

UNIVERSIDADE DO SAGRADO CORAÇÃO

MARIANA LOPES DA SILVA

**USO DE LODO DE ESGOTO NA AGRICULTURA:
ASPECTOS AMBIENTAIS.**

BAURU
2016

MARIANA LOPES DA SILVA

**USO DE LODO DE ESGOTO NA AGRICULTURA:
ASPECTOS AMBIENTAIS.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências Exatas e Sociais Aplicadas da Universidade do Sagrado Coração, como parte dos requisitos para obtenção do título de bacharel em Química, sob orientação do Prof. Dr. Thomaz Figueiredo Lobo.

BAURU
2016

Silva, Mariana Lopes da.

S5869u

Uso de lodo de esgoto na agricultura: aspectos ambientais / Mariana Lopes da Silva. -- 2016.

33f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Thomaz Figueiredo Lobo.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química) - Universidade do Sagrado Coração - Bauru - SP

1. Impactos. 2. Legislação. 3. Agricultura. 4. Perspectivas. 5. Sustentabilidade. I. Lobo, Thomaz Figueiredo. II. Título.

MARIANA LOPES DA SILVA

**USO DE LODO DE ESGOTO NA AGRICULTURA:
ASPECTOS AMBIENTAIS.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências Exatas e Sociais Aplicadas da Universidade do Sagrado Coração, como parte dos requisitos para obtenção do título de bacharel em Química, sob orientação do Prof. Dr. Thomaz Figueiredo Lobo.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Thomaz Figueiredo Lobo
Universidade do Sagrado Coração

Prof. Dr. Marcelo Telascrêa
Universidade do Sagrado Coração

Prof. Dra. Ana Paula Cerino Coutinho
Universidade do Sagrado Coração

Bauru, 17 de Junho de 2016.

Dedico este trabalho a Deus e aos meus pais que me apoiaram durante toda essa jornada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por toda a força a mim cedida e luz nessa jornada de quatro anos.

A minha família, em especial meus pais que estiveram comigo em todos os momentos difíceis e sempre que eu pensava em desistir me apoiavam me dando forças.

Também agradeço a minha doce Laurinha, sobrinha amada que com a sua alegria e seus sorrisos me fizeram ter força em conquistar meus objetivos pra que um dia ela possa se orgulhar de mim.

A todos os meus amigos, em especial ao meu amigo Thiago Leite, que por quatro anos conviveu com meus desabafos, meus choros, minhas preocupações, minhas frustrações, minhas alegrias, um amigo que se tornou essencial pra que tudo isso se tornasse realidade.

Aos meus amigos da faculdade pelo apoio, pela união, pelas risadas e também pelas discussões.

Sou grata a todos os meus professores, em especial a minha coordenadora Bárbara Tessaroli e a Ana Paula Cerino pelos conselhos, pelo aprendizado, pelas risadas e pelo apoio.

Por último e com muito mérito, agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Thomaz pela motivação que me deu, pelos conselhos, pelas sugestões, e por me dar espaço para abordar assuntos pelo qual me interesse e respeitar meus pontos de vista.

Enfim, agradeço a todos que contribuíram para que essa etapa da minha vida fosse concluída, desde os apoios até as dúvidas. Sou grata a todos que me acompanharam ou torceram por mim.

“Não é o mais forte que sobrevive, nem o mais inteligente, mas o que melhor se adapta á mudanças.”

(Charles Darwin)

RESUMO

A possibilidade de utilizar resíduos de Estações de Tratamento de Água (ETA) como subproduto para a melhoria da fertilidade do solo traz novos olhares e oportunidades para o meio agrícola, pois viabiliza novas técnicas de adubação orgânica, diminuindo a utilização de adubos sintéticos. O processo de utilização do lodo de esgoto na agricultura consiste na interação deste com resíduos orgânicos, para complementação e sustentabilidade do solo fertilizado. A proposta principal desta nova técnica é a utilização de um resíduo devidamente tratado e controlado para a fertilidade do solo como adubos orgânicos, comprovando a sua eficiência em relação aos adubos sintéticos. O objetivo do trabalho é comprovar por meio de estudos e pesquisas a eficiência do uso de lodo de esgoto como adubo orgânico, analisando seus impactos ambientais, sua legislação e a sua viabilidade em projetos de adubação de diferentes culturas. Em relação aos adubos sintéticos, analisar o desempenho do lodo de esgoto como adubo orgânico, e a eficácia do mesmo no uso agrícola.

