

# Parâmetros agronômicos e inorgânicos de lodo de esgoto: estudo de caso da Região Metropolitana de Curitiba (PR)

- **Data de entrada:**  
01/02/2016
- **Data de aprovação:**  
01/09/2016

*Agronomics and inorganics parameters of sludge: a case study of the Curitiba Metropolitan Region (PR)*

Simone Bittencourt\* | Beatriz Monte Serrat | Miguel Mansur Aisse

DOI:10.4322/dae.2016.034

## Resumo

O uso agrícola do lodo de esgoto enquadra-se nos princípios de reutilização de resíduos de forma ambientalmente adequada. O Paraná é um dos estados brasileiros em que o lodo de esgoto tem a agricultura como destinação final prioritária, estando sua composição relacionada ao esgoto que lhe deu origem e ao processo de tratamento do esgoto e do lodo. Este estudo de caso visou avaliar as diferenças de parâmetros agronômicos e inorgânicos de lotes de lodo de esgoto, higienizados por estabilização alcalina prolongada, na Região Metropolitana de Curitiba, Paraná, de 2007 a 2013. Foram analisados os dados de laudos laboratoriais de 99 lotes de lodo de esgoto, no período de 2007 a 2010, e de 76 lotes, no período de 2010 a 2013. As diferenças no processo de tratamento de esgoto, possivelmente, explicam as variedades encontradas para sólidos voláteis totais,  $C_{org}$ ,  $P_{total}$ ,  $N_{total}$ ,  $N_{kjeldahl}$  e  $S_{total}$ . Para sólidos totais,  $K_{total}$  e  $Mg_{total}$ , elas podem estar relacionadas aos processos de desaguamento, higienização e estocagem dos lotes. As concentrações médias, para cada uma das 11 substâncias inorgânicas avaliadas, apresentaram níveis abaixo do limite máximo permitido pela Resolução SEMA nº 021/2009. Houve grande variabilidade na concentração de substâncias inorgânicas, estando as diferenças encontradas entre os lotes produzidos nas unidades de gerenciamento de lodo com tratamento de esgoto aeróbio e os lotes produzidos em sistemas contendo tratamento anaeróbio provavelmente relacionadas a diferenças, relativas, principalmente, ao descarte de efluentes industriais nas bacias de esgotamento sanitário.

**Palavras-chave:** Biossólidos. Reciclagem. Resolução CONAMA nº 375/2006. Resolução SEMA nº 021/2009.

## Abstract

*The agricultural use of sewage sludge fits in waste reuse principles of environmentally appropriate way. The Paraná is one of the Brazilian states where the sewage sludge has agriculture as a priority disposal. The composition of sewage sludge is related to the sewer that gave rise it and the process of treatment of sewage and sludge. This case study aimed to evaluate the differences in the agronomic and inorganic parameters, of batches of sewage sludge hygienized by prolonged alkaline stabilization, in the Metropolitan Curitiba Region, Paraná, from 2007 to 2013. They were analyzed data from laboratory reports of 99 batches of sewage sludge in the period 2007-2010 and 76 batches in the period 2010-2013. Differences in the sewage treatment process possibly explain the variability*

**Simone Bittencourt** – Engenheira agrônoma pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Doutora em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental pela mesma universidade. Profissional da Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar).

**Beatriz Monte Serrat** – Engenheira agrônoma pela UFPR. Doutora pela Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ). Professora aposentada do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da UFPR.

**Miguel Mansur Aisse** – Engenheiro civil pela UFPR. Doutor em Engenharia em Engenharia Civil pela Universidade de São Paulo (USP). Professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental da UFPR.

**Endereço para correspondência:** Rua Engenheiro Antônio Batista Ribas, 151 - Tarumã - Curitiba-PR - CEP: 82800-130- Brasil - Tel: (41) 3777-7194 - e-mail: sbittencourt@sanepar.com.br

found for total volatile solids, TOC,  $P_{total}$ ,  $N_{total}$ , NTK and  $S_{total}$ . About the parameters: total solids,  $K_{total}$  and  $Mg_{total}$  the differences may be related to dewatering, sanitation and storage processes of the batches. The average concentrations observed for each of the eleven inorganic substances analyzed showed levels below the maximum limit permitted by SEMA 021/09 Resolution of the Paraná State Environment Cabinet. There was great variability in the concentration of inorganic substances; the differences found between the batches produced in the sludge management unit with aerobic sewage treatment and the batches generated on systems containing anaerobic treatment probably are related to differences mainly concerning to the disposal of industrial wastewater in the sewage basins.

**Keywords:** Biosolids. Recycling. CONAMA 375/06 Resolution. SEMA 021/09 Resolution.

## 1 INTRODUÇÃO

O lodo de esgoto apresenta, em sua constituição, quantidades significativas de matéria orgânica, sendo benéfico às características físico-químicas e biológicas do solo (TRANNNIN et al., 2007; CHUEIRI et al., 2009; de MARIA et al., 2010). Possui, também, nutrientes, como nitrogênio (N) e fósforo (P), favorecendo o cultivo vegetal (FRANCO et al., 2010; TEIXEIRA et al., 2015). Dessa forma, seu uso agrícola apresenta vantagens ambientais, quando comparado a outras práticas de destinação final, e se enquadra nos princípios de reutilização de resíduos de forma ambientalmente adequada (BRASIL, 2006).

No entanto, o resíduo pode conter substâncias inorgânicas e orgânicas poluentes, as quais devem ser controladas, quando do uso agrícola, de modo a não causar impactos negativos ao ambiente (MARTINS et al., 2003; CAI et al., 2012; NOGUEIRA et al., 2013; SMIRI et al., 2015). Da mesma forma, visando à aplicação agrícola, devem ser adotadas medidas de redução de agentes patogênicos em níveis que não apresentem riscos à saúde humana (MARTIN et al., 1990; USEPA, 2003).

Os critérios e procedimentos para uso agrícola de lodo de esgoto no Brasil são estabelecidos na Resolução CONAMA nº 375, de 29 de agosto de 2006 (BRASIL, 2006). No estado do Paraná, a Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar) destina o lodo gerado nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) ao uso agrícola, visando a proporcio-

nar a disposição final adequada sob os aspectos sanitário, ambiental e social (BITTENCOURT et al., 2009), seguindo as determinações da Resolução CONAMA nº 375/2006 e também da Resolução SEMA nº 021/2009 (PARANÁ, 2009), a qual define a Unidade de Gerenciamento de Lodo (UGL) como uma unidade, vinculada ou não a uma ETE, que realiza o gerenciamento de lodo gerado por uma ou mais ETEs, para fins de reciclagem agrícola.

