



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

TAXA MÁXIMA DE APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO EM SOLOS AGRÍCOLAS EM FUNÇÃO DA CARGA ACUMULADA DE METAIS PESADOS: ESTUDO DE CASO ETE ITABIRA/MG

Fernanda Maria Belotti – fernandabelotti@unifei.edu.br

Universidade Federal de Itajubá, Campus Itabira.
Rua Irmã Ivone Drumond, 200 – Distrito Industrial II
35903-087 – Itabira – MG

Luisa Cardoso Maia – luisac_maia@hotmail.com

Universidade Federal de Ouro Preto, Escola de Minas, Departamento de Engenharia Ambiental.

Resumo: Depois de tratados biologicamente, os esgotos produzem um resíduo rico em matéria orgânica e nutriente, denominado lodo de esgoto. O gerenciamento do lodo é de grande complexidade, podendo acarretar em diversos riscos ambientais quando mal executado. As alternativas para a destinação final do lodo são variáveis, contudo, considerando sua rica composição em matéria orgânica uma alternativa bastante indicada é o uso na agricultura. Entretanto, antes de sua indicação como insumo agrícola é preciso analisar o teor de metais pesados contidos no lodo, principal limitação para a sua reciclagem agrícola. Nesse sentido, o presente trabalho visa quantificar o teor de metais pesados presentes no lodo da ETE Laboreaux (Itabira/MG), comparando-o ao limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 375/2006, e avaliar a taxa máxima de aplicação de lodo de esgoto no solo em função da carga teórica acumulada permitida para metais pesados. Para a quantificação do teor de metais foram coletadas 04 (quatro) amostras compostas de lodo. Tais amostras foram analisadas por Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) para definição de seu teor total de cádmio, chumbo, cobre, cromo, níquel e zinco. Os resultados evidenciaram que todos os metais encontraram-se em concentrações abaixo dos limites estabelecidos pela legislação ambiental; o que, portanto, sugere a possibilidade de emprego do lodo como fertilizante agrícola. O Zn apresentou-se como o elemento limitante ao uso agrícola do biossólido da ETE Laboreaux. Os dados demonstram que menor quantidade de biossólido deve ser aplicada (480 t.ha^{-1}) em função dos maiores teores de Zn nas amostras de lodo.

Palavras-chave: Lodo de esgoto, Solos agrícolas, Metais pesados, Carga acumulada permitida.

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

MAXIMUM RATE OF APPLICATION OF SEWAGE SLUDGE IN AGRICULTURAL SOILS IN FUNCTION OF THE ACCUMULATED LOAD OF HEAVY METALS: CASE STUDY ETE ITABIRA/MG

Abstract: After biologically treated sewage produce a rich residue in organic matter and nutrients, called sewage sludge. The sludge management is very complex and may result in various environmental risks when poorly executed. The alternatives for the disposal of sludge are numerous, however, considering its rich composition in organic matter, it is indicated to be used in agriculture. However, before its use in agriculture it is necessary to analyze the content of heavy metals contained in the sludge, the main limitation for their agricultural recycling. In this sense, this study aims to quantify the content of heavy metals present in the sludge of STP Laboreaux (Itabira/MG), comparing it to the limit set by CONAMA Resolution 375/2006, and to evaluate the maximum rate of application of sewage sludge in the soil as a function of the accumulated theoretical load allowed for heavy metals. To quantify the metal content were collected four (04) composite samples of sludge. These samples were analyzed by Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) for setting a total content of cadmium, lead, copper, chromium, nickel and zinc. The results showed that all metals analyzed met in concentrations below the limits set by environmental legislation; which thus suggests the possibility of sludge use as an agricultural fertilizer. The Zn appeared to be the limiting element to the agricultural use of bio-solids in STP Laboreaux. The results shows that less amount of sludge must be applied (480 t.ha⁻¹) because of the higher amounts of Zn content in the sludge samples.

Keywords: Sewage sludge, Agricultural soils, Heavy metals, Accumulated load allowed.