Palavras-chave: Impactos. Legislação. Agricultura. Perspectivas. Sustentabilidade.

ABSTRAT

The possibility of using waste from *Estações de Tratamento de Água* (ETA) as a byproduct for the improvement of soil fertility brings about new perspectives and opportunities for agriculture because it makes new techniques of organic fertilizing possible, lessening the use of synthetic fertilizers. The process of using sewage sludge in agriculture consists of the interaction between sewage sludge and organic waste, for the complementation and sustainability of the fertilized soil. The main proposal of this new technique is the utilization of properly treated biosolids and controlled waste for the soil fertility as organic fertilizers, making their efficiency valuable in relation to synthetic fertilizers. The objective of this paper is to prove through research and studies the efficiency of sewage sludge use as organic fertilizers, by analyzing its environmental impacts, its legislations and its viability in fertilizing projects among different cultures. In relation to synthetic fertilizers, analyze the performance of sewage sludge as organic fertilizers and their efficiency in agricultural uses.

Key-words: Impacts. Legislation. Agriculture. Perspectives. Sustainability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Composição geral do esgoto doméstico.....	19
Figura 2	Processo de compostagem do lodo de esgoto.....	20
Figura 3	Processo de compostagem termofílica tera ambiental.....	21
Figura 4	Exemplo do sistema de compostagem de leiras revolvidas.....	21
Figura 5	Revolvimento do lodo de esgoto compostado.....	22
Figura 6	Mistura do lodo de esgoto com o resíduo orgânico.....	24
Figura 7	Aplicação de bioossólido (LE) no solo.....	25
Figura 8	Características químicas dos lodos de esgotos das Estações de Tratamento de Esgoto de Franca (LF) e de Barueri (LB), localizadas no estado de São Paulo, utilizados em cinco cultivos de milho.....	27
Figura 9	Espectrofotômetro de absorção atômica.....	29
Figura 10	Laudo de análise de solo.....	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Monitoramento do LE.....	15
Tabela 2	Substâncias inorgânicas do LE ou de um produto derivado.....	16
Tabela 3	Classificação de patógenos em LE ou de um produto derivado.....	16
Tabela 4	Relação de kg/ha permitido de substâncias inorgânicas para a aplicação de LE no solo.....	28

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APA – Áreas de Proteção Ambiental

APMs – Áreas de Proteção aos Mananciais

APP – Área de Preservação Permanente

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

ETA – Estação de Tratamento de Água

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto

LE – Lodo de Esgoto

UGL – Unidade de Gerenciamento de Lodo

CTC – Capacidade de Troca Catiônica

V% - Porcentagem de Saturação por Bases.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 OBJETIVOS.....	13
2.1 OBJETIVO GERAL.....	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
3.1 Lodo de esgoto.....	14
3.2 Legislação sobre o lodo de esgoto.....	14
3.3 O lodo como fornecedor de nutrientes na agricultura.....	19
3.4 Processo de preparação do lodo compostado.....	20
3.5 Impactos ambientais causados e possíveis soluções.....	26
3.6 Técnicas de análises analíticas.....	28
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	32
REFERÊNCIAS.....	33

1 INTRODUÇÃO

Pesquisas e estudos estão crescendo quando o assunto abordado é a questão da utilização do lodo de esgoto como provedor de nutrientes em meio agrícola. (LOBO, 2006)

O crescimento populacional vêm avançando cada vez mais, e com isso o volume de lixo doméstico também aumenta. Logo as ETA's estão trabalhando mais para que o saneamento básico consiga atender a todos. O tratamento de água gera resíduos, sendo o lodo de esgoto um deles.