O processo de higienização do lodo de esgoto, adotado no Paraná é o de Estabilização Alcalina Prolongada (EAP) (PARANÁ, 2009), que permite atender aos limites da Resolução SEMA nº 021/2009 de: coliformes tolerantes ( $< 10^3$  NMP.g<sup>-1</sup> de Sólidos Totais – ST – número mais provável por grama de ST); ovos viáveis de helmintos ( $< 0,25$  g<sup>-1</sup> de ST); *Salmonella* (ausência em 10 g de ST); e vírus ( $< 0,25$  UFP ou UFF.g<sup>-1</sup> de ST – unidades formadoras de placa ou de focos por grama de ST) (PARANÁ, 2009).

A composição do lodo de esgoto está relacionada com o esgoto que lhe deu origem e o processo de tratamento do esgoto e do lodo, sendo que a forma de tratamento e higienização afeta suas características finais. Lodos cuja estabilização ou higienização é feita com material alcalino possuem pH elevado e menos N, devido às perdas por volatilização da amônia. Lodos na forma líquida possuem mais potássio (K), por não sofrerem desaguamento na sua produção (BERTON; NOGUEIRA, 2010).

No Brasil, a aplicação de lodo de esgoto em áreas agrícolas está restrita a poucos estados, como São Paulo, Paraná, Rio Grande do Sul, Distrito Federal (SAMPAIO, 2013) e, recentemente, Espírito Santo. Dessa forma, frente à escassez de dados sobre as características dos lodos destinados ao uso agrícola, este estudo de caso teve por objetivo avaliar as diferenças de composição, em relação aos parâmetros agronômicos e às substâncias inorgânicas, em lotes de lodos de esgoto produzidos em UGLs da Região Metropolitana de Curitiba (RMC), Paraná, no período de 2007 a 2013.

O estudo busca apresentar resultados que possam ser utilizados como subsídio em estudos de comparação com lodos gerados em diferentes locais ou regiões brasileiras, bem como aqueles que passaram por processos distintos de tratamento e higienização, como a estabilização alcalina, a compostagem e a secagem térmica.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### Área de estudo

A RMC é a região mais populosa do Paraná, com 29 municípios. Em 2012, possuía 20 municípios com sistema de esgotamento sanitário, operados pela Sanepar, nos quais 122.485 milhões  $m^3 \cdot ano^{-1}$  de esgoto doméstico (BRASIL, 2012) foram tratados em 24 estações de tratamento. Em 22 das ETEs, o sistema de tratamento biológico do esgoto empregou reatores anaeróbios, do tipo *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB), seguido ou não de pós-tratamento. Na ETE Belém, no município de Curitiba, o tratamento biológico do esgoto foi aeróbio, em sistema de lodos ativados de aeração prolongada, modalidade de tratamento também adotada na ETE Industrial Audi, em São José dos Pinhais (a qual não foi objeto deste estudo).

Nas ETEs com sistemas de tratamento contendo reatores anaeróbios, do tipo UASB, verificou-se a existência ou não de unidades de pós-tratamento, tais como: flotação por ar dissolvido, lagoa de

polimento, lagoa aerada e filtro anaeróbio. Em nenhuma delas, verificou-se a existência de decantador primário em operação.

Em 2013, a RMC possuía quatro UGLs, constituídas por uma ou mais ETEs, licenciadas pelo órgão ambiental estadual, para realizar a gestão do processo de uso agrícola de lodo de esgoto. Neste estudo de caso, o lodo tratado nas UGLs foi agrupado, compondo dois grupos, da seguinte forma:

- Lotes de lodo provenientes da UGL Belém: com tratamento de esgoto por lodos ativados de aeração prolongada, desaguamento em prensa desaguadora ou centrífuga e higienização por processo de EAP.
- Lotes de lodo de esgoto provenientes das demais UGLs da RMC: com tratamento do esgoto realizado em sistemas contendo reatores anaeróbios, do tipo UASB, com ou sem unidades de pós-tratamento, desaguamento em prensas desaguadoras, centrífugas ou leitos de secagem e higienização por processo de EAP. Incluíram lotes de três UGLs.

O processo de higienização por EAP consiste na adição de cal calcítica (CaO) ou cal dolomítica (CaO + MgO) ao lodo de esgoto, em uma proporção entre 30% e 50% dos ST do lodo. O pH é elevado, acima de 12, com posterior período de cura de 30 dias. Neste estudo de caso, não se identificou o registro da quantidade e tipo de cal adicionado a cada lote, não sendo possível calcular a quantidade média de cal adicionada para os diferentes grupos de lote de lodo estudados.

Foram avaliados os dados de laudos laboratoriais de 99 lotes de lodo de esgoto, no período de 2007 a 2010, e de 76 lotes, no período de 2010 a 2013.

O número de laudos analisados de parâmetros inorgânicos (173) diferiu do número de laudos de parâmetros agronômicos (175), pois se verificou que dois lotes da UGL Belém possuíam um laudo de substâncias inorgânicas para cada, mas foram

subdivididos em dois sublotos, apresentando dois laudos de parâmetros agronômicos para cada sublote. Do total de lotes da RMC, 46 foram caracterizados a partir de contrato de serviços laboratoriais, segundo a exigência da Instrução Técnica IAP CEP/DTA nº 001/2002 (PARANÁ, 2002), a qual não exigia a caracterização de nitrogênio Kjeldahl ( $N_{\text{Kjeldahl}}$ ), nitrogênio amoniacal ( $N\text{-NH}_4$ ), nitrato e nitrito [ $N\text{-(NO}_2^- + \text{NO}_3^-)$ ], enxofre total ( $S_{\text{total}}$ ), sódio total ( $\text{Na}_{\text{total}}$ ), arsênio (As), bário (Ba), molibdênio (Mo) e selênio (Se). Dessa forma, somente 48 dos lotes de lodo da UGL Belém e 79 das demais UGLs da RMC possuíam laudos com o resultado desses parâmetros.

Destaca-se que os limites de quantificação laboratorial para uma mesma substância inorgânica diferiram de laboratório para laboratório, estando apresentados no Quadro 1.

**Quadro 1** – Limites de quantificação laboratorial verificados nos laudos analíticos de diferentes laboratórios para substâncias inorgânicas que apresentaram resultados abaixo do limite.

