

## Avaliação do teor de alguns metais e de nutrientes de lodos de estações de tratamento de esgoto de Maringá

Vitor de Cinque Almeida<sup>1</sup>, Ervim Lenzi<sup>1\*</sup>, Luzia Otília Bortotti Favero<sup>1</sup> e Eduardo Bernardi Luchese<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Química, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, 87020-900, Maringá-Paraná, Brazil.

<sup>2</sup>Departamento de Agronomia, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Rua Pernambuco, 1777, 85960-000, Marechal Cândido Rondon-Paraná, Brazil. \*Author for correspondence.

**RESUMO.** Este trabalho teve como objetivo avaliar o teor de alguns metais e de nutrientes dos lodos de estações de tratamento de esgotos (ETE) de Maringá. Ao longo de um ano, foram feitas coletas de amostras de lodo junto à ETE-2 e ETE-3. As amostras de lodo preparadas foram digeridas com água régia. As leituras das concentrações dos metais foram feitas pelo método de espectrometria de absorção atômica. O nitrogênio e o carbono foram determinados pelos respectivos métodos clássicos. Os resultados das concentrações médias globais foram os seguintes, em %: N, 3,04; C, 29,3; Al, 2,93; em mg.g<sup>-1</sup>: Ca, 9,31; Mg, 1,93; K, 0,900; Cu, 0,851; Zn, 1,66; Mn, 1,13; Fe, 83,5; em µg.g<sup>-1</sup>: Pb, 96,6; Cr, 88,9; Cd, 1,42; em ng.g<sup>-1</sup>: Hg, 6,7, respectivamente. A ETE-2 apresentou os maiores teores de macronutrientes e uma relação C:N próxima de 10:1. Em termos de metais pesados, o cobre foi o único que excedeu o teor global médio da literatura. Ele também é, para os lodos analisados, o elemento mais limitante da aplicação dos mesmos em solos agricultáveis.

**Palavras-chave:** lodo de esgoto, metais pesados, nutrientes, poluição ambiental.

**ABSTRACT. Evaluation of the chemical aspects of sludge in sewage treatment stations of Maringá, state of Paraná, Brazil.** The aim of this research was to evaluate the amount of some metals and nutrients in the sludge of the sewage treatment stations (STS) of Maringá. During the year samples of sludge were collected at STS-2 and STS-3. Previously dried and ground the sludge samples at constant weights were digested by *aqua regia*. The reading of metal concentrations was made by atomic absorption spectrometry. Nitrogen and carbon were determined by the respective classical methods. Concentration results in total averages were the following, in %: N, 3.04; C, 29.3; Al, 2.93; in mg.g<sup>-1</sup>: Ca, 9.31; Mg, 1.93; K, 0.900; Cu, 0.851; Zn, 1.66; Mn, 1.13; Fe, 83.5; in µg.g<sup>-1</sup>: Pb, 96.6; Cr, 88.9; Cd, 1.42; in ng.g<sup>-1</sup>: Hg, 6.7 respectively. The STS-2 presented the highest levels of macronutrients and a C:N ratio close to 10:1. With regard to heavy metals, copper was the only one that exceeded the average total level found in literature. For total sludge analyzed, copper is the most restricting element for sludge application to agricultural soils.

**Key words:** sewage sludge, heavy metals, nutrients, environmental pollution.

A atividade antrópica (em sociedade) gera rejeitos denominados de resíduos urbanos ou lixos (Lima, 1985 e IPT, 1995). Um rejeito próprio dos centros urbanos é o esgoto doméstico, que, quase sempre, é descartado no meio ambiente sem tratamento nenhum, comprometendo os recursos hídricos, a saúde e a qualidade de vida (Pryzybysz e Guidi, 1997).

A relação entre situações sanitárias precárias e problemas de saúde pública é conhecida há séculos. Comunidades da Europa, a partir de 1840, foram levadas a adotar tecnologias de tratamento de lixo e

de esgoto pelo medo de epidemias, iniciando pela disposição do esgoto no solo, o que resultou em uma drástica redução da mortalidade causada por doenças epidêmicas (Jewell e Seabrook, 1979, citado por Andreoli *et al.* 1997).

O tratamento de esgotos urbanos gera um subproduto denominado lodo de esgoto, de disposição final problemática no processo operacional das estações de tratamento. O lodo disposto inadequadamente, sem qualquer tratamento, também pode poluir o solo e os recursos hídricos, alterando suas características físicas,

químicas e biológicas, constituindo-se num problema de ordem estética e, ainda pior, uma séria ameaça à saúde pública e ambiental. Por essas razões, a eliminação imediata dos problemas com o lodo de esgoto doméstico, desde a sua origem, seguida do tratamento e do destino final, não é somente desejável, mas mais do que necessária para a sociedade (De Deus, 1992).