Geralmente os resíduos de lodo de esgoto são descartados em aterros sanitários, porém o seu uso pode ajudar na questão econômica, social e de fins de sustentabilidade. O uso de lodo de esgoto é privado em alguns casos restritos, porém existem normas e leis para o conhecimento de práticas de bom uso e manejo do lodo, sem que essa atividade agrida ao meio ambiente, nem prejudique quem o usará. (LOBO, 2006).

Na questão econômica, o lodo de esgoto pode contribuir com economias do agricultor, de pequeno e grande porte, na hora da adubação. É necessário uma análise do lodo para saber suas características, onde usá-lo, o nível de patógenos, vetores, dentre outros, porém a questão é, com o uso de lodo de esgoto como subproduto o agricultor têm mais acessibilidade ao produto e economia. Na agricultura, com o uso gradativo do solo, a disponibilidade de nutrientes à planta cessa, pois com o passar do tempo o solo fica debilitado não tendo nada a fornecer à planta.

Com isso é necessário que haja uma adubação seguindo os parâmetros de nutrientes estipulados para cada cultura específica, seguindo as necessidades da planta. Pensando nisso, o agricultor compra adubos sintéticos com a intenção de adubar o solo debilitado. Porém vale apenas lembrar que o lodo de esgoto é rico em alguns nutrientes importantes para o crescimento das plantas, sendo um deles o N, P e micronutrientes. O lodo de esgoto pode facilmente se associar a resíduos orgânicos, como poda de árvore, casca de côco, que tem grande porcentagem de C, dentre outros resíduos que podem ser utilizados com fins de adubação. Com isso o lodo se torna um produto acessível, de baixo custo, rico em nutrientes e promissor. (CONAMA, 2012).

Socialmente, o lodo de esgoto agrega mais tendo finalidades após seu

tratamento do que em forma de rejeito. Além de ser econômico, e de contribuir na fertilidade do solo, o lodo tratado e usado libera mais espaços nos aterros sanitários, evitando a construção de mais aterros sanitários sem haver necessidade.

A sustentabilidade do lodo está nos benefícios que ele traz, uma vez que não há necessidade de agrotóxicos ou processos de obtenção de adubos sintéticos, pois o lodo tem como processo adicionar resíduos orgânicos e revirar as pilhas para que a alta temperatura elimine os patógenos presentes nele. (LOBO, 2006).

Contudo vale ressaltar que o lodo de esgoto na agricultura visa um futuro mais sustentável com benefícios econômicos e sociais.

2. OBJETIVOS

2.1 GERAL.

Estudar a importância do uso de lodo de esgoto na agricultura.

2.2 ESPECÍFICOS.

- Analisar os critérios de aceitação do lodo de esgoto para uso agrícola.
- Analisar os possíveis impactos ambientais causados pelo lodo de esgoto.
- Analisar os benefícios do lodo de esgoto.
- Estudar o lodo de esgoto como futuro promissor na agricultura.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 LODO DE ESGOTO.

As ETE's tem como objetivo o tratamento do esgoto sanitário para reuso como abastecimento de saneamento básico, visando o cuidado e tratamento do esgoto com segurança.

Segundo Nuvolari (2003), no processo de tratamento do esgoto sanitário a chamada fase líquida é conhecido como o líquido tratado que passará por diversos processos de tratamento até ficar isento de patógenos e sólidos. Para que isso aconteça, a fase sólida composta pelo lodo de esgoto deve ser retirado da fase líquida, tratado e transportado para outro destino. Entretanto o descarte do lodo de esgoto ainda é motivo de preocupação, porém ele pode ter dois destinos, o descarte ou o seu reaproveitamento. O descarte do resíduo de lodo pode ser feito em mar, o que foi proibido no Estados Unidos a partir de 1991 e em 1998 na Europa, em aterros sanitários com o lixo urbano ou até mesmo em aterros sanitários compostos apenas de descarte de lodo, conhecido como *monofill* fora do Brasil. Ainda, segundo Nuvolari (2003), as técnicas de aproveitamento do lodo de esgoto vão desde o uso em solos agrícolas como condicionador de solos, á fertilizantes organominerais, a fabricação de agregados leves para concreto, ou fabricação de tijolos ou até mesmo óleos combustíveis.