1. INTRODUÇÃO

Depois de tratados biologicamente, os esgotos produzem um resíduo rico em matéria orgânica e nutriente, denominado lodo de esgoto, representando 1% a 2% do volume de esgoto tratado e tendo um custo de gerenciamento bastante elevado, variando de 20% a 60% do custo operacional de uma Estação de Tratamento de Esgoto - ETE (ANDREOLI & VON SPERLING, 2014). Segundo Manzochi (2008), dentre todos os subprodutos gerados em ETEs, o de maior volume e complexidade de gerenciamento é o lodo de esgoto.

Andreoli e von Sperling (2001) definem o lodo de esgoto biológico como sendo a própria biomassa que cresceu a partir do alimento fornecido pelo esgoto afluente, salientando a importância de sua remoção no sistema. A remoção do lodo é necessária uma vez que evita que o subproduto depois de acumulado se mova junto com o efluente final, deteriorando a qualidade do efluente em termos de Sólidos em Suspensão (SS) e matéria orgânica. Dessa forma, a remoção constante de lodo biológico do sistema de tratamento acarreta no acúmulo de uma grande quantidade de resíduo a ser gerenciado, devendo ser uma questão prioritária a sua destinação final adequada.

Das diversas alternativas para a adequada disposição do lodo a reciclagem agrícola é a mais promissora tanto sob o aspecto ambiental quanto econômico, pois transforma um resíduo em um importante insumo agrícola (ANDREOLI *et al.*, 1998). A reciclagem agrícola do lodo tem se destacado mundialmente, do ponto de vista técnico, econômico e ambiental, por viabilizar a reciclagem de nutrientes, promover melhorias físicas, especialmente na estruturação do solo e por apresentar uma solução definitiva para a disposição do lodo (ANDREOLI *et al.*, 2001). Nesse sentido, Bettioli e Camargo (2006) afirmam que dentre as diversas alternativas existentes para a promoção da destinação final do lodo e adequado gerenciamento, a que se apresenta como uma das mais convenientes é aquela para fins

Realização

ABES-RS



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

agrícola e florestal, considerando que o lodo apresenta em sua constituição alta concentração de matéria orgânica e de macro e micronutrientes para as plantas, atuando como fertilizante e condicionador de solos.

Entretanto, apesar de todos os benefícios advindos da reciclagem agrícola de biossólidos, o lodo pode apresentar em sua composição elementos potencialmente tóxicos e agentes patogênicos ao homem, o que pode restringir ou não a sua disposição em solos agrícolas (BETTIOL & CAMARGO, 2006). A própria forma de produção do lodo faz com que ele seja um concentrador dos principais contaminantes contidos no esgoto bruto (PAREDES FILHO, 2011). Segundo Ferreira e Andreoli (1999), tanto os metais pesados quanto os agentes patogênicos tendem a se co-precipitar com o esgoto e se concentrar no lodo. Assim, para que sua utilização seja segura, devem ser controlados os teores de organismos patogênicos e metais pesados, que são os principais limitantes para a sua reciclagem agrícola.

Para o controle dos agentes patogênicos existem diversos métodos de desinfecção para assegurar um bom perfil sanitário ao lodo (SILVA *et al.*, 2014). Processos de estabilização e higienização do lodo para reduzir o conteúdo de patógenos são bastante difundidos, sendo que em alguns tratamentos, como a caleação com doses de 50% de cal, o resultado alcançado é de 100% de desinfecção para a maioria dos organismos. Os processos de higienização como tratamento com cal ou compostagem já mostraram sua eficiência na desinfecção do lodo, reduzindo os níveis de patógenos a patamares seguros (FERNANDES & SOUZA, 2001).

