

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS  
CAMPUS DE JABOTICABAL

**EFEITO DO LODO DE INDÚSTRIA DE GELATINA NA  
FERTILIDADE DO SOLO E NO CAPIM-TANZÂNIA**

**João Carlos de Araujo**

**Orientador: Prof. Dr. Manoel Evaristo Ferreira**

**Co-orientadora: Prof. Dra. Mara Cristina Pessôa da Cruz**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Unesp, Campus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo).

JABOTICABAL - SÃO PAULO - BRASIL

Julho de 2006

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

João Carlos de Araujo, nascido em 24 de junho de 1958, na cidade de São Paulo, SP. Em março de 1979 iniciou o curso de graduação em Agronomia pela Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV), Universidade Estadual Paulista (UNESP) – campus de Jaboticabal, concluindo em dezembro de 1982. Em março de 2004 iniciou o curso de Mestrado em Agronomia (Ciência do Solo) pela FCAV/UNESP.

## **AGRADECIMENTOS**

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias pela oportunidade na realização do curso;

Ao meu orientador Prof. Dr. Manoel Evaristo Ferreira e à minha co-orientadora Profa. Dra. Mara Cristina Pessôa da Cruz pela oportunidade dada para realização deste trabalho, orientação e ensinamentos que muito contribuíram para o meu crescimento profissional;

Ao Sr. Paulo Reimann, presidente da Gelita South America, pela oportunidade concedida;

Aos amigos de departamento Renato e Adriana, pela amizade e imprescindível ajuda na realização deste trabalho;

À técnica do laboratório de Fertilidade do Solo, Selma Figueiredo Guimarães, pela grande colaboração e realização das análises laboratoriais;

Ao Leandro, pela colaboração na condução do experimento.

## SUMÁRIO

	Página
RESUMO .....	v
SUMMARY .....	vi
I. INTRODUÇÃO.....	1
II. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
III. MATERIAL E MÉTODOS.....	10
IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	16
Efeito de lodo de indústria de gelatina na fertilidade do solo .....	16
Efeito de lodo da indústria de gelatina na produção de matéria seca de capim-tanzânia .....	22
Efeito de lodo da indústria de gelatina na quantidade de nutrientes e de sódio absorvida pelas plantas .....	23
V. CONCLUSÕES .....	26
VI. IMPLICAÇÕES .....	27
VII. REFERÊNCIAS .....	28

## EFEITO DO LODO DE INDÚSTRIA DE GELATINA NA FERTILIDADE DO SOLO E NO CAPIM-TANZÂNIA

**RESUMO** - Foi avaliado o efeito do lodo de indústria de gelatina na fertilidade do solo, na produção de matéria seca e no acúmulo de nutrientes e de Na na parte aérea das plantas de *Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia. Foi utilizado um Latossolo Vermelho-Amarelo, textura argilosa, coletado nas profundidades de 0-5, 5-20, 20-40 e 40-60 cm. O solo foi seco à sombra, passado em peneira de 4 mm de abertura de malha, homogeneizado e colocado em colunas de PVC compostas por quatro anéis correspondentes a cada camada. Foram feitas três aplicações das doses de 0; 30; 60; 90 e 120 t ha<sup>-1</sup> (base úmida) de lodo de indústria de gelatina: antes da semeadura, após o primeiro e depois do segundo corte. O experimento foi conduzido em casa de vegetação em delineamento inteiramente casualizado, com seis repetições, com duração de 113 dias. Ocorreram aumentos significativos no valor de pH e nos teores de Na, P, Ca, Mg e N no solo. Na produção de matéria seca do capim houve aumento no terceiro corte e na quantidade extraída dos elementos pelas plantas, a de Na aumentou nos três cortes, a de Ca no segundo e terceiro cortes e as de N, P e S apenas no terceiro corte.

Palavras-Chave: nutriente, *Panicum maximum*, resíduo orgânico.

## EFFECT OF GELATIN INDUSTRY SLUDGE ON SOIL FERTILITY AND ON TANZÂNIA GRASS

**SUMMARY** – It was evaluated the effect of gelatin industry sludge on soil fertility, on dry matter production and on nutrient and Na accumulation in the aerial part of plants of *Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia. The soil used was a clay Oxisol collected in the depths of 0-5, 5-20, 20-40 and 40-60 cm. After the soil was air-dried and the clods were broken, it was passed through a 4 mm sieve, homogenized and placed in PVC columns with four rings matching each layer. The gelatin industry sludge was applied in rates equivalent to 0; 30; 60; 90 and 120 t ha<sup>-1</sup> in each of the three applications: before sowing and after the first and second cut. The experiment was carried out in greenhouse in a completely randomized design, with six replicates, during 113 days. At the end of the experiment the rings of the columns were taken apart and the soil was taken for analysis. There were significant increases in the pH value and in the contents of Na, P, K, Ca, Mg and N in the soil. There was a significant increase in the dry matter production of the grass only in the third cut, and in relation to the uptake amount of the elements by the plants, Na increased in the three cuts, Ca in the second and third cuts and N, P and S only in the third one.

**Keywords:** nutrient, *Panicum maximum*, organic waste

## I. INTRODUÇÃO

A disposição de lodos de indústrias de alimentos em solos é prática muito utilizada e SILVEIRA et al. (2006) citam que na Comunidade Econômica Européia e nos EUA esta destinação de resíduos é de aproximadamente 70%, com tendência a crescimento.

A gelatina é uma proteína obtida pela hidrólise parcial do colágeno contido nos ossos e na pele de animais. O processo de conversão do colágeno em gelatina envolve várias etapas de lavagem, depuração, tratamento e outras, que culminam na obtenção de um produto alimentício desidratado de cor amarelo-claro. O tratamento dos resíduos líquidos gerados no processo de fabricação de gelatina dá origem a resíduos sólidos (lodos), a uma proporção estimada de 6 toneladas por tonelada de gelatina produzida. O Brasil produz atualmente cerca de 33 mil toneladas de gelatina por ano, gerando, portanto cerca de 198 mil toneladas de lodo (REIMANN, 2005).

Segundo RAIJ et al. (1996), enquadra-se na classificação de resíduos industriais a vinhaça, a torta de filtro, as borras, os resíduos de laticínios, etc. Em geral, os produtos são desbalanceados quanto aos teores de nutrientes neles contidos, e, quando utilizados como fertilizantes orgânicos, necessitam de uma complementação com fontes minerais. Os lodos, geralmente, são pobres em K devido aos processos que lhes dão origem, com perdas do nutriente em solução. O lodo de indústria de gelatina é, principalmente, uma fonte de N, e contribui também com quantidades apreciáveis de P, Ca, Mg e Zn.

Dar um destino adequado aos resíduos gerados pelas indústrias, inclusive a de gelatina, é uma das preocupações atuais (CETESB, 1999). Nesse sentido, a aplicação do lodo de indústria de gelatina em solos é a alternativa de menor impacto para o meio ambiente. O estudo da utilização agrícola do lodo da indústria de gelatina é necessário, visando à determinação de doses e freqüências de aplicações adequadas deste material, evitando com isto os riscos de poluição ambiental e propiciando um maior benefício agrônômico às culturas implantadas.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do lodo de indústria de gelatina na fertilidade do solo, na produção de matéria seca e no acúmulo de nutrientes e de sódio na parte aérea das plantas de *Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia.



## II. REVISÃO DE LITERATURA

A adição de resíduos de indústrias ao solo pode contribuir, de forma benéfica, como corretivo da acidez, fornecendo nutrientes às plantas, aumentando o teor de matéria orgânica e melhorando propriedades físicas e biológicas. Resíduos orgânicos adicionados ao solo como vinhaça, resíduos de curtume, resíduos petroquímicos, lodos de estações de tratamento de efluentes, compostos de lixo urbano, esterco de animais, farinhas e tortas de origem vegetal são fontes de nutrientes para as plantas (adubação orgânica). Contudo, entre os resíduos, alguns como resíduos de curtume, resíduos petroquímicos, lodos de estações de tratamento de efluentes, etc. podem conter substâncias contaminantes e poluentes. A vinhaça, produto resultante do processamento industrial da cana-de-açúcar, tem pH abaixo de 4,0 e elevados valores de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e de demanda química de oxigênio (DQO). Os resíduos de curtume contêm crômio, além de outros compostos. Outros resíduos, como os de frigoríficos, em decorrência da atividade microbiana, podem liberar nitrogênio na forma amoniacal que, pela nitrificação, é transformado em nitrato, que pode ser facilmente lixiviado para as águas subterrâneas ou, por escoamento superficial, levados para corpos d'água (MEURER et al., 2000).