3.2 LEGISLAÇÃO SOBRE O LODO DE ESGOTO.

Segundo a resolução Nº 375 de 29 de agosto de 2006 do Ministério do Meio Ambiente, os lodos de esgoto gerado pelos processos de estações de tratamento de esgoto sanitário vêm sido questionado como possível adubo orgânico rico em nutrientes e matéria orgânica, essencial para plantas. Uma das preocupações é o crescimento desse resíduo, pois quanto maior a população, maior será a necessidade de tratamento de esgoto sanitário, logo há um aumento sucessivo de lodos de esgoto com o passar dos anos. Outra preocupação seria o número de patógenos presentes nesse tipo de resíduo, entretanto existem tratamentos capazes de eliminar esses patógenos.

A aplicação desse lodo de esgoto na agricultura seria de bom proveito para ambas as dificuldades citadas, pois além de reaproveitar resíduos, estes seriam tratados devidamente, e usados como instrumento de trabalho por agricultores, diminuindo o custo e aumentando a produção, pois o composto seria de excelente fonte de matéria orgânica. (CONAMA 2012).

Como disposto na resolução, o lodo de esgoto como uso agrícola é permitido apenas se gerado por uma ETE ou uma UGL'S licenciados por órgãos ambientais, porém o resíduo passará por análises em laboratórios que tenham um padrão de qualidade analítico capaz de compreender as necessidades da resolução. As UGL'S são responsáveis por receber, transportar e monitorar o lodo de esgoto á fim de serem posteriormente sujeitos à processos de redução de patógenos e de atratividade de vetores. (CONAMA, 2012).

A Tabela 1 mostra a monitoração do lodo de esgoto, baseando-se na quantidade de material aplicado na agricultura (ton ano^{-1}) em relação aos monitoramentos nessas áreas.

Tabela 1 – Tabela de monitoramento do LE.

Quantidade de LE ou de um produto derivado para fins de aplicação na agricultura em toneladas/ano (base seca)	Frequência de monitoramento para a aplicação
até 60	anual, preferencialmente anterior ao período de maior demanda pelo lodo de esgoto ou produto derivado
de 60 a 240	semestral, preferencialmente anterior aos períodos de maior demanda pelo lodo de esgoto ou produto derivado
de 240 a 1.500	trimestral
de 1.500 a 15.000	bimestral
acima de 15.000	mensal

Fonte: (CONAMA, 2012).

Nota: Adaptada pelo autor.

Além de monitoramentos, é necessário um acompanhamento dos limites específicos para patógenos e atratividade de vetores.

Na Tabela 2 encontra-se a concentração máxima permitida de substâncias tóxicas. Cada substância tóxica contém uma concentração máxima permitida de uso, sendo estipulada pelo CONAMA.

Tabela 2 – Tabela de substâncias inorgânicas do LE ou de um produto derivado.

Substâncias inorgânicas	Concentração máx. permitida LE ou em um produto derivado (mg.kg⁻¹, base seca)
Arsênio	41
Bário	1300
Cádmio	39
Chumbo	300
Cobre	1500
Cromo	1000
Mercurio	17
Molibdênio	50
Níquel	420
Selênio	100
Zinco	2800

Fonte: (CONAMA, 2012).

Nota: Adaptada pelo autor.

Segundo o CONAMA (2012), posteriormente a 2011, todo lodo de esgoto passou a ser classificado como A para controle de patógenos, pois os limites são menos flexíveis, o que passa a dar mais segurança para o solo que será adubado com o lodo de esgoto tratado. Para a outra classe B, os lodos de esgotos só poderão ser classificados a partir do momento que for proposto novas linhas de pesquisa, relevando as tolerâncias para patógenos, como mostra a Tabela 3.

Tabela 3 – Tabela de classificação de patógenos em LE ou de um produto derivado.

