

Atributos Físicos e Químicos de Área Degradada tratada com Lodo de Esgoto

A disposição final do lodo de esgoto no solo sem provocar condições ambientais adversas, depende, dentre outros fatores, das características físico-químicas e biológicas do solo, composição e quantidade do resíduo a ser aplicado e manejo adequado da cultura e vegetação no local de aplicação.

A composição química do lodo é de suma importância na recomendação da quantidade a ser aplicada no solo. As recomendações são normalmente baseadas no teor de nitrogênio levando-se em consideração as concentrações de metais pesados presentes na massa de lodo, além da presença de patógenos (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2006).

O nitrogênio é o elemento que geralmente limita o crescimento das plantas reduzindo-o quando não está presente em quantidade suficiente. Assim, o conhecimento da taxa de mineralização do N orgânico é um dos principais fatores que determinam a quantidade de lodo a ser aplicada no solo, sem provocar um excesso de nitrato que possa contaminar os mananciais de água.

Embora lodos de esgoto possuam um teor relativamente alto de carbono orgânico (variável entre 23 e 37% nos lodos utilizados neste experimento), após sua aplicação há um expressivo consumo de matéria orgânica no solo, até que seja alcançado novo equilíbrio da relação C:N (CRASWELL, 1978). Estima-se que toda a matéria orgânica contida no lodo é consumida na reação, o que indica que o lodo, na grande maioria dos casos, não se constitui como fonte de matéria orgânica em si. O resultado do equilíbrio no solo e na produção de biomassa que será incorporada ao solo, principalmente raízes, é que efetivamente promovem o aumento da matéria orgânica, portanto, via ciclagem de nutrientes.

Por ser um elemento em grande quantidade no solo, as variações nos estoques de carbono são lentas, difíceis de quantificar em curto prazo, pois são pequenas em relação à grande quantidade presente e variabilidade natural do solo. Mesmo aplicando-se grandes quantidades de matéria orgânica, obtém-se pequenas variações de carbono orgânico no solo. Por exemplo, para se obter um incremento próximo a 1% no teor de carbono do solo, seriam necessários aproximadamente 40 Mg ha⁻¹ de lodo (utilizando-se no cálculo os seguintes valores: densidade do solo: 1,27 kg dm⁻³; teor de C no lodo: 30%; fração de degradação de carbono do lodo: 15%). Tal dose de lodo, no entanto, disponibilizaria nitrogênio no solo em quantidades muito superiores às necessidades de uma cultura anual, tornando-se fonte potencial de contaminação ambiental, por lixiviação, por volatilização ou por desnitrificação. Este último processo pode ser intensificado com aplicações de doses elevadas de matéria orgânica ao solo, especialmente em solos tropicais, em que se tem elevado teor de água no solo associado, em geral, a elevadas temperaturas (CRASWELL, 1978)

O lodo de esgoto pode fornecer às plantas, em quantidades satisfatórias, com exceção do potássio, todos os nutrientes essenciais para culturas como *pinus*, milho, trigo, soja, arroz, feijão, sorgo, pastagens e cana-de-açúcar. A maioria dos nutrientes no lodo de esgoto está na forma orgânica (SABEY, 1980).

Jaguariúna, SP
Novembro, 2011

Autores

Manoel Dornelas de Souza
Engenheiro Agrônomo,
Doutor em Física de Solos,
Embrapa Meio Ambiente
Rod. SP 340, km 127,5 -
13.820-000
Jaguariúna/SP
dornelas@cnpma.embrapa.br

Marcos Antonio Vieira Ligo
Ecólogo,
Doutor em Ciências,
Embrapa Meio Ambiente
Rod. SP 340, km 127,5 -
13.820-000
Jaguariúna/SP
ligo@cnpma.embrapa.br

Ladislau Araújo Skorupa
Engenheiro Florestal, Doutor
em Ciências Biológicas,
Embrapa Meio Ambiente,
Rod. SP 340, km 127,5 -
13.820-000 Jaguariúna, SP
skorupa@cnpma.embrapa.br

Adriana Marlene M. Pires
Engenheira Agrônoma,
Doutora em Solos e
Nutrição de Plantas,
Embrapa Meio Ambiente
Rod. SP 340, km 127,5 -
13.820-000
Jaguariúna/SP
adriana@cnpma.embrapa.br

Heloisa Ferreira Filizola
Bacharel em Geografia,
Doutora em Pedologia,
Pesquisadora da Embrapa
Meio Ambiente, Rod. SP
340 - Km 127,5 - 13.820-
000, Jaguariúna/SP
filizola@cnpma.embrapa.br