AQUINO NETO & CAMARGO (2000) trabalharam com lodos de curtume em alface cultivada em vaso. Os resíduos utilizados foram lodo do efluente de caleiro e um lodo do decantador primário, aplicados em doses correspondentes a 10, 20 e 30 t ha<sup>-1</sup> e 19, 38 e 57 t ha<sup>-1</sup> (base seca), respectivamente, de acordo com o teor de nitrogênio total de cada um. A aplicação dos lodos aumentou a condutividade elétrica (CE) do extrato de saturação de 1,40 para 5,07 dS m<sup>-1</sup> e a razão de adsorção de sódio (RAS) de 3,05 para 14,12, afetou o desenvolvimento e causou a morte das plantas nas doses mais altas. Segundo BOHN et al. (1985), uma RAS superior a 15 classifica o solo como sódico, podendo ocasionar decréscimo na sua permeabilidade e acentuar o problema de concentração de sais.

KONRAD & CASTILHOS (2002) conduziram experimento com o objetivo de avaliar as alterações químicas e o crescimento de plantas de milho em um Planossolo

Hidromórfico após a aplicação de resíduos de curtume. Os tratamentos adotados foram os seguintes: (1) testemunha; (2) NPK + calcário calculados segundo a análise de solo; (3) lodo do caleiro ( $10,25 \text{ t ha}^{-1}$ ) + PK; (4) lodo do caleiro ( $20,50 \text{ t ha}^{-1}$ ) + PK; (5) lodo com cromo ( $13,80 \text{ t ha}^{-1}$ ) + PK + calcário; (6) lodo com cromo ( $27,60 \text{ t ha}^{-1}$ ) + PK + calcário; (7) lodo com cromo ( $13,80 \text{ t ha}^{-1}$ ) + PK. Nos tratamentos com NPK foram aplicados por kg de solo 130 mg de N (uréia), 48 mg de P (superfosfato triplo) e 96 mg de K (cloreto de potássio). O calcário foi aplicado na forma de mistura de  $\text{CaCO}_3$  +  $\text{MgCO}_3$  (2:1), na dose de  $1,2 \text{ g kg}^{-1}$ , para elevar o pH a 6,0, juntamente com os demais resíduos. Foi observado aumento do valor da RAS de 1,0 para 9,4, considerado alto para o adequado crescimento das plantas, quando foi aplicada a maior dose de lodo de curtume ( $20,50 \text{ t ha}^{-1}$ ). Ainda, os autores concluíram que a aplicação desse resíduo, na dose usada, elevou o pH e os teores de N e Ca do solo, proporcionando rendimentos de matéria seca de grãos e de colmos e folhas do milho de 167 g/vaso, equivalentes aos obtidos com calagem e adubação mineral (166 g/vaso).

CASTILHOS et al. (2002) avaliaram o rendimento das culturas do trigo, da alface e do rabanete e as alterações químicas de um latossolo resultantes da adição de resíduos de curtume e de cromo hexavalente. Recipientes com  $60 \text{ dm}^3$  de solo, mantidos em casa de vegetação, receberam os seguintes tratamentos: testemunha; calcário e NPK; lodo do decantador primário e PK; resíduo de rebaixadeira de couro + calcário + NPK; aparas de couro + calcário + NPK;  $\text{Cr}^{6+}$  + calcário + NPK;  $\text{Cr}^{6+}$  + calcário + esterco de bovino; calcário + esterco de bovino. As doses de calcário dolomítico e de lodo foram determinadas pelo método da incubação do solo, aplicando-se as quantidades suficientes para atingir pH 6,0, que foram de 2,0 e  $8,8 \text{ t ha}^{-1}$ , respectivamente. Os autores verificaram que na amostragem realizada aos 70 dias, os tratamentos com aplicação de calcário ou de lodo apresentaram valores de pH entre 5,8 e 6,2. Após 210 dias da aplicação, constataram, de modo geral, um decréscimo no valor de pH ocasionado pela extração de nutrientes pelas plantas. Nas duas épocas de amostragem (realizadas aos 70 e aos 210 dias), a aplicação de lodo aumentou o pH a valores estatisticamente maiores aos da testemunha (de 5,2 para 5,8) e semelhantes aos dos tratamentos com calcário (5,9 em média). Os autores concluíram que os

aumentos nos teores de Na (de 21 para 48 mg dm<sup>-3</sup>), com a adição de lodo, não alteraram a CE das amostras. A aplicação de lodo elevou os teores de N, de 1,26 para 1,51 g kg<sup>-1</sup>, e os teores de Ca, de 4,1 para 5,5 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, proporcionando, respectivamente, para as culturas de trigo, alface e rabanete, rendimentos de 118,7; 12,6 e 7,7 g/vaso equivalentes aos valores de 102,5; 14,3 e 7,2 g/vaso, obtidos com calagem e adubação.

De acordo com MAAS (1985), as culturas de feijão, cana-de-açúcar e milho são muito sensíveis à salinidade (CE limite em extrato de saturação inferior a 2 dS m<sup>-1</sup>) e a de arroz sensível (CE limite de 3 dS m<sup>-1</sup>). OLIVEIRA et al. (2002) utilizaram composto de lixo urbano em solo cultivado com cana-de-açúcar. No primeiro ano agrícola, além dos tratamentos calagem + adubação mineral e testemunha, o composto de lixo foi aplicado nas doses de 20, 40 e 60 t ha<sup>-1</sup> (base seca). No segundo ano, o composto foi reaplicado nas doses de 24, 48 e 72 t ha<sup>-1</sup>. As aplicações do resíduo provocaram aumentos na CE do solo nos dois anos agrícolas estudados. No primeiro ano, a CE aumentou de 1,0 (testemunha) para 4,5 dS m<sup>-1</sup> (dose de 60 t ha<sup>-1</sup>); no ano seguinte o aumento da CE foi de 1,3 (testemunha) para 4,0 dS m<sup>-1</sup> (dose de 72 t ha<sup>-1</sup>). Apesar dos aumentos significativos, os autores não encontraram efeitos salinos prejudiciais à cultura de cana-de-açúcar. Segundo ABREU JÚNIOR et al. (2000), a CTC inicial é uma das propriedades mais importantes dos solos no controle do aumento da CE quando do aumento brusco na concentração de sais solúveis, visto que ela não reflete apenas o teor de argila e matéria orgânica, mas também o tipo de argila. Os autores concluem que se pode esperar que a aplicação conjunta de composto de lixo e de adubos minerais, em solos com CTC inferior a 80 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, promova valores de CE acima de 2-4 dS m<sup>-1</sup>, considerados como limites para o desenvolvimento de grande número de espécies vegetais (MAAS, 1985), sobretudo no estágio inicial de desenvolvimento de espécies anuais.

MANTOVANI et al. (2005b) também trabalharam com composto de lixo urbano. Esses autores realizaram experimento em casa de vegetação, em colunas de PVC. A incorporação de composto de lixo urbano, em doses de 0; 30; 60; 90 e 120 t ha<sup>-1</sup>, na profundidade de 0-20 cm melhorou a fertilidade do solo da própria camada em que foi

aplicado e da camada de 20-40 cm. Após incubação por 38 dias, ocorreram aumentos no valor de pH de 5,8 para 6,9 e nos teores de MO (de 29 para 37 g dm<sup>-3</sup>), P (de 63 para 114 mg dm<sup>-3</sup>), K (de 4,4 para 5,6 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), Ca (de 28,4 para 77,6 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) e Mg (de 13,4 para 26,2 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) do solo, quando se comparou o tratamento testemunha ao que recebeu a maior dose. Os teores de K, Ca e Mg no solo da camada de 20-40 cm de profundidade, na condição inicial, foram de 0,7; 9 e 3 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, respectivamente. Após um cultivo de alface, eles passaram para 1,5; 10 e 5 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> no tratamento testemunha, e para 1,8; 14 e 6 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> no tratamento que recebeu 120 t ha<sup>-1</sup> de composto de lixo. A melhora da fertilidade do solo, com a aplicação de composto de lixo urbano, provocou aumento da produção de matéria fresca de alface. No primeiro cultivo a produção aumentou com a aplicação de 120 t ha<sup>-1</sup> de composto de lixo, aumento de 8% em relação ao tratamento testemunha (de 272 para 294 g/planta). No segundo cultivo, esse aumento foi de 17% (de 227 para 266 g/planta).

A utilização de 0, 20 e 40 t ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto em solo cultivado com cana-de-açúcar, melhorou a fertilidade do solo ao diminuir a acidez, fornecer nutrientes (principalmente Ca, P, S e Zn) e aumentar a CTC efetiva (SILVA et al., 2001).