Tipo de LE ou produto derivado	Concentração de patógenos
A	Coliformes Termotolerantes < 10 ³ NMP/g de ST Ovos viáveis de helmintos < 0,25 ovo/g de ST <i>Salmonella</i> ausência de 10 g de ST Vírus < 0,25 UFP ou UFF/g de ST
B	Coliformes Termotolerantes < 10 ⁶ NMP/g de ST Ovos viáveis de helmintos < 10 ovos/g de ST

ST: Sólidos Totais
NMP: Número Mais Provável
UFF: Unidade Formadora de Foco
UFP: Unidade Formadora de Placa.

Fonte: (CONAMA, 2012).
Nota: Adaptada pelo autor.

Caso ao decorrer de todo esse processo de estabilização do lodo de esgoto, este não seja favorável ao uso agrícola, deverá ser descartado de forma adequada, recebendo uma destinação final como compete ao processo de licenciamento ambiental. (CONAMA 2012).

Não é permitida a utilização de lodo de esgoto em hortaliças, pastagens, tubérculos, raízes e qualquer cultura que seja inundada, entrando diretamente em contato com o solo. As pastagens poderão serem implantadas decorridos um prazo mínimo de 24 meses, e para plantio de hortaliças dentre outras culturas que tenham contanto direto com o solo em solos adubados com lodo de esgoto deverão ser iniciado no prazo mínimo de 48 meses. Para culturas de café, silvicultura ou culturas para produção de óleos e fibras, serão aceitos lodos de esgotos classe B de patógenos, sendo aplicado diretamente no solo. (CONAMA 2012).

Para restrições em aplicações, estão enfatizados Área de Preservação Permanente (APP), Áreas de Proteção Ambiental (APA), Áreas de Proteção aos Mananciais (APMs) e demais áreas onde possam comprometer a captação de água para o abastecimento público. Poços, jusantes, trincheiras drenantes de águas subterrâneas e superficiais e aquíferos freáticos também são limitados, sendo 100 m recuado de poços, 15 m dos demais e profundidades inferior á 1,5 m do nível de aquíferos freáticos. (CONAMA 2012).

Para uso de lodo de esgoto em solos agrícolas, é necessário um projeto agrônômico conduzido por um profissional qualificado, onde será obrigatório uma declaração de especificações do lodo que será usado, como o controle de patógenos e vetores dentre outros, contendo informações necessárias para o entendimento do uso deste. Para empregar o uso da aplicação do lodo de esgoto anual em ($t \cdot ha^{-1}$), este não pode ultrapassar o limite de aplicação de N recomendado para a cultura N no lodo em ($kg \cdot ha^{-1}$). O pH deve totalizar solo-lodo de esgoto 7, não ultrassando esse limite. O controle de substâncias inorgânicas será permitido isoladamente, sendo as substâncias: zinco, arsênio, cádmio, bário, cobre, cromo, mercúrio, molibdênio, chumbo, selênio e níquel. (CONAMA 2012).

O proprietário do solo onde será aplicado o lodo de esgoto deve ter consciência das restrições de áreas, limites de aplicação, técnicas para aplicação visando a conservação do solo e também da água, aplicações em dias chuvosos, segurança e higiene na aplicação, evitar trabalhos manuais ou cultivo na área aplicada durante um prazo de 30 dias decorridos da aplicação, após a aplicação do lodo deve restringir a área por no mínimo 12 meses sendo devidamente sinalizado. Se o proprietário da área da aplicação do lodo de esgoto presumir alguma anormalidade, deverá informar rapidamente uma Unidade de Gerenciamento de Lodos (UGL'S). (CONAMA 2012).

O carregamento e transporte do lodo de esgoto é de inteira responsabilidade de uma UGL'S, podendo ser estocado por um período máximo de 15 dias, não entrando em contato com áreas líquidas e poços. A estocagem de lodo de esgoto não é permitida diretamente no solo. A aplicação de lodo no solo só será permitida após ensaios laboratoriais da fertilidade do solo, como ensaios de condutividade elétrica, sódio trocável dentre outros, admitindo então a aplicação. A amostragem é realizada sempre que necessário, após 5 aplicações de lodo no solo em duas profundidades, quando constatar carga elevada taxa de substâncias inorgânicas alcançando 80% da concentração teórica permitida. Os monitoramentos serão realizados quando requeridos incluindo o monitoramento das águas subterrâneas ou cursos d'água superficiais. (CONAMA 2012).