Entretanto, os processos de estabilização não eliminam metais pesados, que normalmente estão presentes no lodo e podem limitar o seu uso na agricultura (FERREIRA *et al.*, 1999), uma vez que tais metais podem se acumular no solo e serem também transportados para águas subterrâneas e superficiais, principalmente quando se faz o uso continuado e em doses crescentes de lodo nas áreas cultivadas (RANGEL *et al.*, 2004). Dessa forma, os lodos de ETE representam uma possível fonte de contaminação por metais pesados, podendo se constituir em fontes de poluição não-pontuais de solos e sistemas aquáticos (CAMPOS *et al.*, 2005).

Com o objetivo de assegurar que não ocorra a contaminação dos solos pela aplicação de biossólido, o uso do lodo na agricultura segue as determinações da Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 375, de 29 de agosto de 2006 (MARIN *et al.*, 2010), definindo critérios e procedimentos específicos (CONAMA, 2006).

Nesse contexto, o presente trabalho visa analisar o teor de metais pesados em amostras de lodo de esgoto da Estação de Tratamento de Esgotos – ETE *Laboreaux* (Itabira/MG) comparando-o ao limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 375/2006, bem como avaliar a taxa máxima de aplicação de lodo de esgoto no solo em função da carga teórica acumulada máxima permitida para metais pesados de acordo com a referida Resolução.

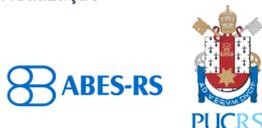
2. METODOLOGIA

O trabalho foi desenvolvido a partir de amostragens de lodo de esgoto proveniente da Estação de Tratamento de Esgotos de Itabira/MG – ETE *Laboreaux*.

A amostragem foi realizada após o processo de tratamento do lodo, ou seja, na caçamba de descarte de lodo da unidade de desidratação mecânica da ETE *Laboreaux*. Essa escolha foi adotada em virtude do próprio objetivo do estudo, que é quantificar o teor de metais pesados contidos no biossólido. Os produtos químicos utilizados no tratamento podem contribuir para o aumento do teor de metais pesados do lodo, uma vez que a cal hidratada e o cloreto férrico podem conter em sua constituição alguns metais pesados. Dessa forma, justifica-se a escolha pela amostragem de lodo oriundo do filtro prensa, uma vez que a destinação para fins de reciclagem agrícola utiliza o lodo desaguado, que é mais facilmente manuseado e apresenta um menor custo de transporte.

A coleta das amostras de lodo foi realizada conforme os requisitos estabelecidos para a caracterização inicial de biossólido contidos na Resolução CONAMA nº 375/2006, bem como por

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375

critérios de validação estatística e avaliação da variação sazonal na composição do lodo, segundo os seguintes procedimentos:

- i) foram coletadas 04 (quatro) amostras compostas de lodo de esgoto oriundo do filtro prensa, com uma defasagem mínima de 07 (sete) dias;
- ii) cada amostragem foi realizada a partir da coleta de amostra em 06 (seis) pontos equidistantes dentro da caçamba, obtendo-se assim 06 (seis) amostras simples visando garantir a representatividade estatística das amostras de lodo. Posteriormente, as 06 (seis) amostras simples foram homogeneizadas para a obtenção de uma amostra composta, ou seja, para cada data de amostragem foi obtida uma amostra composta de lodo a partir da homogeneização das amostras simples coletadas;
- iii) para avaliar a variação na composição do lodo de esgoto ao longo do ano foram realizadas 04 amostragens: duas no final do período chuvoso (amostras LE-1 e LE-2) e duas amostragens no final do período seco (amostras LE-3 e LE-4).

Os procedimentos de preservação e transporte das amostras foram desenvolvidos de acordo com CETESB (2011). Para a quantificação do teor de metais pesados as amostras de lodo da ETE *Laboreaux* foram analisadas por Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) para avaliação do teor total de cádmio; chumbo; cobre; cromo; níquel e zinco. Os resultados foram comparados com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 375/2006 e utilizados para o cálculo da carga máxima permitida para aplicação do lodo em solos agrícolas de acordo com a referida resolução.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises das amostras de lodo de esgoto da ETE *Laboreaux* evidenciaram que todos os elementos analisados apresentaram concentrações inferiores aos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 375/2006, referente ao aproveitamento agrícola de lodo de esgotos (Tabela 1).