Em experimento realizado por VETTORAZZO et al. (2001) foram avaliados os efeitos da aplicação no solo de um resíduo calcítico, proveniente da indústria de papel, sobre a composição química de lixiviado do solo e seus efeitos no crescimento e na produção de mudas de eucalipto. As doses utilizadas foram equivalentes a 0, 2, 4 e 6 t ha<sup>-1</sup>. Os maiores valores de pH e das concentrações de Na no lixiviado do solo ocorreram nos tratamentos com 4 e 6 t ha<sup>-1</sup>. Os autores não encontraram evidência de toxicidade de Na em plantas de eucalipto em virtude das adições do resíduo da indústria de papel.

A recomendação da quantidade de lodo a ser aplicada deve ser feita tomando-se como base os teores de N no lodo e os requerimentos da cultura nesse nutriente (CETESB, 1999). A aplicação de doses de lodo baseadas na exigência da cultura em N requer a utilização de uma fração de mineralização do lodo para calcular o N que estará disponível para a planta. Esta taxa é obtida por meio da incubação do lodo em condições de laboratório e pode, portanto, não ser uma estimativa acurada da

mineralização sob condições de campo. Deve-se também considerar que as quantidades de N exigidas pelas culturas e fornecidas pelos fertilizantes são aplicadas de forma parcelada e em períodos de maior demanda da cultura, evitando-se que ocorram perdas para o meio ambiente (VIEIRA & CARDOSO, 2002). Segundo RODELLA & ALCARDE (2001) o uso de fontes alternativas de nutrientes, tais como lodos de tratamento biológico, compostos de lixo urbano e diferentes tipos de resíduos industriais, etc às plantas, tem sido apresentado como uma opção para o seu descarte. Resíduos e materiais fertilizantes alternativos têm seu uso agrícola fundamentado no aproveitamento de uma fonte de nutrientes, em geral de baixa concentração e de baixo custo, o que poderá levar à aplicação de doses relativamente elevadas, para favorecer a opção de descarte no solo. Não por acaso, a questão básica que permeia estudos de aplicação desses materiais é a determinação da dose máxima que pode ser empregada como fonte de nutrientes sem conseqüências indesejáveis para o meio ambiente.

ANJOS & MATIAZZO (2000) avaliaram, num experimento em vasos, a lixiviação de  $\text{NO}_3^-$  em solos repetidamente tratados com biossólido, e concluíram que biossólidos, em doses médias de  $78 \text{ t ha}^{-1}$ , proporcionaram aumento na quantidade de  $\text{NO}_3^-$  lixiviada de 35 (testemunha) a  $96 \text{ mg L}^{-1}$ . Os autores afirmam que, diante desses resultados, a aplicação repetida de  $78 \text{ t ha}^{-1}$  de biossólido contribui para elevação da concentração de  $\text{N-NO}_3^-$ , com potencial para contaminação de aquíferos.

OLIVEIRA et al. (2001) avaliaram a lixiviação de nitrato com a aplicação de fertilizante nitrogenado mineral e de composto de lixo urbano em um Latossolo Amarelo distrófico cultivado com cana-de-açúcar. Com a aplicação do adubo e do composto de lixo houve aumento da concentração de  $\text{N-NO}_3^-$  na solução do solo a 0,3; 0,6 e 0,9 m de profundidade. As perdas de nitrogênio verificadas na camada de 0-0,9 m evidenciaram o potencial poluente do fertilizante mineral e do composto de lixo. Os autores concluíram que os riscos devidos à lixiviação de nitrato devem ser considerados no planejamento de quantidades e freqüência de aplicação desse resíduo em áreas agrícolas e neste caso a monitorização do solo e da sua solução em profundidade é essencial para evitar riscos à qualidade das águas subterrâneas.

SILVEIRA et al. (2005) avaliaram o efeito fertilizante do lodo gerado pela Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) de uma indústria de gelatina, assim como estudaram o efeito de diferentes doses do lodo sobre plantas de aveia. Os tratamentos estudados foram os seguintes: 1) testemunha (solo natural); 2) fertilizante mineral NPK + calagem; 3) lodo tratado pela ETE ( $500 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ); 4) lodo tratado pela ETE ( $1000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ); 5) lodo não tratado pela ETE ( $500 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ). A maior dose de lodo tratado ( $1000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ) forneceu ao solo, em  $\text{kg ha}^{-1}$ : N total (83), P total (50), K total (33), Ca total (294), Mg total (34) e Na total (728). A produção de matéria seca obtida no tratamento com fertilizante mineral e calagem (tratamento 2) foi semelhante ao tratamento 4 ( $1000 \text{ t ha}^{-1}$  de lodo tratado). As quantidades de nitrogênio e fósforo na parte aérea da aveia foram maiores no tratamento 4, seguido pela testemunha com fertilizante, mas também não houve diferença estatística entre esses tratamentos. Os teores de cálcio, magnésio e potássio na parte aérea da aveia foram maiores na testemunha adubada, seguido do tratamento 4. Observou-se uma diferença acentuada nos teores de sódio entre os tratamentos, sendo que as plantas que receberam aplicação de lodo no solo (tratamentos 3, 4 e 5) apresentaram teores de 4,43; 6,41 e 2,49  $\text{mg g}^{-1}$  de matéria seca desse elemento respectivamente. Segundo os autores, os valores observados estão dentro dos teores normais encontrados em tecido vegetal. Os resultados das análises de solo, após a colheita da aveia, mostraram que o tratamento que recebeu calagem foi o que apresentou o maior valor de pH (6,7), seguido dos tratamentos 4, 3, 1 e 5 (5,4; 5,3; 3,7 e 3,6, respectivamente). Os autores concluíram que o lodo tratado possui efeito corretivo no solo e fertilizante para a cultura da aveia.

ARAUJO et al. (2005) conduziram experimento em laboratório com o objetivo de avaliar o efeito de lodo de indústria de gelatina em atributos químicos do solo. O resíduo foi aplicado na superfície do solo sem incorporação. Os tratamentos principais foram cinco doses de lodo, equivalentes a 0; 30; 60; 90 e  $120 \text{ t ha}^{-1}$  (base úmida) e os tratamentos secundários foram duas profundidades de amostragem (0 a 1 e 1 a 5 cm). Não houve efeito significativo do lodo de indústria de gelatina nos teores de matéria orgânica, assim como não houve efeito na CTC, nas duas profundidades. Foi observado um aumento de 1,2 unidade de pH na camada superior com a aplicação do

lodo. Na camada inferior o valor de pH permaneceu constante, indicando que o efeito do lodo ficou restrito à camada de aplicação. O mesmo comportamento foi observado para o fósforo, ocorrendo aumento linear com as doses de lodo aplicadas, em que a dose de  $120 \text{ t ha}^{-1}$  resultou em aumento de  $10 \text{ mg dm}^{-3}$  de P em relação à testemunha. Houve resposta quadrática às doses do lodo para as concentrações de sódio na camada superior, enquanto na camada inferior houve uma resposta linear. No tratamento que recebeu  $120 \text{ t ha}^{-1}$  de lodo a concentração de Na, na camada superior, foi igual a  $0,98 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , 13 vezes maior do que no tratamento testemunha ( $0,075 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), propiciando saturação de 1,48% na CTC, valor muito abaixo do limite mínimo considerado na classificação para solos sódicos, que é de 15% de  $\text{Na}^+$  trocável na CTC (BOHNEN et al., 2000). Assim, além de efeitos benéficos no pH e na disponibilidade de P, a aplicação do lodo não levou à concentrações de sódio que possam ser consideradas prejudiciais.

### III. MATERIAL E MÉTODOS

Foi realizado experimento em casa de vegetação na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, em Jaboticabal (SP), no período de novembro de 2004 a maio de 2005. No estudo foram empregados lodo de indústria de gelatina, colunas de PVC e um Latossolo Vermelho-Amarelo, textura argilosa, coletado no município de Mococa (SP), nas profundidades de 0 a 5, 5 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 cm. Após secagem ao ar e a sombra, o solo foi destorroado, passado em peneira com 4 mm de abertura de malha, homogeneizado e amostrado, separadamente. A caracterização química (Tabela 1) foi feita seguindo-se o procedimento descrito em RAIJ et al. (2001) e a granulométrica (Tabela 2), conforme CAMARGO et al. (1986).

Tabela 1. Caracterização química inicial do solo do experimento.

Profundidade	P resina	M.O.	pH	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	H+Al	SB	CTC	V
cm	mg dm <sup>-3</sup>	g dm <sup>-3</sup>	CaCl <sub>2</sub>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>						%
0-5	8	31	4,4	1,1	20	2	58	23	81	28
5-20	7	29	4,1	1,1	8	1	72	10	82	12
20-40	7	23	4,1	1,0	8	1	58	10	68	15
40-60	1	18	4,3	0,7	7	1	47	9	56	16

Tabela 2. Análise granulométrica do solo do experimento.

