulo, regulamentou a aplicação de lodo de esgoto em solo agrícola, com a edição do manual técnico P.4.230/99 - Aplicação de lodos de sistema de tratamento biológico em áreas agrícolas. Com isso, estabelecendo procedimentos, critérios e requisitos para a elaboração de projetos, implantação e operação de sistemas de aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico de despejos líquidos sanitários ou industriais, em áreas agrícolas. A norma regulamentou que a aplicação de lodo de esgoto em áreas agrícolas somente é aceitável se proporcionar benefícios para a cultura pretendida e forem obedecidos os critérios ambientais.

Alguns parâmetros químicos e biológicos do lodo de esgoto devem ser determinados, para a análise da viabilidade de seu uso agrícola (Quadro 1).

Quadro 1. Parâmetros para análise do lodo de esgoto

Carbono orgânico	Arsênio
Fósforo	Cádmio
Nitrogênio amoniacal	Chumbo
Nitrogênio nitrato/nitrito	Cobre
Nitrogênio total	Cromo total
pH	Mercúrio
Potássio	Molibdênio
Sódio	Níquel
Umidade	Selênio
Número mais provável (NMP) de *Salmonella sp.*	Sólidos Voláteis
Número mais provável de coliformes fecais	Zinco

.

Dessa forma, a aplicação de lodo de esgoto em áreas agrícolas passou a ser controlada e aprovada pelo órgão ambiental do estado de São Paulo.

O CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) promulgou a resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006, que define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados. Com isso a partir do dia 29 de agosto de 2006, todos os projetos e aplicações de lodo de esgoto devem estar de acordo com os requisitos dessa legislação, sob pena de crime ambiental e sanções administrativas.

2.2 Macro e micronutrientes em solos tratados com lodo de esgoto.

A digestão aeróbia do lodo de esgoto é a degradação de componentes orgânicos pelos microrganismos aeróbios. A fase final do processo é caracterizada pela respiração endógena, que acontece quando o substrato disponível para a biodegradação é consumido e os microrganismos passam a consumir o próprio protoplasma microbiano para obter a energia para suas reações celulares (FERNANDES, 2000). Portanto, o processo de digestão aeróbia passa pela oxidação direta da matéria orgânica biodegradável e conseqüente aumento da biomassa microbiana e, posteriormente, pela oxidação do material microbiano celular pelos próprios microrganismos:

Material celular + O_2 ⇨ bactérias ⇨ lodo digerido + CO_2 + H_2O + NO^-_3

O processo de digestão aeróbia ocorre normalmente entre 10 e 12 dias, porém esse período pode variar em função do tipo de lodo, temperatura, ou outros parâmetros operacionais (ALEM SOBRINHO, 2000).

A adição de produtos alcalinos tem efeito estabilizante no lodo de esgoto. A cal é um dos produtos alcalinos mais baratos e utilizados no saneamento. É usada para elevar o pH nos digestores, remover fósforo nos tratamentos avançados de efluentes, condicionar o lodo para o desaguamento mecânico e estabilizar quimicamente o lodo. Podem ser utilizadas a cal virgem CaO ou a cal hidratada $Ca(OH)_2$. A cal virgem é mais utilizada a granel e para grandes quantidades, enquanto a cal hidratada é vendida em embalagens de até 20kg e manipulada com maior facilidade. A cal virgem também libera calor em contato com a água, porém ao ser misturada ao lodo, esta elevação de temperatura não é suficiente para eliminar patógenos (FERNANDES, 2000).

Algumas características físicas e químicas do lodo são alteradas pela adição da cal. Fisicamente o lodo pode formar uma capa mais dura e branca ao ser exposto ao ar

livre. Quimicamente, além da fixação dos metais pesados, pode haver insolubilização do fósforo e perdas de nitrogênio por volatilização da amônia. Este tipo de tratamento, pela sua simplicidade, baixo custo de instalação e eficiência na eliminação de patógenos, tem sido escolhido pelas primeiras estações de tratamento de esgotos brasileiras a tratarem seu lodo e reciclá-lo na agricultura.

A introdução de matéria orgânica e cal melhoram as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo quando fertilizado com lodo de esgoto. Estudo de campo (SPARKS,1995) tem demonstrado um aumento da matéria húmica, pH do solo, atividade biológica (respiração do solo, mineralização do nitrogênio, atividades enzimáticas) e a biomassa microbiana. Essas melhorias foram encontradas até 1 m de profundidade. O aumento do pH do solo tem um efeito secundário na adsorção e dissolução de metais pesados no solo; um aumento do pH do solo reduz a quantidade de metais pesados dissolvidos no solo, como resultados plantações em solos fertilizados com lodo de esgoto possuem baixas concentrações de cádmio e níquel do que plantações que cresceram em solos sem uso de fertilizantes ou adubadas com fertilizante líquido proveniente de criação de gado.

O solo, em um sistema produtivo racional, deve estar em condições de fornecer os nutrientes às plantas em quantidades adequadas e no momento de suas necessidades. Como, de maneira geral, os solos não se apresentam em condições de atender às necessidades das culturas, o homem tem que intervir por meio de um manejo adequado do sistema solo-planta, incluindo a aplicação de fertilizantes minerais, fertilizantes orgânicos, adubação verde e outras práticas de manejo. Por outro lado, mesmo que o solo apresente condições ideais de fertilidade para uma determinada cultura, a intervenção do homem também se faz necessária, uma vez que sempre haverá exportação de nutrientes pelos produtos colhidos ou perdas decorrentes de processos erosivos, comuns em sistemas incorretos de manejo (SPARKS, 1995).

O lodo de esgoto contém matéria orgânica, macro e micronutrientes que exercem um papel fundamental na produção agrícola e na manutenção da fertilidade do solo. Além disso, a matéria orgânica contida no lodo de esgoto pode aumentar o conteúdo de húmus que melhora a capacidade de armazenamento e de infiltração da água no solo, aumentando a resistência dos agregados e reduzindo a erosão (TSUTIYA, 2000).

Os solos tropicais e subtropicais, por serem altamente intemperizados, a matéria orgânica desempenha papel de fundamental importância na fertilidade, esses solos

possuem ainda baixa capacidade de troca de cátions (CTC) e pouco potencial de liberação de nutrientes para as plantas.

A aplicação de lodo de esgoto no solo causa aumento no teor de matéria orgânica, com aumento na CTC. De acordo com Melo & Marques (2000), existe correlação significativa entre a CTC do solo e frações de matéria orgânica por um período que varia de 230 a 300 dias. Para solos paulistas, em que há carência de matéria orgânica, possivelmente o valor agronômico de maior importância do lodo de esgoto refere-se a este atributo.

A matéria orgânica no solo (MOS) possui uma área superficial específica muito grande, entre 800 e 900 $m^2\ g^{-1}$ e a CTC varia entre 150 e 300 cmmol kg^{-1}. Portanto a CTC na superfície do solo é atribuída a matéria orgânica presente no solo (MELO & MARQUES, 2000). Além disso, a matéria orgânica auxilia a planta a adsorver micro e macronutrientes, cátions de metais pesados e material orgânico.

A matéria orgânica, além de se constituir em um dos principais, senão o principal, componente da CTC, durante o processo de mineralização, libera nutrientes para a nutrição dos vegetais. Desta forma, o manejo da matéria orgânica constitui-se em elemento de elevada importância para o sucesso das atividades agropecuárias (MELO,2000).

O aumento no teor de matéria orgânica em solo onde foi aplicado lodo também foi observado por BATAGLIA et al. (1983). MELO et al.(1994) encontraram aumento de carbono orgânico com aplicação de lodo de esgoto apenas na dose mais elevada (32 t ha^{-1}) até 230 dias após a aplicação. Esses autores também verificaram aumento na CTC do solo nos tratamentos com lodo, atribuindo esse efeito ao aumento do carbono orgânico do solo.

Algumas das propriedades e os efeitos da matéria orgânica no solo são descritos na Tabela 1

Tabela 1 – Propriedades gerais da matéria orgânica no solo e seus efeitos associados no solo.

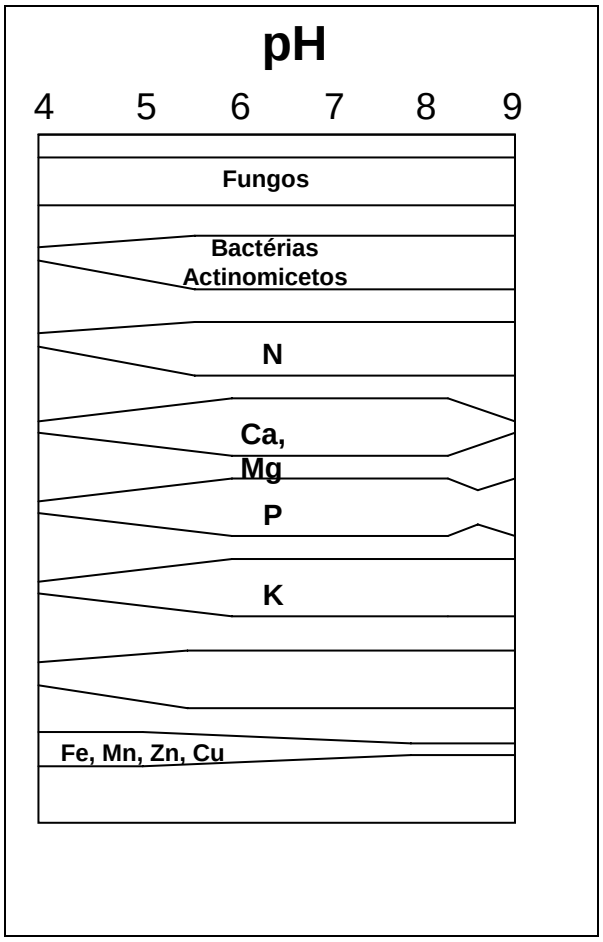
Propriedades	**Observação**	**Efeito no solo**
Retenção de água	A matéria orgânica pode reter 20 vezes seu peso em água	Previne seca e rachaduras. Pode melhorar a retenção no solo
Combinação com argilominerais	Cimenta as partículas em unidades estruturais chamadas agregados	Permite troca gasosa. Estabiliza estrutura. Aumenta permeabilidade
Quelação	Forma complexos estáveis com Cu^{2+}, Mn^{2+}, Zn^{2+} e outros cátions polivalentes.	Pode aumentar a disponibilidade de alguns micronutrientes de plantas
Solubilidade em água	A insolubilidade da MOS é devido à sua associação com argila, sais de cátions bivalentes e divalentes com a matéria orgânica são insolúveis. A MOS isolada é parcialmente solúvel em água	Pequena perda de matéria orgânica por lixiviação
Poder tampão	Matéria orgânica exibe tamponamento em reações levemente ácidas e básicas e neutras	Ajuda a manter uma reação uniforme no solo.
Troca catiônica	Acides total de frações isoladas de húmus varia de 300 a 1400 $cmol_c kg^{-1}$	Pode aumentar a CTC do solo de 20 a 70%
Mineralização	Decomposição da MOS produz CO_2, NH_4^+, NO_3^-, PO_4^{3-} e SO_4^{2-}	Fonte de nutriente para o crescimento de plantas
Combina com reagentes orgânicos	Afeta a bioatividade, persistência e biodegradabilidade de pesticidas e reagentes orgânicos.	Modifica taxa de aplicação de pesticidas para controle efetivo.

Fonte: Spraks (1995).

De modo geral, quando o lodo recebe cal durante seu tratamento, sua aplicação ao solo promove aumento do pH, diminuição da acidez potencial e do alumínio trocável. O aumento do pH do solo é em conseqüência da formação de íon amônio devido à oxidação do nitrogênio orgânico, presente em grande quantidade no lodo de esgoto (MELO & MARQUES, 2000).

O pH do solo freqüentemente é chamado da variável mais importante do solo e afeta uma variedade grande de processos e reações químicas no solo. É uma importante característica que define as reações do solo.

O pH do solo afeta significativamente a disponibilidade de nutrientes no solo (SPARKS, 1955) . Em pH ácido o Al, o Fe e o Mn tornam-se mais solúveis e podem ser tóxicos para as plantas, porém quando o pH aumenta suas solubilidades diminuem e podem ocorrer precipitações. As plantas podem sofrer deficiências quando o pH sobe acima da neutralidade.



