



IMPACTOS NO SOLO ASSOCIADOS À UTILIZAÇÃO AGRÍCOLA DE LODO DE ESGOTO COMO CONDICIONADOR E FERTILIZANTE DE SOLO

DOMINGUEZ, D. X.¹(dxanchao@hotmail.com), GÜNTHER, W. M. R.² (wgunther@usp.br), PEREZ, D. V.³ (daniel.perez@embrapa.br), ALCANTARA, S. M.⁴ (saraidealcantara@gmail.com)

1 Programa de Pós Graduação em Ciência Ambiental Procam – USP;

2 Faculdade de Saúde Pública – USP;

3 Centro Nacional de Pesquisa em Solos (Embrapa-Solos);

4 Universidade Federal do Rio de Janeiro

RESUMO

Este trabalho tem como finalidade avaliar os impactos no solo envolvidos nos processos de utilização agrícola de lodos de esgoto, como condicionador e fertilizante de solo ao longo de cinco anos. As análises são baseadas no efeito da aplicação de lodo de esgoto na acumulação de metais pesados e na disponibilização de nutrientes em um Latossolo. Verificou-se que o uso de lodo de esgoto promoveu significativas mudanças em quase todos os parâmetros do solo analisados. O estudo aponta, entre outras conclusões, que o uso de lodo é importante para o aumento do teor de fósforo em solos tropicais. Observou-se também que o conteúdo de metais pesados foram maiores nas parcelas fertilizadas com lodo de esgoto da ETE de Barueri que trata tanto esgoto doméstico quanto industrial. E que as parcelas que receberam aplicações de lodo superiores à estabelecida pela legislação apresentaram alterações significativas na concentração de enxofre, nitrogênio, fósforo e metais, aumentando os riscos ambientais associados a tal prática e ratificando assim a hipótese de que o uso do lodo de esgoto pode ser uma prática adequada e segura desde que os procedimentos atendam aos requisitos legais, principalmente em relação à taxa de aplicação máxima permitida. Assim como o monitoramento frequentemente a fim de evitar impactos negativos.

Palavras-chave: lodo de esgoto, metal pesado, nutrientes.

ENVIRONMENTAL IMPACTS OF APPLICATION OF SEWAGE SLUDGES TO AGRICULTURAL LAND

ABSTRACT

The purpose of this research was identify and assess the risks related the use of sewage sludge on agricultural land, analyzing the accumulation of heavy metals and the availability of nutrients in a soil classified as Oxisol. The results obtained confirm the hypothesis that the use of sewage sludge can be adequate and safe. However, for large-scale adoption of this procedure, it is recommended not only require compliance to legal requirements, specially the maximum amount of sewage sludge application permitted, as well as frequent monitoring are recommended in order to avoid potential negative impacts.

Keywords: sewage sludge, trace heavy metals, nutrients.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, o acelerado processo de urbanização nas últimas décadas e as políticas de incentivo ao saneamento básico, impulsionaram a construção de mais Estações de Tratamento de

Realização



Apoio Acadêmico

ESCOLA
Politécnica





Esgoto (ETE) para o tratamento de suas águas residuárias. Porém, desse tratamento resulta a produção do lodo de esgoto, resíduo que – por sua vez - necessita de uma adequada disposição final para não causar problemas ambientais e de saúde.

O aterro sanitário é na maioria dos casos, a destinação final do lodo de esgoto. Além do alto custo, a disposição de um resíduo com elevada carga orgânica no aterro, agrava ainda mais o problema brasileiro com o manejo dos resíduos sólidos urbanos.

O uso para fins agrícolas está entre as diversas alternativas existentes para a disposição final do lodo de esgoto. Esta alternativa se apresenta como uma das mais satisfatórias, pois o lodo de esgotos é rico em nutrientes e possui um alto teor de matéria orgânica, sendo recomendada sua aplicação como condicionador de solo e fertilizante. Além disso, sob o ponto de vista ambiental, a reciclagem agrícola do lodo de esgoto é uma opção das mais adequadas, propiciando também economia de energia e reservas naturais, na medida em que diminui as necessidades de fertilização mineral. Entretanto, apesar de representar uma forma de contribuição para a resolução ambientalmente segura de um problema que tende a se agravar à medida que sejam ampliados os sistemas de coleta e tratamento de esgoto no país, o uso agrícola de lodo de esgoto ainda não foi amplamente difundido no Brasil. Vários estudos no Brasil comprovaram a eficácia do uso agrícola de lodo de esgoto, todavia, a possível presença de poluentes como metais pesados, patógenos e compostos orgânicos persistentes são fatores que podem provocar impactos ambientais negativos.