Tabela 1 – Teor de metais pesados em lodo da ETE *Laboreaux* e limites máximos permitidos pela legislação brasileira (Resolução CONAMA nº 375/2006)

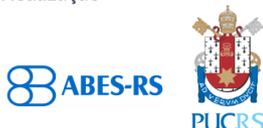
Metais pesados	Teor de metais nas amostras de lodo (mg.kg ⁻¹)				Limite Resolução CONAMA nº 375/2006 (mg.kg ⁻¹)
	LE-1	LE-2	LE-3	LE-4	
Cu	119,0	126,50	130,10	124,30	1.500
Zn	865,0	931,0	1.119,0	787,0	2.800
Ni	47,20	53,20	54,70	45,10	420
Cd	6,90	9,10	6,00	6,40	39
Pb	18,0	26,20	25,90	21,10	300
Cr	76,50	61,80	83,50	98,20	1.000

Os resultados obtidos pela análise do teor de Cu indicaram a predominância de baixas concentrações do elemento (concentração média de 125 mg.kg⁻¹, base seca), sendo encontrado em valores bastante inferiores ao valor máximo permitido pela Resolução CONAMA (1.500 mg.kg⁻¹, base seca).

O Cu é um cátion que apresenta grande facilidade em interagir com os componentes minerais e orgânicos do solo (forte adsorção nos colóides orgânicos e inorgânicos do solo), sendo um dos metais pesados menos móveis no perfil do solo.

Ao serem aplicadas 1.096 toneladas de biossólido em um hectare (ha) de terra o teor de Cu acumulado se iguala ao limite estabelecido pela Resolução CONAMA em relação à carga acumulada teórica permitida (137 kg de Cu.ha⁻¹). Esse cálculo considera a acumulação de todo o Cu aplicado no solo (concentração média de 125 mg.kg⁻¹).

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

Em relação ao Zn, observaram-se maiores concentrações nas amostras (concentração média de Zn de 925,5 mg.kg⁻¹, base seca); no entanto, os valores ainda assim foram inferiores ao máximo permitido pela legislação brasileira (2.800 mg.kg⁻¹, base seca).

Ao serem aplicadas 480 toneladas de biossólido em um hectare de terra o teor de Zn acumulado se iguala à carga acumulada teórica permitida pela resolução (445 kg de Zn.ha⁻¹), considerando que todo Zn aplicado se acumule (concentração média de 925,5 mg.kg⁻¹).

A biodisponibilidade do Zn às plantas diminui com o aumento do pH e com o tempo de aplicação, de modo que é recomendado que o pH seja mantido acima de 6,5 para evitar que a toxicidade do Zn seja pronunciada. No decorrer do aumento do tempo de contato do lodo com o solo o perigo de que as plantas absorvam os metais em excesso é reduzido, pois estes são fortemente retidos pelos colóides do solo.

No que se refere ao Ni, os resultados obtidos indicaram que o elemento foi encontrado em concentrações normais (concentração média de Ni de 50,05 mg.kg⁻¹, base seca), estando dentro dos limites estabelecidos pela legislação (420 mg.kg⁻¹, base seca).

Ao serem aplicadas 1.478 toneladas de biossólido em um hectare de terra o teor de Ni acumulado se iguala ao limite estabelecido pela norma de carga acumulada teórica permitida (74 kg de Ni.ha⁻¹). Esse cálculo considera a acumulação de todo o Ni aplicado no solo (concentração média de 50,05 mg.kg⁻¹).

Segundo Melo *et al.* (2004), o Ni contido em lodos de esgoto pode ser altamente fitotóxico, uma vez que é prontamente disponível às plantas, de forma que o pH do solo é o principal fator responsável por controlar a solubilidade do elemento, em uma relação inversa. A toxicidade do Ni pode aumentar em pH abaixo de 6,5. Dessa forma, recomenda-se que o pH do solo seja mantido acima deste valor para que os riscos de poluição de solo e água por este elemento sejam minimizados.