Os parâmetros físicos também podem sofrer transformações com a adição do lodo. Estes parâmetros podem ser agrupados em três grandes grupos que permitem separar os principais processos que ocorrem no solo. O primeiro grupo denominado mecânico inclui a textura, a estrutura, a distribuição de tamanhos de poros e a profundidade do solo. Estes atributos influenciam em vários processos que modificam a estrutura do solo como compactação, adensamento, formação de crosta, selamento da superfície, infiltração de água e escoamento superficial. O segundo grupo denominado hidrológico inclui a retenção e transmissão de água, a drenagem profunda, a drenagem de superfície e subsuperfície que interfere nos processos de lixiviação. O terceiro grupo chamado de térmico consiste na capacidade de aquecimento e na condutividade térmica as quais interagem com o clima e com o regime de umidade do solo e influenciam na sua temperatura e no fluxo de calor. Estes atributos influenciam, de forma ampla, os processos de mineralização da matéria orgânica, de respiração microbiana, de desnitrificação interferente na biodiversidade do solo, além de influenciarem as trocas gasosas entre solo e atmosfera (LAL, 1994; BETTIOL et al., 2006).

Alguns destes parâmetros físicos do solo, como temperatura e umidade, podem passar por mudanças diurnas, enquanto outros, como densidade e porosidade passam por mudanças sazonais. As mudanças na estrutura do solo são relativamente vagarosas e mensuráveis em período de 1 a 2 anos. As mudanças na textura do solo são extremamente vagarosas e são usualmente causadas por erosão acelerada da superfície do solo. Mudanças na textura são difíceis de observar em períodos menores que 3 a 5 anos (LAL, 1994).

Para avaliar o potencial do lodo de esgoto em plantações florestais e na recuperação de áreas degradadas, por meio de parâmetros silviculturais, econômicos e operacionais, de física, fertilidade e de microbiologia do solo, conduziu-se um experimento, com cerca de 3.000 m² instalado em uma área degradada, da Embrapa Meio Ambiente, no ano de 2003, localizada nas coordenadas 22°43' 35,37" S e 47°00' 58,42" W., com altitude de 590m, no município de Jaguariúna-SP. Trata-se de uma área que apresenta subsolo exposto e compactado devido à operações de terraplenagem ocorridas por ocasião da construção do Centro, há cerca de 25 anos.

O preparo inicial da área foi realizado utilizando-se arado de aiveca, seguido de arado de disco e gradagem. O delineamento empregado foi de blocos ao acaso, com 3 tratamentos (NPK (testemunha), 100 t/ha de lodo de esgoto e 200 t/ha de lodo de esgoto base seca) e 4 repetições. Para efeito de simplificação os tratamentos de 100t/ha e 200t/ha serão respectivamente denominados de 100T e 200T. O lodo de esgoto utilizado foi oriundo da Estação de Tratamento de Esgoto - ETE de Jundiaí-SP, com 75% de umidade. O tratamento de NPK foi composto de: 32g/m² de sulfato de amônio, sendo 16g/m² no plantio e 8g/m² após 2 meses e 8g/m² após 3 meses. O P na forma de Superfosfato simples na dose de 45g/m² foi aplicado no plantio e o potássio na dose de 5,36g/m² foi aplicado metade no plantio e o restante dividido em duas vezes juntamente com o Nitrogênio. Além disto foi aplicado 0,9g/m² de boráx no plantio.

Antes do início do preparo da área e da aplicação do lodo de esgoto deu-se início às atividades necessárias à realização dos diagnósticos iniciais relativos à caracterização física (textura, densidade, estabilidade dos agregados, argila dispersa em água) e mineralógica dos solos; avaliação da sua fertilidade; metais pesados, nitrato no perfil do solo; bem como sua avaliação microbiológica. O lodo apresentou as características da Tabela 1.

Tabela 1. Análise química do lodo de esgoto utilizado no experimento.

| Determinações | Lodo de esgoto úmido | Lodo de esgoto seco |
|---|--------------------------|-------------------------|
| pH em CaCl ₂ 0,01 M | 7,3 | 6,5 |
| Densidade | 1,03 g cm ⁻³ | 0,97 g cm ⁻³ |
| Umidade perdida a 60 - 65° C | 76,04 % | 4,14 % |
| Umidade perdida entre 65 e 110° C | 1,32 % | 3,29 % |
| Umidade Total | 77,36 % | 7,43 % |
| Inertes | 0,0 | 0,0 |
| Matéria orgânica Total (combustão) | 12,37 % | 49,13 % |
| Matéria orgânica compostável | 11,89 % | 46,52 % |
| Matéria orgânica resistente a compostagem | 0,48 % | 2,61 % |
| Carbono total (orgânico e mineral) | 29,97 % | 27,29 % |
| Carbono orgânico | 6,61 % | 25,84 % |
| Resíduo mineral total | 10,27 % | 43,44 % |
| Resíduo mineral insolúvel | 4,73 % | 20,80 % |
| Resíduo mineral solúvel | 5,54 % | 22,64 % |
| Nitrogênio total | 0,74 % | 3,22 % |
| Fósforo (P ₂ O ₅) | 0,74 % | 3,56 % |
| Potássio (K ₂ O) total | 0,06 % | 0,25 % |
| Cálcio (Ca) total | 0,57 % | 2,28 % |
| Magnésio (Mg) total | 0,11 % | 0,36 % |
| Enxofre (S) total | 0,15 % | 0,63 % |
| Relação C/N (C total e N total) | 09/01/11 | 8/1 |
| Cobre (Cu) total | 129 mg kg ⁻¹ | Nd |
| Manganês (Mn) total | 44 mg kg ⁻¹ | Nd |
| Zinco (Zn) total | 539 mg kg ⁻¹ | Nd |
| Ferro (Fe) total | 8902 mg kg ⁻¹ | Nd |
| Boro (B) total | 2 mg kg ⁻¹ | Nd |
| Sódio (Na) total | 132 mg kg ⁻¹ | Nd |