Uma vez adicionados ao solo, alguns dos poluentes podem entrar na cadeia alimentar ou acumular-se no próprio solo, no ar, nas águas superficiais, nos sedimentos e nas águas subterrâneas, prejudicando as propriedades químicas e biológicas dos solos, provocando toxidez nas plantas e animais e ocasionar danos ambientais, agronômicos e sanitários.

2. OBJETIVOS

O objetivo central desse estudo é avaliar os riscos ambientais envolvidos nos processos de utilização agrícola de lodos de esgoto, como condicionador e fertilizante de solo. Para tanto, foram avaliadas as características químicas do solo, após aplicações recorrentes de lodo de esgoto, bem como determinados os níveis de nutrientes e acumulação residual de metais pesados.

3. METODOLOGIA

As amostras de solo utilizadas neste trabalho são oriundas de experimento que vem sendo conduzido desde 1998, no Centro Nacional de Pesquisa de Monitoramento e Avaliação de Impacto Ambiental – CNPMA (Embrapa Meio Ambiente), situado na cidade de Jaguariúna (SP) e faz parte de um projeto interdisciplinar, de longa duração, com a finalidade de avaliar o impacto do uso agrícola de lodo de esgoto ao longo de anos.

O delineamento experimental utilizado no CNPMA foi o de blocos casualizados, com parcelas de 20 x 10 m², onde plantou-se milho (*Zea mays*) em um solo classificado como Latossolo vermelho distroférico, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006). Aplicou-se no experimento o fatorial de 6 x 2, onde o solo recebeu a incorporação de dois tipos de lodo de esgoto gerados pela SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo): lodo produzido na ETE da cidade de Franca (SP), que trata esgoto essencialmente doméstico e, o lodo da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) da cidade de Barueri (SP), que trata tanto esgoto industrial como doméstico.

Em cada tipo de lodo, utilizou-se 6 tratamentos:

- Controle (parcelas sem aplicação de fertilizante mineral e nem lodo de esgoto);
- Aplicação de fertilizante mineral NPK (N (nitrogênio), P (fósforo) e K (potássio) na quantidade recomendada para milho;

Realização



Apoio Acadêmico

ESCOLA
Politécnica





- Solo condicionado com lodo de esgoto, na quantidade que tenha a mesma concentração de N do NPK recomendado para milho, obedecendo ao artigo 17 da Resolução CONAMA nº 375 (BRASIL, 2006).
- Solo condicionado com lodo de esgoto com 2 vezes a concentração de N do NPK recomendado para milho (2N);
- Solo condicionado com lodo de esgoto com 4 vezes a concentração de N do NPK recomendado para milho (4N);
- Solo condicionado com lodo de esgoto com 8 vezes a concentração de N do NPK recomendado para milho (8N).

Foram realizadas aplicações anuais de lodo de esgoto das ETEs de Franca e Barueri entre os anos 1999 e 2003. O pH do solo foi corrigido em outubro de 2000. Não houve aplicações de lodo entre os anos de 2004 a 2006 e reaplicações somente do lodo da ETE de Franca foram feitas entre os anos de 2007 e 2010.

Inserindo-se nessa pesquisa mais ampla, o recorte do presente trabalho se concentra na análise do efeito residual do lodo de esgoto, no solo, entre os anos de 2006 a 2012.

As amostras de solo sempre foram coletadas antes da aplicação de lodo e de um novo plantio, o que geralmente, ocorreu entre os meses de outubro a dezembro. No ano de 2011, a área experimental não foi cultivada. Os anos de 2010 e 2011 não foram considerados nesta pesquisa.