Parâmetro	Limites de quantificação laboratorial ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	Laudos com resultado abaixo do limite
As	0,005 - 0,01 - 0,2 - 0,8 - 1 - 2 - 5 - 10 - 20	11
Ba	1 - 5 - 10	14
Cd	0,01 - 0,05 - 0,06 - 0,07 - 0,08 - 0,085 - 0,099 - 0,1 - 0,2 - 0,5 - 1 - 2 - 10	114
Cr	1 - 5	4
Cu	1	2
Hg	0,0000147 - 0,0001 - 0,04 - 0,1 - 0,5 - 0,7 - 5 - 10	95
Mo	0,001 - 0,2 - 0,5 - 0,6 - 0,7 - 0,8 - 1 - 2 - 5 - 10	66
Ni	0,0089 - 1 - 10	18
Pb	1 - 50	3
Se	0,5 - 0,6 - 0,7 - 0,8 - 0,9 - 1 - 2 - 5 - 10	94

**Nota:** Laudos referentes aos lotes de lodo produzidos na RMC destinados a uso agrícola, no período de 2007 a 2013.

O Quadro 2 apresenta os grupos de lodo avaliados no estudo, as características das UGLs da RMC, quanto ao tipo de lodo de esgoto produzido, o desaguamento de lodo e o número de lotes destinados, no período de 2007 a 2013.

**Quadro 2** – Características dos lotes de lodo de esgoto da RMC, higienizados por EAP, destinados ao uso agrícola, de 2007 a 2013.

Lodo produzido	Tratamento de esgoto	Desaguamento do lodo	Lotes destinados (n°)
Aeróbio	Aeróbio (a)	Prensas desaguadoras e centrífugas	84
Misto	Anaeróbio + pós-tratamento (b)	Prensas desaguadoras, centrífugas e leitos de secagem	91

**Notas:** (a) Lodos ativados de aeração prolongada. (b) Reator anaeróbio do tipo UASB, seguido ou não de pós-tratamento.

### Análise dos dados

Os parâmetros agronômicos e inorgânicos analisados foram os definidos pela Resolução CONAMA nº 375/2006 (BRASIL, 2006), conforme mostra o Quadro 3.

**Quadro 3** – Parâmetros agronômicos e inorgânicos e métodos de análise laboratorial utilizados.

Parâmetros agronômicos <sup>1</sup>	Parâmetros inorgânicos <sup>2</sup>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Carbono orgânico (<math>C_{\text{org}}</math>);</li> <li>pH em água (<math>\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}</math>);</li> <li><math>N_{\text{Kjeldahl}}</math>;</li> <li><math>N\text{-NH}_4</math>;</li> <li><math>N\text{-(NO}_2^- + \text{NO}_3^-)</math>;</li> <li>fósforo total (<math>P_{\text{total}}</math>);</li> <li>potássio total (<math>K_{\text{total}}</math>);</li> <li><math>\text{Na}_{\text{total}}</math>;</li> <li><math>S_{\text{total}}</math>;</li> <li>cálcio total (<math>\text{Ca}_{\text{total}}</math>);</li> <li>magnésio total (<math>\text{Mg}_{\text{total}}</math>);</li> <li>ST e Sólidos Voláteis Totais (SVT).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>As;</li> <li>Ba;</li> <li>cádmio (Cd);</li> <li>chumbo (Pb);</li> <li>cobre (Cu);</li> <li>cromo (Cr);</li> <li>mercúrio (Hg);</li> <li>Mo;</li> <li>níquel (Ni);</li> <li>Se;</li> <li>zinco (Zn).</li> </ul>

**Notas:** <sup>1</sup> Apha et al. (2005). <sup>2</sup> Métodos 3050 (USEPA, 1996) e 3051 (USEPA, 2007), estabelecidos em SW-846.

Os resultados dos parâmetros agronômicos e inorgânicos foram obtidos de laudos laboratoriais das empresas contratadas pela Sanepar, para realização da caracterização dos lotes de lodo de esgoto para uso agrícola.

Na análise estatística dos dados dos parâmetros  $S_{\text{total}}$  e  $\text{Na}_{\text{total}}$ , os limites de quantificação laboratorial foram utilizados para os resultados dos lotes que apresentaram concentrações inferiores a

eles. Na avaliação dos dados da RMC, no período de 2007 a 2013, o número de lotes analisados para  $S_{total}$  e  $Na_{total}$  foi, respectivamente, de 49 lotes de lodo da UGL Belém e 80 lotes de lodo das demais UGLs da RMC. Na análise estatística dos dados do parâmetro  $Na_{total}$ , os resultados abaixo de  $10^{-5}\%$  foram substituídos por zero.

As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do *software* Assistat®, versão 7,7 beta (SILVA, 2014), aplicando-se a estatística descritiva. Realizou-se o teste de normalidade de Shapiro-Wilk e, para os parâmetros que revelaram distribuição normal, foi aplicado o teste t para comparação de médias, a 95% de confiabilidade, utilizando delineamento experimental inteiramente casualizado com diferentes números de repetição. Para os parâmetros que não apresentaram distribuição normal, utilizou-se o teste de Mann-Whitney para verificar se os dois grupos de lotes de lodo de esgoto eram diferentes, a 95% de confiabilidade.

Na análise de parâmetros inorgânicos, determinaram-se os percentis 75, 90, 95 e 99 utilizando o programa Excel (Microsoft). Nessa determinação, os valores de limite de quantificação foram utilizados para os resultados inferiores a eles.

No cálculo do Coeficiente de Variação (CV), não foi possível a obtenção de resultados para os parâmetros detectados em menos do que quatro lotes (SILVA, 2014).

Na aplicação do teste de Mann-Whitney, foram excluídos, para cada parâmetro inorgânico, os lotes que apresentaram valores abaixo do limite de quantificação laboratorial.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### Parâmetros agronômicos

A Tabela 1 apresenta os resultados dos parâmetros agronômicos dos lotes da RMC destinados ao uso agrícola, no período de 2007 a 2013.

**Tabela 1** – Médias e CVs de parâmetros agronômicos dos lotes de lodo da RMC, higienizados por EAP, aplicados a áreas agrícolas, no período de 2007 a 2013.