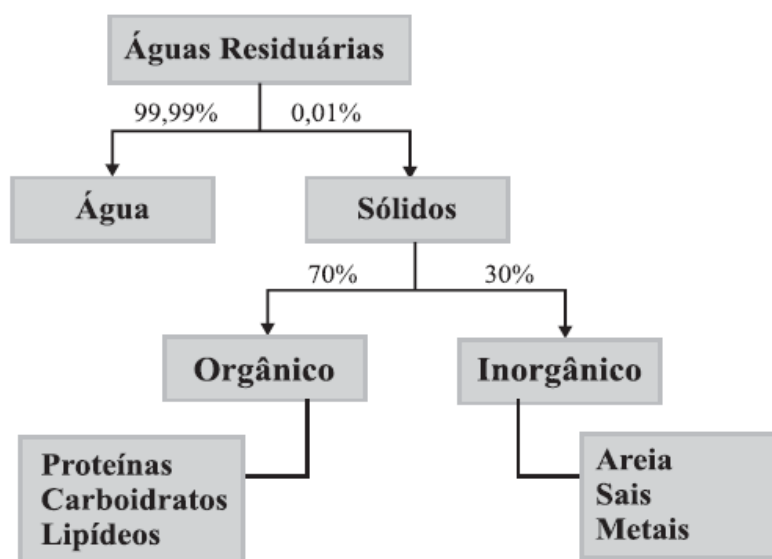
Caberá as UGL'S a fiscalização das áreas de aplicação de lodos de esgoto, sendo documentadas e monitoradas, por um período mínimo de 10 anos. A quantidade de lodo de esgoto adquirida pelas propriedades também deverá ser documentada anualmente para conhecimento público. O Ministério do Meio Ambiente coordena a participação da resolução e cumprimento desta sendo pelas UGL'S, agricultura, instituições de pesquisa e de ensino, órgãos municipais do meio ambiente dentre outros. (CONAMA 2012).

Cabe aos grupos de monitoramentos encaminhar relatórios anuais ao Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), visando aperfeiçoamento da Resolução. (CONAMA, 2012).

3.3 O LODO COMO FORNECEDOR DE NUTRIENTES NA AGRICULTURA.

A característica do lodo de esgoto é única e variável, levando em consideração que este é composto pelo esgoto da área onde coletado. A composição do lodo de esgoto também varia em relação à região, caráter sazonal, domicílio ou indústria, dentre outros aspectos importantes que influenciará diretamente no fim do tratamento lodo, conforme a Figura 1. (MELO & MARQUES, 2000).

Figura 1 – Composição geral do esgoto doméstico



Fonte: Melo & Marques. (2000)

Responsáveis por gerar o lodo de esgoto, as Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) constituem-se de processos, onde o resíduo gerado pode ser tratado e reutilizado. O tratamento do lodo de esgoto está basicamente ligado à recuperação de um resíduo de provável fonte de nutrientes que implicará significativamente na produção final da cultura onde o lodo será aplicado.

"Um lodo de esgoto típico apresenta em torno de 40% de matéria orgânica, 4% de nitrogênio, 2% de fósforo, os demais macros e micronutrientes, além de elementos potencialmente tóxicos". (BETTIOL; CAMARGO, 2006, p. 27-28).

Os benefícios da utilização do lodo de esgoto para aplicação no solo estão ligados ao alto teor de umidade, ao pH próximo da neutralidade e também a aeração do solo. (TSUTIYA, 2001).

Além de assegurar ótima fonte de nitrogênio, o lodo de esgoto contribui também com as características morfológicas em algumas espécies de leguminosas, como a altura, a massa seca da raiz e parte aérea e o diâmetro do caule. (DELARMINA, 2013).

3.4 PROCESSO DE PREPARAÇÃO DO LODO COMPOSTADO.

O lodo de esgoto é promissor na relação custo benefício comparando com os fertilizantes químicos, uma vez que o resíduo apresenta características muito importantes para o solo se houver um bom manejo e uma compostagem feita da forma correta, como mostra a Figura 2.