As amostras de solo foram coletadas nas profundidades de 0 à 20 cm, 20 à 40 cm e 40 à 60 cm e analisadas no Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Embrapa Solos). Os atributos avaliados foram pH, CTC (Capacidade de Troca Catiônica), carbono orgânico, os macronutrientes: N (nitrogênio), P (fósforo) e S (enxofre), o micronutriente Ni (níquel) e também os metais pesados Cd (cádmio) e Cr (cromo). A metodologia aplicada para analisar pH, CTC (Capacidade de Troca Catiônica), carbono orgânico e os macronutrientes N (nitrogênio) e P (fósforo) foi a do Manual da Embrapa (EMBRAPA, 1997). Para a análise do enxofre utilizou-se a metodologia de CANTARELLA (2001). O micronutriente Ni (Níquel) e os metais pesados Cr (Cromo) e Cd (Cádmio) foram analisados pelo método da extração sequencial, seguindo o protocolo de Wasserman *et al.* (2001).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O uso de lodo de esgoto influenciou muitas propriedades do solo e esta mudança foi estatisticamente significativa para quase todos os parâmetros de solo estudados.

Na profundidade de 0 a 20 cm, doses crescentes de lodo aplicadas mantiveram efeitos significativos sobre o teor de carbono orgânico, ao longo do período de 2006 a 2012, contribuindo com o seu aumento no solo (Figura 1). Resultados similares foram obtidos com relação às concentrações médias de nitrogênio total (N), o que já era esperado, devido a sua estreita relação com o carbono orgânico do solo (Figura 1). As doses de lodo também influenciaram, significativamente, a redução do pH do solo nos anos de 2006 a 2012, entretanto foram os tratamentos em que se aplicaram a maior dose de lodo (8N) os responsáveis pela diminuição significativa do pH (Tabela 1). Possivelmente, esse comportamento pode ser atribuído, principalmente, à presença de ácidos orgânicos produzidos durante a decomposição microbológica da matéria orgânica presente no lodo (BROFAS *et al.*, 2000).

Realização



Apoio Acadêmico

ESCOLA
Politécnica

UNISINOS
Somos infinitas possibilidades



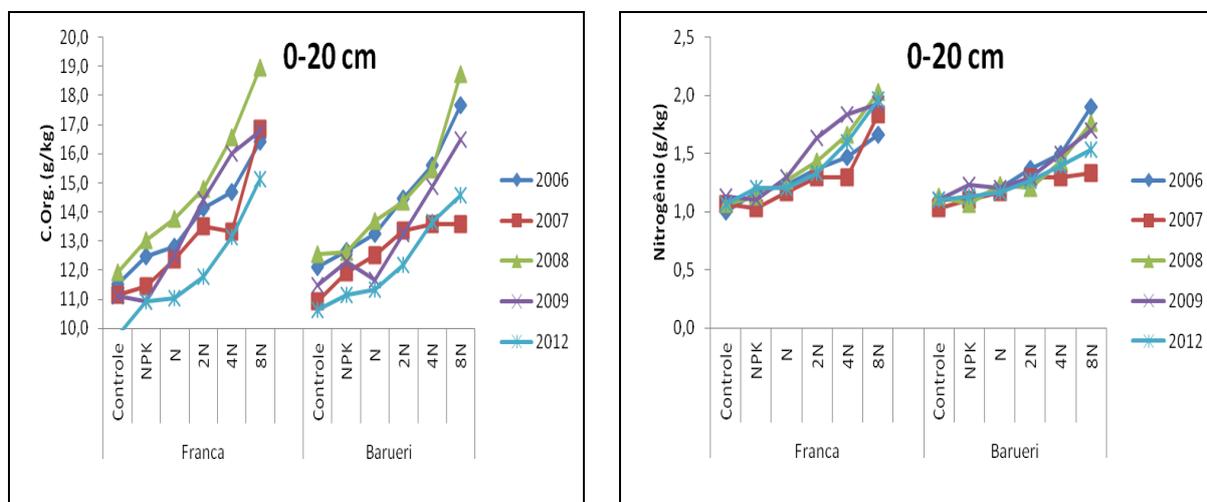


Figura 1 – Resultados de carbono orgânico e nitrogênio na camada de 0-20cm, em função do tipo e da dose de lodo aplicado no período de 2006 a 2012

Ainda na profundidade de 0 a 20 cm, o aumento proporcional do conteúdo de matéria orgânica, em função das doses de lodo, apresentou reflexos diretos na CTC do solo (**Figura 2**). A maior influência da matéria orgânica nas propriedades químicas do solo está na alteração do seu complexo coloidal. Ela se reflete, diretamente, na capacidade de troca catiônica do solo (CTC), promovendo o aumento de cargas superficiais negativas e, conseqüentemente, a maior retenção de cátions (ABREU Jr. *et al.*, 2001).