Já foram preconizados diversos destinos para o lodo de esgoto (Manahan, 1994). Contudo, nenhum deles é completamente satisfatório. Dentre eles, está a sua aplicação ao solo. O lodo é, em geral, rico em matéria orgânica, em nitrogênio, em fósforo e em micronutrientes, o que possibilita o seu uso na agricultura como fertilizante (Favaretto *et al.*, 1997; McBride, 1995). No entanto, existem riscos associados, especialmente os relacionados ao conteúdo de metais pesados e aos agentes patogênicos (Bertoncini, 1997; Andreoli e Fernandes, 1997).

Muitas experiências já foram realizadas visando à aplicação do lodo de esgoto para fins agrícolas, enfatizando os diversos ângulos do problema, entre eles: a mineralização e a disponibilização de nutrientes (Ladonin e Margolina, 1997; Hooda e Alloway, 1996; Smith, 1994; Cavallaro *et al.*, 1993; Zhu e Alva, 1993; Zibilske, 1987); a absorção dos íons disponibilizados pelas plantas (Farina *et al.*, 1980; Epstein, 1975); o rendimento da produção de espécies vegetais (Hernandez *et al.*, 1992; Ros *et al.*, 1990; Sarkis, 1987).

Frente aos possíveis impactos ambientais decorrentes da aplicação de lodo em solos, já foram feitos estudos em nível internacional (McBride, 1995), em nível nacional, no intuito de estabelecer critérios de utilização (Matiazzo-Prezotto, 1994) e em nível de Estado do Paraná (Andreoli *et al.*, 1997).

Neste trabalho, pretende-se avaliar e monitorar o teor de alguns metais pesados e de nutrientes do lodo de Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) da região de Maringá, visando à obtenção de parâmetros que possibilitem dar suporte decisório à sua aplicação agrícola sem comprometer o meio ambiente.

## **Materiais e métodos**

**Coleta e preparo inicial das amostras de lodo de esgoto.** As amostras dos lodos analisados foram coletadas pelos técnicos da Companhia de Saneamento do Paraná - Sanepar, Regional de Maringá, junto às Estações de Tratamento de Esgoto, ETE-2 e ETE -3, obedecendo às normas da Companhia. O sistema de tratamento de esgotos é de reatores anaeróbios tipo RALF (Reator Anaeróbio de Lodo Fluidizado).

Ao chegarem ao laboratório, as amostras foram secadas à temperatura ambiente, moídas, peneiradas e levadas à estufa a 60°C até peso constante; em seguida, foram armazenadas em sacos de polietileno para posterior análise.

**Análise de metais pesados.** Pesou-se exatamente uma massa de lodo seco próxima a 2,0000 gramas e transferida para um copo erlenmeyer de 125-mL de boca esmerilada. Adicionaram-se 2 a 3mL de água destilada e deionizada para formar uma pasta. Acrescentaram-se, por grama de lodo, 7,5mL de ácido clorídrico concentrado e 2,5mL de ácido nítrico concentrado. Os frascos foram cobertos e deixados em repouso durante um período de 12 horas, durante a noite, à temperatura ambiente. Posteriormente, os frascos foram levados ao aquecimento em sistema com condensador de refluxo de 40cm de altura, durante 2 horas. A solução do material digerido foi filtrada e recolhida num balão volumétrico de 100-mL, tendo-se o cuidado de lavar o condensador, o copo erlenmeyer e o papel filtro com o resíduo, com porções de ácido nítrico 2 mols.L<sup>-1</sup> (Griepink *et al.*, 1984). O branco e os padrões da curva analítica foram submetidos ao mesmo processo. As leituras das concentrações de cada elemento foram realizadas no espectrômetro de absorção atômica marca Varian, modelo Spectr AA 10 PLUS, modalidade chama, o mercúrio na modalidade gerador de vapor, obedecendo às normas descritas pelo Manual do Aparelho e por Welz (1985).

**Análise de Matéria Orgânica.** Transferiram-se 30,0mg de lodo seco para um copo erlenmeyer de 250-mL; em seguida, foram adicionados 10mL de dicromato de potássio 0,1667 mol.L<sup>-1</sup> e 20mL de ácido sulfúrico concentrado; agitou-se bem, deixou-se em repouso por 20 a 30 minutos, e a seguir, diluiu-se para 100mL com água destilada e deionizada. Adicionaram-se 3 a 4 gotas de indicador orto-fenantrolina e titulou-se a solução com sulfato ferroso hexahidratado 1,0 mol.L<sup>-1</sup>. Calculada a %C, determinou-se a % de MO (matéria orgânica) (Tedesco *et al.*, 1985).