Fonte: SPARKS, D.L. (1995 B)

Figura 1. Efeito do pH na disponibilidade de nutrientes importantes para o crescimento das plantas e dos microrganismos.

Pelas quantidades de nitrogênio e fósforo contido no lodo de esgoto, pode-se admitir que esses elementos podem substituir os fertilizantes minerais como uma fonte de nutrientes para as plantas (TSUTIYA, 2000).

Em relação ao fósforo, existem trabalhos que levantam dúvidas sobre o potencial do lodo de esgoto em aumentar sua disponibilidade no solo, mas a maioria das publicações aponta para expressiva contribuição do lodo de esgoto em relação ao fósforo disponível (MELO & MARQUES, 2000). Em experimentos de campo com cana de açúcar em latossolo e terra roxa estruturado, MELO & MARQUES (2000),

verificaram que o teor de P obtido, pelo método da resina, aumentou linearmente com a dose de lodo de esgoto. Os autores verificaram ainda, aumento dos teores de Ca e S extraíveis, com o aumento da dose de lodo de esgoto e o teor de Mg extraível diminuiu de 26 para 17 $mmol_c\ dm^{-3}$, pela aplicação de 0, 15 e 30 t ha^{-1} de um lodo de esgoto obtido na ETE de Barueri/SP.

. A concentração de potássio no lodo de esgoto é pequena, pois o potássio é solúvel em água, portanto o potássio permanece na fase líquida do esgoto tratado (TSUTIYA, 2000). O lodo de esgoto não é uma boa fonte de potássio devido ao baixo teor encontrado no mesmo. Desta forma, para o sucesso de seu uso agrícola, há necessidade de complementação com uma outra fonte do elemento (MELO & MARQUES, 2000).

2.3 Nutrição mineral de plantas em áreas tratadas com lodo de esgoto.

O gênero *Brachiaria* tem seu centro de origem diversificação no leste da África e ocorrem naturalmente nas savanas africanas. Estima-se que as pastagens de *Brachiaria* ocupam mais de 40 milhões de hectares no Brasil e duas espécies, B. decumbens cv. Brasilisk e B. brizantha cv. Marandu representam mais de 85% dessa área, sendo conhecidas sob o prisma da forragicultura desde a década de 50 (SILVA, 2005)

Nos trópicos, a alimentação do gado, é fundamentada no uso de forrageiras, para pastejo, que devem suprir os nutrientes, energia, proteínas, minerais e vitaminas essenciais à produção animal (SILVA, 2005). Nessas condições, enfatiza-se a importância dos conceitos de valor nutritivo e de valor alimentício das forrageiras. Enquanto o valor nutritivo se refere apenas à composição química e a digestibilidade da forragem, o valor alimentício tem conotação mais ampla, pois se refere à avaliação biológica do valor da forragem em termos de produção animal, representando o potencial de ingestão de nutrientes que habilita o animal a realizar sua função produtiva (SILVA, 2005). Na Tabela 2 são apresentadas os teores típicos de micro e macronutrientes de *Brachiaria decumbens*.

A *Brachiaria decumbens* é uma gramínea do grupo III, grupo este que apresenta menor exigência em fertilidade do solo que gramíneas dos grupos I e II, porém para a produção de 1,0 t de matéria seca, a mesma extrai 12, 0,9 e 13 kg ha^{-1} respectivamente de N, P_2O_5 e K_2O.

Tabela 2. Teores de macro e micronutrientes nas folhas da *Brachiaria decumbens*

	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	.....g kg^{-1}.....						.....mg kg^{-1}.....				
	31,6	2,3	31,9	4,4	5,4	1,8	11	12	205	32	27

Num latossolo textura média, usando lodo de esgoto obtido na ETE de Vila Leopoldina, com a cultura de sorgo granífero, encontraram correlação linear entre a dose de resíduo aplicado e a absorção de nitrogênio (Resultado semelhante foi encontrado na cultura de milho por BERTON, (1989).

Na aplicação de lodo de esgoto em plantação de eucalipto, GUEDES & POGGIANI (2003) observaram um teor mais elevado de N foliar nas árvores dos tratamentos onde o lodo de esgoto foi aplicado a partir de 10 t ha^{-1}. O aumento no teor de N nas folhas foi observado durante todo o período de estudo, de dois a dezesseis meses após a aplicação do lodo de esgoto. Provavelmente, existia no lodo de esgoto uma quantidade de N mineral que foi rapidamente disponibilizada. Isso pode explicar o rápido efeito do lodo de esgoto, que proporcionou aumentos nos teores de N logo aos dois meses após a aplicação do lodo.

MELO & MARQUES (2000) verificaram na cultura de cana de açúcar, em Terra Roxa Estruturada, aumento na absorção de fósforo, mas apenas para a dose máxima estudada (30 t ha^{-1}). A quantidade de fósforo absorvida por plantas de sorgo cultivadas em Latossolo textura média tratado com lodo de esgoto aumentou com a dose de resíduo aplicada. Resultado semelhante foi obtido para doses de lodo de esgoto de até 20 t ha^{-1} com plantas de azevém em Latossolo textura média, e para plantas de milho em cinco solos do Estado de São Paulo, sendo que o lodo de esgoto, já na dose 10 t ha^{-1} forneceu mais fósforo para a cultura, que o tratamento que recebeu fertilização mineral. Ainda para a dose cultura de milho, observaram aumento linear na absorção de fósforo pela aplicação de lodo de esgoto nas doses 0, 4, 8, 12 e 16 t ha^{-1}.

A pronta disponibilidade do fósforo contido no lodo de esgoto se deve ao fato de o mesmo apresentar baixa relação C/P e de o nutriente, em lodo digerido anaerobiamente, apresentar-se predominantemente na forma mineral (BERTON et al.,1989).

Sabe-se que o P é um nutriente chave para o desenvolvimento do eucalipto, principalmente na fase inicial, quando as mudas respondem prontamente à sua disponibilidade no solo (GUEDES & POGGIANI, 2003). Num experimento em eucalipto, GUEDES & POGGIANI (2003) verificaram que o adubo mineral aplicado no tratamento tornou-se rapidamente disponível, determinando uma resposta imediata no desenvolvimento das mudas. Com o passar do tempo, a aplicação de lodo de esgoto, cujos nutrientes são liberados mais lentamente, começou a surtir efeito. Com o aumento da idade do povoamento os eucaliptos do tratamento que recebeu maior dose de lodo de esgoto apresentaram volume igual aos que receberam adubação mineral convencional.

O efeito do lodo de esgoto sobre a extração de P pelo eucalipto começa após um ano da aplicação do lodo, coincidindo com o período em que as árvores que receberam lodo de esgoto passaram a apresentar maior crescimento. A resposta observada após um ano de aplicação pode indicar que o P contido no lodo de esgoto não é prontamente lábil e está sendo liberado lentamente. (GUEDES & POGGIANI, 2003)

De modo geral, os lodos de esgoto são pobres em potássio, portanto não são capazes de suprir as necessidades das plantas em relação ao referido nutriente. Desta forma, há necessidade de complementação do potássio aplicado no lodo de esgoto, usando-se para isso uma fonte mineral. O lodo de esgoto é rico em cálcio, especialmente quando se faz uso da cal no processo de produção. Assim, aumenta a preocupação relacionada ao K, uma vez que tais elementos são antagônicos. Foi observado o aumento na absorção de cálcio por plantas de milho fertilizadas com lodo de esgoto. Plantas de sorgo granífero, cultivadas em latossolo textura média, em condições de vaso, mostraram absorção de cálcio crescente em função da dose do lodo de esgoto. Foram observados aumentos na absorção de cálcio pela cana de açúcar cultivada em Terra Roxa estruturada em função da adição de doses crescentes de lodo de esgoto (MELO & MARQUES, 2000).

Num experimento de plantação de eucalipto o Ca foi o nutriente que mais respondeu a aplicação de doses crescentes de lodo de esgoto. A quantidade de Ca existente no lodo (86 g kg^{-1}) propiciou concentrações foliares duas a três vezes superiores nas árvores dos tratamentos que receberam doses elevadas em relação ao tratamento testemunha, principalmente a partir de seis meses após aplicação do lodo de esgoto. No entanto, o excesso de Ca pode estar causando a diminuição da concentração do elemento Mg nas árvores que receberam lodo de esgoto. Isso indica que a aplicação do lodo pode ter sido a causa de deficiência de Mg, provavelmente, devido à

competição por sítios de absorção exercida por outros cátions existentes no lodo em teores mais elevados que o Mg (GUEDES & POGGIANI, 2003).

O teor de magnésio em plantas de sorgo cultivadas em latossolo textura média, em condições de vaso, aumentou com a dose de lodo de esgoto, havendo efeito do espaço de tempo entre a aplicação do resíduo e a semeadura da gramínea. Uma dose de 15 t ha^{-1} de lodo de esgoto obtido na ETE de Barueri, na região metropolitana de São Paulo, não causou efeito sobre a quantidade de Mg extraída pela cana de açúcar cultivada em uma Terra Roxa Estruturada, porém a dose de 30 t ha^{-1} causou aumento significativo no teor do nutriente exportado pela cultura (MELO & MARQUES, 2000). Estudando o efeito de doses de lodo de esgoto sobre a absorção de nutrientes pela cultura de milho, também encontraram que a absorção de magnésio aumenta com a dose do resíduo.

O lodo de esgoto apresenta em sua composição todos os micronutrientes das plantas, às vezes em concentrações elevadas, como ocorre com o zinco e o ferro. Isso permite antever que o lodo de esgoto seja uma excelente fonte de micronutrientes para os vegetais. A disponibilidade de zinco contido no lodo de esgoto parece estar mais relacionada ao pH do solo do que ao seu conteúdo no resíduo. BERTON et al. (1989) encontraram para cinco solos do Estado de São Paulo, aumento na absorção do micronutriente por plantas de milho pela aplicação de lodo de esgoto. Tanto para o sorgo semeado logo após a aplicação do lodo de esgoto, como para a semeadura aos 120 dias após a aplicação do resíduo, foi encontrada uma relação linear e positiva, entre a dose de lodo de esgoto e a quantidade de zinco absorvida. O sorgo (híbrido BR 300) cultivado em solo latossolo distrófico argiloso também apresentou aumento na absorção de zinco pela aplicação de lodo de esgoto(MELO & MARQUES, 2000).

A absorção de ferro por plantas de sorgo, cultivadas em latossolo textura média, em condições da casa de vegetação, foi afetada pela dose de lodo de esgoto a partir de 8 t ha^{-1}. Também foi observado aumento na absorção de Fe por sorgo até a dose 45 t ha^{-1} para o Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico franco-argiloarenoso (LVd) e para a dose máxima utilizada igual a 112,5 t ha^{-1} para o

Em latossolo textura média, BERTON et al. (1989) encontraram aumento na absorção de cobre por plantas de sorgo com o aumento da dose de lodo de esgoto. Também foi encontrado um aumento na absorção de cobre por plantas de cana de açúcar cultivada em Terra Roxa Estruturada pela adição de lodo de esgoto, principalmente na dose de 30 t ha^{-1}. Aplicando um lodo de esgoto obtido na ETE da

Siderúrgica Mendes Junior a dois tipos de solo. Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico franco-argiloarenoso e Latossolo Vermelho-Escuro distrófico argiloso (LGd) cultivados com sorgo (MELO & MARQUES, 2003), observou aumento na absorção de Cu até a dose 45 t ha^{-1} para o LVd e 112,5 t ha^{-1} para o LGd. Atribuíram a baixa resposta ao Cu no solo LVd à maior adsorção do metal (solo mais argiloso) e à tendência de formar complexos de baixa mobilidade com a matéria orgânica, em maior teor neste solo. No milho o teor de Cu apresentou baixa resposta à adição de lodo de esgoto, o que foi atribuído ao fato da quelação do metal pela matéria orgânica do solo. Em plantas de milho, cultivadas em Latossolo argiloso, LR e LV textura média, foi observado aumento na absorção de Cu pela aplicação de doses crescentes de lodo de esgoto, natural ou peletizado, sendo que a adição de $CaCO_3$ causou diminuição na absorção do metal, quando se aplicou lodo de esgoto natural no solo LV (MELO & MARQUES, 2000).