VARIACÃO DO pH POR PROFUNDIDADE AO LONGO DOS CINCO ANOS ANALISADOS																
Lodo	Dose	Ph														
		0 - 20 cm					20 - 40 cm					40 - 60 cm				
		2006	2007	2008	2009	2012	2006	2007	2008	2009	2012	2006	2007	2008	2009	2012
Franca	Controle	5.9	5.6	6.0	6.0	5.5	5.3	4.7	5.2	5.3	5.4	5.1	4.6	4.9	5.0	5.1
	NPK	5.9	5.2	5.6	5.4	5.2	5.0	4.9	5.1	5.4	5.2	4.9	4.7	5.0	5.2	5.0
	N	6.1	5.6	5.7	5.7	5.6	5.3	5.1	5.3	5.4	5.5	5.0	4.9	5.0	5.2	5.2
	2N	6.3	5.7	5.7	5.6	5.5	5.4	4.8	5.2	5.1	5.4	5.1	4.8	4.8	5.3	5.1
	4N	5.7	5.4	5.1	5.2	5.4	5.1	5.1	4.9	5.3	5.3	4.9	4.8	4.7	4.8	5.0
	8N	5.4	5.0	4.6	4.7	5.0	4.8	4.6	4.7	4.9	4.9	4.7	4.5	4.5	4.6	4.8
Barueri	Controle	6.1	5.4	6.2	6.0	5.6	5.2	5.2	5.5	5.3	5.5	4.9	4.8	5.0	5.0	5.1
	NPK	5.7	5.6	5.8	5.9	5.5	5.2	4.9	5.2	5.1	5.3	4.9	4.6	4.8	5.1	4.9
	N	6.0	5.9	6.0	6.0	5.6	5.2	5.0	5.4	5.3	5.5	5.0	4.8	5.0	5.1	5.1
	2N	5.9	5.7	5.9	5.9	5.6	5.5	4.9	5.2	5.2	5.5	4.9	4.7	4.9	5.0	5.1
	4N	5.6	5.5	5.8	5.9	5.6	5.1	4.9	5.1	5.2	5.6	4.8	4.8	4.8	4.9	5.0
	8N	5.7	5.4	5.6	5.8	5.5	4.9	4.8	5.1	5.3	5.4	4.7	4.6	4.7	4.7	4.9

Tabela 1 – Variação do pH, por profundidade/ano.

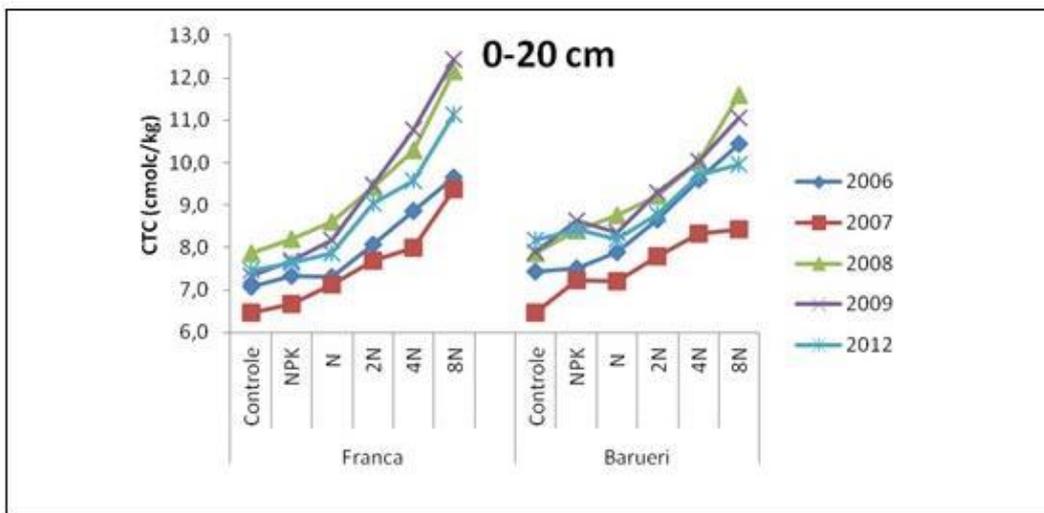


Figura 2 – Resultados de CTC na camada de 0-20 cm, em função do tipo e da dose de lodo aplicado nos períodos de 2006 a 2012.

As doses de lodo também influenciaram significativamente os teores de fósforo, aumentando sua disponibilidade no solo (**Figura 3**), o que já era esperado, pois o teor original no solo era muito baixo, como pode ser visto na **Tabela 2**.