Profundidade	Argila	Silte	Areia fina	Areia grossa	Classe textural
cm	g kg <sup>-1</sup>				
0-5	450	120	240	190	Argilosa
5-20	450	130	220	200	Argilosa
20-40	460	140	210	190	Argilosa
40-60	470	140	210	180	Argilosa

As colunas de PVC com 20 cm de diâmetro foram constituídas por quatro anéis, correspondentes às profundidades de coleta do solo. Os anéis foram unidos por fita adesiva, sendo um anel com 7 cm de altura (5 cm + 2 cm para facilitar colocação de



água), um anel com 15 cm de altura e dois anéis com 20 cm de altura. Para evitar escoamento preferencial de água nas colunas, foi colada mistura de areia grossa e fina (3:1), previamente lavada com solução de HCl e água desionizada, nas paredes internas das colunas. Para colar a mistura de areias foi feita a aplicação de uma camada de resina líquida nas paredes do tubo de PVC e, posteriormente, espalhada a mistura de areias. Na parte inferior das colunas foram acoplados "caps" que tinham um sistema de dreno composto por areia grossa e fina (3:1) sobre uma camada de esferas de isopor de 15 mm de diâmetro e uma mangueira de borracha com 1,0 cm de diâmetro.

O lodo utilizado foi fornecido pela Gelita do Brasil, unidade de Mococa (SP) e é resultado do fabrico de gelatina a partir de tratamento de raspas e aparas de couro de bovino com solução de hidróxido de sódio ou de cal em pH em torno de 12,5. A gelatina é extraída com água quente e do processo sobra o resíduo utilizado. Na indústria de Mococa são produzidas 6 t de lodo por tonelada de gelatina e a produção diária de gelatina é de 12 t.

Para obtenção do resíduo que foi usado no experimento foi feita coleta de 10 amostras compostas de lodo, em intervalos de uma semana entre uma coleta e outra. Cada amostra composta foi obtida a partir da retirada de 10 amostras simples de um tanque de agitação da indústria, empregando-se recipiente de aproximadamente 0,5 L de capacidade, equivalendo cada introdução do recipiente no tanque, a coleta de uma amostra simples. As amostras simples foram coletadas em diferentes pontos e profundidades do tanque, recebidas em balde e, depois de bem misturadas, formaram cada uma das amostras compostas. Em seguida, cada amostra foi subdividida em subamostras que foram secas em banho-maria a 60°C, até obter massa seca que foi triturada em almofariz de porcelana, passada em peneira de 2 mm de abertura de malha, reunidas novamente e armazenada. Esse procedimento foi repetido nas demais amostragens e, ao final, todas as amostras foram juntadas para se obter cerca de 2 kg de lodo da indústria de gelatina moído, que se constituiu no resíduo que foi caracterizado quimicamente e depois empregado no experimento com solo. As características químicas do resíduo, expressas em base seca, foram: C orgânico = 240

g kg<sup>-1</sup>; N total = 30 g kg<sup>-1</sup>; P = 3 g kg<sup>-1</sup>; K = 0,4 g kg<sup>-1</sup>; Ca = 135 g kg<sup>-1</sup>; Mg = 7,4 g kg<sup>-1</sup>; S = 7,7 g kg<sup>-1</sup>; Na = 16 g kg<sup>-1</sup>; Cu = 7 mg kg<sup>-1</sup>; Mn = 116 mg kg<sup>-1</sup>; Zn = 82 mg kg<sup>-1</sup>; Fe = 2714 mg kg<sup>-1</sup>; Cr = 18 mg kg<sup>-1</sup>; Ni = 9 mg kg<sup>-1</sup>; Pb = 3 mg kg<sup>-1</sup>; Cd não foi detectado. O carbono orgânico foi determinado por meio de digestão sulfocrômica (TEDESCO et al., 1985). O nitrogênio foi determinado por destilação em extrato de digestão sulfúrica e os demais elementos foram determinados em extrato de digestão nítrico-perclórica (BATAGLIA et al., 1983).

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente ao acaso com cinco tratamentos, as doses de lodo (0; 90; 180; 270 e 360 t ha<sup>-1</sup>, equivalendo a 0; 14,2; 28,4; 42,6 e 56,8 g/coluna), e seis repetições. As doses foram parceladas em três aplicações, em quantidades equivalentes a 0; 30; 60; 90 e 120 t ha<sup>-1</sup> (base úmida), correspondendo a 0; 1,5; 3,0; 4,5 e 6,0 t ha<sup>-1</sup> de matéria seca, sendo a primeira dose aplicada antes da montagem das colunas, a segunda após o primeiro corte do capim-tanzânia e, a terceira, após o segundo corte.

Com base no índice de saturação por bases inicial do solo da camada de 0 a 5 cm e de 5 a 20 cm, foram calculadas, separadamente, as quantidades do carbonato de cálcio p.a. e de hidroxicarbonato de magnésio p.a. a aplicar, na proporção Ca:Mg de 3:1, para elevar o V a 70% (RAIJ et al., 1996). Ao volume de solo de 1,62 dm<sup>3</sup>, correspondente ao 1º anel da coluna (profundidade de 0 a 5 cm) foram aplicadas e misturadas as quantidades correspondentes de corretivos e de lodo de cada tratamento. A dose do resíduo foi calculada com base na área do anel e a incorporação de 0 a 5 cm foi feita para simular o que é feito em condições de campo. O solo foi umedecido a 60% da capacidade de retenção de água, com água desionizada, e deixado para incubar em vasos de alumínio com capacidade para 2 L durante 40 dias, ajustando-se a umidade do solo em dias alternados. Aos 30 dias de incubação foi feita adubação com solução contendo: sulfato de amônio (17,5 mg dm<sup>-3</sup> de N e 20 mg dm<sup>-3</sup> de S), cloreto de potássio (100 mg dm<sup>-3</sup> de K), fosfato monoamônico (200 mg dm<sup>-3</sup> de P e 90,5 mg dm<sup>-3</sup> de N), sulfato de cobre (0,5 mg dm<sup>-3</sup> de Cu), sulfato de zinco (1,0 mg dm<sup>-3</sup> de Zn), MnCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O (2,0 mg dm<sup>-3</sup> de Mn) e molibdato de amônio (0,02 mg dm<sup>-3</sup> de Mo). No volume de solo de 4,87 dm<sup>3</sup>, correspondente ao 2º anel (solo da camada de 5

a 20 cm) foram aplicados apenas corretivos da acidez, com o solo sendo umedecido a 60% da capacidade de retenção de água, com água desionizada, e deixado para incubar em vasos de alumínio com capacidade para 5,5 L durante 30 dias, ajustando-se a umidade do solo em dias alternados.

Após a incubação o solo dos vasos foi seco sobre pedaços de plástico, destorroado, passado em peneira de 4 mm de abertura de malha, homogeneizado, e cerca de 0,38 dm<sup>3</sup> da camada de 0 a 5 cm e de 0,5 dm<sup>3</sup> da camada de 5 a 20 cm foram coletados para análise química de rotina, de Na<sup>+</sup> trocável extraído com solução de NH<sub>4</sub>Cl 1 mol L<sup>-1</sup> e condutividade elétrica na relação solo:água 1:5 (RAIJ et al., 2001).

Em seguida as colunas foram preenchidas com solo seco obedecendo a disposição natural no campo, ou seja, o solo correspondente a camada de 40 a 60 cm ocupou o anel inferior (4° anel), o da camada de 20 a 40 cm ocupou o 3° anel, o da camada de 5 a 20 cm o 2° anel e, o da camada de 0 a 5 cm, o anel superior (1° anel).

Cinco dias após o umedecimento do solo a 60% da capacidade de retenção de água, com água desionizada, foi realizada a semeadura do capim-tanzânia a cerca de 1 cm de profundidade. Depois de quatro dias, a maioria das plântulas havia emergido, e aos 12 dias da emergência, foi realizado o desbaste, deixando-se quatro plantas por coluna.

Após 35 dias da emergência, realizou-se adubação com solução de nitrato de potássio (120 mg dm<sup>-3</sup> de K e 43,08 mg dm<sup>-3</sup> de N), sulfato de amônio (20 mg dm<sup>-3</sup> de S e 17,5 mg dm<sup>-3</sup> de N) e uréia (59,41 mg dm<sup>-3</sup> de N) em todas as colunas.