Foi observada a absorção de manganês por plantas de sorgo cultivas em solo latossolo textura média em casa de vegetação. Quando houve um período prévio de incubação, a absorção do micronutriente foi mais elevada, evidenciando o benefício da mineralização do manganês que se encontrava ligado a matéria orgânica. Efeito do lodo de esgoto na absorção de Mn por plantas de sorgo também foi observado ao aplicar um produto obtido na ETE da Siderúrgica Mendes Junior a dois tipos de solos (MELO & MARQUES, 2000).

Num experimento em plantação de eucalipto, GUEDES & POGGIANI (2003) observaram que o teor de Mn no tratamento testemunha destaca-se de todos os outros, pois o Mn manteve um teor mais elevado nas árvores desse tratamento. A diminuição dos teores de Mn com o aumento das doses de lodo de esgoto, provavelmente, está associada ao aumento do pH do solo. As concentrações de Fe e Mn no solo, extraídos por DTPA, foram reduzidas com a aplicação de lodo, mostrando uma forte correlação negativa com o pH. Em outro experimento de aplicação de lodo de esgoto em cultura de milho também foram observados menores teores de Mn nas plantas de milho.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização da área experimental.

O experimento foi realizado na cidade de Jaguariúna, estado de São Paulo, em condições de campo, numa área total de 3,6 ha em Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com capim braquiária (*Braquiaria decumbens)*, nas coordenadas geográficas UTM-N 7485600m, UTM-E 293280 m e altitude 604 m.

O nível do lençol freático no local se encontrava à 10 m de profundidade.

Os dados pluviométricos de 2003 e 2004 foram coletados na fazenda Santa Eliza do IAC em Campinas para um CAD de 125 mm.

Nos anos de 2005 e 2006 foram utilizados os dados pluviométricos da Embrapa Meio Ambiente de Jaguariúna. Os índices pluviométricos mensais são demonstrados no gráfico da Figura 2.

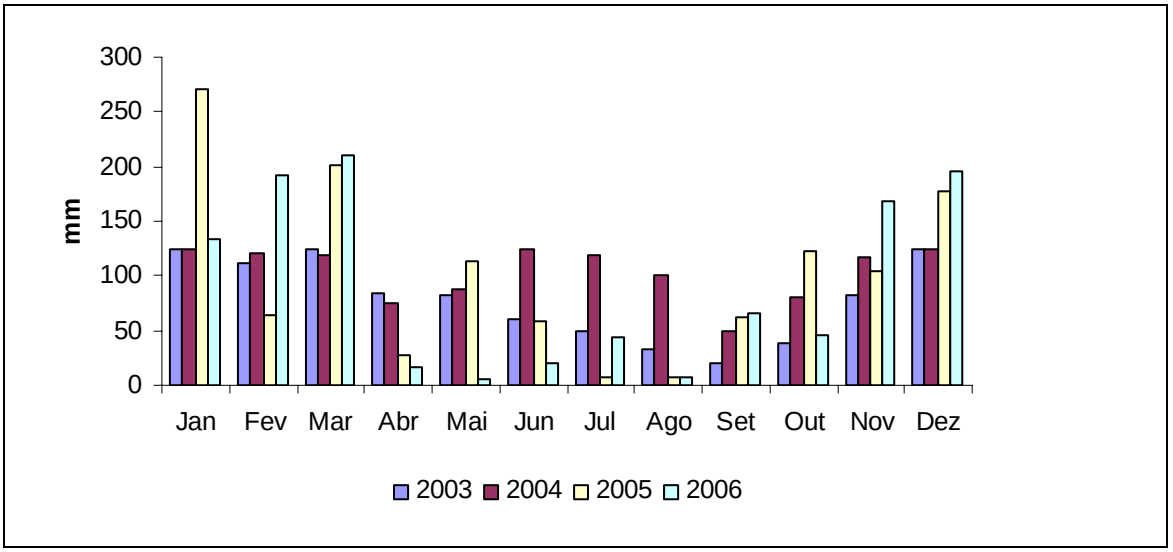


Figura 2. Dados pluviométricos mensais durante quatro anos do experimento.

3.2 Caracterização do lodo de esgoto

O lodo utilizado no experimento possuiu características de esgoto domiciliar. Utilizou-se digestor aeróbio por bateladas para digestão do lodo, o tempo de retenção na digestão foi 120 dias. Diariamente o reator recebia lodo fresco proveniente de reatores biológicos que operava com sistema de aeração prolongada. A média dos macro e micronutrientes do lodo utilizado no experimento podem ser observados no Quadro 2.

Quadro 2. Composição química média do lodo de esgoto utilizado no experimento.

N Kjeldhal	CO	NH_4^+	NO_3^-	P	K	S	Ca	Mg	Na	Al
----------g kg^{-1}----------										
54,8	329,6	15,0	0,68	8,32	8,97	5,58	95,73	9,79	7,17	1,65

As	Cd	Pb	Cu	Cr	Hg	Mo	Ni	Se	Zn	B
----------mg kg^{-1}----------										
<0,01	1,92	23,20	394	14,15	<0,01	<0,01	17,87	<0,01	494	12,67

O lodo antes de ser aplicado foi tratado com adição de solução de cal hidratada diluída numa concentração de 40%(m/m) elevando-se o pH acima de 12. A finalidade desta operação foi garantir a redução de microrganismos e o controle de vetores (TEIXEIRA et al, 2005). O lodo de esgoto foi aplicado na forma líquida com umidade média de 98,3%. A aplicação do lodo de esgoto foi realizada utilizando-se um tanque com capacidade de 10.000 litros, tipo chorumeira, acoplado a um trator.

Os dados bacteriológicos do lodo podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3. Dados bacteriológicos do lodo aplicado durante quatro anos do experimento.

	Coliforme Termotolerantes NMP gST^{-1}	Coliformes Fecais NMP gST^{-1}	Coliformes Totais NMP gST^{-1}	Salmonellas UFC gST^{-1}	Ovos de Helmintos ovo gST^{-1}
Máximo	< 121	$90x10^3$	$1.000x10^3$	417	Ausente
Mínimo	< 82	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente

3.3 Espécie utilizada

A planta utilizada foi a *Brachiaria decumbens* que já se encontrava no terreno e não recebia qualquer tipo de manejo para melhorar sua produção de massa seca. A *Brachiaria decumbens* foi cortada três meses após cada aplicação do lodo e foi reutilizada internamente em outros locais na forma de composto, ou utilizada como cobertura em plantações de rosas.

3.4 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com parcelas experimentais de 20 x 50 m (1.000 m²) e área útil de 10 x 40 m (400 m²) cada, com espaçamento mínimo de 10 m entre parcelas e com 3 repetições. Os tratamentos avaliados foram: (a) Controle, sem aplicação de lodo de esgoto e (b) aplicação de lodo de esgoto três vezes ao ano durante quatro anos consecutivos.

Para determinar a taxa de aplicação do lodo foram utilizadas as fórmulas indicadas na norma P 4.230 (CETESB, 1999) e as recomendações de adubação do Boletim 100 do Instituto Agronômico (RAIJ et al., 1996).

Para a cultura da *Brachiaria decumbens* o Boletim 100 do Instituto Agronômico recomenda a aplicação máxima anual de 40 kg ha^{-1} de N na forma de fertilizante mineral como o sulfato de amônio ou a uréia.

Para cálculo da necessidade de nitrogênio no experimento utilizou-se a seguinte fórmula:

N Disponível = (FM/100) x (N-Kjedhal – $N\text{-}NH_4^+$) + 0,5 $N\text{-}NH_4^+$ + ($N\text{-}NO_3^-$ + $N\text{-}NO_2^-$)
Onde:
N-Kjedhal = Nitrogênio orgânico total + nitrogênio amoniacal em mg kg^{-1}
$N\text{-}NH_4^+$ = Nitrogênio amoniacal mg kg^{-1}
$N\text{-}NO_3^-$ = Nitrogênio Nitrato em mg kg^{-1}
$N\text{-}NO_2^-$) = Nitrogênio Nitrito em mg kg^{-1}
FM = fração de mineralização.

Adotou-se uma FM de 47%, conforme resultado de análise da fração de mineralização do nitrogênio realizada previamente em laboratório.

As doses anuais de nitrogênio disponível aplicada no experimento estão demonstradas na Tabela 4.

Tabela 4. Total de lodo e nitrogênio disponível aplicado durante quatro anos do experimento.

Ano		Total Aplicado ton (b.s.)	Nitrogênio Total mg l^{-1}	Total de $N_{dispon.}$ aplicado kg ha^{-1}	Total de $N_{dispon.}$ aplicado kg ha^{-1} ano
2003	1ª aplic.	0,67	5.905	1,20	**37**
	2ª aplic.	1,04	40.000	12,60	
	3ª aplic.	1,39	54.400	22,85	
2004	1ª aplic.	0,25	99.999	7,64	**34**
	2ª aplic.	0,61	76.923	14,24	
	3ª aplic.	0,86	47.800	12,51	
2005	1ª aplic.	0,82	55.305	13,74	**32**
	2ª aplic.	0,80	47.800	11,59	
	3ª aplic.	0,44	47.800	6,43	
2006	1ª aplic.	0,72	31.100	6,78	**18**
	2ª aplic.	0,38	61.100	7,11	
	3ª aplic.	0,34	42.500	4,33	

3.5 Instalação e condução do experimento

O experimento foi realizado durante quatro anos agrícolas: 2002/03, 2003/04, 2004/05, 2005/06. A aplicação do lodo ocorreu nos meses de abril, agosto e dezembro de cada ano agrícola.

A coleta de amostras de folha e de solo foi realizada no mês anterior à aplicação do lodo.

Na estação de tratamento de esgoto, o lodo acumulado encontrava-se pronto para ser aplicado no solo após quatro meses de digestão. A última fase do preparo era a eliminação/redução adicional de vetores e patógenos do lodo. Para isso utilizou-se cal hidratada classe CH I, diluída em um tanque com misturador com capacidade de 2000

litros. A quantidade de cal hidrata variou em função do pH, pois o processo para redução da atratividade de vetores da norma P.4230 (CETESB, 1999) estabelece que para a estabilização química a uma temperatura de 25ºC, a quantidade de álcali misturada com o lodo de esgoto deve ser suficiente para que o pH seja elevado pelo menos até 12 por um período mínimo de 2 horas, permanecendo acima de 11,5 por mais de 22 horas. Estes valores devem ser alcançados sem que seja necessário aplicação adicional de álcali.

O lodo foi aplicado líquido, utilizando-se carreta tanque com 10.000 litros de capacidade, rebocada por um trator com 75 hp de potência. O tanque possuía uma bomba utilizada para o carregamento e a aplicação do lodo, a bomba permitia uma dispersão homogênea do lodo nas parcelas.

O corte do capim foi realizado três meses após cada aplicação. Para o corte foi utilizado uma ceifadeira, um movimentador de capim, uma enleiradeira e uma máquina de fenagem. O capim foi reaproveitado como cobertura no cultivo de rosas.

3.6 Atributos avaliados

Durante a realização do experimento foram analisadas a concentração de metais pesados, micro e macronutrientes nas folhas da *B. decumbens.* Os elementos químicos analisados foram: N, K, P, Ca, Mg, B, Cu, Fe, Mn e Zn.

O solo foi monitorado por meio das análises de rotina do solo e os parâmetros analisados foram os seguintes: carbono orgânico (CO), pH, P, K, Ca, Mg, H+Al, soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC), V%, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn.

3.7 Amostragens e análises químicas

3.7.1. Plantas

Para as análises químicas das folhas da *B. decumbens* foram coletadas as folhas de 10 plantas por parcela. As amostras foram acondicionadas em sacos de papel e encaminhadas para o laboratório do Instituto Agronômico de Campinas.

As amostras de folhas foram lavadas numa solução de detergente (0,1% v/v), enxaguadas em água destilada até a remoção do detergente e finalmente em água deionizada. Após a lavagem, as amostras foram colocadas em sacos de papel e secas a 65ºC em estufa de ventilação forçada, até peso constante. Depois de seco, o material foi

moído em moinho tipo Wiley, com câmara de aço inoxidável, com peneira de 1mm de abertura e depois homogeneizado. A digestão para a determinação do N foi realizada pelo processo de Kjeldahl.. Outros nutrientes foram analisados a partir da cinza seca dissolvida em solução de HCl e determinação por espectrofotometria (P,B), fotometria de chama (K) e espectrometria de emissão atômica por plasma de argônio indutivamente acoplado (ICP-AES) (Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn, Pb, Cd, Ni e Cr), segundo metodologia descrita por ABREU (1997).