Resultados

As Tabelas 2, 3 e 4 mostram os dados iniciais de alguns atributos físicos em profundidade, obtidos antes da aplicação do lodo. Em cada parcela foram feitas 4 trincheiras até a profundidade de 40 cm, onde

foram coletados anéis sempre na porção média de cada camada avaliada. Calcularam-se o CV(%), o valor F para tratamentos e blocos, DMS para tratamento e foi efetuado a comparação de médias pelo teste de Tukey(5%) para cada atributo determinado. Estes dados mostram que para os atributos analisados, não houve significância para as profundidades avaliadas, conforme contraste de médias apresentados nas Tabelas 2, 3 e 4. Para a retenção de água o valor de F para bloco foi significativo nas profundidades de 10 – 20cm nas três pressões estudadas e na profundidade de 20 – 40cm somente na pressão de 0,3 bar, evidenciando aí o efeito da terraplanagem efetuada no local.

Tabela 2. Caracterização física dos atributos macro, micro e porosidade total, densidade e umidade gravimétrica a 0,1, 0,2 e 0,3 bares, na profundidade de 0 - 10 cm.

| Tratamento | Prof.(cm) | Repetição | Macro | Micro | P. total | Dens. | 0,1bar | 0,2bar | 0,3bar |
|------------------------------------|-----------|-------------|---------|---------|----------|--------------------|---------|---------|---------|
| | | | (%) | | | Kgdm ⁻³ | (%) | | |
| NPK | 0-10 | 1 | 21,0 | 31,9 | 53,0 | 1,3 | 24,4 | 23,3 | 22,4 |
| | | 2 | 21,7 | 24,6 | 46,4 | 1,2 | 20,8 | 19,4 | 18,4 |
| | | 3 | 19,6 | 25,3 | 44,9 | 1,1 | 20,7 | 19,4 | 18,4 |
| | | 4 | 20,6 | 32,8 | 53,4 | 1,3 | 21,4 | 20,6 | 20,2 |
| 100T | 0-10 | 1 | 18,5 | 34,9 | 53,4 | 1,3 | 25,6 | 24,0 | 22,9 |
| | | 2 | 21,2 | 32,8 | 54,0 | 1,5 | 20,9 | 19,1 | 17,9 |
| | | 3 | 19,4 | 32,1 | 51,5 | 1,4 | 21,1 | 20,0 | 19,7 |
| | | 4 | 16,4 | 32,7 | 49,1 | 1,1 | 27,2 | 26,4 | 24,9 |
| 200T | 0-10 | 1 | 16,5 | 36,2 | 52,7 | 1,3 | 25,2 | 23,6 | 22,7 |
| | | 2 | 16,1 | 35,7 | 51,6 | 1,4 | 21,0 | 20,5 | 20,0 |
| | | 3 | 22,7 | 32,2 | 54,9 | 1,3 | 22,0 | 21,5 | 20,1 |
| | | 4 | 15,1 | 30,3 | 45,3 | 1,3 | 20,5 | 19,9 | 18,9 |
| CV(%) | | | 12,3 | 9,23 | 8,09 | 9,66 | 8,24 | 9,16 | 8,77 |
| F tratamento | | | 1,8 ns | 3,47 ns | 0,41 ns | 0,86 ns | 1,02 ns | 0,75 ns | 0,71 ns |
| F blocos | | | 1,03 ns | 1,25 ns | 0,44 ns | 0,63 ns | 2,98 ns | 2,64 ns | 2,36 ns |
| DMS | | | 5,09 | 6,37 | 8,93 | 0,27 | 4,03 | 4,28 | 3,91 |
| Contrastes Entre médias Tukey (5%) | | NPK - 100T | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns |
| | | NPK - 200T | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns |
| | | 100T - 200T | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns |

Tabela 3. Caracterização física dos atributos macro, micro, porosidade total, densidade e umidade gravimétrica a 0,1, 0,2 e 0,3 bares, na profundidade de 10 - 20 cm.

| Tratamento | Prof.(cm) | Repetição | Macro | Micro | P. total | Dens. | 0,1bar | 0,2bar | 0,3bar |
|------------------------------------|-----------|-------------|---------|---------|----------|--------------------|---------|---------|---------|
| | | | (%) | | | Kgdm ⁻³ | (%) | | |
| NPK | 10-20 | 1 | 17,6 | 33,7 | 51,3 | 1,35 | 23,1 | 22,1 | 21,3 |
| | | 2 | 12,9 | 20,7 | 33,6 | 0,96 | 21,2 | 19,5 | 18,7 |
| | | 3 | 14,6 | 23,4 | 38,0 | 1,09 | 20,0 | 19,3 | 17,7 |
| | | 4 | 18,3 | 32,9 | 51,2 | 1,37 | 20,6 | 20,0 | 19,6 |
| 100T | 10-20 | 1 | 12,0 | 36,7 | 48,8 | 1,43 | 23,5 | 21,7 | 21,0 |
| | | 2 | 15,8 | 33,2 | 49,0 | 1,49 | 20,8 | 19,3 | 18,2 |
| | | 3 | 21,3 | 29,2 | 50,5 | 1,37 | 19,7 | 19,4 | 18,4 |
| | | 4 | 13,9 | 28,4 | 42,2 | 1,22 | 21,8 | 21,1 | 19,8 |
| 200T | 10-20 | 1 | 17,0 | 36,2 | 53,2 | 1,36 | 23,6 | 22,1 | 21,3 |
| | | 2 | 13,5 | 34,9 | 48,4 | 1,49 | 19,3 | 18,5 | 18,0 |
| | | 3 | 14,0 | 33,1 | 47,0 | 1,54 | 19,2 | 18,2 | 17,1 |
| | | 4 | 13,9 | 24,0 | 37,9 | 1,14 | 19,6 | 18,9 | 18,2 |
| CV(%) | | | 21,45 | 17,1 | 15,41 | 14,79 | 2,83 | 2,8 | 2,55 |
| F tratamento | | | 0,18 ns | 0,9 ns | 0,36 ns | 1,24 ns | 4,34 ns | 3,32 ns | 2,66 ns |
| F blocos | | | 0,3 ns | 1,25 ns | 0,74 ns | 0,25 ns | 28,66** | 18,27** | 29,17** |
| DMS | | | 7,17 | 11,33 | 15,36 | 0,42 | 1,3 | 1,22 | 1,06 |
| Contrastes Entre médias Tukey (5%) | | NPK - 100T | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns |
| | | NPK - 200T | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns |
| | | 100T - 200T | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns |

Tabela 4. Caracterização física dos atributos: macro, micro, porosidade total, densidade e umidade gravimétrica a 0,1, 0,2 e 0,3 bares, na profundidade de 20 - 40 cm.

| Tratamento | Prof.(cm) | Repetição | Macro | Micro | P. total | Dens. | 0,1bar | 0,2bar | 0,3bar |
|------------------------------------|-----------|-------------|---------|---------|----------|--------------------|---------|---------|---------|
| | | | (%) | | | Kgdm ⁻³ | (%) | | |
| NPK | 20-40 | 1 | 12,8 | 32,5 | 45,3 | 1,46 | 21,2 | 20,3 | 19,7 |
| | | 2 | 10,2 | 31,7 | 42,0 | 1,02 | 20,9 | 19,7 | 18,9 |
| | | 3 | 12,7 | 30,5 | 43,2 | 1,38 | 20,9 | 19,8 | 18,8 |
| | | 4 | 14,1 | 34,7 | 48,8 | 1,45 | 20,9 | 19,8 | 19,1 |
| 100T | 20-40 | 1 | 14,5 | 37,3 | 51,9 | 1,35 | 25,8 | 23,6 | 22,6 |
| | | 2 | 13,7 | 34,5 | 48,2 | 1,56 | 20,5 | 19,3 | 18,5 |
| | | 3 | 16,2 | 32,6 | 48,9 | 1,50 | 20,2 | 19,3 | 18,5 |
| | | 4 | 18,8 | 31,6 | 50,4 | 1,38 | 21,3 | 20,3 | 19,1 |
| 200T | 20-40 | 1 | 16,2 | 36,0 | 52,3 | 1,34 | 23,6 | 23,8 | 22,1 |
| | | 2 | 12,5 | 36,0 | 48,4 | 1,41 | 20,5 | 20,0 | 19,5 |
| | | 3 | 6,7 | 33,5 | 40,2 | 1,70 | 18,4 | 17,7 | 17,0 |
| | | 4 | 9,4 | 27,2 | 36,5 | 1,39 | 18,8 | 18,2 | 17,2 |
| CV(%) | | | 23,48 | 8,66 | 10,34 | 12,15 | 6,78 | 6,95 | 6,16 |
| F tratamento | | | 2,37 ns | 0,33 ns | 1,62 ns | 0,73 ns | 1,31 ns | 0,31 ns | 0,41 ns |
| F blocos | | | 0,57 ns | 1,23 ns | 0,8 ns | 0,7 ns | 4,07 ns | 4,05 ns | 4,93* |
| DMS | | | 6,7 | 6,24 | 10,4 | 0,37 | 3,1 | 3,04 | 2,57 |
| Contrastes Entre médias Tukey (5%) | | NPK - 100T | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns |
| | | NPK - 200T | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns |
| | | 100T - 200T | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns |

Nas Tabelas 5 e 6 são apresentados os dados de macro e micro nutrientes, respectivamente, e de enxofre e sódio. Estes resultados foram obtidos no experimento com 4 meses de andamento e refletem o efeito das doses de lodo nos teores dos elementos citados. Houve acúmulo de fósforo, cálcio e magnésio no solo, apesar das diferenças entre médias não serem significativas no caso Mg. O potássio não sofreu alteração e houve diminuição significativa ao nível de 5% do pH na dose de 200 t/ha. Este efeito sobre o pH é sempre observado em doses elevadas de lodo não caledo, requerendo, às vezes, que seja feita correção anual. Como pode ser observado o pH na dose de 200t/ha encontra-se fortemente ácido, com isto há o aumento significativo no teor de alumínio (Tabela 5). A matéria orgânica apresenta-se baixa, mesmo no tratamento de 100T, sendo considerada alta apenas na dose de 200t/ha, conforme pode ser visto na Tabela 7 que apresenta os critérios de interpretação. No caso do fósforo, há uma grande variabilidade entre repetições (CV de 54,59%), mas em média está alto para todos os tratamentos. Devido a grande variabilidade somente houve significância para o contraste NPK – 200T (tabela 5).

A adição de lodo não aumentou o teor de potássio que se encontra em níveis médios para todos os tratamentos. Houve aumento substancial nos teores de cálcio com a adição e incorporação do lodo ao solo em relação ao tratamento NPK.

Tabela 5. Caracterização química das 4 repetições da área experimental na profundidade de 0 a 20 cm.

| Trat | Rep. | pH | | M.O g/dm ³ | P mg/dm ³ | K | Ca | Mg mmol/dm ³ | Al | H | CTC | V (%) |
|--|-------------|-------------------|--------|--------------------------|-------------------------|--------|--------|----------------------------|-------|---------|---------|----------|
| | | CaCl ₂ | agua | | | | | | | | | |
| NPK | 1 | 5,1 | 5,7 | 02 | 5,1 | 1,4 | 20 | 05 | 01 | 41 | 68 | 38,6 |
| | 2 | 5,4 | 6,2 | 07 | 6,9 | 2,5 | 24 | 08 | 01 | 33 | 69 | 50,4 |
| | 3 | 5,2 | 5,9 | 04 | 9,3 | 2,2 | 21 | 09 | 01 | 37 | 70 | 45,9 |
| | 4 | 5,4 | 6,2 | 18 | 35,8 | 2,8 | 28 | 10 | 01 | 30 | 72 | 56,8 |
| 100T | 1 | 5,4 | 6,2 | 08 | 17,1 | 1,6 | 35 | 15 | 01 | 27 | 80 | 64,8 |
| | 2 | 5,5 | 6,3 | 13 | 45,3 | 1,9 | 30 | 08 | 01 | 30 | 71 | 56,3 |
| | 3 | 5,5 | 6,2 | 13 | 24,4 | 3,0 | 31 | 09 | 01 | 24 | 68 | 63,2 |
| | 4 | 5,4 | 6,2 | 21 | 34,9 | 2,0 | 30 | 09 | 01 | 33 | 75 | 54,7 |
| 200T | 1 | 4,3 | 5,0 | 31 | 72,0 | 2,6 | 81 | 38 | 11 | 41 | 174 | 70,0 |
| | 2 | 4,4 | 5,1 | 31 | 59,8 | 1,7 | 71 | 19 | 06 | 41 | 139 | 66,1 |
| | 3 | 4,4 | 5,1 | 34 | 116,9 | 2,8 | 67 | 13 | 08 | 39 | 130 | 63,8 |
| | 4 | 5,4 | 6,2 | 32 | 55,3 | 2,6 | 42 | 13 | 04 | 34 | 96 | 60,2 |
| CV(%) | | 5,76 | 5,44 | 21,37 | 54,59 | 23,43 | 26,08 | 54,59 | 42,22 | 13,06 | 20,12 | 12,3 |
| F tratamento | | 8,69* | 8,15* | 43,92* | 8,49* | 0,33ns | 18,2* | 3,68 | 17,52 | 5,45* | 15,33** | 6,12* |
| F blocos | | 1,39ns | 1,81ns | 3,63ns | 0,39ns | 1,48ns | 0,7 ns | 1,08ns | 1 ns | 0,45 ns | 1,04ns | 0 ns |
| DMS | | 0,64 | 0,69 | 8,27 | 47,66 | 1,15 | 22,64 | 15,4 | 3,74 | 9,68 | 40,45 | 15,37 |
| Contrastes Entre médias Tukey (5%) | NPK - 100T | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns |
| | NPK - 200T | * | ns | * | * | ns | * | ns | * | ns | * | * |
| | 100T - 200T | * | * | * | * | ns | * | ns | * | * | * | * |