Aos 48 dias após a emergência foi feito o primeiro corte das plantas, a cerca de 10 cm da superfície do solo. Após o primeiro corte foi feita a segunda aplicação de lodo seco, de acordo com os tratamentos, na superfície do solo, sem incorporação. Entre o primeiro e o segundo cortes do capim, foram feitas três adubações, sendo que, na primeira semana após a aplicação de lodo, foram adicionados 100 mg dm<sup>-3</sup> de N, 75 mg dm<sup>-3</sup> de K e 20 mg dm<sup>-3</sup> de S nas formas de sulfato de amônio, nitrato de potássio e uréia, e, na segunda e na terceira semanas, foram aplicados 100 mg dm<sup>-3</sup> de N e 75 mg dm<sup>-3</sup> de K nas formas de nitrato de potássio e uréia. Na Figura 1 é apresentado aspecto geral do experimento na casa de vegetação, uma semana após o primeiro corte.



Figura 1. Aspecto geral do experimento na casa de vegetação, uma semana após o primeiro corte.

O segundo corte de plantas foi feito 30 dias após o primeiro, e, em seguida, foi feita a última aplicação de lodo na superfície do solo das colunas e o experimento foi conduzido por mais 35 dias, quando foi colhida a parte aérea do capim fazendo-se o corte rente ao solo.

O material vegetal colhido foi colocado e mantido em refrigerador a 4°C, até ser lavado em água corrente, com solução de detergente neutro (1 mL L<sup>-1</sup>) e em água desionizada (por três vezes). Em seguida, as plantas foram secas em estufa com circulação forçada de ar, com temperatura em torno de 65°C, até atingirem peso constante, e depois foram moídas em moinho tipo Willey com peneira de 20 mesh. Após digestão nítrico-perclórica foram determinados os teores de Ca e Mg por espectrofotometria de absorção atômica, de P, por colorimetria, de K e Na por fotometria de chama e de S por turbidimetria. O N total foi determinado após digestão sulfúrica, por destilação em aparelho Kjeldahl e quantificação por titulação (BATAGLIA et al., 1983).

Três dias antes de cada um dos cortes foi feita aplicação de água em excesso nas colunas, até obter volume de lixiviado de aproximadamente 0,5 L. Os resultados relativos a lixiviação não serão apresentados tendo em vista a discrepância encontrada.

Depois do terceiro corte as colunas foram desmontadas e coletadas duas amostras de solo de cada anel. Uma das amostras foi conservada em freezer para posterior determinação de N amoniacal e N nítrico, segundo SILVA et al. (1999), e a outra foi seca ao ar para caracterização química de rotina e  $\text{Na}^+$  trocável (RAIJ et al., 2001) e N total (TEDESCO et al., 1985).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, teste de comparação de médias (Tukey, a 5%) e regressão polinomial. Na análise estatística dos resultados das análises de solo, ao final do cultivo, foi empregado delineamento em parcelas subdivididas, tendo como parcelas as doses de lodo e, nas subparcelas, as profundidades. Nas demais análises estatísticas, foram utilizadas análises de variância em delineamento inteiramente ao acaso.

## IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Efeito de lodo da indústria de gelatina na fertilidade do solo

Na Tabela 3 é apresentada a caracterização química do solo após a sua incubação com corretivos, adubos e lodo (primeira aplicação). No solo correspondente a camada de 0 a 5 cm verificou-se efeito dos tratamentos nos valores de pH, nos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Na}^+$  trocáveis e na condutividade elétrica. A calagem foi feita para elevação do V a 70%, com um pH em  $\text{CaCl}_2$  esperado de 5,4, o que foi encontrado no tratamento que não recebeu lodo, em que o V obtido foi de 61%. Nos tratamentos que receberam lodo houve aumento do V% em função das doses do resíduo, com aumento compatível nos valores de pH em  $\text{CaCl}_2$ . A variação nos teores de P e de K são praticamente devidas às adubações minerais feitas, que apresentaram duas características: uso de substâncias p.a. e, embora o cálculo tenha sido feito para profundidade de 0 a 20 cm, a mistura foi feita com solo da profundidade de 0 a 5 cm, o que significou aplicar, nesta camada, o correspondente a 4 vezes a quantidade caso tivesse sido feita mistura efetiva com solo da camada de 0 a 20 cm. Não houve efeito do lodo na concentração do P disponível e, ao mesmo tempo, apenas parte (cerca de 43%) do P solúvel adicionado foi recuperado, o que reflete, conforme BEDIN et al. (2003), a forte adsorção do elemento em solos argilosos como o aqui empregado.

Os aumentos nos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  trocável no solo refletem a calagem e a contribuição do lodo de indústria de gelatina. A calagem propiciou aumento dos teores iniciais de  $20 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de TFSA para  $36 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$  (Tabela 3). Embora o tempo de incubação não tenha permitido total mineralização do lodo, este provocou aumentos significativos em função das doses adicionadas. Ainda, na Tabela 3 são observados efeitos significativos nos teores de  $\text{Na}^+$  (amplitude de 0,1 a  $4,8 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) e na condutividade elétrica do solo (amplitude de 553 a  $996 \mu\text{S cm}^{-1}$ ). Em ambos os casos foram observados aumentos em função das doses aplicadas. Também na Tabela 3 verifica-se que para o solo, da camada de 5 a 20 cm, que recebeu apenas corretivos de acidez, os resultados estão coerentes com os tratamentos feitos. ARAUJO et al. (2005), com aplicação de mesmo tipo de lodo na superfície do solo, sem incorporação,

verificaram que houve efeito significativo de doses nos parâmetros de fertilidade do solo analisados, havendo efeito de profundidade, nos valores de pH, de P e de Na.

Tabela 3. Caracterização química de solo após incubação com corretivos, adubos e lodo.

Lodo	P resina	M.O	pH CaCl <sub>2</sub>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	H+Al	SB	CTC	V	CE
t ha <sup>-1</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	g dm <sup>-3</sup>		----- mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----							%	μS cm <sup>-1</sup>
Camada de 0 a 5 cm												
0	341	32	5,4d <sup>1</sup>	6,5	36e	13	0,1e	35	56	91	61	553e
30	360	33	5,5d	6,5	49d	13	1,2d	33	70	103	68	683d
60	357	32	5,8c	6,5	66c	14	2,6c	28	89	117	76	837c
90	370	33	6,1b	6,5	78b	15	3,9b	23	103	126	82	911b
120	365	33	6,4a	6,3	93a	15	4,8a	19	119	138	86	996a
Camada de 5 a 20 cm												
	9	30	5,4	0,9	31	14	0,1	29	46	75	61	218

<sup>1</sup> nas colunas, médias de pH, Ca<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup> e CE (condutividade elétrica) seguidas de mesmas letras, não diferem entre si.

Na Tabela 4 é apresentada a caracterização química de amostras do solo coletadas no final do experimento, após colheita do capim-tanzânia, em função de doses de lodo e de profundidades.

A profundidade afetou os teores de matéria orgânica, os valores de pH e os teores de P, de K, de Ca, de Mg e de Na (Tabela 4). Houve diminuição da M.O. com a profundidade, o que é evidenciado ao se comparar os dados finais (Tabela 4) com os iniciais (Tabela 1), ocorrendo tendência de diminuição de teores com a profundidade inclusive nos tratamentos com aplicação de lodo. No tocante ao P ocorreu acúmulo na camada de 0 a 5 cm, o que está relacionado com a adição de P solúvel nesta camada e a alta capacidade de retenção desse nutriente em solo argiloso (BEDIN et al., 2003). Quanto aos valores de pH, com base nos dados iniciais (Tabela 1), observa-se que houve aumento com a profundidade devido a calagem (dose 0 t ha<sup>-1</sup> de lodo) e a calagem e ao lodo da indústria de gelatina aplicado (doses crescentes de lodo).

Tabela 4. Características químicas em amostras de solo coletadas no final do experimento com capim-tanzânia em função de doses de lodo e de profundidades.