**Análise de Nitrogênio Total.** Colocou-se 0,1000g de amostra em cada tubo de vidro de 25x250mm, próprios para a digestão. Acrescentaram-se 1mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a 30% e 3mL de ácido sulfúrico concentrado. Deixou-se esfriar durante 15-20 minutos. Posteriormente, adicionou-se 0,7g da mistura digestora (Horwitz, 1980) e os frascos foram levados ao bloco digestor SARGE, aumentado-se a temperatura de 15 em 15 minutos até 330°C, assim permanecendo por 2 horas. Após

o resfriamento, as amostras foram colocadas em frascos apropriados de destilação do  $\text{NH}_3$ , juntamente com 30mL de água deionizada e 30mL de NaOH 40%. Efetuou-se a destilação recolhendo os vapores condensados de  $\text{NH}_3$  em 10mL de ácido bórico com indicador. Após recolher de 30 a 35mL de destilado, titulou-se o mesmo com ácido sulfúrico 0,05 mols.L<sup>-1</sup>.

**Leitura de pH.** A leitura de pH foi realizada a partir de 15mL da amostra seca, medida em uma proveta e colocada em um copo erlenmeyer de 125-mL. Adicionaram-se 25mL de água deionizada (Lima, 1985). Agitou-se o sistema durante 5 minutos. Após a decantação, no sobrenadante, foi feita a medida do pH com um pH-metro.

### Resultados e discussões

Dados técnicos da Sanepar - Regional de Maringá (1997) - informam que o sistema de esgoto sanitário existente em Maringá é formado por várias bacias, sendo que as três principais encaminham o esgoto coletado para as estações de tratamento denominadas ETE-1, ETE-2 e ETE-3, que operam com o sistema de reatores anaeróbios de lodo fluidizado.

A bacia da vertente sul é coletada pela ETE-2, atende a região central da cidade e os bairros mais antigos como zonas 2, 3, 4, 5 e bairros mais novos que surgiram em regiões vicinais aos citados.

A vertente norte é composta por duas grandes bacias, as quais concentram o esgoto coletado nas estações de tratamento, uma envolvendo o Ribeirão Maringá, a ETE-1, e a outra envolvendo o Ribeirão Morangueira, a ETE-3.

A bacia interligada à ETE-1 é de uma região com rede implantada a alguns anos, contudo pode ser considerada recente. É formada, principalmente, pelos bairros Mandacaru, Jardim Universitário e Zona 7.

A bacia drenada à ETE-3 é formada principalmente pelo bairro Jardim Alvorada. A maior parte de sua rede também é recente e se encontra em fase de incrementos de ligações prediais.

No presente estudo, trabalhou-se com lodos da ETE-2 e da ETE-3.

Pela Tabela 1, observa-se que os lodos da ETE-2 apresentam teores mais elevados dos macronutrientes analisados. As relações C:N para os lodos da ETE-2 são mais elevadas e aproximam-se de 10:1, relação típica de solo natural.

**Tabela 1.** Concentrações de macronutrientes e de matéria orgânica em lodos de Estações de Tratamento de Esgotos de Maringá