Parâmetro	Unidade	Lotes da UGL Belém (n = 84)		Lotes das demais UGLs da RMC (n = 91)		Diferentes <sup>(1)</sup>	Total de lotes (n = 175)	
		Média	CV%	Média	CV%		Média	CV%
pHH <sub>2</sub> O		11,8	7,4	11,6	8,9	Não	11,7	8,3
ST	% (massa/massa)	34,9	31,2	50,8	27,2	Sim	43,2	29,2
SVT	% de ST	33,2	67,8	20,1	61,8	Sim	26,4	68,6
C <sub>org</sub>		16,2	49,8	11,9	61,2	Sim	13,9	55,2
P <sub>total</sub>		0,77	8,3	0,42	97,7	Sim	0,58	87,6
K <sub>total</sub>		0,16	67,8	0,10	174,4	Sim	0,13	113,2
Ca <sub>total</sub>		18,4	72,7	12,9	41,6	Não	15,5	65,0
Mg <sub>total</sub>		3,84	93,7	6,0	49,7	Sim	4,96	66,7

**Nota:** <sup>(1)</sup> Foi aplicado o teste de Mann-Whitney para verificação da diferença entre os grupos de lotes de lodo de esgoto a 95% de confiabilidade.

Os lotes de lodo de esgoto produzidos nas demais UGLs da RMC apresentaram maior média de ST (Tabela 1). São possivelmente três fatores que contribuíram para esse resultado. O primeiro refere-se às características do lodo; segundo Gonçalves et al. (2001), a capacidade de desaguamento varia de acordo com o tipo de lodo e, de acordo com Spellman (1997), quanto maior for a porcentagem de sólidos fixos no lodo, mais fácil será o processo de desaguamento desse resíduo. O segundo fator diz respeito ao desaguamento, uma vez que parte do lodo que compõe os lotes de lodo das demais UGLs da RMC foi desaguada em leito de secagem, resultando em lodo com maior teor de ST. O terceiro fator está relacionado ao menor número de lotes por ano nas demais UGLs da RMC, o que faz com que o lodo permaneça por maior período de tempo estocado em pátio até o “fechamento” do lote. Nesse período, a evaporação contribui para a elevação do teor de ST.

Devido ao teor médio de ST (Tabela 1), os lodos da RMC, de estado físico pastoso, não puderam ser transportados em caminhões graneleiros e aplicados com equipamento próprio do agricultor. Dessa forma, o transporte foi realizado em caminhões-caçamba basculante e a aplicação foi com equipamentos distribuidores de adubo orgânico, adquiridos pela Sanepar e emprestados aos agricultores. O lodo foi destinado aos cultivos de milho, soja, feijão, aveia, cevada, trigo, adubação verde e eucalipto e à implantação e pós-colheita de fruteiras de caroço. A dose média de aplicação do lodo (ST) foi de 14,6 t ha<sup>-1</sup> (BITTENCOURT, 2014).

Os teores de  $P_{total}$  (Tabela 1) dos lotes de lodo da UGL Belém foram inferiores a 0,8% de ST para lodo de sistema de lodos ativados convencional (BORGES; COUTINHO, 2004) e 2,5 % de ST para lodo de digestor anaeróbio gerado no processo de lodos ativados (PIRES et al., 2007). Para os lotes das demais UGLs da RMC, o  $P_{total}$  foi inferior a 0,5% de ST para lodo de leito de secagem gerado em reator anaeróbio (GOMES et al., 2007).

Em relação ao  $K_{total}$ , observou-se que as médias dos dois grupos de lotes de lodo de esgoto são diferentes (Tabela 1). O  $K_{total}$  é solúvel e, no processo de tratamento de esgoto e desaguamento do lodo, ocorrem perdas significativas de K pela retirada de água, em que o elemento encontra-se solubilizado (TSUTIYA, 2000; PAGLIA et al., 2007). Por essa mesma razão, o maior teor de K nos lotes da UGL Belém pode estar relacionado a uma maior quantidade de umidade neles (65,1%), em comparação com os lotes gerados nas demais UGLs da RMC (49,2%). Os teores de K verificados neste estudo foram semelhantes a 0,2% de ST para lodo de sistema de lodos ativados convencional (BORGES; COUTINHO, 2004) e lodo de leito de secagem gerado em reator anaeróbio (GOMES et al., 2007) e 0,1 % de ST para lodo de digestor anaeróbio gerado no processo de lodos ativados (PIRES et al., 2007).

Na Tabela 1, observa-se que as médias de pH dos lotes não se mantiveram no nível de 12 até o momento da caracterização dos lotes, fato que não comprometeu sua higienização, uma vez que apresentaram níveis de sanidade de acordo com a Resolução SEMA nº 021/2009 (PARANÁ, 2009). As médias de pH e  $Ca_{total}$  dos lotes de lodo da UGL Belém e das demais UGLs da RMC não foram diferentes. No entanto, as médias de  $Mg_{total}$  foram, fato que pode estar associado ao uso de cal com diferentes teores dessa substância para higienização dos lotes de lodo (Tabela 1). Pegorini et al. (2006a) obtiveram níveis de pH mais elevados na mistura de CaO 93% para as mesmas dosagens das outras cales em lodo de esgoto, incluindo aquelas com maiores proporções de óxido de magnésio (MgO). No mesmo estudo, os autores verificaram que os lodos mais secos (49% e 60% de ST) demandaram doses menores de CaO para alcalinização e manutenção do pH, enquanto lodos mais úmidos requereram maiores dosagens.

No período de 2007 a 2013, do total de lotes de lodo da RMC destinados a uso agrícola, 46 foram caracterizados a partir de contrato de serviços la-

boratoriais, segundo a Instrução Técnica IAP CEP/DTA nº 001/2002 (PARANÁ, 2002), a qual não exige a caracterização de  $N_{kjeldahl}$ ,  $N-NH_4$  e  $N-(NO_2^-+NO_3^-)$ . O parâmetro de caracterização de N desses lotes foi o  $N_{total}$ , para o qual foi aplicado o teste de t para comparação de médias a 95% de confiabilidade (Tabela 2).

**Tabela 2** – Média e CV de  $N_{total}$  dos lotes de lodo da RMC, higienizados por EAP, aplicados a áreas agrícolas, no período de 2007 a 2013.

Parâmetro	Lotes da UGL Belém (n = 35)		Lotes das demais UGLs da RMC (n = 11)		Total de lotes (n = 46)	
	Média (% de ST)	CV%	Média (% de ST)	CV%	Média (% de ST)	CV%
$N_{TOTAL}$	2,18 a	31,2	1,5 b	22,1	2,0	31,3

**Nota:** As médias seguidas pela mesma letra não diferiram estatisticamente entre si. Foi aplicado o teste t a 95% de confiabilidade.