Característica	Profundidade (cm)	Doses de lodo (t ha <sup>-1</sup> )				
		0	90	180	270	360
M O (g dm <sup>-3</sup> )	0-5	31,67a <sup>1</sup>	31,50a	31,33a	32,00a	32,33a
	5-20	27,50b	28,17b	28,33b	27,33b	27,50b
	20-40	21,17c	21,67c	21,50c	22,00c	22,33c
	40-60	17,67d	17,67d	17,83d	18,00d	18,67d
N total (g kg <sup>-1</sup> )	0-5	1,22	1,20	1,27	1,38	1,45
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	0-5	3,16a	3,85a	2,42a	2,79a	2,69a
	5-20	2,79a	3,13a	2,17a	2,73a	2,43a
	20-40	3,49a	1,87a	2,95a	2,74a	2,47a
	40-60	3,43a	2,24a	2,05a	2,67a	3,04a
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	0-5	2,76a	2,99a	2,05a	2,04a	2,16a
	5-20	2,22a	2,42a	2,19a	2,60a	2,05a
	20-40	2,45a	1,38a	1,91a	1,13a	2,32a
	40-60	2,34a	2,20a	2,28a	2,25a	2,22a
pH	0-5	4,15a	5,10a	5,52a	6,23a	6,40a
	5-20	4,68b	4,77b	4,83b	4,92b	5,15b
	20-40	4,30c	4,33c	4,37c	4,35c	4,38c
	40-60	4,48c	4,50c	4,57d	4,55d	4,57d
P (mg dm <sup>-3</sup> )	0-5	72,33a	77,00a	79,17a	86,17a	94,33a
	5-20	6,33b	6,83b	6,67b	6,67b	7,33b
	20-40	3,17bc	3,67bc	3,67bc	3,67bc	4,00bc
	40-60	2,00c	2,17c	2,00c	2,00c	2,00c
K (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0-5	0,82a	0,65a	0,60a	0,58a	0,55a
	5-20	0,35b	0,37b	0,35b	0,30b	0,33b
	20-40	0,18c	0,17c	0,18c	0,13c	0,13c
	40-60	0,10d	0,10c	0,12c	0,10c	0,10c
Ca (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0-5	9,83b	37,33a	48,00a	92,67ca	114,83a
	5-20	16,83a	19,00b	20,17b	21,00b	27,33b
	20-40	8,00b	8,67c	8,67c	9,83c	10,00c
	40-60	8,67b	9,17c	9,33c	9,83c	9,83c
Mg (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0-5	0,90b	1,50a	2,00a	3,67ca	4,00a
	5-20	1,83a	1,50a	1,33b	1,40b	1,33c
	20-40	2,00a	2,00a	2,00a	1,90b	2,00b
	40-60	1,50ab	1,50a	1,67ab	1,67b	1,83bc
Na (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0-5	0,18a	0,46a	0,63a	0,92a	0,90a
	5-20	0,15a	0,21b	0,25b	0,30b	0,38b
	20-40	0,12a	0,15b	0,19b	0,21b	0,23c
	40-60	0,12a	0,16b	0,20b	0,21b	0,24c

<sup>1</sup> Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5%.



O K, embora tenha mantido teores maiores nas duas camadas mais superficiais, sofreu importante diminuição com a profundidade; enquanto os teores de Ca se mantiveram com maiores concentrações nas duas camadas mais superficiais, e o Mg, apesar de apresentar maior concentração na camada de 0 a 5 cm, apresentaram tendência a maior lixiviação, com importante contribuição para as camadas mais profundas (Tabela 4).

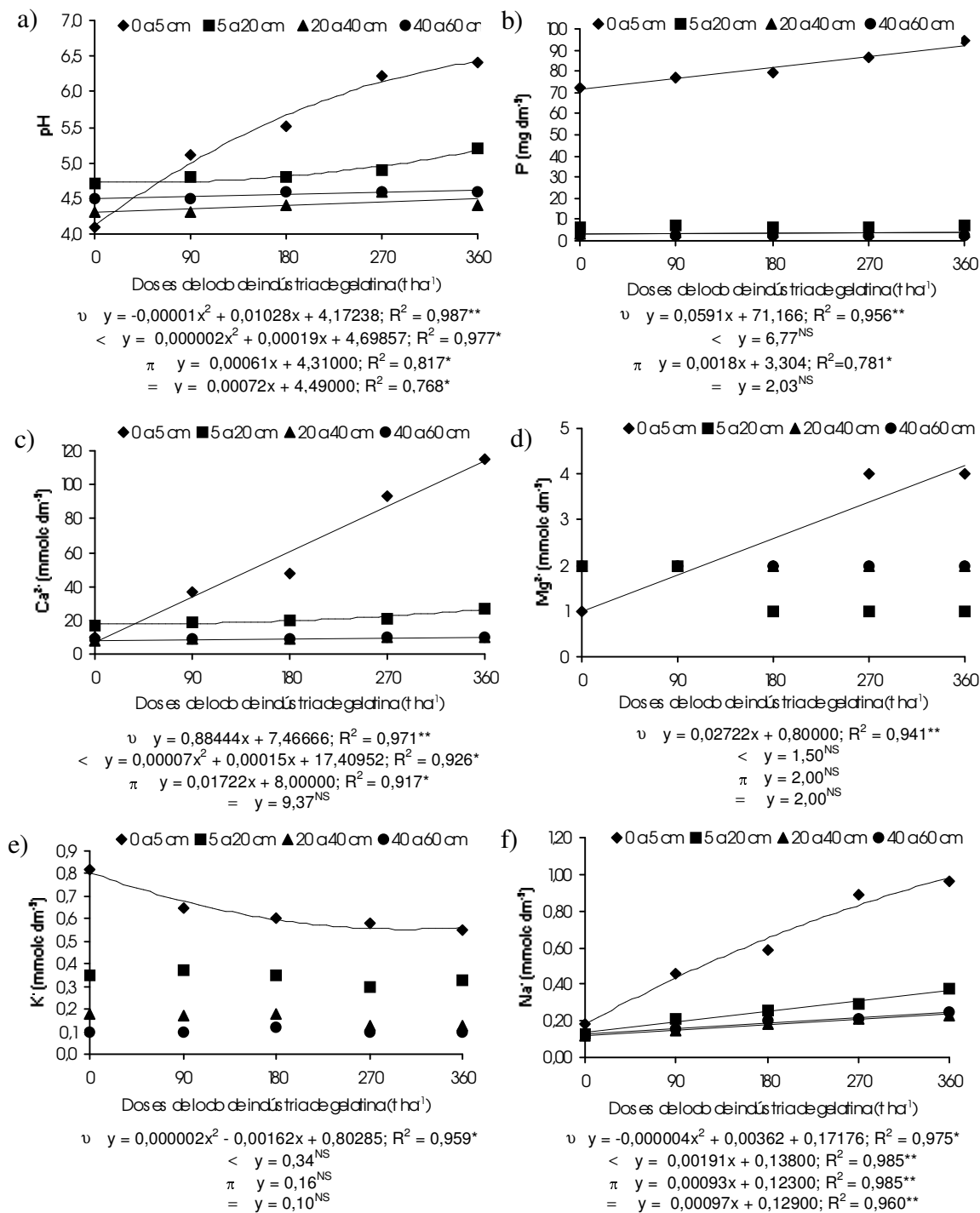
Por último, foi observado aumento do teor de  $\text{Na}^+$  trocável com a profundidade, com efeitos significativos entre a camada de 0 a 5 cm e as demais (doses 0, 90, 180 e  $270 \text{ t ha}^{-1}$  de lodo) e entre as camadas 0 a 5 cm, 5 a 20 cm e demais, com a dose de  $360 \text{ t ha}^{-1}$  de lodo.

Não houve efeito significativo da profundidade das colunas nos teores de  $\text{N-NH}_4^+$  e  $\text{N-NO}_3^-$  (Tabela 4). Apesar da ausência de efeitos significativos, na camada de 0 a 5 cm os teores de  $\text{N-NH}_4^+$  e de  $\text{N-NO}_3^-$  são, respectivamente, 3% e 6% maiores do que os da camada de 40 a 60 cm. Resultados semelhantes foram encontrados por GHERI et al. (2003) em experimento com adição de soro de leite, cuja planta-teste foi o capim-tanzânia. No entanto, MANTOVANI et al. (2005a), com alface, observaram aumentos nos teores de  $\text{N-NO}_3^-$  e  $\text{N-NH}_4^+$ , em profundidade, com aplicação de composto de lixo. A diferença do sistema radicular entre as plantas (capim e alface) e a necessidade de água que têm, mais que o tipo de resíduo, devem explicar o tipo de resposta observada. De qualquer modo, os teores de  $\text{N-NH}_4^+$  do solo, em todas as camadas, ao final do cultivo foram, em média, 26% maiores do que os de  $\text{N-NO}_3^-$ . O predomínio da forma amoniacal em relação à nítrica pode ser explicado pela aplicação recente de água em excesso a que estiveram submetidas as colunas, em que o  $\text{NO}_3^-$  foi, provavelmente, removido e o  $\text{N-NH}_4^+$  acabou retido na fase sólida, aliado a um período provavelmente desfavorável à nitrificação nos anéis inferiores, devido a condições anaeróbicas que foram criadas, momentaneamente, pelo excesso de água.