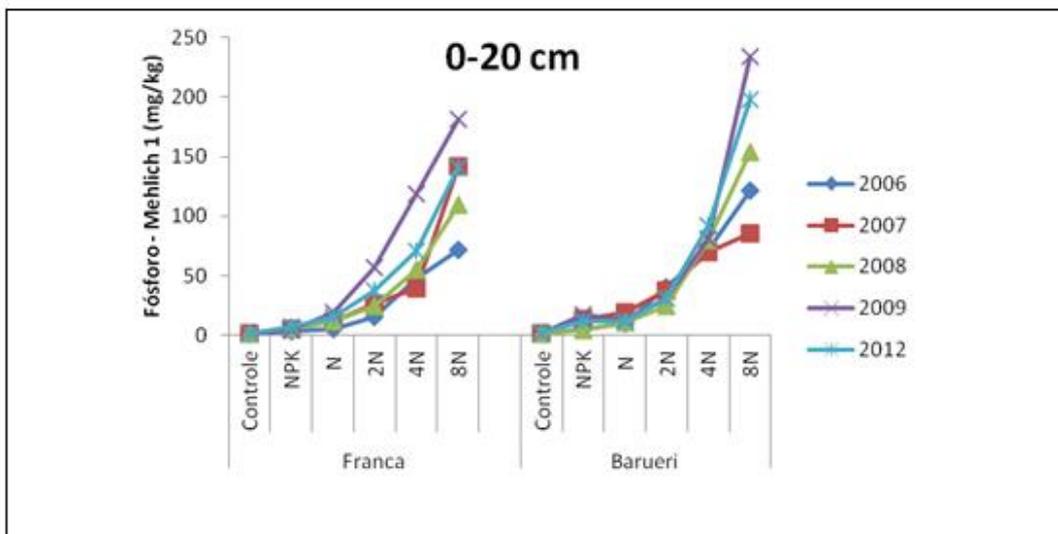


Figura 3 – Resultados de fósforo em função do tipo e da dose de lodo aplicado no período de 2006 a 2012.



Lodo	Dose	Fósforo (P)														
		0 - 20 cm					20 - 40 cm					40 - 60 cm				
		2006	2007	2008	2009	2012	2006	2007	2008	2009	2012	2006	2007	2008	2009	2012
Franca	Controle	1	2	2	2	2	2	1	1	1	6	2	1	1	1	1
	NPK	3	5	6	4	7	3	2	3	2	4	3	3	1	5	1
	N	6	11	12	19	15	2	7	2	2	8	2	2	2	2	3
	2N	16	26	25	57	38	3	2	5	3	25	2	2	2	2	8
	4N	48	39	55	118	70	3	8	17	7	55	3	3	8	4	13
	8N	72	142	110	181	141	10	6	17	19	99	2	4	11	5	31
Barueri	Controle	2	2	2	2	2	2	2	7	2	2	1	1	1	2	1
	NPK	6	14	5	17	11	2	2	3	3	5	2	1	1	2	4
	N	10	19	11	13	12	2	1	2	2	6	1	1	2	2	2
	2N	40	37	25	31	31	8	2	4	4	16	2	1	2	3	4
	4N	72	70	80	81	92	10	9	11	7	54	3	3	1	2	9
	8N	122	85	154	234	198	16	8	41	25	132	3	6	13	3	25

Tabela 2 – Teores de P em mg/kg, por profundidade (2006/2012).

Observou-se que as concentrações de S, mais precisamente sulfato, foram positivamente correlacionadas com as doses de lodo aplicadas no solo.

A quantidade de enxofre presente no lodo de esgoto é suficiente para suprir as necessidades da maioria das culturas, mesmo se aplicado em pequenas quantidades (FERREIRA e ANDREOLI, 1999). Os menores teores de sulfato são notados nas amostras controle que não receberam lodo e nem NPK, confirmando a hipótese de que o aumento no teor de S do solo ocorreu pela aplicação de resíduo orgânico, consequência, principalmente, da mineralização da matéria orgânica adicionada e não daquela proveniente do solo (ABREU *et al.*, 2005).