Quanto ao teor de Cd, os resultados obtidos nas análises indicaram sua conformidade com a legislação brasileira (concentração média de 7,1 mg.kg⁻¹, base seca), mantendo-se em valores inferiores ao limite estabelecido pela norma (39 mg.kg⁻¹, base seca).

Ao serem aplicadas 563 toneladas de biossólido em um hectare de terra o teor de Cd acumulado se iguala ao limite estabelecido pela norma de carga acumulada teórica permitida (4 kg de Cd.ha⁻¹). Esse cálculo considera a acumulação de todo o Cd aplicado no solo (concentração média de 7,1 mg.kg⁻¹).

O Cd é um dos poluentes ambientais mais perigosos em virtude de sua toxicidade e seu potencial de acumulação no solo. Por consequência disso, é necessário que haja maior atenção aos valores de Cd no biossólido.

Trata-se de um dos elementos mais móveis entre os metais pesados, sendo afetado principalmente pelo pH. Segundo Melo *et al.* (2004), “o Cd é mais móvel em solos ácidos na faixa de pH 4,5-5,5, enquanto em solos alcalinos apresenta-se com baixa mobilidade”.

Com relação ao Pb, os resultados obtidos nas amostras de lodo indicaram que o teor de Pb esteve em conformidade com a legislação brasileira (concentração média de 22,8 mg.kg⁻¹, base seca), encontrando-se em valores bastante inferiores ao máximo permitido pela norma (300 mg.kg⁻¹, base seca).

Ao serem aplicadas 1.798 toneladas de biossólido em um hectare de terra o teor de Pb acumulado se iguala ao limite estabelecido pela norma de carga acumulada teórica permitida (41 kg de Pb.ha⁻¹). Esse cálculo considera a acumulação de todo o Pb aplicado no solo (concentração média de 22,8 mg.kg⁻¹, base seca).

O Pb é um dos metais considerados como poluentes ambientais, sendo um dos mais perigosos em virtude de sua toxicidade e de seu potencial de acumulação no solo. Em consequência disso, o monitoramento da concentração de Pb no lodo de esgoto para reciclagem agrícola é bastante relevante, considerando a toxicidade do metal.

Com relação ao Cr, os resultados obtidos nas análises indicaram que o elemento foi encontrado em concentrações normais (concentração média de Cr de 80 mg.kg⁻¹, base seca), estando dentro dos limites estabelecidos pela legislação ambiental brasileira (1.000 mg.kg⁻¹, base seca)

Realização

ABES-RS



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



Ao serem aplicadas 1.925 toneladas de bio-sólido em um hectare de terra o teor de Cr acumulado se iguala a carga acumulada teórica permitida pela norma ($154 \text{ kg de Cr.ha}^{-1}$), considerando que todo Cr aplicado se acumule no solo (concentração média de 80 mg.kg^{-1}).

O comportamento do Cr no solo é afetado pelo pH, matéria orgânica e fosfatos de Fe, Mn e Al. Em seus estudos, Lima e Guilherme (2001 *apud* OLIVEIRA *et al.*, 2010) observaram que o Cr pode apresentar mobilidade baixa, moderada e alta, dependendo de seu estado de oxidação.

Considerando os resultados das análises, todos os elementos potencialmente tóxicos analisados foram identificados nas amostras de lodo de esgotos da ETE *Laboreaux*. Contudo, os resultados evidenciaram que os teores de todos os metais pesados encontraram-se abaixo do valor máximo permitido estabelecido pela legislação ambiental (Resolução CONAMA nº 375/2006); o que, portanto, pode viabilizar o emprego do lodo como fertilizante agrícola em relação aos elementos analisados.