A Tabela 3 apresenta os resultados de  $N_{kjeldahl}$ ,  $N-NH_4$ ,  $N-(NO_2^-+NO_3^-)$ ,  $S_{total}$  e  $Na_{total}$  dos 129 lotes da RMC destinados a uso agrícola, que foram caracterizados quanto a esses parâmetros, no período de 2007 a 2013.

**Tabela 3** – Média e CV de  $N_{kjeldahl}$ ,  $N-NH_4$ ,  $N-(NO_2^-+NO_3^-)$ ,  $S_{total}$  e  $Na_{total}$  dos lotes de lodo da RMC, higienizados por EAP, aplicados a áreas agrícolas, no período de 2007 a 2013.

Parâmetro	Unidade	Lotes da UGL Belém (n = 84)		Lotes das demais UGLs da RMC (n = 91)		Diferentes <sup>(1)</sup>	Total (n = 129)	
		Média	CV%	Média	CV%		Média	CV%
$N_{kjeldahl}$	(% de ST)	1,86	49,6	1,00	64,1	Sim	1,33	57,8
$N-NH_4$		0,12	177,3	0,07	138,5	Não	0,08	171,9
$N-(NO_2^-+NO_3^-)$		0,04	525,9	0,01	264,4	Não	0,02	620,8
$S_{total}$		0,22	106,8	1,2	70,8	Sim	0,81	83,2
$Na_{total}$		0,09	82,4	0,09	96,2	Não	0,09	91,3

**Nota:** (1) Foi aplicado o teste de Mann-Whitney para verificação da diferença entre os grupos de lotes de lodo de esgoto a 95% de confiabilidade. Cálculo considerando os limites de detecção para resultados inferiores a eles.

As médias de SVT,  $C_{org}$ ,  $P_{total}$  (Tabela 1),  $N_{total}$  (Tabela 2) e  $N_{kjeldahl}$  (Tabela 3) nos lotes de lodo da UGL Belém apresentaram-se superiores às dos lotes de lodo das demais UGLs da RMC.

Os teores de  $N_{kjeldahl}$  (Tabela 3) de ambos os grupos de lodo foram inferiores a 4,5% de ST para lodo de sistema de lodos ativados convencional (BORGES; COUTINHO, 2004), a 2,5% de ST para lodo de leito de secagem gerado em reator anaeróbio (GOMES et al., 2007) e a 4,1% de ST para lodo de digestor anaeróbio gerado no processo de lodos ativados (PIRES et al., 2007). Andreoli et al. (1997) verificaram que a composição do lodo bruto proveniente de sistemas com tratamento anaeróbio de esgoto pode apresentar grandes variações, em função da periodicidade de descarga do lodo do reator biológico, sendo mais mineralizado, com menor conteúdo de Matéria Orgânica (MO) e nutrientes, quando comparado ao lodo gerado exclusivamente em sistema de tratamento de esgoto aeróbio. Segundo Eckenfelder, Patoczka e Pulliam (1988), as bactérias anaeróbias contêm aproximadamente a mesma composição celular que todos os outros tipos de bactéria. A diferença é que a produção de células é menor em

sistemas anaeróbicos e, portanto, os requisitos de nutrientes são proporcionalmente menores.

A diferença das médias de  $N_{\text{kjeldahl}}$  ( $N_{\text{orgânico}} + N\text{-NH}_4$ ) entre os lotes de lodo (Tabela 3), possivelmente, é explicada pelo maior teor de  $N_{\text{orgânico}}$  nos lotes de lodo da UGL Belém, uma vez que as médias de  $N\text{-NH}_4$  não foram diferentes.

Também não foram diferentes as concentrações de  $N\text{-(NO}_2^- + \text{NO}_3^-)$ , podendo a presença desses compostos nos lotes de lodo das demais UGLs da RMC ser explicada pela oxidação do  $N\text{-NH}_4$ , no período de armazenamento para cura e formação dos lotes. As médias de  $N\text{-(NO}_2^- + \text{NO}_3^-)$ , igualmente às do  $N\text{-NH}_4$ , foram baixas, indicando uma baixa mineralização do  $N_{\text{orgânico}}$ . A determinação desses compostos de N é necessária para realização do cálculo do N disponível ( $N_{\text{disp}}$ ) no lote de lodo, conforme estabelece a Resolução CONAMA nº 375/2006. No entanto, devido às baixas concentrações verificadas (Tabela 3), poder-se-iam omitir os valores de  $N\text{-(NO}_2^- + \text{NO}_3^-)$  no cálculo de determinação do  $N_{\text{disp}}$ . Por exemplo, ao realizar o cálculo de  $N_{\text{disp}}$ , utilizando um Fator de Mineralização (FM) de 20% (adotado devido à Resolução CONAMA nº 375/2006 não estabelecer FM para lodo estabilizado por processo alcalino) e as médias observadas para lotes de lodo da UGL Belém e de lodo das demais UGLs da RMC (Tabela 3), obtêm-se, respectivamente,  $N_{\text{disp}}$  de 32,14 e 16,06 em  $\text{kg t}^{-1}$ , considerando os valores de  $N\text{-(NO}_2^- + \text{NO}_3^-)$ , e de 32,10 e 16,05  $\text{kg t}^{-1}$ , omitindo os valores de  $N\text{-(NO}_2^- + \text{NO}_3^-)$  no cálculo.

Valores de  $N_{\text{kjeldahl}}$  (Tabela 3) inferiores aos relatados por Nogueira et al. (2010), de 2,9% a 4,1%, para lodo da ETE Barueri, em São Paulo, deveram-se ao processo de higienização do lodo, uma vez que a elevação de pH provoca a perda de N por volatilização do  $N\text{-NH}_4$  (CARNEIRO; SOTTOMAIOR; ANDREOLI, 2005).

As médias de  $Na_{\text{total}}$  (Tabela 3) não foram diferentes para os dois grupos de lodo, sendo superiores ao teor de 0,03% de ST para lodo de digestor anaeróbio gerado no processo de lodos ativados (PIRES et al., 2007) e de 0,01% de ST para lodo de leito de secagem gerado em reator anaeróbio (GOMES et al., 2007). Em estudo da aplicação de doses crescentes de lodo de esgoto, contendo 0,03% de  $Na_{\text{total}}$ , Nascimento et al. (2004) observaram aumentos significativos de Na trocável apenas para o argissolo, a partir da dose equivalente a 30  $\text{t ha}^{-1}$ .