Quanto aos micronutrientes, houve acúmulo significativo para todos. Para o enxofre e o sódio também houve acúmulo em função da dose aplicada (Tabela 6). No caso do enxofre, apesar de se observar uma diferença de mais de 100% entre tratamentos o CV(56,65%) e um DMS de 76,64 não permitiu que houvesse diferença significativa entre os tratamentos. Pelos critérios de interpretação da Tabela 6, o enxofre encontra-se em níveis considerados altos para todos os tratamentos. A saturação por sódio (100Na/T) é de 3.71% para o tratamento testemunha, 3.51% para o tratamento 100T e de 6.67% para o tratamento 200T, conferindo, neste caso, um caráter solódico (6 a 15% de saturação) para a camada analisada. Os teores de ferro passaram de médio na testemunha (NPK) para alto no tratamento 200T com diferenças significativas entre todos os contrastes. O manganês, apesar do aumento sofrido com a dose de lodo, ainda encontra-se em níveis médios, mas as diferenças entre tratamentos foram significativas para todos os contrastes. O cobre também teve aumento substancial, passando de médio na testemunha (NPK) para alto no tratamento 200T. O zinco teve comportamento parecido com o do cobre, passando de médio na testemunha e 100T, para alto no 200T. O boro permaneceu baixo na testemunha e 100T e teve um pequeno aumento no 200T, passando neste caso para o nível médio (Tabela 7). Houve efeito de bloco para Mn e B.

Tabela 6. Caracterização de micronutrientes, enxofre e sódio nas 4 repetições da área experimental na profundidade de 0 a 20 cm.

| Trat | Repetição | S | Na | Fe | Mn | Cu | Zn | B |
|--|-------------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|
| | | | | | | | | |
| NPK | 1 | 55,8 | 6,0 | 19,4 | 21,7 | 4,7 | 3,6 | 0,3 |
| | 2 | 41,3 | 7,0 | 55,2 | 55,3 | 8,5 | 4,7 | 0,3 |
| | 3 | 35,0 | 8,0 | 28,8 | 34,6 | 8,0 | 26,9 | 0,5 |
| | 4 | 5,3 | 4,0 | 39,2 | 43,1 | 16,0 | 19,6 | 0,3 |
| 100T | 1 | 65,2 | 30,0 | 76,3 | 62,0 | 12,9 | 13,2 | 0,3 |
| | 2 | 76,8 | 23,0 | 129,8 | 78,1 | 28,6 | 33,6 | 0,3 |
| | 3 | 45,3 | 13,0 | 131,1 | 76,4 | 15,0 | 22,5 | 0,5 |
| | 4 | 43,8 | 17,0 | 136,3 | 90,5 | 20,6 | 39,1 | 0,5 |
| 200T | 1 | 25,0 | 55,0 | 252,7 | 76,5 | 37,9 | 84,8 | 0,6 |
| | 2 | 108,0 | 39,0 | 226,7 | 153,0 | 46,1 | 65,6 | 0,7 |
| | 3 | 129,0 | 31,0 | 268,7 | 96,1 | 64,5 | 78,5 | 0,8 |
| | 4 | 117,6 | 30,0 | 235,3 | 126,0 | 42,8 | 57,5 | 0,6 |
| CV(%) | | 56,65 | 27,8 | 16,47 | 18,95 | 32,68 | 36,16 | 14,47 |
| F tratamento | | 2,99 ns | 28,57** | 93,04** | 26,48* | 23,08** | 20,02** | 25,94** |
| F blocos | | 0,37 ns | 3,16 ns | 0,86 ns | 5,04** | 0,99 ns | 0,27 ns | 4,88* |
| DMS | | 76,64 | 13,22 | 47,64 | 31,3 | 18,06 | 29,4 | 0,15 |
| Contrastes Entre médias Tukey (5%) | NPK - 100T | ns | * | * | * | ns | ns | ns |
| | NPK - 200T | ns | * | * | * | * | * | * |
| | 100T - 200T | ns | * | * | * | * | * | * |