Figura 2 – Processo de compostagem do lodo de esgoto



Fonte: Tera Ambiental (2014)

Antes mesmo do processo de compostagem do lodo de esgoto, as empresas responsáveis pelos processos de compostagem seguem etapas que direcionam o lodo desde sua chegada até a sua disponibilização como adubo, representado pela Figura 3.

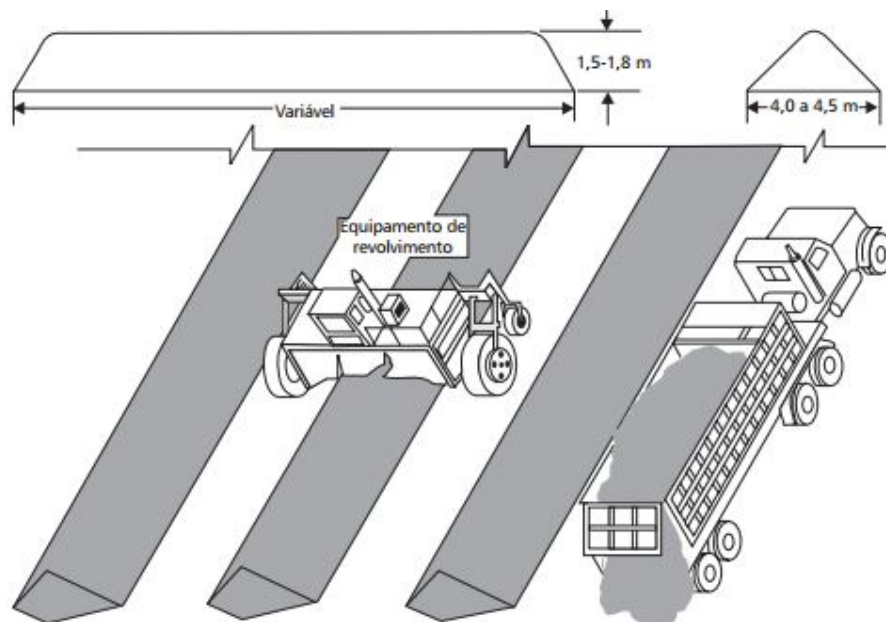
Figura 3 – Processo de compostagem termofílica tera ambiental.



Fonte: Tera Ambiental (2014).

Após receber o resíduo, a empresa responsável por tratar esse lodo de esgoto dispõe esse resíduo em fileiras, conhecidos como leiras, como mostra na Figura 4.

Figura 4 – Exemplo do sistema de compostagem de leiras revolvidas.



Fonte: Fernandes (2001).

Logo após acontece a aeração por revolvimento, nesse processo é necessário a presença de O_2 , pois os micro-organismos aeróbios necessitam de O_2 para oxidar a matéria orgânica presente no lodo, o que servirá de alimento. (FERNANDES; SOUZA, 2001). A importância da matéria orgânica se dá pela retenção de umidade, e adsorção de cátions devido às cargas negativas contidas nela e também no resíduo orgânico, além de ajudar a disponibilizar fósforo para a planta. Esse revolvimento geralmente é realizado por equipamentos de grande porte, capazes de revirar as pilhas de resíduo de lodo de esgoto compostado com mais facilidade, demonstrado na Figura 5.

Figura 5 – Revolvimento do lodo de esgoto compostado.



Fonte: Lobo (2006).

Com isso, o revolvimento ajuda o aumento da temperatura, o que se torna importante, pois à eliminação de micro-organismos patogênicos, porém essa temperatura precisa ser controlada, o que acontece quando as pilhas de lodo de esgoto são revolvidas. A ação dos micro-organismos na matéria orgânica aumenta à medida em que a temperatura aumenta, porém até em torno de $65^{\circ}C$, porém acima dessa temperatura alguns micro-organismos começam a ser eliminados, diminuindo a atividade biológica no lodo de esgoto. Para que o ecossistema esteja equilibrado,

é essencial que entre o segundo e o terceiro dia a temperatura varie de 40 á 60 °C. Logo, a temperatura interior das leiras varia em relação as condições ambientais, como a intensidade com que o vento se produz e a umidade relativa do ar, aumentando a saída de vapores das leiras, pois com o aumento da velocidade dos ventos, a umidade relativa do ar diminui, intensificando a saída de vapor das leiras. (INÀCIO, 2009).