Em relação ao  $S_{\text{total}}$ , a média dos lotes de lodo das demais UGLs da RMC apresentou-se maior que a dos lotes da UGL Belém (Tabela 3). Uma explicação para esse fato é que o S encontra-se na composição microbológica, ao menos na sua camada superficial, de bactérias redutoras de sulfato ou oxidantes de sulfetos (SIGOLO; PINHEIRO, 2010), normalmente encontradas no lodo de esgoto gerado em processos anaeróbios.

### Parâmetros inorgânicos

A Tabela 4 apresenta a comparação entre os limites da Resolução SEMA nº 021/2009 e os percentis 75, 90, 95 e 99 para as substâncias inorgânicas dos lotes avaliados, cujo cálculo considerou o limite de quantificação para resultados abaixo desse limite.



**Tabela 4** – Percentis 75, 90, 95 e 99 das substâncias inorgânicas dos lotes de lodo da RMC, higienizados por EAP, aplicados a áreas agrícolas, no período de 2007 a 2013, comparados aos limites da Resolução SEMA nº 021/2009.

Substância inorgânica	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Se	Zn
	mg kg <sup>-1</sup>										
Percentil 75	10	190	1	65	101	1,1	10	35	29	10	501
Percentil 90	10	239	2	94	121	10	10	57	61	10	614
Percentil 95	20	275	2	107	160	10	10	71	79	14	694
Percentil 99	20	354	6	238	200	10	12	93	137	22	1118
Resolução Sema 021/09	41	1300	20	1000	1000	16	50	420	300	100	2500

**Nota:** Cálculo considerando os limites de detecção para resultados inferiores a eles. Somente 48 dos lotes de lodo da UGL Belém e 79 das demais UGLs da RMC possuíam laudos com o resultado de As, Ba, Mo e Se.

Os teores de substâncias inorgânicas dos lotes de lodo da RMC destinados ao uso agrícola, no período de 2007 a 2013 (Tabela 4), encontravam-se abaixo dos limites estabelecidos pela Resolução SEMA nº 021/2009 (PARANÁ, 2009), a qual é mais restritiva que a Resolução CONAMA nº 375/2006 (BRASIL, 2006) para os parâmetros Cd, Cu, Hg e Zn.

No Paraná, a concessionária de saneamento (Sanepar) somente aceita o descarte de efluentes industriais na rede de esgotamento doméstico mediante o atendimento de critérios de sua qualidade, por parte das indústrias. São definidos valores limites para: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), pH, temperatura, óleos e graxas, sólidos sedimentá-

veis, N, P, Ag, As, Cd, Cr, Cu, ferro (Fe) solúvel, Hg, Ni, Pb, Se, estanho (Sn), Zn, benzeno, cianeto, clorofórmio, dicloroetano, estireno, etilbenzeno, fenol, fluoreto, sulfato, sulfeto, surfactantes, tetracloreto de carbono, tolueno e xileno. Os gestores podem estabelecer limites mais restritivos com base em avaliação local de capacidade das redes coletoras de esgoto e da ETE (SANEPAR, 2013).

A Tabela 5 contém as concentrações mínimas, máximas e médias, os CVs e o número de laudos analisados, para cada substância inorgânica, tendo sido excluídos, para essa análise estatística, os resultados dos laudos abaixo do limite de quantificação laboratorial.

**Tabela 5** – Concentrações de substâncias orgânicas mínimas, máximas e médias, CVs e número de laudos dos lotes de lodo da RMC, higienizados por EAP, aplicados a áreas agrícolas, no período de 2007 a 2013, com resultados acima do limite de detecção laboratorial.

Substância inorgânica	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Se	Zn
Mínimo (mg kg <sup>-1</sup> )	1,1	12	0,025	0,97	1,6	0,002	0,02	2,9	1,33	6,13	9,45
Máximo (mg kg <sup>-1</sup> )	10,3	357,6	4,3	370	202,5	2,76	12,2	93,0	137,3	22,8	1299
Média (mg kg <sup>-1</sup> )	2,8	165,7	0,83	47,6	85,5	0,7	2,0	29,1	29,0	10,9	369,3
CV (%)	81,4	36,8	95,8	86,9	40,2	67,9	117,2	68,5	82,8	33,6	56,4
Nº de laudos	16	113	59	169	171	77	61	155	170	33	173
Resolução SEMA nº 021/2009 (mg kg <sup>-1</sup> )	41	1300	20	1000	1000	16	50	420	300	100	2500

As concentrações das substâncias inorgânicas nos lotes de lodo de esgoto destinados a uso agrícola na RMC, no período de 2007 a 2013, não apresentaram distribuição normal. Dessa forma, foi aplicado o teste de Mann-Whitney para verificação da diferença entre os grupos de lodo a 95% de confiabilidade, conforme apresentado na Tabela 6.

Verificaram-se elevados CVs nos resultados de concentração de substâncias inorgânicas dos lotes (Tabelas 5 e 6). Todos, especialmente os verificados para Zn (Tabela 5) e Cr (Tabela 6), deveriam-se à amplitude observada entre as concentrações mínima e máxima (Tabela 5). No entanto, destaca-se que, apesar dessa elevada variação, as concentrações máximas estavam abaixo dos limites da legislação vigente (Tabela 5).

Existe grande variabilidade na presença de substâncias inorgânicas em lodo de esgoto gerado em uma ETE (BERTON; NOGUEIRA, 2010) e também em lodo gerado em diferentes ETEs (PEGO-RINI et al., 2006b), sendo as descargas industriais nas redes de coleta de esgoto doméstico responsáveis pela grande variação da concentração das substâncias.

Os lotes da UGL Belém apresentaram médias superiores para os parâmetros Cr e Ni e médias inferiores para os parâmetros Mo, Se e Zn, em comparação às médias dos lotes de lodo das demais UGLs da RMC (Tabela 6), provavelmente relacionadas a diferenças nas bacias de esgotamento sanitário.

#### 4 CONCLUSÕES

1. Em relação aos parâmetros agrônômicos do lodo de esgoto da RMC destinado ao uso agrícola, no período de 2007 a 2013, os lotes de lodo de esgoto da UGL Belém, comparados aos lotes de lodo das demais UGLs da RMC, apresentaram médias superiores para SVT,  $C_{org}$ ,  $P_{total}$ ,  $K_{total}$ ,  $N_{total}$  e  $N_{kjeldahl}$ ; inferiores para ST,  $Mg_{total}$  e  $S_{total}$ ; e não houve diferenças nas médias de  $N-NH_4$ ,  $N-(NO_2^- + NO_3^-)$ , pH,  $Ca_{total}$  e  $Na_{total}$ .
2. As diferenças no processo de tratamento de esgoto, possivelmente, explicam as variações encontradas para SVT,  $C_{org}$ ,  $P_{total}$ ,  $N_{total}$ ,  $N_{kjeldahl}$  e  $S_{total}$ . Já para os parâmetros ST,  $K_{total}$  e  $Mg_{total}$ , elas podem estar relacionadas aos processos de desaguamento, higienização e estocagem dos lotes de lodo.