Analisando os resultados obtidos de teor e carga acumulada permitida de metais em solos agrícolas foi possível estabelecer a quantidade máxima de lodo a ser aplicada por hectare de terra (Tabela 2) e identificar o metal pesado limitante ao uso do lodo para aplicação em solos agrícolas.

Tabela 2 – Quantidade máxima de bio-sólido a ser aplicado por hectare

Metais pesados	Concentração média no lodo (mg.kg^{-1})	Carga acumulada teórica permitida (kg.ha^{-1}) CONAMA, 2006	Quantidade máxima de lodo por ha (toneladas)
Cu	125,0	137	1.096
Zn	925,5	445	480
Ni	50,05	74	1.478
Cd	7,1	4	563
Pb	22,8	41	1.798
Cr	80,0	154	1.925

Os resultados indicaram que o Zn foi o elemento que mais restringe a reciclagem agrícola do lodo oriundo da ETE *Laboreaux*. Os dados demonstram que menor quantidade de bio-sólido deve ser aplicada por ha de terra – 480 t de bio-sólido por ha – em função dos maiores teores de Zn nas amostras de lodo; visando assim garantir que seja dada uma destinação ao lodo ambientalmente adequada e segura.

Quando o teor de metais pesados no solo atingir os valores críticos de carga acumulada definidos pela legislação a área não poderá receber novas adições de lodo; contudo, poderá ser utilizada para agricultura normalmente (ILHENFELD *et al.*, 1999).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados das análises das amostras de lodo de esgoto da ETE *Laboreaux* evidenciaram que todos os metais pesados analisados encontraram-se em concentrações abaixo dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 375/2006. Logo, a interpretação dos dados indicou o potencial emprego do lodo produzido na ETE *Laboreaux* na fertilização de áreas agrícolas em relação ao teor de metais pesados como fator limitante.

Em relação à quantidade de lodo a ser aplicada no solo, o Cr foi o elemento menos restritivo dentre os metais analisados. De acordo com sua concentração média no bio-sólido (80 mg.kg^{-1}) e sua carga acumulada teórica permitida ($154 \text{ kg de Cr.ha}^{-1}$) seria possível aplicar 1.925 toneladas de bio-sólido por hectare de terra.

O Pb aparece como o segundo elemento menos restritivo dentre os metais analisados no lodo da ETE *Laboreaux*, possibilitando a aplicação de 1.798 toneladas de bio-sólido em um hectare de terra, considerando sua carga acumulada teórica permitida de $41 \text{ kg de Pb.ha}^{-1}$.

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

Seguido do Pb aparece o Ni, o qual permite a incorporação de 1.478 toneladas de biossólido em um hectare de terra, considerando sua carga acumulada teórica permitida de 74 kg de Ni.ha⁻¹.

Posteriormente encontra-se o Cu. Foi observado que ao serem aplicados 1.096 t.ha⁻¹ de biossólido oriundo da ETE *Laboreaux* é alcançado o valor de carga acumulada teórica permitida estabelecida pela norma brasileira (137 kg de Cu.ha⁻¹).

Essa quantidade de biossólido por hectare se reduz quase pela metade ao ser considerada a concentração média de Cd contido no lodo. Considerando a carga acumulada teórica permitida de 4 kg de Cd.ha⁻¹ é permitido a incorporação de 563 toneladas de biossólido por hectare de terra.

No entanto, como o Zn apresentou-se como o elemento limitante ao uso agrícola do biossólido da ETE *Laboreaux*, a quantidade de biossólido a ser aplicado por ha foi reduzida em função do maior teor do metal no lodo, uma vez que a maior concentração do elemento possibilita a incorporação de apenas 480 t.ha⁻¹ de biossólido (carga acumulada teórica permitida de 445 kg de Zn.ha⁻¹).

Agradecimentos

Ao Sistema de Abastecimento de Água e Esgoto – SAAE de Itabira/MG pela disponibilização das amostras de lodo para a realização da pesquisa.