Amostra(n <sup>o</sup> )	ETE	Mês e ano	pH	Macronutrientes					M.O. (%)	C:N
				N (%)	C (%)	Ca (mg.g <sup>-1</sup> )	Mg (mg.g <sup>-1</sup> )	K (mg.g <sup>-1</sup> )		
<b>2</b>										
1		04.96*	4,80	2,74	30,5	8,39	1,88	0,550	52,6	11:1
2		04.96**	4,30	3,16	33,0	7,24	1,29	0,368	56,9	10:1
3		06.96	4,60	3,41	36,5	17,6	2,51	1,13	62,9	11:1
4		06.96	4,70	3,67	36,4	13,6	2,53	2,36	62,7	10:1
5		06.96	5,80	2,16	44,2	14,3	1,71	1,58	76,2	20:1
6		08.96	4,10	2,94	28,2	4,64	1,24	0,922	48,6	10:1
7		12.96	3,82	3,78	28,6	16,7	2,64	1,12	49,3	8:1
8		01.97	4,56	3,08	27,4	14,3	2,82	1,20	47,2	9:1
9		05.97	3,73	2,59	23,4	4,22	1,42	0,411	40,3	9:1
10		08.97	4,40	3,26	32,3	11,5	1,39	0,698	54,7	10:1
médias ± s			4,48±0,59	3,08±0,50	32,1±6,0	11,2±5,0	1,94±0,62	1,03±0,60	55,1±10	
intervalos			3,73-5,80	2,16-3,78	23,4-44,2	4,22-17,6	1,24-2,82	0,368-2,36	40,3-76,2	
<b>3</b>										
1		08.96	4,60	3,10	22,8	2,78	2,23	0,611	39,3	7:1
2		08.96*	4,80	3,78	27,0	1,12	1,84	0,637	46,5	7:1
3		12.96	6,53	2,94	30,8	11,3	1,31	0,481	53,1	10:1
4		12.96	6,70	2,71	30,8	12,6	1,93	1,06	53,1	15:1
5		01.97	6,15	2,38	22,7	1,46	2,18	1,02	39,1	10:1
6		02.97	5,10	2,59	25,8	13,0	2,50	0,845	44,5	10:1
7		05.97	3,25	3,35	24,8	8,62	2,38	0,877	42,8	7:1
8		07.97	3,90	3,08	22,7	4,24	0,999	0,329	39,1	7:1
médias ± s			5,13±1,25	2,99±0,45	25,9±3,4	6,89±5,1	1,92±0,53	0,73±0,26	44,7±6,0	
intervalos			3,25-6,70	2,38-3,78	22,7-27,0	1,12-13,0	0,999-2,50	0,329-1,06	39,3-53,1	
médias globais			4,77±0,97	3,04±0,76	29,3±5,7	9,31±5,3	1,93±0,56	0,900±0,50	50,3±9,9	
intervalos globais			3,25-6,70	2,16-3,78	22,7-44,2	1,12-17,6	0,999-2,82	0,329-2,36	39,1-76,2	

ETE - Estação de Tratamento de Esgoto: ETE-2; ETE-3; M.O. - Matéria orgânica; \* - Amostra especial referente ao acúmulo de lodo em um ano; \*\* - Amostra especial referente ao acúmulo de lodo durante 2 anos; s - Desvio padrão

**Tabela 2.** Concentrações de micronutrientes (também metais pesados) em lodos de estações de tratamento de esgotos (ETEs) de Maringá

Amostra (n <sup>o</sup> )	ETE	Mês e ano	pH	Micronutrientes			
				Cu (mg.g <sup>-1</sup> )	Zn (mg.g <sup>-1</sup> )	Mn (mg.g <sup>-1</sup> )	Fe (mg.g <sup>-1</sup> )
				2***			
1		04.96*	4,80	0,744	2,90	0,221	78,0
2		04.96**	4,30	0,884	2,47	0,126	77,4
3		06.96	4,60	0,339	2,17	0,202	72,1
4		06.96	4,70	0,361	2,26	0,250	70,2
5		06.96	5,80	0,121	0,649	0,142	40,5
6		08.96	4,10	0,851	0,823	0,336	70,9
7		12.96	3,82	0,764	0,378	4,90	162
8		01.97	4,56	0,915	0,109	4,50	165
9		05.97	3,73	1,54	2,88	0,412	78,8
10		08.97	4,40	1,66	2,06	0,118	61,1
Médias ±s			4,48 ±0,59	0,818 ±0,49	1,67 ±1,1	1,12 ±1,9	87,6 ±42
Intervalos			3,73-5,80	0,121-1,66	0,109-2,90	0,118-4,90	40,5-165
				3			
1		08.96	4,60	0,337	1,79	1,80	75,2
2		08.96*	4,80	0,129	0,995	0,169	38,8
3		12.96	6,53	1,06	1,96	0,327	67,6
4		12.96	6,70	0,445	0,416	0,983	67,5
5		01.97	6,15	0,970	0,882	4,52	161
6		02.97	5,10	1,54	2,88	0,613	78,8
7		05.97	3,25	1,57	3,66	0,458	62,8
8		07.97	3,90	1,09	0,542	0,310	75,6
Médias ±s			5,13 ±1,25	0,893 ±0,54	1,64 ±1,2	1,15 ±1,5	78,4 ±36
Intervalos			3,25-6,70	0,129-1,57	0,416-3,66	0,164-4,52	62,8-161
Médias ±s globais			4,77 ±0,97	0,851 ±0,50	1,66 ±1,1	1,13 ±1,7	83,5 ±38
Intervalos globais			3,25-6,70	0,121-1,66	0,109-3,66	0,118-4,90	40,5-165

ETE - Estação de Tratamento de Esgotos: ETE-2; ETE-3; \* - Amostra especial referente ao acúmulo de lodo em um ano; \*\* - Amostra especial referente ao acúmulo do lodo durante 2 anos; \*\*\* - Os dados referentes ao Cu, Zn, Mn e Fe desta ETE-2 foram extraídos de Almeida *et al.*, 1998; s - Desvio padrão