Tabela 7. Critérios de interpretação de resultados de parâmetros químicos, adotados pelo Laboratório LAGRO (2005) para os métodos analíticos utilizados, baseado em Dadalto e Fullin (2001); Raij et al. (2001); Raij et al. (1996). Micronutrientes extraídos pelo método Mehlich Embrapa (SILVA, 1999).

| Parâmetro | Unidade | Classificação | | |
|------------------------|----------------------|---------------|------------|--------|
| | | Baixo | Médio | Alto |
| Matéria orgânica | g/dm ³ | <22 | 22-26 | >26 |
| Fósforo (anuais) | mg/dm ³ | <16,0 | 16,0-40,0 | >40,0 |
| Fósforo (florestais) | mg/dm ³ | <6,0 | 6,0-8,0 | >8,0 |
| Fósforo (perenes) | mg/dm ³ | <13,0 | 13,0-30,0 | >30,0 |
| Fósforo (hortaliças) | mg/dm ³ | <25,0 | 25,0-60,0 | >60,0 |
| Potássio | mmol/dm ³ | <1,6 | 1,6-3,0 | >3,0 |
| Cálcio | mmol/dm ³ | <30 | 30-50 | >50 |
| Magnésio | mmol/dm ³ | <05 | 05-08 | >08 |
| Alumínio | mmol/dm ³ | <05 | - | >05 |
| Enxofre | mg/dm ³ | <11,0 | 11,0-15,0 | >15,0 |
| Ferro | mg/dm ³ | <30,0 | 30,0-200,0 | >200,0 |
| Manganês | mg/dm ³ | <11,0 | 11,0-130,0 | >130,0 |
| Cobre | mg/dm ³ | <1,6 | 1,6-20,0 | >20,0 |
| Zinco | mg/dm ³ | <4,0 | 4,0-40,0 | >40,0 |
| Boro | mg/dm ³ | <0,5 | 0,5-1,0 | >1,0 |
| CTC | mmol/dm ³ | <81 | 81-150 | >150 |
| Saturação de bases (V) | % | <51 | 51,0-70,0 | >70,0 |

Fonte: LAGRO Laboratório Agrônomo S/C Ltda. (2005).

Amônio no perfil do Solo

A aplicação do lodo ocorreu do dia 26/01/2005 a 4/02/2005 e a coleta das amostras de solo em profundidade em 9/03/2005. A coleta das amostras no perfil foi feita de 20 em 20 cm e utilizou-se, para efeito de gráfico, o valor intermediário de cada profundidade. Na Figura 1 é apresentada a distribuição dos teores de amônio no perfil de solo, onde observa-se um acúmulo em função da dose de lodo até a profundidade de 40cm. Do período da aplicação até a data da coleta choveu 104 mm.

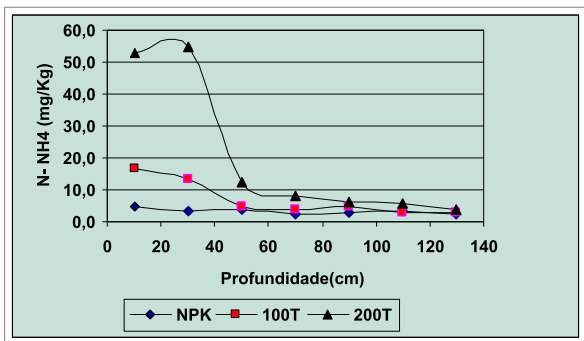


Figura 1. Distribuição de nitrogênio na forma de amônio no perfil do solo nos tratamentos NPK, 100t/ha de lodo base seca e 200t/ha de lodo base seca.

Nitrato no Perfil do Solo e em solução

A distribuição dos teores de nitrato no solo (Figura 2) segue a mesma tendência do amônio, com acúmulo até a profundidade de 40 cm. Já na solução do solo (Figura 3) observa-se que na profundidade de um metro, sempre que aumenta a precipitação pluviométrica (ppt) desce um pulso de nitrato. Nas últimas coletas houve ppt vários dias seguidos, alterando o comportamento observado antes. A última coleta de solução do solo foi em 17/02/2006.

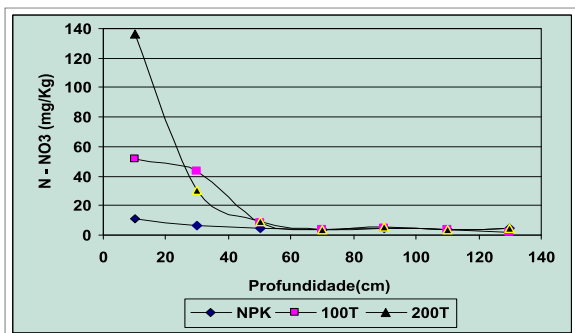


Figura 2. Distribuição de nitrogênio na forma de nitrato no perfil do solo nos tratamentos NPK, 100 T de lodo base seca e 200 T de lodo base seca.