REFERÊNCIAS

ANDREOLI, C.V.; PEGORINI, E.S. Gestão de Biossólidos: Situação e perspectivas. In: SEMINÁRIO SOBRE GERENCIAMENTO DE BIODSÓLIDOS DO MERCOSUL, 1., Curitiba. **Anais...** Curitiba: SANEPAR, 1998.

ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M. Introdução. In: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG. 2014. v. 6, cap. 1, p. 11-14.

ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M. Introdução. In: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. 1. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG; Curitiba: SANEPAR, 2001. v. 6, cap. 1.

ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M. Introdução. In: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. 1. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG; Curitiba: SANEPAR, 2001. v. 6, cap. 1.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. **Lodo de esgoto: Impactos ambientais na agricultura**. 1. ed. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006, 349 p.

CAMPOS, M.L. *et al.* Determinação de Cádmiu, Cobre, Cromo, Níquel, Chumbo e Zinco em fosfatos de rocha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, p. 361-367, 2005.

CETESB. COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL.; ANA- Agência Nacional de Águas. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011. 326 p. Disponível em: <<http://laboratorios.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/47/2013/11/guia-nacional-coleta-2012.pdf>>. Acesso em: 02 out. 2017.

CONAMA. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 375, de 30 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 30 ago. 2006.

Realização

ABES-RS



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375

FERNANDES, F.; SOUZA, S. G. de. Estabilização de Lodo de Esgoto. In: ANDREOLI, Cleverson Vitório. **Resíduos Sólidos do Saneamento: Processamento, Reciclagem e Disposição Final**. Rio de Janeiro: RiMa, ABES, 2001. 282 p.

FERREIRA, A. C.; ANDREOLI, C. V. Riscos associados ao uso do lodo de esgoto. In: ANDREOLI, C. V. **Uso e Manejo do Lodo de Esgoto na Agricultura**. Curitiba: SANEPAR; PROSAB, 1999.

ILHENFELD, R. G. K.; PEGORINI, E. S.; ANDREOLI, C. V. Fatores limitantes. In: ANDREOLI, C. V. **Uso e Manejo do Lodo de Esgoto na Agricultura**. Curitiba: SANEPAR; PROSAB, cap. 5, p. 41-61, 1999.

LIMA, J. M.; GUILHERME, L. R. G. Recursos naturais renováveis e impacto ambiental: Solo. In: Lima, J. M.; Guilherme, L. R. G.; Carvalho, M. S. (ed.). **Recursos naturais renováveis e impacto ambiental**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. cap. 2, p.33-69.

MANZOCHI, C. I. S. **Logística para tratamento e disposição final de lodos de ETE's visando a reciclagem agrícola**. Universidade Federal de Santa Catarina – Florianópolis, 2008. 331 p.

MARIN, L. M. K. S. *et al.* Determinação da taxa de aplicação máxima anual de lodo de esgoto higienizado por processo alcalino em solos da região metropolitana de Curitiba. Rio de Janeiro: **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 15, n. 2, 2010.

MELO, G. M. P. *et al.* **Metais pesados no ambiente decorrente da aplicação de lodo de esgoto em solo agrícola**. 98p. 2004. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/cbf6214/lodometal.pdf>>. Acesso em: 02 set. 2017.

OLIVEIRA, L. F. C. *et al.* Isotermas de sorção de metais pesados em solos do cerrado de Goiás. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.** Campina Grande, v.14, n.7, p. 776-782, 2010.

PAREDES FILHO, M. V. Compostagem de lodo de esgoto para uso agrícola. **Revista Agroambiental**, 2011. p. 73-80.

RANGEL, O. J. P. *et al.* Acúmulo de Cu, Mn, Ni, Pb e Zn em Latossolo Vermelho adubado com fontes de lodo de esgoto e cultivado com milho. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 1, p. 15-23, jan./fev., 2004.

SILVA, S. M. C. P. *et al.* Principais contaminantes do lodo. In: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG. 2014. v. 6, cap. 3, p. 67-117.

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375