**Tabela 3.** Concentrações de metais em lodos de estações de tratamento de esgotos (ETEs) de Maringá

Amostra (n <sup>o</sup> )	ETE	Mês e ano	pH	Metais				
				Pb (µg.g <sup>-1</sup> )	Cr (µg.g <sup>-1</sup> )	Cd (µg.g <sup>-1</sup> )	Al (%)	Hg ng.g <sup>-1</sup>
				2***				
1		04.96*	4,80	86,3	108	1,47	2,22	7,6
2		04.96**	4,30	190	134	1,87	1,61	7,6
3		06.96	4,60	86,5	106	1,07	1,46	7,3
4		06.96	4,70	141	83,5	1,03	1,71	(...)
5		06.96	5,80	76,2	31,8	0,270	0,565	5,5
6		08.96	4,10	143	111	0,930	2,92	...
7		12.96	3,82	33,7	56,9	2,13	6,98	...
8		01.97	4,56	34,7	44,0	1,80	7,28	...
9		05.97	3,73	67,3	46,0	1,46	1,70	...
10		08.97	4,40	148	177	2,13	1,30	...
Médias ±s			4,48 ±0,59	101 ±52	89,8 ±46	1,42 ±0,60	2,77 ±2,4	
intervalos			3,73-5,80	33,7-190	31,8-177	0,270-2,13	0,565-7,28	
				3				
1		08.96	4,60	137	118	1,33	6,85	7,6
2		08.96*	4,80	58,5	42,9	0,470	1,28	4,5
3		12.96	6,53	139	177	2,06	2,00	...
4		12.96	6,70	38,0	35,6	1,73	3,87	...
5		01.97	6,15	43,7	46,0	1,63	6,67	...
6		02.97	5,10	140	131	2,33	1,81	...
7		05.97	3,25	112	105	1,66	1,13	...
8		07.97	3,90	64,3	46,6	0,100	1,45	...
Médias ±s			5,13 ±1,25	91,6 ±45	87,8 ±52	1,41 ±0,76	3,13 ±2,4	
intervalos			3,25-6,70	38,0-139	35,6-177	0,100-2,33	1,13-6,85	
Médias ±s globais			4,77 ±0,97	96,6 ±48	88,9 ±48	1,42 ±0,65	2,93 ±2,3	6,7 ±1,3
Intervalos globais			3,25-6,70	33,7-190	31,8-177	0,100-2,33	0,565-7,28	4,5 - 7,6

ETE - Estação de Tratamento de Esgotos: ETE-2; ETE-3; \* - Amostra especial referente ao acúmulo de lodo em um ano; \*\* - Amostra especial referente ao acúmulo do lodo durante 2 anos; \*\*\* - Os dados referentes ao Pb, Cr e Cd foram extraídos de Almeida *et al.*, 1998; s - Desvio padrão; (...) - análises não realizadas

Em termos de micronutrientes analisados, Cu, Zn, Mn e Fe, Tabela 3, as duas ETEs apresentam médias e intervalos de valores semelhantes. Comparando-se os resultados obtidos com os da

literatura, Tabela 4, observa-se que o cobre, nas duas ETEs, tem teores mais elevados que os da literatura. O Zn e o Mn, ao contrário, apresentam teores médios mais baixos.

**Tabela 4.** Concentrações médias e intervalo de concentrações de metais em solos e lodos de esgoto a nível mundial, e concentrações máximas aceitáveis (CMA)\* no solo agricultável, referenciados na literatura

Metal	Tipo de material	média ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ) <sup>a</sup>	Intervalo de valores ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ) <sup>a</sup>	Intervalo de valores ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ) <sup>b</sup>	CMA <sup>c</sup> ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	
					Intervalo <sup>d</sup>	Mediana
Cu	Lodo	690	100 - 1.000	...	...	
	Solo	30	2,0 - 250	6,0 - 80	23 - 140	100
Zn	Lodo	2.250	1000 - 10.000	...	...	
	Solo	90	1,0 - 900	17 - 125	70 - 400	265
Mn	Lodo	1.980	60 - 3.600	...	...	
	Solo	1000	20 - 10.000	80 - 1.300	1.500-3.000	1.500
Pb	Lodo	1.832	136 - 7.627	...	...	
	Solo	20	2,0 - 200	10 - 84	20 - 500	100
Cr	Lodo	1.221	20 - 40.615	...	...	
	Solo	40	10 - 150	7 - 221	50 - 600	100
Cd	Lodo	74	2,0 - 1.100	...	...	
	Solo	0,35	0,010 - 2,0	0,060 - 1,1	3,0 - 8,0	3,0
Hg	Lodo	8,6	3,0 - 18	...	...	
	Solo	70	20 - 150	0,020 - 0,41	0,30 - 5,0	4,0
Al	RM		0,45 -8,8%			
	RS		0,43 - 10,0%			