3.7.2. Solo

O solo foi caracterizado como um Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA), e apresentou as características constantes da Tabela 5. Com auxílio de trado manual, foram coletadas 10 sub-amostras de cada parcela nas profundidades de 0 – 20 cm e 20 - 40 cm. As sub-amostras de cada profundidade foram homogeneizadas em balde plástico e uma amostra composta foi retirada para análise laboratorial. `

Tabela 5. Atributos químicos do solo no local do experimento antes da aplicação do lodo.

	CO	**pH**	**CTC**	**H+Al**	**K**	**Ca**	**Mg**
	g dm^{-3}		.....$mmol_c$ dm^{-3}.....				
0 – 20 cm	26	5,3	64	22	4,4	27	11,0
20 - 40 cm	17	4,8	52	23	2,6	13	6,7

	V%	**P**	**B**	**Cu**	**Fe**	**Mn**	**Zn**
		.....mg dm^{-3}.....					
0 – 20 cm	66	3	0,17	2,6	27,0	23	0,7
20 – 40 cm	42	2	0,18	0,5	16,3	5	0,2

Após a coleta o solo foi encaminhado para análise química de rotina no Instituto Agronômico de Campinas. Os métodos utilizados foram os seguintes:
pH em CaCl2 0,01mol L^{-1}; P: extraído pelo método de resina trocadora de ânions e determinado pelo método do vanadato-molibdato; C-orgânico: determinado por oxidação da matéria orgânica do solo em solução 0,17 mol l^{-1} de dicromato de potássio e titulação do excesso de dicromato com solução de sulfato ferroso amoniacal 0,5 mol L^{-1}, usando difenilamina como indicador; K, Ca, Mg: extraídos com resina de troca iônica, sendo o K determinado por fotometria de chama e o Ca e Mg por espectrofotometria de absorção atômica; Acidez potencial (H+Al): determinada pelo método da solução tampão SMP; CTC: calculada pela soma de K, Ca, Mg e H+Al;

Para a avaliação da disponibilidade dos metais pesados no solo, procedeu-se à extração e a determinação de Cu, Cd, Fe, Mn, Ni e Zn com a solução extratora DTPA, conforme LINDSAY & NORWELL (1978). O teor total de metais pesados no solo foi obtido pela técnica de digestão usando aquecimento por microondas, método SW 846 – 3051, descrito por ABREU et al. (2001).

3.8 Análise estatística do experimento.

Os resultados foram submetidos à análise de variância e por regressão linear. As figuras foram construídas com os teores médios das propriedades do solo e das folhas, obtidos em razão dos anos de aplicação, incluindo-se os tratamentos sem e com lodo de esgoto.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Efeito da aplicação de lodo de esgoto no solo.

As alterações anuais dos atributos químicos do solo em decorrência da aplicação de lodo ao solo podem ser observadas nas Figuras 3 e 4. Os resultados apresentados na Figura 3 mostram aumento da MO e do aumento significativo do pH e da concentração de P já a partir do primeiro ano de aplicação, em ambas profundidades. SILVA et al. (2001) também constataram aumento significativo de P resina na camada 0-20cm após a aplicação de lodo nas doses de 20 e de 40 Mg ha^{-1}. Entretanto, é interessante notar a tendência do K em se manter em concentração mais baixa que o tratamento testemunha nas parcelas que receberam adição de LE. Esse fato deve ser devido à maior produção de fitomassa pelo capim braquiária em resposta à adição do LE, que acarretou em maior demanda na absorção desse nutriente do solo.

Após quatro anos de tratamento ocorreu pequena elevação das concentrações dos nutrientes no solo, porém não comprometendo o local para qualquer outro tipo de uso e ocupação. A tabela 6 mostra a concentração dos macros e do micronutriente Zn, durante quatro anos de experimento, na camada de 0 a 20 cm do solo com e sem aplicação de lodo de esgoto. A tabela 7 mostra a média de quatros anos dos teores dos elementos químicos e a análise estatística.

Como esperado, observou-se tendência de acúmulo de Ca trocável no solo, nas duas camadas avaliadas.

O aumento na concentração de Mg na camada sub-superficial do solo sugere uma movimentação desse elemento no perfil do solo, provavelmente devido ao aumento na concentração de Ca no solo, adicionado via lodo. Os efeitos da adição do Ca sobre a lixiviação de Mg e K em solos tratados com LE foram comprovados por ANJOS (1999).

O aumento do pH do solo e dos teores de Ca e de Mg trocáveis no solo contribuíram para o aumento da saturação por bases e para a diminuição da acidez potencial (H+Al) logo no primeiro ano de aplicação de LE ao solo.

Tabela 6. Concentração anual de macro e do micronutriente Zn na camada 0 – 20 cm do solo tratado com lodo de esgoto.

		2003		2004		2005		2006	
		Lodo	Test.	Lodo	Test.	Lodo	Test.	Lodo	Test.
C-Org.	g dm^{-3}	22	24	24	24	29	31	34	30
pH		5,6	5,4	5,6	5,4	5,9	5,5	5,8	5,5
CTC	$mmol_c dm^{-3}$	57	60	67	62	78	61	76	65
H+Al	$mmol_c dm^{-3}$	19	23	21	25	16	21	20	22
K	$mmol_c dm^{-3}$	3,4	3,4	17	2,6	22	2,7	17	1,8
Ca	$mmol_c dm^{-3}$	26	24	36	26	51	28	45	33
Mg	$mmol_c dm^{-3}$	9	10	8	9	9	9	9	8
V%		67	62	67	60	79	64	72	63
P	mg dm^{-3}	10	4	17	6	22	6	17	6
Zn	mg dm^{-3}	0,8	0,8	1,1	0,6	1,8	0,7	1,5	1,2

Tabela 7. Concentração média de macro e do micronutriente Zn na camada 0 – 20 cm do solo tratado com lodo de esgoto.

		Médias	
		Lodo	Testemunha
C-Org.	g dm^{-3}	26,7a	27,1a
pH		5,77a	5,39b
CTC	$mmol_c dm^{-3}$	69a	62b
H+Al	$mmol_c dm^{-3}$	19a	23b
K	$mmol_c dm^{-3}$	1,93a	2,44a
Ca	$mmol_c dm^{-3}$	39a	27b
Mg	$mmol_c dm^{-3}$	9,17a	8,92b
V%		71a	62b
P	mg dm^{-3}	17,9a	5,44b
Zn	mg dm^{-3}	1,3a	0,9b

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade

O aumento da CTC ocorreu a partir do terceiro ano de aplicação e ficou restrita à camada superficial do solo(0-20cm). Estima-se que o aumento observado da CTC deve-se ao aumento das cargas negativas dependentes do pH e ao método utilizado para o seu cálculo, que se baseia na soma dos teores trocáveis de Ca, Mg e K com a acidez potencial.

De acordo com os resultados analisados, observa-se que a camada 0 – 20 cm normalmente apresenta concentração maior de macro e do micronutriente Zn, porém em limites adequados para cultura da *Brachiaria decumbens* e dentro dos níveis permitidos pela legislação CONAMA 375/06 e CETESB P 4.230, que definem critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário.

A Tabela 8 mostra a média anual dos macros e do micronutriente Zn entre 2003 e 2006 na camada de 20 – 40 cm.

Os valores apresentados nas Tabela 6 e 8, são média de três análises anuais das três parcelas do experimento mais a testemunha.

A Tabela 9 mostra a concentração média de macro e do micronutriente Zn acumulada durante quatro anos de experimento na camada de 20 a 40 cm do solo onde o lodo de esgoto foi aplicado e a análise estatística indicando se houve aumento significativo ou não das concentrações dos elementos químicos no solo.

O manejo da área foi importante para manter o solo em condições ideais. No experimento, o manejo utilizado foi somente o corte do capim *Brachiaria decumbens*.

O corte e exportação do capim para outro local contribuíram para manter as concentrações de micro e macronutrientes no solo dentro da faixa ideal para a cultura, pois os elementos químicos absorvidos pelas plantas e contidos nas folhas foram reciclados em outra área.

SILVA et al. (2001), verificou que os efeitos do lodo de esgoto na fertilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar perduraram apenas um ano agrícola. Essa observação é importante porque a área foi idealizada como local de disposição de lodo, quanto mais tempo ela permanecer apta, melhor para a operação do sistema.

Tabela 8. Concentração anual de macro e do micronutriente Zn na camada 20 – 40 cm do solo tratado com lodo de esgoto.

		2003		2004		2005		2006	
		Lodo	Test.	Lodo	Test.	Lodo	Test.	Lodo	Test.
C-Org.	g dm^{-3}	14	14	15	14	19	22	24	25
pH		5,1	4,8	5,1	4,8	5,3	4,9	5,2	5,2
CTC	$mmol_c dm^{-3}$	50	52	56	53	51	51	54	63
H+Al	$mmol_c dm^{-3}$	26	32	29	34	22	31	27	33
K	$mmol_c dm^{-3}$	2,0	1,7	0,8	1,2	1,2	1,5	0,6	0,9
Ca	$mmol_c dm^{-3}$	15	12	19	12	20	13	21	23
Mg	$mmol_c dm^{-3}$	7	6	7	6	8	6	6	6
V%		49	39	48	37	56	42	50	47
P	mg dm^{-3}	4	2	7	2	4	2	6	5
Zn	mg dm^{-3}	0,3	0,2	0,3	0,1	0,4	0,2	0,5	0,5

Tabela 9. Concentração média de macro e do micronutriente Zn na camada 20 – 40 cm do solo tratado com lodo de esgoto.

		Médias	
		Lodo	Testemunha
C-Org.	g dm^{-3}	18,02a	18,31a
pH		5,28a	4,87b
CTC	$mmol_c dm^{-3}$	55a	53a
H+Al	$mmol_c dm^{-3}$	25a	32b
K	$mmol_c dm^{-3}$	1,16a	1,23a
Ca	$mmol_c dm^{-3}$	21a	14b
Mg	$mmol_c dm^{-3}$	7,6a	5,7b
V%		54a	40b
P	mg dm^{-3}	6,81a	2,38b
Zn	mg dm^{-3}	0,5a	0,3b