O lodo não teve efeito significativo nos teores de matéria orgânica do solo (Tabela 4), tendo no valor do pH em  $\text{CaCl}_2$  e nos teores de P, Ca, Mg e Na, na camada de 0 a 5 cm (Figura 2). Houve resposta linear às doses do lodo de indústria de gelatina nos teores de P na profundidade de 0 a 5 cm (Figura 2b) e os aumentos nos valores de

pH foram quadráticos para as profundidades de 0 a 5 e de 5 a 20 cm e lineares para as profundidades de 20 a 40 e 40 a 60 cm (Figura 2a). Houve resposta linear às doses do lodo para os teores de Ca e Mg na camada de 0 a 5 cm (Figura 2c e 2d) e, quanto aos teores de K, ocorreu efeito quadrático na profundidade de 0 a 5 cm (Figura 2e), observando-se uma diminuição até a dose estimada de  $311 \text{ t ha}^{-1}$ . Para os teores de Na houve resposta quadrática às doses do lodo na camada de 0 a 5 cm e, nas demais camadas, as respostas foram lineares (Figura 2f). Os aumentos observados foram de 54% (pH), 30% (P), 1068% (Ca), 344% (Mg) e 400% (Na), quando comparado o tratamento que recebeu a maior dose de lodo e a testemunha na camada de 0 a 5 cm. A maior média observada para Na ( $0,92 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$  com a dose de  $270 \text{ t ha}^{-1}$ ), que representa 0,79% de saturação do elemento na CTC, está muito abaixo do limite mínimo considerado prejudicial em solos afetados por sais, que é de 15% de sódio trocável na CTC (BOHNEN et al., 2000). Aumentos no valor de pH e nos teores de P, Ca, Mg e Na com a adição de lodo de indústria de gelatina também foram constatados por outros autores (ARAUJO et al., 2005; SILVEIRA et al., 2005). Com o K trocável, na camada de 0 a 5 cm, houve efeito significativo com a adição de lodo, ocorrendo uma diminuição de 33% (de 0,82 para  $0,55 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), quando foi comparado o tratamento que recebeu a maior dose de lodo, com a testemunha. Provavelmente, a diminuição do teor de potássio se deva principalmente ao aumento de produção de matéria seca do capim-tanzânia em função da adição do lodo da indústria de gelatina.

Quanto ao sódio houve aumento linear com as doses em todas as profundidades (Figura 2f). Finalmente, o teor de N total na camada de 0 a 5 cm aumentou com as doses do lodo, segundo a equação:  $y = 0,0007x + 1,176$  ( $R^2 = 0,885^{**}$ ). Resultados semelhantes foram encontrados por GHERI et al. (2003) em experimento com adição de soro ácido de leite.



**Figura 2.** Efeito de doses de lodo de indústria de gelatina nos valores de pH (a) e nos teores de P resina (b), Ca trocável (c), Mg trocável (d), K trocável (e) e Na trocável (f). <sup>NS</sup>, <sup>\*\*</sup> e <sup>\*</sup>: não significativo e significativo a 1% e a 5% de probabilidade, respectivamente.

## **Efeito de lodo da indústria de gelatina na produção de matéria seca de capim-tanzânia**

Na Tabela 5 estão apresentadas as produções de matéria seca do capim-tanzânia obtidas no primeiro, segundo e terceiro cortes e o total produzido, assim como a análise de variância. Houve efeito significativo das doses de lodo na produção de matéria seca do capim apenas no terceiro corte, com a relação doses de lodo e produção de MS descrita pela equação:  $y = 0,0232x + 78,48$  ( $R^2 = 0,835^{**}$ ), em que  $y =$  g de matéria seca de capim-tanzânia por coluna e  $x = t \text{ ha}^{-1}$  de lodo (base úmida). O tratamento que recebeu a dose maior de lodo apresentou produção de matéria seca 5,7; 8,3 e 11,9% maior do que o tratamento testemunha no primeiro, segundo e terceiro cortes, respectivamente.

Quando no final do experimento as colunas foram desmontadas observou-se que as raízes do capim-tanzânia concentravam-se na profundidade de 0 a 20 cm, não sendo praticamente encontradas raízes nas profundidades de 20 a 40 e de 40 a 60 cm. A explicação mais plausível para esta distribuição das raízes está no acúmulo de P na camada superficial (Tabela 4) o que, de acordo com MARCHNER (1995), citado por SARMENTO (2005), afeta o crescimento das raízes, com a densidade de raízes aumentando rapidamente na região com maior concentração do nutriente ou do fertilizante. GHERI et al. (2003) trabalharam com colunas que apresentavam diâmetro de 25 cm e obtiveram produção máxima de 350 g/coluna de matéria seca de capim-Tanzânia com a aplicação de  $390 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de soro de leite, o que significa produção de matéria seca de  $11,9 \text{ g dm}^{-3}$  de solo. No presente trabalho, em que o diâmetro da coluna foi de 20cm, a produção máxima de matéria seca foi de 272 g/coluna, obtida com a aplicação de  $360 \text{ t ha}^{-1}$  de lodo da indústria de gelatina, com produção de matéria seca de  $13,9 \text{ g dm}^{-3}$  de solo.

Tabela 5. Médias da produção de matéria seca do capim-tanzânia em função de doses de lodo, no primeiro, segundo e terceiro cortes e o total produzido.

Doses de lodo	M.S. 1° corte	Doses de lodo	M.S. 2° corte	Doses de lodo	M.S. 3°corte	M.S. Total
t ha <sup>-1</sup>	g/coluna	t ha <sup>-1</sup>	g/coluna	t ha <sup>-1</sup>	g/coluna	
0	102,5	0	70,8	0	77,5	250,8
30	106,7	60	74,2	90	80,8	261,7
60	100,0	120	73,3	180	85,0	258,3
90	100,8	180	77,5	270	83,3	261,6
120	108,3	240	76,7	360	86,7	271,7
----- Teste F -----						
Dose de lodo	0,625ns		1,80 ns		4,58**	1,41ns
CV%	10,57		6,55		4,99	5,93

<sup>ns</sup>Não-significativo. \*\* Significativo a 1% de probabilidade.

### **Efeito de lodo da indústria de gelatina na quantidade de nutrientes e de sódio absorvida pelas plantas**

Na Tabela 6 estão apresentadas as médias das quantidades de macronutrientes e sódio absorvidas pelo capim-tanzânia no primeiro, no segundo e no terceiro cortes. O Na absorvido pelas plantas aumentou significativamente de acordo com o incremento das doses de lodo nos três cortes. Os resultados obtidos com Na foram semelhantes aos observados por SILVEIRA et al. (2005) em experimento realizado com a adição de lodo da estação de tratamento de efluente de uma indústria de gelatina sobre aveia, em que ocorreu aumento desse elemento nas plantas de 0,54 para 197,15 mg/vaso.

O lodo afetou significativamente a quantidade de nutrientes absorvida pela planta exceto quanto a Ca no segundo corte e as de N, P, Ca e S no terceiro corte (Tabela 6). Ocorreu aumento das quantidades dos referidos nutrientes absorvidos de acordo com o aumento das doses de lodo.

Os efeitos das doses de lodo nas quantidades de macronutrientes e de Na extraídos pela parte aérea do capim-tanzânia são descritos pelas equações de regressão apresentadas na Tabela 7. Para o Na, observou-se aumento linear nos três

cortes. Houve aumento linear para o Ca, N e S no segundo e terceiro cortes. Já para o P ocorreu aumento linear apenas no terceiro corte.

Tabela 6. Quantidades de macronutrientes e de Na extraídos pela parte aérea do capim-tanzânia no primeiro, segundo e terceiro cortes, em função de doses de lodo.

Lodo	N	P	K	Ca	Mg	S	Na
t ha <sup>-1</sup>	----- g/coluna -----						
1° Corte							
0	1,34	0,14	1,06	0,44	0,26	0,06	0,014
30	1,43	0,14	1,05	0,39	0,29	0,06	0,028
60	1,21	0,13	1,02	0,37	0,29	0,05	0,050
90	1,22	0,14	1,10	0,33	0,28	0,06	0,065
120	1,28	0,14	1,04	0,38	0,34	0,06	0,148
Teste F	0,74ns	0,38ns	0,81ns	1,33ns	1,35ns	1,03ns	13,55**
C.V. %	20,67	10,89	6,12	21,49	22,29	13,20	57,34
2° Corte							
0	1,11	0,09	1,31	0,26	0,18	0,07	0,008
60	1,22	0,09	1,23	0,31	0,19	0,07	0,032
120	1,17	0,10	1,13	0,33	0,21	0,07	0,049
180	1,24	0,09	1,19	0,30	0,23	0,07	0,065
240	1,34	0,10	1,23	0,33	0,22	0,08	0,082
Teste F	1,56ns	1,05ns	0,80ns	5,33**	0,94ns	1,75ns	22,00**
C.V. %	13,69	9,79	14,63	9,52	24,22	11,33	32,03
3° Corte							
0	0,79	0,06	0,86	0,26	0,15	0,05	0,009
90	0,76	0,06	0,96	0,29	0,16	0,05	0,038
180	0,87	0,07	0,87	0,33	0,18	0,06	0,068
270	0,92	0,08	0,93	0,36	0,21	0,06	0,093
360	0,98	0,08	0,92	0,35	0,20	0,06	0,117
Teste F	4,17*	7,57**	0,59ns	3,97*	1,71ns	5,04**	18,58**
C.V. %	12,48	10,07	14,48	15,49	24,49	12,66	37,56

<sup>ns</sup> = não significativo. \* e \*\* significativo a 5% e a 1%, respectivamente, pelo teste F.