A presença constante de enxofre na matéria orgânica, existente no lodo de esgoto, está vinculada parte às fezes, que são fontes de proteínas e, a outra proveniente dos resíduos de detergentes, sabões e produtos de higiene (sabonete, shampoos, cremes dentais, etc) que utilizam sulfatos, sulfetos inorgânicos e surfactantes como aditivos (JORDÃO E PESSOA, 1995). Lembrando também, que neste contexto, o enxofre está em constante transformação, envolvendo reações de oxi-redução promovidas por microrganismos (TSUTIYA, 2002).

Os latossolos brasileiros apresentam grande diversidade de minerais em sua fração argila, porém sua predominância é da caulinita, a qual possui predomínio de cargas negativas em sua superfície (MELO e WYPYCH, 2009). O íon sulfato, o qual representa a maior fração do S (Enxofre) orgânico nos solos possui carga negativa e consequentemente são repelidos pelas cargas negativas da superfície da caulinita, e por este fato tendem a lixiviar no solo. Este íon, por sua vez, forma complexos de esfera externa com os metais de transição e lixiviam pelos perfis do solo. Por isso são encontrados maiores teores de sulfato nos perfis mais profundos (40 a 60 cm). Este comportamento pode ser demonstrado, por exemplo, no gráfico Box-plot do ano de 2012 (Figura 4). Neste gráfico, é possível constatar que os teores de sulfato são bem distintos entre as profundidades do solo, pelos valores mínimo e máximo, percentil 75, percentil 25, média e mediana do conjunto de dados.

Realização



Apoio Acadêmico

ESCOLA
Politécnica

UNISINOS
Somos infinitas possibilidades

Universidade de Brasília
laxis
Laboratório de Ambiente Construído
Instituto de Sustentabilidade
PAU | CDS | PGA | UNB

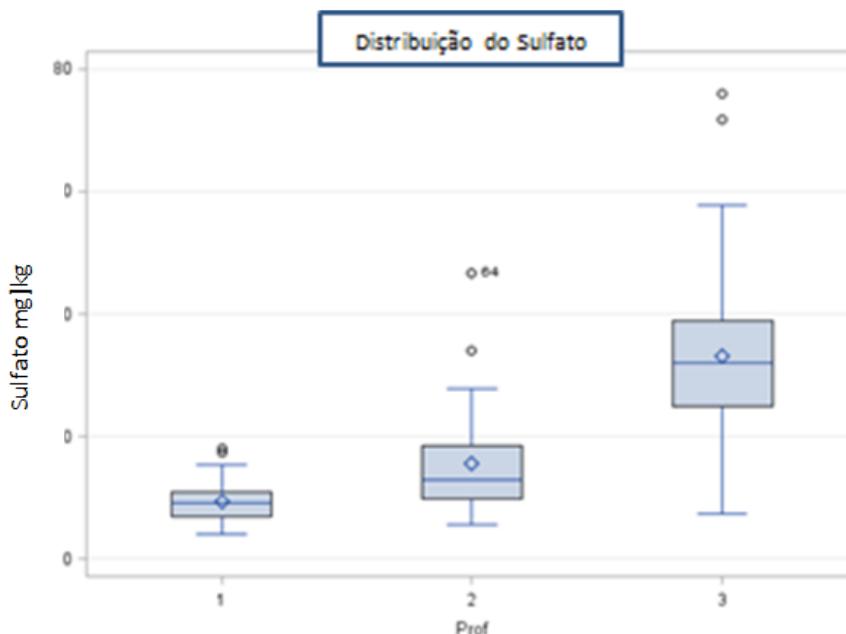


Figura 4 – Teores de Sulfato x profundidade. Ano de 2012; Profundidade 1 – 0 à 20 cm; Profundidade 2 – 20 à 40 cm; Profundidade 3 – 40 à 60 cm

Esse cenário preocupa, principalmente porque a formação de compostos de sulfato com metais pesados podem percolar até chegarem ao lençol freático, causando toxicidade e riscos ao meio ambiente, à saúde humana, vegetal e animal.

Após as análises dos parâmetros pH, CTC, carbono orgânico e os macronutrientes: N, P e S foram executadas as análises de extração sequencial nos metais.

A extração sequencial é uma técnica que pode medir seletivamente a distribuição de metais em sedimentos (SHANNO; WHITE, 1991) e tem sido utilizada particularmente para determinar as formas de metais, que foram inseridos ao solo através da ação antrópica (SHUMAN, 1982), fornecendo dados importantes quanto à mobilidade e biodisponibilidade de nutrientes e de poluentes metálicos (JORDÃO; NICKLESS, 1989).