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade

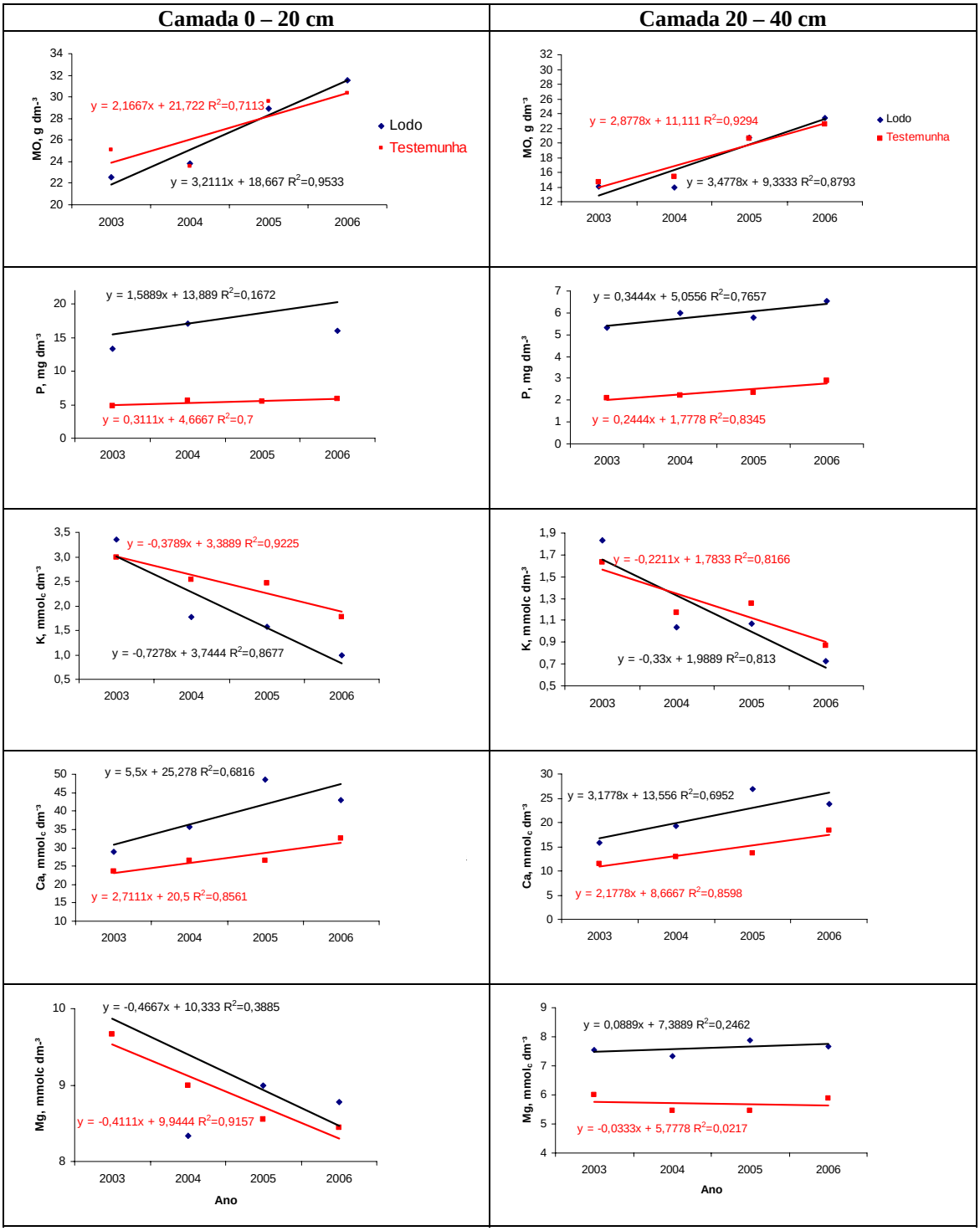


Figura 3. Alteração nos teores anuais da matéria orgânica, fósforo, potássio, cálcio e magnésio em duas profundidades, em decorrência da aplicação de lodo de esgoto em solo cultivado com capim braquiária.

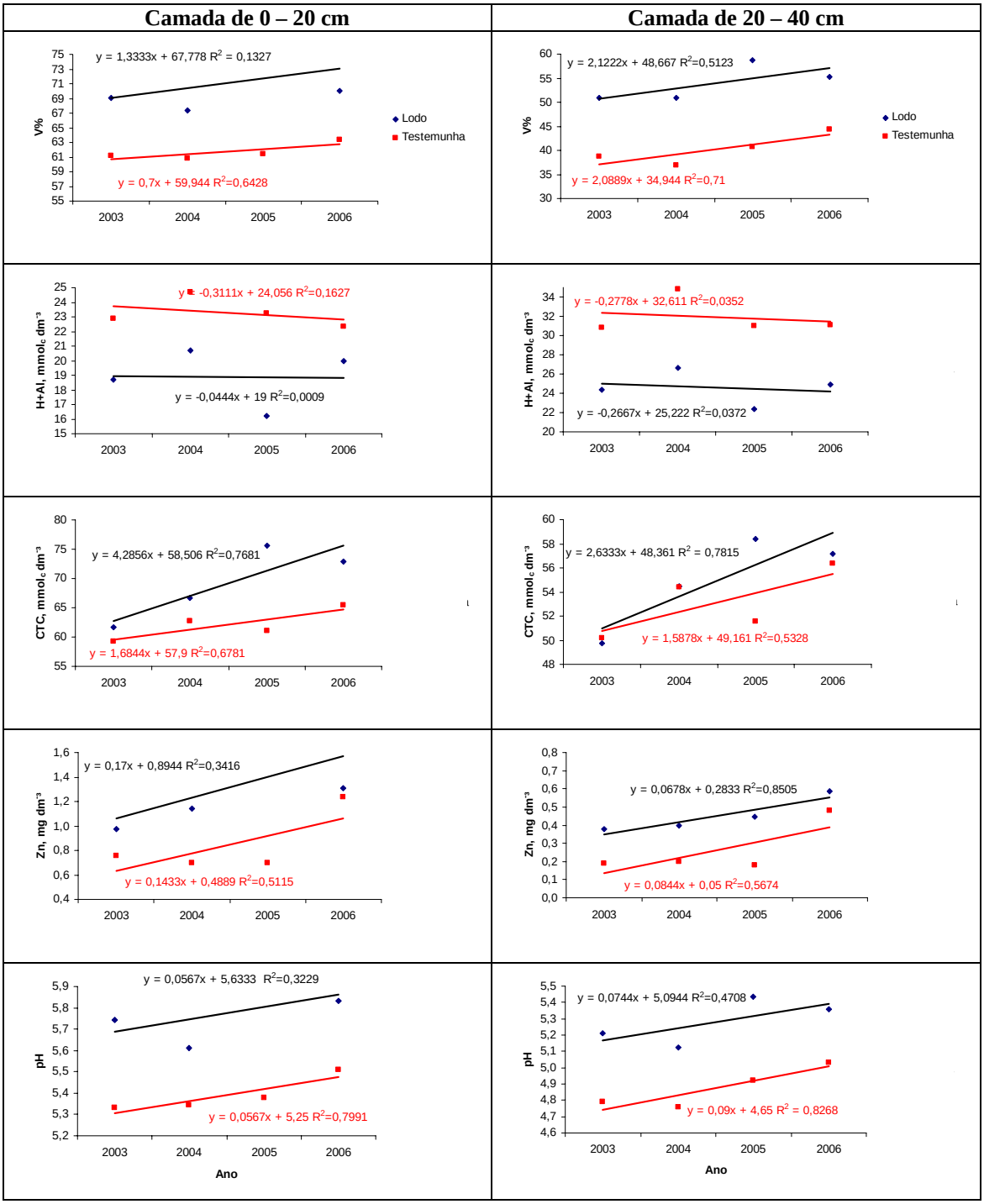


Figura 5. Alteração nos teores anuais da saturação por bases, acidez potencial, capacidade de troca de cátions, zinco e pH em duas profundidades, em decorrência da aplicação de lodo de esgoto em solo cultivado com capim braquiária.

4.1.1. Matéria Orgânica

O lodo de esgoto líquido aplicado superficialmente e sem incorporação no solo, aumentou o teor de matéria orgânica no experimento tanto na camada de 0 – 20 cm como na 20 – 40 cm. Conforme gráfico da figura 3 pode–se observar que a matéria orgânica vem aumentando em ambas camadas.

A matéria orgânica na testemunha também aumentou pois a raízes do capim provavelmente corroboraram para esse aumento.

MELO & MARQUES (2000) adicionou lodo de esgoto a um Latossolo Vermelho-Escuro textura média na camada 0 – 10 cm até a dose 16 t ha^{-1}, observando aumento significativo no teor de matéria orgânica, cuja diferença entre tratamentos foi diminuindo com o tempo. Após 170 dias, o teor de matéria orgânica no tratamento que recebeu 16 t ha^{-1} de lodo de esgoto ainda foi maior que na testemunha.

No experimento verificou-se um aumento significativo de matéria orgânica somente no primeiro ano aplicação na camada de 0 – 20 cm, nos demais anos houve aumento da matéria orgânica, porém os mesmos não foram significativos.

OLIVEIRA (2000), observou que os teores de carbono orgânico do solo apresentaram em todas as épocas de amostragem, nos dois anos agrícolas, aumentos lineares em função das doses aplicadas de lodo de esgoto. Tomando-se como base a testemunha absoluta, verifica-se que aos 360 dias após a incorporação do resíduo, no ano agrícola 1996/97, houveram aumentos de 13, 14 e 15% nos teores de carbono proporcionados respectivamente, pelas doses de 33, 66 e pp Mg ha^{-1} de lodo de esgoto

4.1.2 pH do solo

Pode-se observar nos gráficos da Figura 4 que o pH aumentou em ambas camadas. Observa-se que existe uma tendência de que o pH continuará aumentando no decorrer do experimento.

O efeito do lodo de esgoto sobre o pH do solo tende a diminuir com o tempo (MELO, 2000).

BARBOSA et al. (2002) observou que houve aumento de pH em todos os tratamentos com lodo de esgoto, em comparação com a análise inicial do solo cultivado com milho safrinha, e os menores valores foram obtidos nos tratamentos testemunha e

adubação mineral. Esse aumento de pH observado pode estar diretamente relacionado com a quantidade de CaO adicionado ao solo.

Em experimento com cana-de-açúcar OLIVEIRA (2000), observou aumentos significativos de pH até a profundidade de 0,4m. Esses aumentos seguiram um comportamento quadrático em função das doses aplicadas do resíduo. Esses acréscimos no pH do solo em profundidade, certamente estão relacionados com o caminhamento, junto a água da chuva, de substância alcalinizantes presentes no lodo de esgoto.

4.1.3 Fósforo

O lodo utilizado neste experimento foi excelente fonte de P para o solo, sendo um dos elementos químicos que mais se acumulou no solo, conforme observa-se na Figura 3.

Existem alguns trabalhos que levantam dúvidas sobre o potencial do lodo em aumentar a disponibilidade de P no solo (MELO, 2000).

As fontes de fósforo do lodo utilizado no experimento, foram detergentes utilizados na cozinha e agentes anticorrosivos utilizados nas torres de resfriamento, esse último foi a principal fonte de P, pois as descargas de fundo das torres foram direcionadas à estação de tratamento de esgoto para tratamento.

O fósforo durante os anos de experimento vem acumulando mais intensamente na camada 0 – 20 cm da parcela tratada com lodo.

O aumento da concentração de fósforo na camada 20 - 40 cm também foi significativa, porém foi inferior que a média encontrada na camada de 0 – 20 cm. Isso indica que o fósforo é pouco lixiviado no perfil do solo, mesmo quando se aplica lodo de esgoto na forma líquida.

4.1.4 Potássio trocável

Com exceção do primeiro ano de tratamento, a concentração de K no solo onde o lodo foi aplicado diminuiu comparando a testemunha. Esse fato pode ter ocorrido devido à baixa concentração de K no lodo comparada com a necessidade do capim.

Um fator que poderia aumentar a concentração de K no solo, foi a utilização de lodo líquido, pois o potássio possui boa solubilidade em água. Porém observou-se que o K está reduzindo no solo mesmo utilizando lodo líquido.

No experimento optou-se em não adicionar K ao solo, pois a análise das folhas da braquiária não apresentou deficiência desse elemento.

Os resultados estão de acordo com Silva et al. (1998) que encontraram diminuição no teor de K extraível em Terra Roca Estrutura, cultivada com cana-de-açúcar, com o aumento da dose de lodo de esgoto. Contudo, o teor do elemento acumulado na parte aérea da planta aumentou com a dose do resíduo.

Em experimento realizado com aplicação de lodo de esgoto por dois anos em um Latossolo Vermelho eutroférrico BARBOSA et al, (2002), observaram diminuição do teor de potássio no solo. Outros autores têm recomendado uma adição complementar desse elemento (BERTON et al., 1989); (OLIVEIRA & MATTIAZZO, 2001)

Quando comparamos a concentração de potássio entre as duas camadas nas parcelas de aplicação, verificamos que o potássio está diminuindo mais na camada de 0 - 20 cm, provavelmente porque as raízes da *Brachiaria decumbens* se concentram nessa camada.

4.1.5 Cálcio trocável

Como observado na figura 3, o cálcio trocável no solo apresentou concentração maior no tratamento com aplicação de lodo. Esse resultado esta de acordo com BARBOSA et al. (2002), que em experimento em cultura de milho safrinha, as variáveis Ca e Mg trocáveis aumentaram no solo em todos os tratamentos com lodo de esgoto em comparação com a análise inicial do solo.

Esse resultando era esperado devido a adição de cal hidratada para correção do pH. O cálcio está acumulando no solo em ambas camadas. O gráfico da Figura 3 mostra uma tendência crescente desse acúmulo.

4.1.6 Magnésio trocável

Observa-se na Figura 3 que o teor de Mg está diminuindo no solo, na parcela com lodo, da camada de 0 – 20 cm e seu teor está estável na camada de 20 – 40 cm.

Essa diferença de concentração de Mg pode ter relação com a absorção de Mg pelas raízes da *Brachiaria decumbens.* O excesso de Ca no solo contribui para aumentar a lixiviação do Mg no perfil.