RM - Rochas magmáticas; RS - Rochas sedimentares; \* - Kabata-Pendias e Pendias (1992). a - In: Adriano (1986); b - In: McBride (1994); c - Concentrações Máximas Aceitáveis, terminologia usada por Kabata-Pendias e Pendias (1992); d - In: Kabata-Pendias e Pendias (1992)

**Tabela 5.** Tempo em anos para se alcançarem as concentrações máximas aceitáveis (CMA) no solo arável, para alguns metais, em termos de limite inferior, superior e mediana dos intervalos referenciados na literatura, partindo-se de uma adubação anual na dosagem de 6t.ha<sup>-1</sup>, com lodo de esgoto seco de Maringá, contendo os valores médios globais da Tabela 2 e da Tabela 3

Metal	Concent. máxima aceitável <sup>a</sup>		Concent. média global (lodo Maringá) ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	Concent. no solo para um ha→3.000.t ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	Tempo em anos para alcançar a CMA	
	Intervalo ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	Mediana ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )			Valor do intervalo (a)	Mediana (a)
Cu	23 - 140	100	851	1,70	13 - 82	59
Zn	70 - 400	265	1.660	3,32	21 - 120	79
Mn	1.500-3.000	1.500	1.130	2,22	675 - 1,35.10 <sup>3</sup>	675
Pb	20 - 500	100	96,6	0,194	103 - 2,58.10 <sup>3</sup>	516
Cr	50 - 600	100	88,9	0,178	281 - 3,37.10 <sup>3</sup>	562
Cd	3,0 - 8,0	3,0	1,42	2,84.10 <sup>-3</sup>	1,06.10 <sup>3</sup> - 2,82.10 <sup>3</sup>	1,06.10 <sup>3</sup>
Hg	0,30 - 5,0	4,0	0,0067	1,34.10 <sup>-5</sup>	2,24.10 <sup>4</sup> - 3,73.10 <sup>5</sup>	2,99.10 <sup>5</sup>

a - Estes valores foram obtidos de intervalos preconizados por diversos autores. In: Kabata-Pendias e Pendias (1992)

Os metais pesados (que não são nutrientes) analisados, Pb, Cr, Cd e Hg, para as duas ETEs apresentam teores semelhantes entre si e bem menores que os encontrados na literatura, Tabelas 3 e 4. Acredita-se que o pH baixo dos lodos (ácido) reflita o pH em que se deu a decomposição anaeróbica do esgoto doméstico. Nesse pH, os sítios orgânicos ativos foram protonados e a maioria dos metais foram disponibilizados para a solução e, com o efluente sobrenadante do esgoto, continuaram seu percurso pelo meio ambiente.

O teor de alumínio, Tabela 3, praticamente iguala-se aos valores encontrados nas rochas magmáticas e sedimentares, Tabela 4, cuja meteorização o incorporou e continua incorporando-o aos solos. Sua interferência é controlada pela calagem.

Um hectare (ha) de terra equivale a uma área de 100m x 100m e, para efeito de adubação, de calagem, etc., um hectare implica a mesma área tomada com 15cm, 20cm, 25cm, etc. de profundidade e para cada um destes volumes de solo lhe correspondem, em média, 2.000t, 3.000t, 4.000t, etc., respectivamente (Malavolta, 1981).

Supondo-se que se faça, com o lodo da ETE-1 e da ETE-2, uma adubação correspondente a 6t.ha<sup>-1</sup>, com uma mistura de massa seca dos mesmos, que contenha a concentração média de manganês de 1.130 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , Tabela 2, isso significa que o teor de Mn que as 6t de lodo contêm (6.670.10<sup>6</sup> $\mu\text{g}$  de Mn, ou 6.670g, ou 6,670kg de Mn) é incorporado ao solo. Essa quantidade de manganês seria teoricamente espalhada e homogeneizada, no caso, em 3.000 toneladas de solo (correspondente ao hectare com 15cm de profundidade). Daria uma concentração de Mn, nesse solo, de 2,22 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ .

Supondo-se ainda que este Mn, espalhado com o lodo, ali permaneça e novas adubações com o mesmo lodo contaminado com Mn sejam realizadas, cada vez com as mesmas características da primeira e uma a cada ano, levar-se-iam 675 anos para se alcançar o limite inferior do intervalo de concentrações máximas aceitáveis para o Mn (1.500 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ), Tabela 5; 675 anos para se alcançar a mediana do intervalo (1.500 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ) e 1.351 anos para alcançar o limite superior do intervalo (3.000 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ). Cálculos semelhantes para os metais Cu, Zn, Mn, Pb, Cr e Hg encontram-se na Tabela 5.

Admitindo como corretos os intervalos das CMA - concentrações máximas aceitáveis (Kabata-Pendias e Pendias, 1992) e fazendo os respectivos cálculos, pela Tabela 5, verifica-se que o cobre é o metal mais limitante do uso do lodo de esgoto das duas ETEs de Maringá para fins agrícolas, conforme Almeida *et al.* (1998). Dos metais analisados, o cobre é o que mais limita, ou, pelo menos, dificulta sua utilização por apresentar uma CMA (concentração máxima aceitável) baixa para os solos aráveis ( $23\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  -  $140\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ) e concentrações elevadas nos lodos de esgoto ETE-2 ( $818\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ), ETE-3 ( $893\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ), com valor médio global de  $851\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ . Para o caso, adubações com uma dose de  $6\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$  poderiam ser repetidas 13 vezes para se alcançar o valor do limite inferior do intervalo proposto para a CMA.

Existem possibilidades de usar esses lodos para fins agrícolas se, entre outras, optar-se pelas seguintes variáveis: solos pobres em cobre; espécies vegetais mais resistentes ao cobre; diminuição da dose; aumento da espessura da camada do solo tratado.

Para a utilização segura desses resíduos em fins agrícolas é necessário, previamente, conhecer o teor do elemento limitante ou dos elementos limitantes e monitorá-los sistematicamente.

Portanto, pelos dados experimentais e pelos referenciados na literatura, conclui-se que:

- O lodo da ETE-2 apresenta:
  - a) teores mais elevados de macronutrientes que os da ETE-3;
  - b) relação C:N mais uniforme e mais próxima de 10:1.
- Os lodos das duas ETEs apresentam teores médios de cobre mais elevados que os apresentados na literatura pertinente.
- Para aplicação segura de lodos de ETEs, nos solos aráveis, existem metais que são elementos limitantes.
- Nos lodos das ETE-2 e ETE-3 de Maringá, o elemento químico mais limitante é o cobre.

### Agradecimentos

A Equipe de trabalho agradece ao Departamento de Química (DQI), ao Grupo de Estudos Multidisciplinares do Ambiente (Gema), ambos da Universidade Estadual de Maringá (UEM); à Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar) - Regional de Maringá, e nela, em especial, ao Químico Lorenzo Cassaro e à Engenheira Tereza Rey Takesato de Assis e ao CNPq (Brasília) pelo apoio prestado.

### Referências bibliográficas

Adriano, D.C. *Trace elements in the terrestrial environment*. Berlin: Springer Verlag, 1986. 533 p.