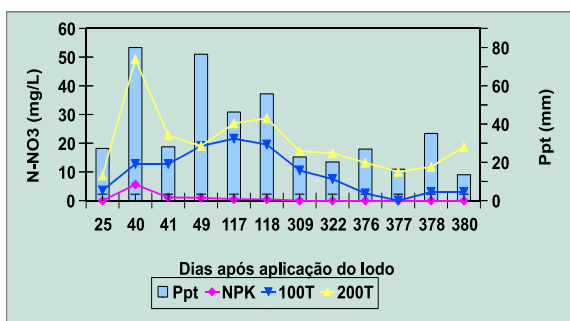


Figura 3. Concentração de nitrato obtida na solução do solo a um metro de profundidade a partir de 1º de março de 2005 e a precipitação pluviométrica ocorrida.

Sódio no Perfil de Solo

A concentração de sódio no perfil é muito baixa. Mesmo na dose mais elevada de lodo e na camada de 0-20 cm o máximo não passou de 120 µg/kg. (Figura 4).

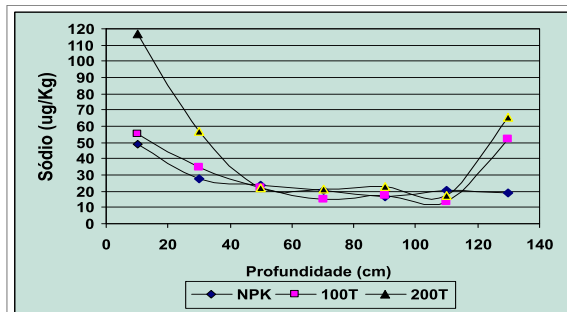


Figura 4. Distribuição de sódio no perfil do solo nos tratamentos NPK, 100 T de lodo base seca e 200 T de lodo base seca.

Considerações Finais

Os dados apontam para uma situação de cautela. Apesar das vantagens do uso de lodo de esgoto para recuperar áreas degradadas, como apontado pela avaliação de outras variáveis neste estudo, deve ser salientado o inconveniente deste ser uma fonte altamente geradora de nitrato e, portanto, uma fonte de contaminação de águas superficiais e subsuperficiais. A extensão desses riscos deve, contudo, ser melhor investigada ao longo do tempo.

Referências

- BETTIOL, W.; FERNANDES, S. A. P.; CERRI, C. C. Efeito do lodo de esgoto na atividade microbiana do solo. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Ed.) **Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. p. 207-226.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução *CONAMA* n° 375/06, de 29 de agosto de 2006, 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. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 167, 30 ago. 2006. Seção 1, p. 141-146.
- CRASWELL, E. T. Some factors influencing denitrification and nitrogen immobilization in a clay soil. **Soil biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 10, p. 214-245, 1978.
- DADALTO, G. G.; FULLIN, E. A. **Manual de recomendação de calagem e adubação para o estado do Espírito Santo (4ª aproximação)**. Vitória: SEEA: INCAPER, 2001. 266 p.
- LAGRO Laboratório Agrônomo S/C Ltda. 2005.
- LAL, R. **Methods and guidelines for assessing sustainable use of soil and water resources in the tropics**. Columbus, OH: The Ohio State University; Washington: SMSS, 1994. 78 p. (SMSS Technical Monograph, n. 21).
- RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. (Ed.) **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285 p.
- RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.) **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: IAC, 1996. 285 p. (IAC. Boletim Técnico, 100).
- SABEY, B. R. The use of sewage sludge as a fertilizer. In: BEWICK, M. W. M. **Handbook of waste conversion**. New York: M. Van Nostrand Reinhold, 1980. p. 72-134.
- SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, DF: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370 p.

Circular Técnica, 21

Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:
Embrapa Meio Ambiente
Endereço: Rodovia SP 340 km 127,5
 Caixa Postal 69, Tanquinho Velho
 13.820-000 Jaguariúna/SP
Fone: (19) 3311-2700
Fax: (19) 3311-2640
E-mail: sac@cnpma.embrapa.br

1ª edição eletrônica (2011)

Comitê de publicações

Presidente: *Marcelo Augusto Boechat Morandi*
Secretária-Executiva: *Vera Lúcia S. S. de Castro*
Secretário: *Sandro Freitas Nunes*
Bibliotecário: *Victor Paulo Marques Simão*
Membro Nato: *Adriana M. M. Pires*
Membros: *Lauro Charlet Pereira, Fagoni Fayer Calegario, Aline de Holanda Nunes Maia, Nilce Chaves Gattaz, Marco Antonio Ferreira Gomes e Rita Carla Boeira*

Expediente

Tratamento das ilustrações: *Alexandre R. da Conceição*
Editoração eletrônica: *Alexandre R. da Conceição*