**Tabela 6** – Concentrações médias de substâncias orgânicas, CVs e número de laudos dos lotes de lodo da RMC, higienizados por EAP, aplicados a áreas agrícolas, no período de 2007 a 2013, com resultados acima do limite de detecção laboratorial.

Substância inorgânica	Média (mg kg <sup>-1</sup> )		Nº de lotes		CV%		Diferentes
	Lotes da UGL Belém	Lotes das demais UGLs da RMC	Lotes da UGL Belém	Lotes das demais UGLs da RMC	Lotes da UGL Belém	Lotes das demais UGLs da RMC	
As	4,8	2,2	4	12	77,2	47,42	Não
Ba	178,9	158,5	41	72	37,6	35,3	Não
Cd	0,83	0,82	32	27	78,3	113,3	Não
Cr	68,3	28,6	81	88	2.402	63,1	Sim
Cu	87,1	84,1	81	90	32,3	46,6	Não
Hg	0,60	0,75	28	49	76,9	62,7	Não
Mo	0,77	2,62	20	41	113,9	98,5	Sim
Ni	39,9	20,8	67	88	57,48	57,1	Sim
Pb	34,0	24,5	81	89	89,2	60,8	Não
Se	10,0	11,8	15	18	36,3	30,0	Sim
Zn	290,5	441,9	83	90	59,4	47,9	Sim

**Nota:** Foi aplicado o teste de Mann-Whitney para verificação da diferença entre os grupos de lotes de lodo de esgoto a 95% de confiabilidade. Cálculo excluindo as concentrações abaixo do limite de detecção laboratorial.

3. Os lotes de lodo de esgoto apresentaram níveis de substâncias inorgânicas abaixo dos limites da Resolução SEMA nº 021/2009, demonstrando a segurança na utilização agrícola do lodo produzido nas UGLs da RMC e comprovando que o controle do recebimento de efluentes industriais na rede de esgotamento doméstico é eficaz para obtenção de lodos com baixos teores de substâncias inorgânicas. Houve grande variabilidade na concentração dessas substâncias.
4. Os lotes produzidos na UGL Belém revelaram maior concentração média de Cr e Ni e menor de Mo, Se e Zn, quando comparados aos lotes das demais UGLs da RMC, possivelmente devido a diferenças na bacia de esgotamento sanitário.

## REFERÊNCIAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standard methods for the examination of water and wastewater** (21<sup>st</sup> ed.). Washington: American Water Works Association (AWWA) & Water Pollution Control Federation (WPCF), 2005.

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. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 9. **Anais**. Foz do Iguaçu: ABES, 1997. p. 232-246.

BERTON, S. R.; NOGUEIRA, T. A. R. Uso de Lodo de esgoto na agricultura. In: Coscione, A. R.; Nogueira, T. A. R.; Pires, A.M. M. (Ed.). **Uso Agrícola de Lodo de Esgoto: avaliação após a Resolução n. 375 do Conama**. Botucatu: FEPAF, 2010. p. 31-50.

BITTENCOURT, S. Gestão do processo de uso agrícola de lodo de esgoto no estado do Paraná: Aplicabilidade da Resolução Conama 375/06. 220 f. **Tese** (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental), Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

BITTENCOURT, S.; ANDREOLI, C. V.; MOCHIDA, G. A.; MARIN, L. M. K, S. Uso agrícola de lodo de esgoto, estudo de caso da Região Metropolitana de Curitiba. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales**, v. 2, n. 1, p. 1-11, 2009.

BORGES, M. R.; COUTINHO, E. L. M. Metais pesados dos solos após aplicação de biossólido, I – Fracionamento. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 3, p. 543- 555, 2004.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA). Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). **Série Histórica 2012**, 2012. Disponível

em: <<http://www.cidades.gov.br/serieHistorica/#>>. Acesso em: 05/09/2014.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. 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. 2006. Disponível em: <[www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf](http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf)>. Acesso em: 10/06/2014.

CAI, Q. Y.; MO, C. H.; LÜ, H.; ZENG, Q. Y.; WU, Q. T.; LI, Y. W. Effect of composting on the removal of semivolatile organic chemicals (SVOCs) from sewage sludge. **Bioresource Technology**, v. 126, p. 453-457, 2012.

CARNEIRO, C.; SOTTOMAIOR, A. P.; ANDREOLI, C.V. Dinâmica de nitrogênio em lodo de esgoto sob condições de estocagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 6, p. 987-994, 2005.

CHUEIRI, W. A., SERRAT, B. M.; BIELE, J.; FAVARETTO, N. Lodo de esgoto e fertilizante mineral sobre parâmetros do solo e de plantas de trigo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 5, p. 502-508, 2007.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ (SANEPAR). **Sistema Normativo da Sanepar**. IT/OPE/1899 - Gestão de Efluentes Não Domésticos. Curitiba: Sanepar, setembro, 2013.

DE MARIA, I. C.; CHIBA, M. K.; COSTA, A.; BERTON, R. S. Sewage sludge application to agricultural land as soil physical conditioner. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 3, p. 967-974, 2010.

ECKENFELDER, W. W.; PATOCZKA, J. B.; PULLIAM, G. W. Anaerobic versus aerobic treatment in the USA. In: HALL, E. R.; HOBSON, P. N. (Ed.) **Anaerobic Digestion**. New York: Pergamon Press Oxford, 1988. p. 105-114.

FRANCO, A.; ABREU JUNIOR, C. H.; PERECIN, D.; OLIVEIRA, F. C.; GRANJA, A. C. R.; BRAGA, V. S. Sewage sludge as nitrogen and phosphorus source for cane-plant and first ratoon crops. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 2, p. 553-561, 2010.

GOMES, S. B. V., NASCIMENTO, C. W. A.; BIONDI, C. M. Produtividade e composição mineral de plantas de milho em solo adubado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 5, p. 459-465, 2007.