A metodologia de extração sequencial utilizada nesta pesquisa possui 5 fases de extração, onde as fases de 1 a 3 representam melhor o equilíbrio entre a fase líquida e sólida que as fases 4 e 5. Todos os metais tiveram comportamento semelhante nas amostras com aplicação dos dois tipos lodo. Porém a maioria deles teve comportamentos distintos com relação às diferentes doses de lodo de esgoto.

Os teores pseudo-totais dos metais, resultantes do somatório das 5 fases obtidas pela metodologia de extração sequencial, ao longo dos cinco anos estão descritos na tabela 3. Estes mesmos foram comparados aos limites estabelecidos pela legislação brasileira, através da Resolução CONAMA nº 420, de 2009 (BRASIL, 2009), que encontra-se resumida na tabela 4. Nesta legislação consta que os valores de referência de qualidade são definidos pelos estados. Por isso utilizou-se também a legislação do Estado de São Paulo, publicados pela CETESB (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2014).

Verifica-se que nas parcelas fertilizadas com maiores quantidades de lodo de esgoto, os teores dos metais Cr, Cd e Ni estão acima dos valores de referência de qualidade e em muitos casos chegando aos valores de prevenção. Constatou-se também que na maioria dos casos, as

Realização



Apoio Acadêmico





parcelas que receberam lodo de esgoto da ETE de Barueri possuem os maiores teores de metais mesmo tendo sido cessadas as aplicações em 2004.

Teores dos metais, resultantes da soma das fases, as quais foram obtidas pela metodologia de extração sequencial, ao longo dos cinco anos analisados																
Lodo	Dose	0 - 20 cm														
		mg kg ⁻¹														
		Cr					Cd					Ni				
		2006	2007	2008	2009	2012	2006	2007	2008	2009	2012	2006	2007	2008	2009	2012
Franca	Controle	24,93	23,70	26,02	24,45	30,06	1,52	0,86	nd	1,50	0,89	7,84	6,30	6,10	26,3	2,99
	NPK	20,52	19,51	23,66	21,28	27,91	1,48	0,86	nd	1,36	0,89	6,72	4,56	4,68	25,8	4,03
	N	25,11	26,24	31,41	25,58	33,75	1,58	0,98	nd	1,42	1,03	7,20	5,68	6,66	24,1	4,49
	2N	31,47	26,48	33,46	31,92	31,06	1,82	0,96	nd	1,46	1,19	6,64	5,40	6,42	27,9	5,25
	4N	29,16	31,83	36,66	37,02	40,70	1,48	0,86	nd	1,36	1,75	7,32	5,28	6,33	37,1	5,53
	8N	45,51	38,77	46,83	46,75	45,80	1,99	0,56	nd	1,52	1,88	6,82	4,88	5,78	26,3	7,30
Barueri	Controle	22,66	24,56	21,58	22,17	35,01	1,50	0,94	nd	1,48	0,97	7,42	5,31	5,58	26,0	7,32
	NPK	19,95	21,67	22,37	20,43	31,41	1,50	0,84	nd	1,38	0,90	6,75	3,78	4,86	23,2	4,82
	N	28,63	25,16	32,07	27,25	39,31	1,62	0,84	nd	1,36	0,49	7,94	4,95	6,72	23,7	6,98
	2N	37,18	28,19	39,93	35,98	35,76	1,60	0,62	nd	1,50	0,88	12,0	5,54	6,54	26,9	5,63
	4N	49,52	33,93	52,40	42,03	44,66	1,38	0,80	nd	1,40	1,44	19,4	8,10	12,7	25,4	9,27
	8N	65,28	38,08	80,19	61,00	60,52	2,07	0,86	nd	1,40	1,22	27,2	11,3	26,6	40,7	13,9

Tabela 3 – teores dos metais, resultantes da soma das fases, que foram obtidas pela metodologia de extração sequencial, no período de 2006 a 2012.

Limites dos metais pesados	Base seca	Legislação (BRASIL, 2009)				
		Referência de Qualidade (CETESB, 2014)	Prevenção	Investigação		
				Agrícola	Residencial	Industrial
Cd	mg kg ⁻¹	< 0,5*	1,3	3	8	20
Cr	mg kg ⁻¹	40*	75	150	300	400
Ni	mg kg ⁻¹	13*	30	70	100	130

*Valores orientadores de acordo com CETESB, 2014.