Os efeitos da adição do Ca sobre a lixiviação de Mg e K em solos tratados com LE foram comprovados por ANJOS (1999)

Os métodos estão de acordo com SILVA et al. (1998) que verificaram que o teor de Mg extraível de uma Terra Roxa Estrutura cultivada com cana-de-açúcar diminuiu de 26 para 17 $mmmol_c\ dm^{-3}$, pela aplicação de 0, 15 e 30 $t\ ha^{-1}$ de um lodo de esgoto obtido na ETE de Barueri, na região metropolitana de São Paulo.

4.1.7 H+Al no solo

Na Figura 4 observa-se que aplicação de lodo reduziu significativamente a acidez potencial do solo desde o primeiro ano. Também se verifica que a redução da acidez se manteve estável nos anos seguintes. A aplicação contínua de lodo não trouxe benefício adicional na redução da acidez do solo.

Os resultados estão de acordo MARQUES (1997) cultivou cana-planta em solo Latossolo Vermelho textura média fertilizado com doses crescentes de lodo, observando, em amostragem realizada um ano após a aplicação do resíduo, decréscimo linear nos teores de H+Al.

4.1.8 CTC no solo

Conforme observa-se na Figura 4 houve aumento da CTC no experimento em ambas camadas. Como foi adicionado óxido de cálcio ao lodo isso contribuiu para aumentar a CTC. Pois para estimar a CTC somou-se os teores de K, Ca, Mg e o H+Al.

Outro fator que pode corroborar para o aumento da CTC é a fração da matéria orgânica no solo que recebeu lodo de esgoto, pois também aumentou a matéria orgânica no experimento.

Quando comparamos a CTC nas duas camadas observamos que o efeito da aplicação do lodo foi maior na camada 0 – 20 cm.

OLIVEIRA (2000) observou o aumento da CTC em função das doses do resíduo seguiu, dentro de todas as amostragens nos dois anos agrícolas, um comportamento quadrático. Análises de regressão apontaram uma tendência crescente nos valores desta variável em função das épocas de amostragem do solo.

4.1.9 Saturação por bases no solo

A saturação por bases no solo nas parcelas com aplicação de lodo aumentou quando comparada à testemunha em ambas camadas, conforme observa-se na Figura 4. O V% médio da camada de 0 – 20 cm foi de 71% e de 54% na camada 20 – 40 cm.

O aumento do V% ocorreu por meio da adição da cal hidratada, pois o cálcio influencia no cálculo do V%.

De acordo com RAIJet al. (1996), a saturação por base com 71% significa que o solo é classificado com nível de fertilidade alta (71-90%).

Quando comparamos a média do V% nas parcelas de aplicação do lodo de esgoto durante os quatros anos do experimento, observa-se que a variação do V% está se mantendo praticamente constante, mostrando uma tendência de estabilização desse valor.

4.1.10 Zinco disponível no solo

Os resultados obtidos para a concentração do Zn disponível no solo estão apresentados na Figura 4. Houve aumento significativo da concentração de Zn extraído pelo DTPA no solo, sendo 1,3 mg kg^{-1} e 0,51 mg kg^{-1} nas camadas de 0 - 20 cm e 20 - 40 cm, respectivamente.

O Zn um elemento essencial no solo, porém o excesso pode interferir na absorção de Fe pelas plantas (CANADIAN SOIL QUALITY GUIDELINES, 1999)

A maior concentração de Zn na camada 20-40 cm comparada com a testemunha indica provável lixiviação no perfil do solo.

A comparação entre as camadas, mostra que há tendência do zinco se acumular com mais intensidade na camada de 0 – 20 cm e a concentração na camada 20 - 40 cm vem aumentando lentamente no perfil.

BORGES & COUTINHO (2004) verificaram aumentos lineares dos teores de Zn de acordo com as doses de biossólidos em todas as frações, com excessão da residual no Latossolo Vermelho eutroférrico.

O Zn apresentou acúmulo significativo no solo que recebeu a incorporação do lodo, sendo esse efeito notado nas duas profundidades amostradas, evidenciando uma

maior mobilidade desse elemento no solo, também observada por MATTIAZZO-PREZOTTO (1994) em solos com pH abaixo de 5,5.

4.2 Efeito da aplicação de lodo de esgoto na composição mineral das folhas da *Brachiaria decumbens*.

Os resultados da análise do material vegetal para macro e do micronutriente Zn podem ser vistos nas Figuras 5, 6 e 7. A aspersão do lodo ao solo aumentou significativamente os teores de N e P no tecido foliar a partir do primeiro ano de aplicação do resíduo, concordando com os resultados obtidos por BERTON et al, (1989) e SIMONETE (2001) para o milho.

Os nutrientes K, Ca e Mg, embora apresentando concentração maior na parte aérea do capim desde o início do ensaio, mostraram concentrações significativamente mais elevadas a partir do terceiro ano (Ca e Mg) e no último ano de adição do lodo (K).

Não se observou diferenças significativas nas concentrações de B e Cu entre os tratamentos estudados, provavelmente pelo baixo teor desses elementos no LE e pela pequena translocação de Cu das raízes para a parte aérea das plantas. Entretanto, constatou-se uma diminuição na concentração foliar de Mn nos quatro anos estudados e de Fe a partir do segundo ano de aplicação. Observou-se também aumento na absorção de Zn em três dos quatro anos avaliados. Esses resultados corroboram com os obtidos por MARTINS et al. (2003) que observaram que a adição de lodo a um Latossolo Vermelho distrófico típico aumentou significativamente o teor de Zn nas folhas e na parte aérea do milho, provocou a redução nas concentrações de Fe e Mn e não alterou as de Cu.

À exceção do B, que apresentou concentração foliar abaixo de 10 mg kg^{-1}, os teores de todos os demais nutrientes analisados encontraram-se dentro da faixa de concentração considerada adequada para o capim braquiária, publicada por WERNER et al, (1996).

Após quatro anos consecutivos de aplicação de lodo de esgoto na forma líquida na cultura da *Brachiaria decumbens*, observou-se benefícios para a cultura e apenas deficiência do micronutriente B, que está abaixo do recomendado.

RANGEL et al. (2006) em experimento sobre o efeito da aplicação de lodo de esgoto em cultivo de milho destacaram que os teores considerados fitotóxicos são, em

mg kg^{-1}: de 100 a 150 para o Mn; 50 a 100 para o Ni; 3 a 20 para o Cu e de 56 para o Pb.

Tabela 10. Concentração anual de macro e do micronutriente Zn na camada 0 – 20 cm do solo tratado com lodo de esgoto.

		2003		**2004**		**2005**		**2006**	
		Lodo	Test.	Lodo	Test.	Lodo	Test.	Lodo	Test.
N	g kg^{-1}	19,7	11,6	19,6	14,4	18,9	13,8	19,0	7,5
K	g kg^{-1}	13,4	8,8	19,3	16,7	22,5	18,9	20,9	13,6
P	g kg^{-1}	2,2	1,3	2,4	1,8	2,6	1,7	2,6	1,2
Ca	g kg^{-1}	3,7	3,6	4,5	4,2	5,5	3,8	5,9	4,7
Mg	g kg^{-1}	2,0	1,8	2,4	2,1	3,4	2,1	3,5	2,4
B	mg kg^{-1}	7,0	11,0	4,5	4,7	8,4	14,1	5,3	5,4
Cu	mg kg^{-1}	5,7	4,4	3,0	4,3	4,0	4,6	7,9	3,4
Fe	mg kg^{-1}	109	398	147	708	147	503	191	687
Mn	mg kg^{-1}	42	90	45	90	56	88	51	133
Zn	mg kg^{-1}	31,2	24,1	22,4	19,5	25,0	19,1	33,0	16,2

Tabela 11. Concentração média de macro e do micronutriente Zn nas folhas da *Brachiaria Decumbens* no solo tratado com lodo de esgoto.

		Médias	
		Lodo	Testemunha
N	g kg^{-1}	17,7a	11,1b
K	g kg^{-1}	18,3a	14,7b
P	g kg^{-1}	2,4a	1,4b
Ca	g kg^{-1}	5,4a	4,4a
Mg	g kg^{-1}	3,1a	2,2b
B	mg kg^{-1}	6,8a	8,7a
Cu	mg kg^{-1}	5,4a	4,5a
Fe	mg kg^{-1}	226a	869b
Mn	mg kg^{-1}	55a	103b
Zn	mg kg^{-1}	30a	20b

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo

teste F a 5% de probabilidade

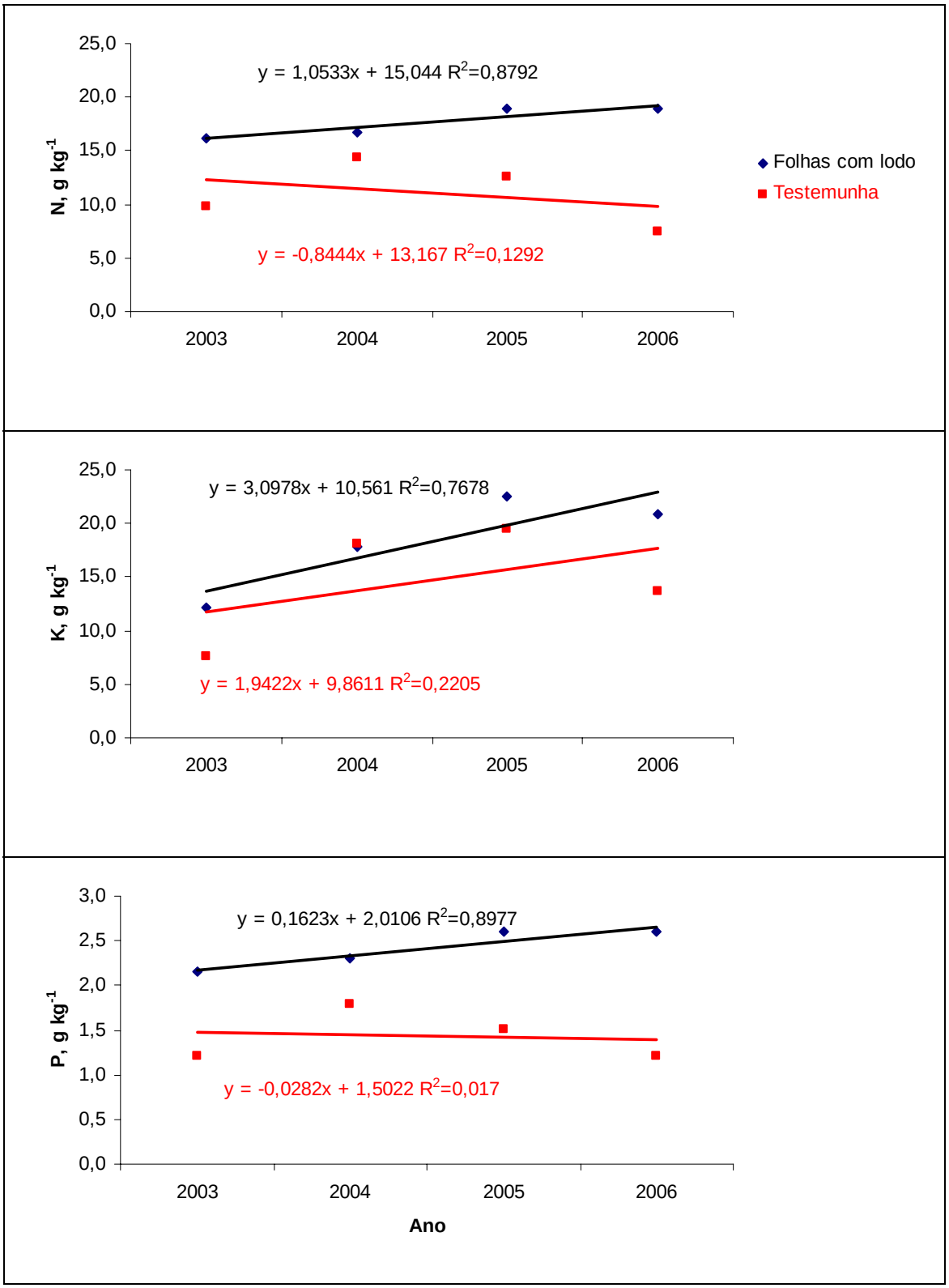


Figura 5. Variação na concentração anual de nitrogênio, potássio e fósforo na parte aérea do capim braquiária, nos tratamentos com e sem adição de lodo de esgoto.