Tabela 7. Relações entre quantidades médias de nutrientes e Na na parte aérea do capim-tanzânia (y) e doses do lodo aplicadas (x).

Corte	Equação	R <sup>2</sup>	Corte	Equação	R <sup>2</sup>
	Na (g kg <sup>-1</sup> )			Ca (g kg <sup>-1</sup> )	
1°	Y = 0,1667 + 0,1015 X	0,8464**	1°		ns
2°	Y = 0,8643 + 0,3036 X	0,9940**	2°	Y = 0,2813 + 0,2111 X	0,5299**
3°	Y = 0,1070 + 0,3015 X	0,9979**	3°	Y = 0,2687 + 0,2611 X	0,8730**
-----					
	N (g kg <sup>-1</sup> )			P (g kg <sup>-1</sup> )	
1°		ns	1°		ns
2°	Y = 0,1119 + 0,7778 X	0,7146*	2°		ns
3°	Y = 0,7563 + 0,5944 X	0,7666**	3°	Y = 0,5933 + 0,5000 X	0,8477**
-----					
	S (g kg <sup>-1</sup> )				
1°		ns			
2°	Y = 0,6633 + 0,3889 X	0,7206*			
3°	Y = 0,7530 + 0,1200 X	0,7833**			

<sup>ns</sup> = não significativo. \* e \*\* significativo a 5% e a 1%, respectivamente, pelo teste F.

## V. CONCLUSÕES

- 1) A aplicação do lodo de indústria de gelatina aumenta a quantidade acumulada de Ca, N, P, S e Na na parte aérea das plantas.
- 2) Com a aplicação de até  $360 \text{ t ha}^{-1}$  de lodo de indústria de gelatina, não são encontradas concentrações de Na no solo consideradas prejudiciais.



## **VI. IMPLICAÇÕES**

Foram obtidas, neste estudo, informações sobre a utilização de lodo de indústria de gelatina como fertilizante orgânico. A utilização deste resíduo contribuiu para o aumento de matéria seca do capim-tanzânia, podendo ser utilizado, desde que seja feita a complementação com a adubação mineral.

As doses de lodo utilizadas neste experimento provocaram melhoria de alguns atributos químicos do solo, sem, contudo, provocar contaminação do meio ambiente. Outros estudos, utilizando doses diferentes e em condições de campo devem ser considerados com o objetivo de obter mais informações para uma disposição segura e eficiente deste resíduo.

## VII. REFERÊNCIAS

- ABREU Jr., C.H.; MURAOKA, T.; LAVORANTE, A.F.; ALVAREZ, V.F.C. Condutividade elétrica, reação do solo e acidez potencial em solos adubados com composto de lixo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, p.635-647, 2000.
- ANJOS, A.R.M.; MATTIAZZO, M.E. Lixiviação de íons inorgânicos em solos repetidamente tratados com bio sólido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, p.927-938, 2000.
- AQUINO NETO, V.; CAMARGO, O.A. Crescimento e acúmulo de crômio em alface cultivada em dois latossolos tratados com  $\text{CrCl}_3$  e resíduos de curtume. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, p.225-235, 2000.
- ARAÚJO, J.C.; MAY, A.; RODRIGUES, M.G.V.; MANTOVANI, J.R.; FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. Efeito do lodo de indústria de gelatina em atributos químicos do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., 2005, Recife. **Anais...Recife**: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 4p.CD-ROM.
- BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R.; GALLO, J.R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. 48p. (Boletim Técnico, 78)
- BEDIN, I.; FURTINI NETO, A.E.; RESENDE, A.V.; TOKURA, A.M.; SANTOS, J.Z.L. Fertilizantes fosfatados e produção da soja em solos com diferentes capacidades tampão de fosfato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.639-646, 2003.
- BOHN, H. L.; McNEAL, B.L.; O'CONNOR, G.A. **Soil chemistry**. New York: John Wiley & Sons, 1985. 341p.
- BOHNEN, H.; MEURER, E.J.; BISSANI, C.A. Solos ácidos e solos afetados por sais. In: MEURER, E.J. (ed.) **Fundamentos de química do solo**. Porto Alegre: Genesis, 2000. p.109-125.
- CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1986. 94p. (Boletim Técnico, 106)
- CASTILHOS, D.D.; TEDESCO, M.J.; VIDOR, C. Rendimentos de culturas e alterações químicas do solo tratado com resíduos de curtume e crômio hexavalente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, p.1083-1092, 2002.
- CETESB. **Aplicação de lodos de sistemas de tratamentos biológico em áreas agrícolas** - critérios para projeto e operação. São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente, 1999. 32p. (Cetesb. Norma P 4.230).

GHERI, E.O.; FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. Resposta do capim-tanzânia à aplicação de soro ácido de leite. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, p.753-760, 2003.

KONRAD, E.E.; CASTILHOS, D.D. Alterações químicas do solo e crescimento do milho decorrentes da adição de lodos de curtume. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, p.257-265, 2002.

MAAS, E.V. Crop tolerance to saline sprinkling water. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.89, p.273-284, 1985.

MANTOVANI, J.R.; FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. Nitrato em alface e mobilidade do íon em solo adubado com composto de lixo urbano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, p.681-688, 2005a.

MANTOVANI, J.R.; FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P.; BARBOSA, J.C. Alterações nos atributos de fertilidade em solo adubado com composto de lixo urbano. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v.29, p.817-824, 2005b.

MEURER, E.J.; BISSANI, C.A.; SELBACH, P.A. Poluentes do solo e do ambiente. In: MEURER, E.J. (ed.) **Fundamentos de química do solo**. Porto Alegre: Genesis, 2000. p.151-167.

OLIVEIRA, F.C.; MATTIAZZO, M.E.; MARCIANO, C.R.; MORAES, S.O. Percolação de nitrato em Latossolo Amarelo distrófico afetada pela aplicação de composto de lixo urbano e adubação mineral. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.731-741, 2001.

OLIVEIRA, F.C.; MATTIAZZO, M.E.; MARCIANO, C.R.; ABREU JUNIOR, C.H. Alterações em atributos químicos de um latossolo pela aplicação de composto de lixo urbano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, p.529-538, 2002.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A; FURLANI, A.M.C. Adubação orgânica. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A; FURLANI, A.M.C. (eds.) **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1996. p.30-31. (Boletim Técnico, 100)

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (eds.) **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285p.

REIMANN, P. Gelatina tem mercado promissor. **Gazeta Mercantil**, São Paulo, 28 mai. 2005.

RODELLA, A.A.; ALCARDE, J.C. Legislação sobre micronutrientes e metais pesados. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. (eds.) **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001. p.555-576.

SARMENTO, P. **Respostas agronômicas e morfológicas de *Panicum maximum* Jacq. (Acesso BRA-006998), sob pastejo, à adubação nitrogenada**. 2005. 92f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2005.

SILVA, S.C.; EIRA, P.A.; RAIJ, B. van; SILVA, C.A.; ABREU, C.A.; GIANELLO, C.; PÉREZ, D.V.; QUAGGIO, J.A.; TEDESCO, M.J.; ABREU, M.F.; BARRETO, W.O. Análises químicas para avaliação de fertilidade do solo. In: SILVA, F.C. (org.) **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. p.75-169.

SILVA, F.C.; BOARETTO, A.E.; BERTON, R.S.; COTELLI, H.B.; PEXE, C.A.; BERNARDES, E.M. Efeito de lodo de esgoto na fertilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, p.831-840, 2001.

SILVEIRA, A.O.; ROCHA, A.R.; SILVA, M.A.; TEDESCO, M.J.; SELBACH, P.A. Efeito fertilizante do lodo da Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) de uma indústria de gelatina sobre aveia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., 2005, Recife. **Anais...** Recife: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. CD-ROM.

TEDESCO, M.J.; VOLKWEISS, S.J.; BOHNEN, H. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: UFRGS, 1985. p.2.54-2.64.

VETTORAZZO, S.C.; AMARAL, F.C.S.; CHITOLINA, J.C. Potencial de lixiviação de nutrientes em um solo argiloso ácido após a aplicação de lama de cal proveniente de indústria de papel. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.755-763, 2001.

VIEIRA, R.F.; CARDOSO, A.A. Variações nos teores de nitrogênio mineral em solo suplementado com lodo de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, p.867-874, 2002.