Tabela 4 – Valores orientadores para solos de acordo com a resolução CONAMA nº 420/2009

Realização



Apoio Acadêmico





5. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Demonstrou-se que, após 5 anos de monitoramento da área que recebeu aplicações periódicas de lodo:

- As propriedades químicas relacionadas à fertilidade do solo, como teores de P, N, S e CTC melhoraram com a utilização de lodo de esgoto como condicionador e fertilizante;
- É mais seguro e recomendado, obedecer as quantidades de lodo de esgoto a serem aplicadas na área, estabelecidas pela legislação brasileira. Uma vez que quantidades excessivas podem desencadear um desequilíbrio na dinâmica de disponibilidade de nutrientes e comportamento de metais pesados e chegar a valores de prevenção, acima dos quais podem ocorrer alterações prejudiciais à qualidade do solo;
- É necessário um monitoramento frequente dos níveis de metais pesados, nitratos e outros contaminantes, nas áreas que receberam lodo de esgoto, bem como o controle de qualidade periódico dos lodos para a utilização agrícola a fim de evitar impactos negativos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU Jr., C.H.; MURAOKA, T.; OLIVEIRA, F.C. Cátions trocáveis, capacidade de troca de cátions e saturação por bases em solos brasileiros adubados com composto de lixo urbano. **Scientia Agricola**, 58: 813-824, 2001.

ABREU Jr., C. H.; BOARETTO, A. E.; MURAOKA, T.; KIEHL, J. C. Uso agrícola de resíduos orgânicos potencialmente poluentes: propriedades químicas do solo e produção vegetal. **Tópicos em ciência do solo**, 4: 391-470p, 2005.

BRASIL, Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 375** 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. Retificada pela Resolução nº 380, de 31 de outubro de 2006. 2006.

BRASIL, Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 420 de 28 de dezembro de 2009**. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. 2009.

BROFAS, G.; MICHPOULOS, P.; ALIFRAGIS, D. Sewage sludge as an amendment for calcareous bauxite mine spoils reclamation. **Journal of Environment Quality**, 29: 811-816, 2000.

CANTARELLA, H.; PROCHNOW, L. I. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais: capítulo 14 – Determinação de sulfato em solos**. 2001.

CETESB (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO). São Paulo. **Decisão de Diretoria, Nº 045/2014/E/C/I** – Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo – 2014, em substituição aos Valores Orientadores de 2005. CETESB. 2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. – Rio de Janeiro : EMBRAPA-SPI, 2006.306 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análises de solo** (2ª Ed.). Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 1997. 212p.

JORDÃO, C. P.; NICKLESS, G. Chemical associations of Zn, Cd, Pb and Cu in soils and sediments determined by sequential extraction technique. **Environmental Technology Letters**, Bristol, v. 10, p. 743-752, 1989.

Realização



Apoio Acadêmico

ESCOLA
Politécnica

 **UNISINOS**
Somos infinitas possibilidades

 **Universidade de Brasília**
 **IACIS** | Lab. do Ambiente Construído
Instituto de Sustentabilidade
PAU | CDS | PGA | UNB



- JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 3. ed. Rio de Janeiro: ABES.1995. 720 p.
- MELO, V.F.; WYPYCH, F. Caulinita e Haloisita. In: MELO, V.F. & ALLEONI, L.R.F., eds. **Química e mineralogia do solo**; Conceitos básicos. Parte 1. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. v.1. p.427-504.
- SHANNO, R. D.; WHITE, J. R. The selectivity sequential extraction procedure for the determination of iron hydroxides and iron sulfites in lake sediment. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 14, p. 193-208, 1991.
- TSUTIYA, M. T. Características de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgotos. In: TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J. B.; SOBRINHO, P. A.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P. C. T.; MELFI, A. J.; MELO, W. J.; MARQUES, M. O. (Eds.). **Biossólidos na agricultura**. 2. ed. São Paulo: ABES/SP. p. 89-131, 2002.
- WASSERMAN, M. A.; PÉREZ, D. V. ; BARTOLY, F. ; POQUET, I. **Assessment of the mobility and bioavailability of ⁶⁰Co and ¹³⁷Cs in contaminated soils**. In: Regional Congress on Radiation Protection and Safety, 5, 2001, Recife. Proceedings. Recife: Sociedade Brasileira de Proteção Radiológica, CD-ROM. 2001.

Realização



Apoio Acadêmico

ESCOLA
Politécnica