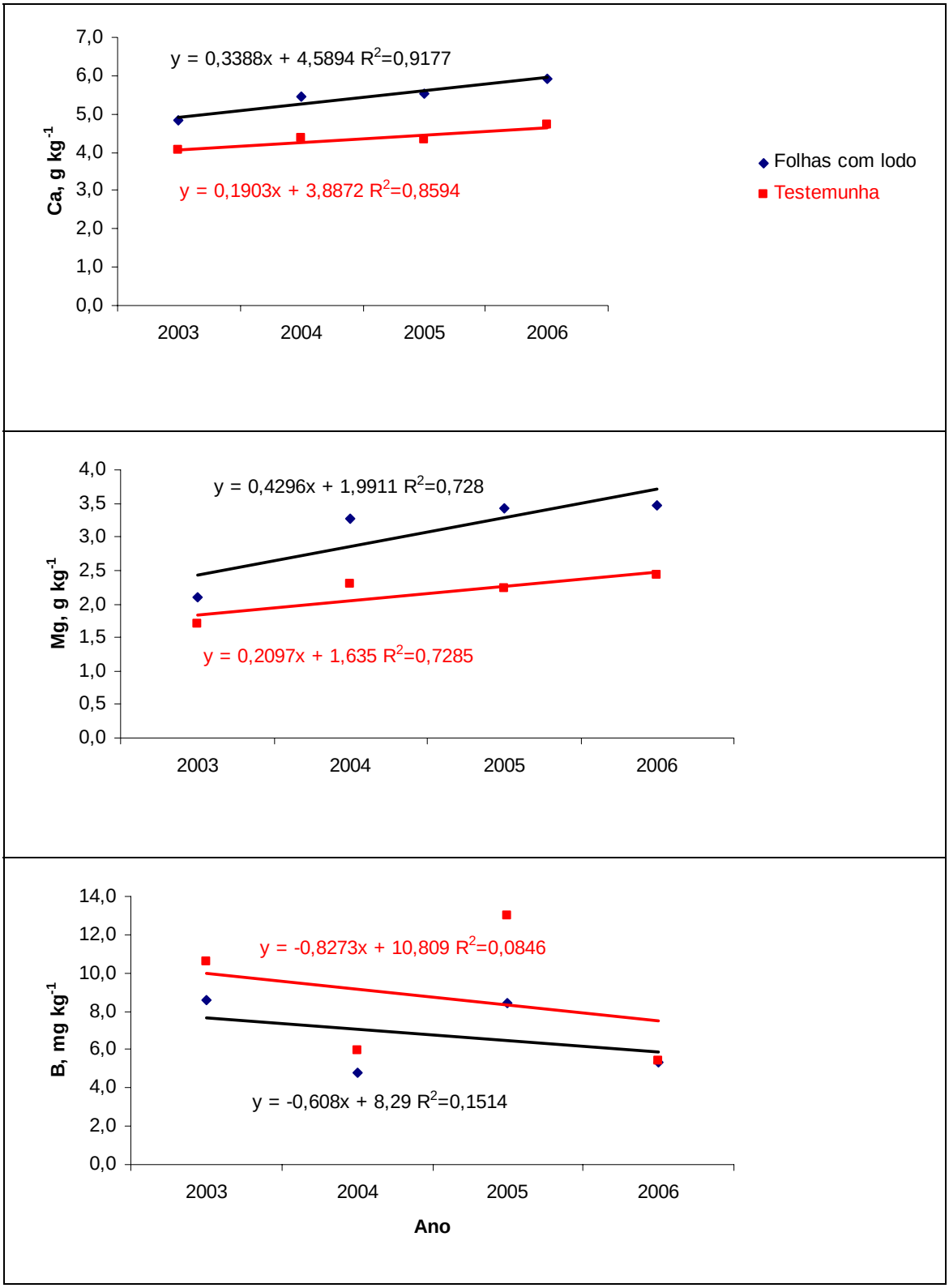


Figura 6. Variação na concentração anual de cálcio, magnésio e boro na parte aérea do capim braquiária, nos tratamentos com e sem adição de lodo de esgoto

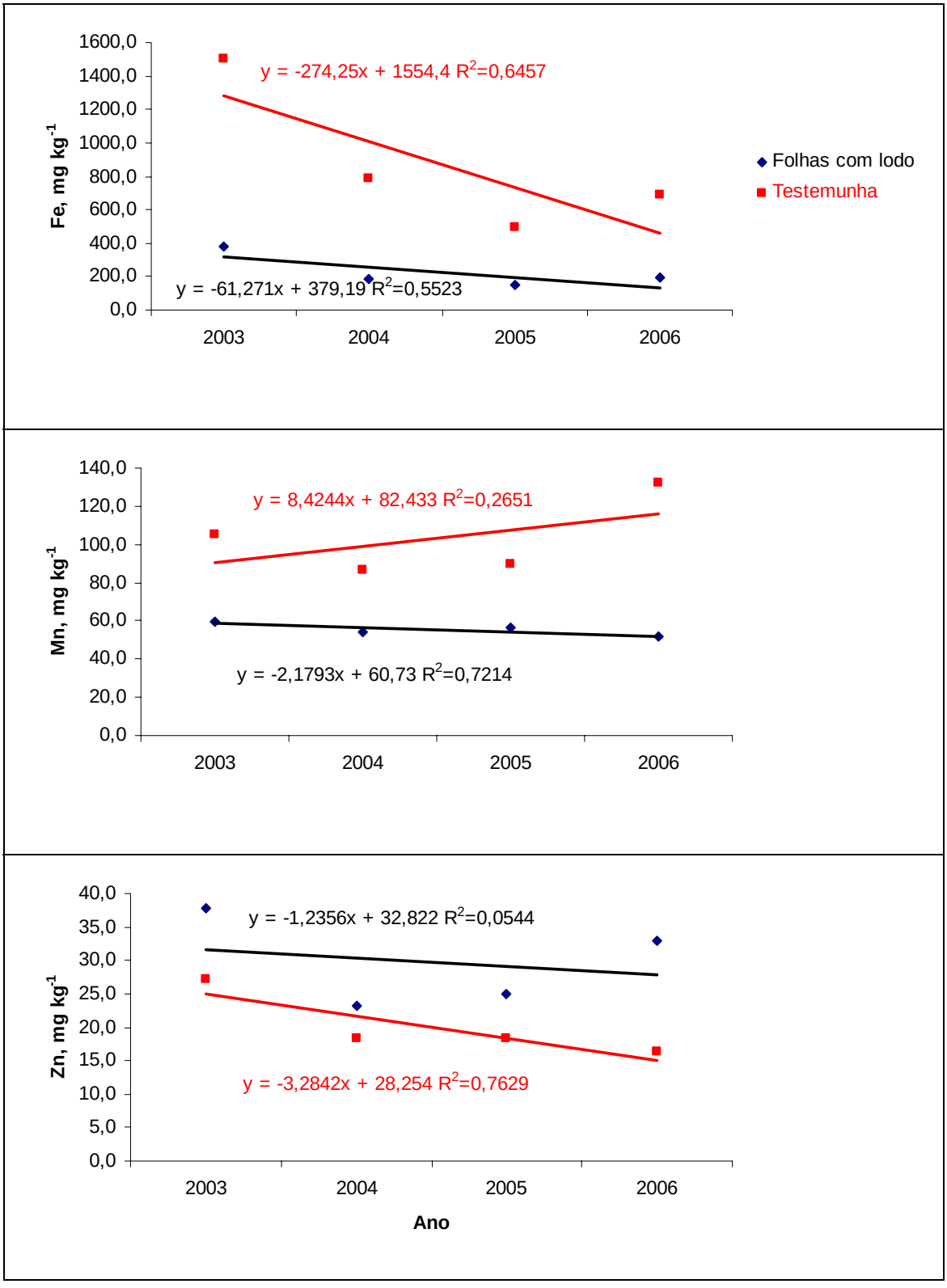

1600,0
1400,0
1200,0
1000,0
800,0
600,0
400,0
200,0
0,0
Fe, mg kg-1
y = -274,25x + 1554,4 R2=0,6457
y = -61,271x + 379,19 R2=0,5523
2003
2004
2005
2006
Folhas com lodo
Testemunha
140,0
120,0
100,0
80,0
60,0
40,0
20,0
0,0
Mn, mg kg-1
y = 8,4244x + 82,433 R2=0,2651
y = -2,1793x + 60,73 R2=0,7214
2003
2004
2005
2006
40,0
35,0
30,0
25,0
20,0
15,0
10,0
5,0
0,0
Zn, mg kg-1
y = -1,2356x + 32,822 R2=0,0544
y = -3,2842x + 28,254 R2=0,7629
2003
2004
2005
2006
Ano

Figura 7. Variação na concentração anual de ferro, manganês e zinco na parte aérea do capim braquiária, nos tratamentos com e sem adição de lodo de esgoto

4.2.1 Nitrogênio

Na Figura 5 verificam que a aplicação de lodo de esgoto foi benéfica para a cultura, pois aumentou significativamente a concentração de nitrogênio na folhas (Tabela 7). Este aumento também foi observado por BERTON et al. (1989) quando aplicou lodo de esgoto na cultura de milho em cinco solos do estado de São Paulo. De acordo com GUEDES & POGGIANI (2003), em experimento que utilizou lodo de esgoto em plantação de eucalipto, também se verificou aumento da concentração de nitrogênio nas folhas.

Na tabela 7 é possível observar que a deficiência de N nas folhas da área da testemunha começou a diminuir com maior intensidade a partir do 3 ano. A deficiência de N nas folhas do tratamento testemunha estava abaixo do mínimo necessário para a cultura, de acordo com o boletim 100 do IAC.

4.2.2 Fósforo

A análise estatística com relação ao fósforo revelou aumento significativo desse elemento nas folhas da cultura onde o lodo de esgoto foi aplicado. Segundo BERTON et al (1989), a pronta disponibilidade do fósforo contido no lodo de esgoto se deve ao fato da baixa relação C/P e do nutriente estar predominantemente na forma mineral.

A concentração de fósforo nas folhas do tratamento que recebeu lodo de esgoto foi maior quando comparada com o tratamento testemunha (Figura 13), porém em ambos tratamentos observou que tanto a parcela de aplicação de lodo quanto a testemunha a concentração de fósforo estava suficiente para a cultura, conforme o valor sugerido pelo Boletim 100 do IAC.

4.2.3 Potássio

O resultado da análise estatística para a concentração de potássio nas folhas indicou aumento significativo nas parcelas que receberam lodo somente no quarto ano

de aplicação, porém na Figura 14 observa-se que a concentração de K aumentou no decorrer dos anos.

Como o lodo de esgoto utilizado era rico em cálcio, devido a adição de cal hidrata, esse elemento poderia interferir na absorção do potássio pelas plantas BATAGLIA (1983). Entretanto, esse fato não ficou demonstrado após 4 anos de experimentação.

Quando comparamos o resultado da concentração de potássio nas folhas verificamos que tanto a parcela que recebeu lodo de esgoto quanto a testemunha possuem a concentração recomendada pela cultura (Tabela 7).

4.2.4 Cálcio

A Figura 15 apresenta as concentrações de cálcio nas parcelas de aplicação de lodo e nas parcelas testemunha. A adição de lodo aumentou significativamente a concentração de cálcio nas folhas, durante os quatro anos consecutivos de aplicação desse material ao solo. A concentração de cálcio estava dentro da faixa ideal para a cultura (Tabela 7).

O Ca está aumentando após cada aplicação, nos últimos dois anos a concentração de Ca na folhas da área de aplicação estava significativamente maior que as folhas da testemunha. Isso contradiz o experimento de TRIGUEIRO (2002), onde as mudas de eucaliptos que se desenvolveram em substratos com maior quantidade de Ca, apresentaram menor concentração de K na parte aérea devido ao efeito antagônico entre esses elementos, conforme também observado para as mudas de pinus

4.2.5 Magnésio

A Figura 16 apresenta as concentrações de Mg nas parcelas de aplicação de lodo e nas parcelas testemunha. A adição de lodo aumentou significativamente a concentração de Mg nas folhas, durante os quatro anos consecutivos.

Há vários trabalhos demonstrando que a adição de lodo de aumenta a concentração de magnésio nas folhas de diversas culturas, como exemplo a cana de açúcar, milho e sorgo(MELO & MARQUES, 2000).