GONÇALVES, R. F.; LUDUVICE, M.; VON SPERLING, M. Remoção da umidade de lodos de esgotos. In: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. (Ed.). **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: UFMG-Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Curitiba: Sanepar, 2001. p.159-259.

JUNIO, G. R. Z.; SAMPAIO, R. A.; NASCIMENTO, A. L.; CARNEIRO, J. P.; SANTOS, L. D. T.; FERNANDES, L. A. Produção de milho adubado residualmente com composto de lodo de esgoto e fosfato de Gafsa. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 12, p. 1289-1297, 2012.

- MARTIN, J. H.; BOSTAIN, H. E.; STERN, G. Reduction of enteric microorganisms during aerobic sludge digestion. **Water Research**, v. 24, n. 11, p. 1377–1385, 1990.
- MARTINS, A. L. C.; BATAGLIA, O. C.; CAMARGO, O. A. Copper, nickel and zinc phytoavailability in an Oxisol amended with sewage sludge and liming. **Scientia Agricola**, v. 60, p. 747–754, 2003.
- NASCIMENTO, C. W. A.; BARROS, D. A. S.; MELO, E. E. C.; OLIVEIRA, A. B. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 2, p. 385–392, 2004.
- NOGUEIRA, T. A. R.; FRANCO, A.; HE, Z.; BRAGA, V. S.; FIRME, L. P.; ABREU-JUNIOR, C. H. Short-term usage of sewage sludge as organic fertilizer to sugarcane in a tropical soil bears little threat of heavy metal contamination. **Journal of Environmental Management**, v. 114, p. 168–177, 2013.
- NOGUEIRA, T. A. R.; MELO, W. J. de; FONSECA, I. M.; MARQUES, M. O.; HE, Z. Barium uptake by maize plants as affected by sewage sludge in along-term field study. **Journal of Hazardous Materials**, v. 181, n. 1–3, p. 1148–1157, 2010.
- PAGLIA, E. C.; SERRAT, B. M.; FREIRE, C. A. de L.; VEIGA, A. M.; BORSATTO, R. S. Doses de potássio na lixiviação do solo com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 1, p. 94–100, 2007.
- PARANÁ. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Instituto Ambiental do Paraná. **Instrução Técnica CEP/DTA N. 001/2002**. Dispõe sobre a utilização agrícola de lodo de estação de tratamento de esgoto sanitário. Curitiba, 07 de maio de 2002.
- PARANÁ. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Resolução Sema 021/09**. Dispõe sobre licenciamento ambiental, estabelece condições e padrões ambientais e dá outras providências, para empreendimentos de saneamento. Diário Oficial do Estado do Paraná, Curitiba, n. 7962, 2009, pp. 13–16. Disponível em: <<https://www.documentos.dioe.pr.gov.br/dioe/consultaPublicaPDF>>. Acesso em: 10/06/2014.
- PEGORINI, E. S.; HOPPEN, C.; TAMANINI, C. R.; ANDRADE, F. L.; TORREZAN, H. T. Aperfeiçoamento do processo de higienização através da caleação: II Potencial de Alcalinização Prolongada. In: Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 8, 2006, Fortaleza. **Anais**. Fortaleza: ABES. CD-Rom, 2006a.
- PEGORINI, E. S.; HOPPEN, C.; TAMANINI, C. R.; ANDREOLI, C. V. Levantamento da contaminação do lodo de estações de tratamento de esgotos do estado do Paraná: II metais pesados. In: Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 8, 2006, Fortaleza. **Anais**. Fortaleza: ABES. CD-Rom, 2006b.
- PIRES, A. M. M.; MARCHI, G.; MATTIAZZO, M. E.; GUILHERME, L. R. G. Organic acids in the rhizosphere and phytoavailability of sewage sludge-borne trace elements. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 7, p. 917–924, 2007.
- SAMPAIO, A. Afinal, queremos ou não viabilizar o uso agrícola do lodo produzido em estações de esgoto sanitário? Uma avaliação crítica da Resolução CONAMA 375. **Revista DAE**, São Paulo, n. 193, p. 16–27, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4322/dae.2014.109>>. Acesso em: 14/04/2014.
- SIGOLO, J. B.; PINHEIRO, C. H. R. Lodo de esgoto da ETE Barueri – SP: proveniência do enxofre elementar e correlações com metais pesados associados. **Geologia USP, Série Científica**, v. 10, n. 1, p. 39–51, 2010.
- SILVA, F. DE A. S. **Assistat Versão 7.7 beta**. DEAG-CTRN-UFCG. 2014. Disponível em: <<http://www.assistat.com>>. Acesso em: 10/06/2014.
- SMIRI, M.; ELARBAOUI, S.; MISSAOUI, T.; BEN DEKHIL, A. Micropollutants in sewage sludge: elemental composition and heavy metals uptake by *Phaseolus vulgaris* and *Vicia faba* seedlings. **Arabian Journal Science Engineering**, v. 40, n. 7, p. 1837–1847, 2015.
- SPELLMAN, F. R. **Dewatering Biosolids**. Lancaster: Technomic Publishing, 1997. 276 p.
- TEIXEIRA, L. A. J.; BERTON, R. S.; COSCIONE, A. R.; SAES, L. A.; CHIBA, M. K. Agronomic efficiency of biosolid as source of nitrogen to banana plants. **Applied and Environmental Soil Science**, Article ID 873504, 10 p., 2015.
- TRANNIN, I. C. DE B.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. DE S. Características biológicas do solo indicadoras de qualidade após dois anos de aplicação de biossólido industrial e cultivo de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 5, p. 1173–1184, 2007.
- TSUTUYA, M. T. Alternativas de disposição final de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgotos. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: EMBRAPA, 2000. cap. 4, p. 69–106.
- UNITED STATE ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY (USEPA). **SW-846. Method 3050B. Acid digestion of sediments, sludges, and soils**, Revision 2. 1996. Disponível em: <<http://www.epa.gov/mwginternal/de5fs23hu73ds/progress?id=ZUDtoOA3po>>. Acesso em: 10/05/2014.
- UNITED STATE ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY (USEPA). **Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge**. 2003. Disponível em: <<http://www.epa.gov/region8/water/biosolids/pdf/625R92013ALL.pdf>>. Acesso em: 29/11/2012.
- UNITED STATE ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY (USEPA). **SW-846. Method 3051A. Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils**. Revision 1. 2007. Disponível em: <<http://www.epa.gov/mwg-internal/de5fs23hu73ds/progress?id=5fHJFrO4bb>>. Acesso em: 10/05/2014.