- Almeida, V.C.; Lenzi, E.; Favero, L.O.B.; Luchese, E.B. *Avaliação de metais pesados no lodo da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE-2) de Maringá, Paraná*. In: I SEMINÁRIO SOBRE GERENCIAMENTO DE BIOSÓLIDOS DO MERCOSUL, 1, 1998, Curitiba. *Anais...* Curitiba: Sanepar, 1998. p.175-181.
- Andreoli, C.V.; Fernandes, F. Principais fatores limitantes (metais pesados e patógenos) para o uso agrícola do lodo de esgotos no Paraná. *Sanare*, 7(7):68-72, 1997.
- Andreoli, C.V.; Bonnet, B.R.P.; Lara, A.I.; Wolter, F.R. Proposição de plano de monitoramento da reciclagem agrícola do lodo de esgoto no Estado do Paraná. *Sanare*, 7(7):76-84, 1997.
- Andreoli, C.V.; Fernandes, F.; Domaszak, S.C. *Reciclagem agrícola do lodo de esgoto*. Curitiba: Sanepar, 1997. 81p.
- Bertoncini, E.I. *Mobilidade de metais pesados em solos tratados com lodo de esgoto*. Piracicaba, 1997. (Master's Thesis in Agronomy) - Universidade de São Paulo.
- Cavallaro, N.; Padilla, N.; Villarrubia, J. Sewage sludge effects on chemical properties of soils. *Soil Sci.*, 156(2):62-70, 1993.
- De Deus, A.B.S. *Avaliação sanitária e ambiental de lodos de ETEs*. Porto Alegre, 1992. (Master's Thesis in Sanitary Engineering) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Epstein, E. *Nutrição mineral das plantas: princípios e perspectivas*. São Paulo: Edusp, 1975. 341p.
- Farina, M.P.W.; Summer, M.E.; Plank, C.O.; Letzch, W.S. Effect of pH on soil magnesium and its absorption by corn. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 11(10):981-992, 1980.
- Favaretto, N.; Deschamps, C.; Daros, E.; Pissaia, A. Efeito do lodo de esgoto na fertilidade do solo e no crescimento e produtividade de milho (*Zea mays* L.). *Braz. Arch. Biol. Tecnol.*, 40(4):837-848, 1997.
- Griepink, B.; Muntau, H.; Colinet, E. Certification of the contents of some heavy metals (Cd, Co, Cu, Mn, Hg, Ni, Pb and Zn) in three types of sewage sludge. *Fresenius Z. Anal. Chem.*, 318:490-494, 1984.
- Hernandez, T.; Garcia, C.; Costa, F.; Valero, J.A.; Ayuso, M. Utilización de resíduos urbanos como fertilizantes orgânicos. *Suelo y Planta*, 2(3):373-383, 1992.
- Hooda, P.S.; Alloway, B.J. The effect of liming on heavy metal concentrations in wheat, carrots and spinach grown on previously sludge applied soils. *J. Agric. Sci.*, 127:289-294, 1996.
- Horwitz, W. [Editor] *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. 13. ed. Washington: Association of Official Analytical Chemists - AOAC, 1980. 1018 p.
- IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas) *Lixo municipal - Manual de gerenciamento integrado*. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo, 1995. 278p.
- Kabata-Pendias, A.; Pendias, H. *Trace elements in soils and plants*. 2. ed. London: CRC Press, 1992. 365p.
- Ladonin, D.V.; Margolina, S.E. Interaction between humic acids and heavy metals. *Euras. Soil Sci.*, 30:710-1715, 1997.

- Lima, L.M.Q. *Tratamento do lixo*. São Paulo: Hemus, 1985. p.09-15.
- Malavolta, E. *Manual de química agrícola adubos e adubações*. 3. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 59p.
- Manahan, S.E. *Environmental chemistry*. 6. ed. Chelsea (USA): Lewis Publishers, 1994. 612p.
- Mattiazzo-Prezotto, M.E. *Comportamento do cobre, cádmio, cromo, níquel e zinco adicionados a solos de clima tropical em diferentes valores de pH*. Piracicaba, 1994. (Livro Docência) - Universidade de São Paulo.
- McBride, M.B. *Environmental Issues*. *J. Qual.*, 24:5-18, 1995
- McBride, M.B. *Environmental Chemistry of soils*. Oxford: Oxford University Press, 1994. 406p.
- Przybysz, L.C.B.; Guidi, E.F. Uso adequado dos sistemas de coleta e tratamento de esgotos domésticos - enfoque ambiental. *Sanare*, 7(7):20-23, 1997.
- Ros, C.A.C. da; Aita, C.; Ceretta, C.A.; Fries, M.R. Utilização do lodo de esgoto como fertilizante: efeito imediato no milho e residual na associação de aveia + ervilha em 1990. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIZANTES DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 1990. Santa Maria, 1980. *Livro de Resumos*, Santa Maria: UFSM, 1980. p. 20.
- Sanepar (Companhia de Saneamento do Paraná), Regional de Maringá. *Plano anual de operação e manutenção de esgotamento sanitário*. Maringá: Sanepar, 1997. 16p.
- Sarkis, K. Evaluating land application effects - Results on Philadelphia sludge application program on corn and soybean fields provide useful data on heavy metal and PCB accumulation. *Biocycle*, 28(1):27-28, 1987.
- Smith, S.R. Effects of soil pH on availability to crops of metals in sewage treated soils: nickel, copper and zinc uptake and toxicity to ryegrass. *Environ. Pollut.*, 85:321-327, 1994.
- Tedesco, M.J.; Volkweiss, S.J.; Bohnen, H. *Análise de solo, plantas e outros materiais*, Boletim Técnico N° 5. Porto Alegre: Departamento de Solos, Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1985 p.3.1-3.38.
- Welz, B. *Atomic absorption spectrometry*. 2. ed. Weinheim (Germany): VCH Verlagsgesellschaft mbH, 1985. 506p.
- Zhu, B.; Alva, A.K. Trace metal and cation transport in a sandy soil with various amendments. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 57:723-727, 1993.
- Zibilske, L.M. Dynamics of nitrogen and carbon in soil during papermill sludge decomposition. *Soil Sci.*, 143(1):26-33, 1987.

Received on September 03, 1998.

Accepted on November 12, 1998.