O Mg está aumentando após cada aplicação, nos últimos dois anos a concentração de Ca das folhas da área de aplicação estava significativamente maior que as folhas da testemunha

4.2.6 Boro

A Figura 17 mostra a variação de boro nas folhas durante os 4 anos do experimento.

Os resultados para a concentração de B nas folhas apresentaram concentrações abaixo da mínima exigida para a cultura. A concentração média nas folhas foi 6,80 mg kg^{-1} para a parcela que recebeu lodo de esgoto e 8,74 mg kg^{-1} na testemunha. O Boletim 100 do IAC recomenda 10 mg kg^{-1} no mínimo de B para a *Brachiaria decumbens*.

Resultado semelhante observou SILVA et al. (2001) em experimento sobre o efeito de lodo de esgoto na fertilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana de açúcar, que apesar de haver aumento no teor de B do solo, motivado pela aplicação de lodo, este permaneceu abaixo, segundo RAIJet al.(1996), o que indica que o lodo de esgoto é fonte pobre deste micronutriente.

4.2.7 Ferro

Conforme apresentado na Figura 18, a concentração de ferro nas folhas do tratamento testemunha mostrou-se significativamente maior que nas parcelas onde o lodo de esgoto foi aplicado, e também se encontra acima do valor máximo de ferro estabelecido pelo Boletim 100 do IAC. Como o pH do solo nas parcelas do tratamento testemunha esta menor que os das parcelas que receberam lodo, isso pode estar auxiliando na solubilização do ferro e na absorção pela *Brachiaria decumbens*.

O Fe nas folhas apresentou concentração de 226 mg kg^{-1}, enquanto nas folhas da testemunha foi de 868 mg kg^{-1}, acima do estabelecido no Boletim 100 do IAC que está na faixa de 50 e 250 mg kg^{-1}.

Uma causa possível dessa diferença é o excesso de Zn presente no solo, pois o teor Fe tende a reduzir nas folhas da cultura quando ocorre excesso de Zn. Conforme discutido no item 4.1.10 o Zn é o micronutriente que mais se acumulou no solo durante o experimento.

4.2.8 Manganês

Como mostrado na Figura 19, a concentração de manganês está menor nas folhas nas parcelas que receberam lodo de esgoto quando comparadas com à testemunha.

As concentrações foram de 55 mg kg^{-1} e 103 mg kg^{-1}nas parcelas que receberam lodo e testemunha, respectivamente. Ambas concentrações atendem à exigência desse micronutriente pela planta, que é entre 40 e 250 mg kg^{-1}.

Segundo SILVA et al. (2006) em experimento no cultivo de milho foram verificadas correlações significativas entre os teores de Mn nas folhas de milho com Mn-solo, o que também concorda com DEFELIPO et al. (1991) ao avaliarem os efeitos da aplicação de lodo de esgoto em latossolo e observaram correlação significativa entre o teor de Mn extraído do solo com os teores desse nutriente na parte aérea de sorgo.

4.2.9 Zinco

Com relação à concentração de Zn nas folhas, a análise estatística mostrou que o aumento da concentração desse elemento foi significativamente maior para o tratamento com lodo, sendo a concentração média de 29,7 mg kg^{-1}e adequada para a cultura, de acordo com o Boletim 100 do IAC, que estabelece valores entre 20 e 50 mg kg^{-1}de Zn para a cultura da *Brachiaria decumbens*.

A concentração de Zn nas folhas do tratamento testemunha foi de apenas 20 mg kg^{-1}, mas também dentro do limite para a cultura. A Figura 20 se observa a concentração de zinco nas folhas no período de 4 anos.

Em estudo realizado por RANGEL et al. (2006), os teores de Zn nas folhas de milho aumentaram de modo significativo, com resposta linear à aplicação das doses dos lodos de esgoto em todos os cultivos de milho. Dos metais avaliados, o Zn foi o que apresentou maior aumento nos teores foliares com a seqüência dos cultivos.

OLIVEIRA et al. (2005) em experimento com arroz observou-se em Latossolo Vermelho-Amarelo que os teores de Zn nas folhas aumentaram significativamente. Porém no Argissolo Vermelho-Amarelo houve um decréscimo significativo na relação de acumulação de Zn parte aérea/raiz com o aumento da dose de lodo aplicada.

5. CONCLUSÕES

Nas duas profundidades estudadas, a utilização do lodo de esgoto na forma líquida, acrescido de cal hidratada para elevação do pH do lodo, não alterou os teores de K trocável do solo, aumentou o pH e a saturação por bases pelo acúmulo de Ca e Mg, o que acarretou em diminuição da acidez potencial do solo.

O uso agrícola do lodo aumentou os teores de matéria orgânica, P lábil no solo e do Zn disponível até a profundidade de 40 cm do solo.

O lodo de esgoto digerido em reator aeróbio e aplicado na forma líquida foi fonte de nitrogênio, potássio, fósforo, cálcio, magnésio e zinco para a cultura da *Brachiaria decumbens*, principalmente nos dois últimos anos de aplicação desse resíduo ao solo.

A adição de LE também diminuiu a concentração de Mn regulou os teores de Fe na parte aérea do vegetal.

Recomenda-se o monitoramento da concentração de B na parte aérea do capim braquiária a fim de se prevenir contra uma possível deficiência desse elemento nas plantas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, M.F. Extração e determinação simultânea por emissão em plasma de nutrientes e elementos tóxicos em amostras de interesse agronômico. Campinas, Tese de doutorado Universidade Estadual de Campinas, 135p. 1997.

ANJOS, A.R.M. Lixiviação de espécies químicas em Latossolos sucessivamente tratados com biossólido e disponibilidade de metais pesados para plantas de milho. Piracicaba, Tese de doutorado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, p.191, 1999.

BARBOSA, G.M.C. et al. Propriedades químicas de um latossolo vermelho eutroférrico após aplicação por dois anos consecutivos de lodo de esgoto. **Acta Scientiarum**, v.24, n.5, p.1501-1505, 2002.

BATAGLIA,O.C.; BERTON, R.S.; CAMARGO, O.A. & VALADARES, J.M.A.S. Resíduos orgânicos como fontes de nitrogênio para capim-braquiária. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v.7, p.277-284, 1983.

BATAGLIA, O.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R.; FURLANI, A.M.C. & GALO, J.R. Métodos de análise química de plantas. Campinas, Instituto Agronômico. p31, 1978..

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, p.187-192. 1989.

BORGES, M.R.; COUTINHO, E.L.M. Metais Pesados do solo após aplicação de biossólido. I – Fracionamento. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 543-555, 2004.

CANADIAN ENVIRONMENTAL QUALITY GUIDELINES. Zinc 1999. Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg, Canada. 6p. 1999.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Aplicação de biossólido de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas: critérios para projetos e operação. São Paulo, SP. 29p. 1999.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. 41p. 2006.

DEFELIPO, B.V.; NOGUEIRA, A.V.; LOURES, E.G. & ALVAREZ, V.H. Eficiência agronômica do lodo de esgoto proveniente de uma indústria siderúrgica. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v.15, p. 389-393, 1991.

FERNANDES, F. Tratamento de esgoto e geração de lodo. In: Bettiol, W & Camargo, O.A. eds, Impacto Ambiental do Uso Agrícola do Lodo de Esgoto, Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente. P.45-67, 2000.

GUEDES, M.C.; POGGIANI, F. Variação dos teores de nutrientes foliares em eucalipto fertilizado com biossólido, **Scientia Forestalis**. n.63, p.188-201, 2003.

LAND APPLICATION OF SEWAGE SLUDGE. A guide for Land Appliers on the Requirements of the Federal Standards for the Use or Disposal of Sewage Sludge, 40 CFR Part 503. Water Environment Federation, p.62, 1994.

MARTINS, A.L.C.; BATAGLIA, O.C.; CAMARGO, O.A.; CANTARELLA, H. Produção de grãos e absorção de Cu, Fe, Mn e Zn pelo milho em solo adubado com lodo de esgoto, com e sem calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 563-574. 2003.

MATTIAZZO-PREZOTTO, M.E**.** Comportamento do cobre, cádmio, níquel e zinco adicionados a solos de clima tropical em diferentes valores de pH**.** Dissertação (Livre-Docência) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba. p.197, 1994.

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 de matéria orgânica e CTC de um Latossolo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 18, p. 449-455, 1994.

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, Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente. P.45-67, 2000.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. Origem e destinação de resíduos sólidos. In: Seminário da Política Nacional de Resíduos Sólidos, cd rom, Brasília, DF, 2004

OLIVEIRA, C.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; MARQUES, V.S.; MAZUR, N. Efeitos da aplicação do lodo de esgoto enriquecido com cádmio e zinco na cultura de arroz. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 109-116, 2005

OLIVEIRA, F.C. Disposição de lodo de esgoto e composto de lixo urbano num latossolo vermelho-amarelo cultivado com cana-de-açúcar. Tese de doutorado, Piracicaba, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, p.247, 2000.

OLIVEIRA, F.C.; MATIZZO, M.E. Metais pesados em latossolo tratado com lodo de esgoto e em plantas de cana de açúcar. **Scientia Agrícola**, v.58, p.581-593, 2001.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. & FURLANI, A. M. (eds). Recomendação de adubação e calagem para o estado de São Paulo. Boletim Técnico IAC n. 100. Campinas. IAC, 285p, 1996.

RANGEL, O.J.P.; SILVA, C.A.; BETTIOL, W.; DYNIA, J.F. Efeito de aplicações de lodos de esgoto sobre os teores de metais pesados em folhas e grãos de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 30, p.575-582, 2006.

SILVA, C.A.; RANGEL, O.J.P.; DYNIA, J.F.; BETTIOL, W.; MANZATTO, C.V. Disponibilidade de metais pesados para milho cultivado em latossolo sucessivamente tratado com lodos de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 30, p.353-364, 2006.

SILVA, F.C.; BOARETTO, A.E.; BERTON, R.S.; ZOTELLI, H.B.; PEXE, C.A.; MENDONÇA, E. Cana de açucar cultivada em solo adubado com lodo de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília V.33, p.1-8, 1998.

SILVA, F.C.; BOARETTO, A.E.; BERTON, R.S.; ZOTELLI, H.B.; PEXE, C.A.; BERNARDES, E.M. Efeito de lodo de esgoto na fertilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açucar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília V.36, n5, p831-840. 2001.

SILVA, E. M. B. Nitrogênio e enxofre na recuperação de pastagem de capim-Braquiária em degraação em Neossolo Quartzarênico com expressiva matéria orgânica. 2005. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2005.

SIMONETE, M.A. Alterações nas propriedades químicas de um argissolo adubado com lodo de esgoto e desenvolvimento e acúmulo de nutrientes em plantas de milho. Piracicaba, 2001. Tese de doutorado. Escola Superior de Agronomia "Luiz de Queiroz", Universisdade de São Paulo p. 89, 2001.

SPARKS, D.L. Environmental soil chemistry, chapter 3. Academic Press, San Diego, 267p. 1995.

SPARKS, D.L. The Chemistry of soil acidity. Environmental soil chemistry, chapter 9. Academic Press, San Diego, 267p. 1995.

SOBRINHO, P.A. Tratamento de esgoto e geração de lodo. In: Bettiol, W & Camargo, O.A. eds, Impacto Ambiental do Uso Agrícola do Lodo de Esgoto, Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente. p.11-24, 2000.

TEIXEIRA, S.T. et al. Aplicação de lodo de estação de tratamento de água em solo degradado. Pesquisa Agropecuária Brasilodoira., Brasília, v.40, n.1, p.91-94, 2005.

THOMAS, G.W.; HARGROVE, W.L. The Chemistry of soil acidity. Madison, USA, 56p . 1984.

TRIGUEIRO, R.M. Uso de biossólidos como substrato para produção de mudas de pinus e eucalipto. Tese, Botucatu, Tese de mestrado, p. 94, 2002.
TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; SOBRINHO, P.A.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; MELFI, A.J.; MELO, W.J.; MARQUES, M.O. Biossólidos na Agricultura. São Paulo, SP. p.468, 2002.

WERNER, J.C.; PAULINO, V.T.; CANTARELLA, H.; ANDRADE, N.O.; QUAGGIO, J.A. Pastagem. In: RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. & FURLANI, A. M. (eds). Recomendação de adubação e calagem para o estado de São Paulo. Boletim Técnico IAC n. 100. Campinas. IAC, 1996. p.263-273.