O teor de umidade também é essencial, logo é necessário que esse teor de umidade seja monitorado. Para um teor de umidade ótimo é preciso que este esteja em torno de 50 e 60%, pois abaixo de 40% a velocidade da biodegradação e a atividade biológica é inibida, e acima de 65% de umidade faz com que a água ocupe lugares vazios impedindo o oxigênio de circular, formando zonas de anaerobiose, ou seja, zonas em que micro-organismos não precisam de oxigênio para sobreviver, porém em contato com o oxigênio, estes podem morrer. O lodo puro, sem adicionar nada, tem cerca de 80% de umidade, logo o revolvimento é importante para secagem parcial desse lodo. (INÀCIO; MILLER, 2009).

A relação C/N é essencial para esses micro-organismos, pois o carbono é fonte de energia, e o nitrogênio é importante para a síntese das proteínas, o que caracteriza o equilíbrio dos substratos. Uma boa relação C/N varia em torno de 30:1, onde 20 são eliminados na atmosfera em forma de CO₂ e 10 são convertidos pelos micro-organismos, por isso é importante a escolha do resíduo que será misturado com o lodo, representado na Figura 6. (INÀCIO, 2009).

Figura 6 – Mistura do lodo de esgoto com o resíduo orgânico.



Fonte: Lobo (2006).

O pH muito alto ou muito baixo são fatores que podem inibir a atividade microbiana, sendo que o pH muito alto pode volatilizar a amônia, ou seja, o nitrogênio disponível para o solo. (LOBO, 2006).

Enfim, um tratamento e uma aplicação feita da forma correta, como mostra a Figura 7, seguindo todas as informações citadas pelo CONAMA é de suma importância, pois além da conscientização da segurança que o agricultor terá que ter com o meio ambiente, este será beneficiado com a boa qualidade do solo que foi adubado de maneira correta e segura.

Figura 7 – Aplicação de biossólido (LE) no solo.



Fonte: Lobo (2006).

Segundo Lobo (2006), além de contribuir com a elevação do pH, o lodo de esgoto também reduz a acidez do solo, disponibiliza nutrientes como N, P, S e micronutrientes, e contribui também na estrutura física do solo como o aumento significativo da matéria orgânica, principalmente em solos tropicais e subtropicais defasados na questão matéria orgânica e nutrientes.

O lodo de esgoto é um ótimo fornecedor de matéria orgânica, essencial para o solo, fazendo com que a disponibilidade de carbono orgânico pode alterar positivamente as propriedades do solo, resultando resistência á erosões e também retenção de umidade. O aumento do teor de matéria orgânica proporciona também a função de retenção de nutrientes no solo, principalmente em solo tropicais, ou seja, ajuda o solo a segurar os nutrientes que recebeu em uma adubação para que eles não se percolem pelo solo. (MARIA, 2007).

O lodo além de disponibilizar matéria orgânica e nitrogênio, este oferece ao solo Ca^{2+} e Mg^{2+} também essenciais para os cálculos da V% e CTC que auxiliaram na interpretação de análise crítica do solo. (LOBO, 2006).

Outro benefício importante da reutilização do lodo de esgoto na aplicação agrícola é o ganho de um subproduto para adubação orgânica que uma vez recuperado corretamente pode ser viabilizado à agricultores de pequeno porte, e

também a diminuição de espaço ocupado, como a não disposição do lodo em aterros sanitários. (LOBO, 2006).

Segundo Bezerra (2006), vale ressaltar que o lodo de esgoto além de contribuir física e quimicamente em solo degradados, ele pode atuar como fonte de renda, já que os investimentos em adubos sintéticos, como são mais caros, passariam a atuar como investimentos em plantio e melhorias de técnicas em monitoramentos dos solos agrícolas com o uso de lodo de esgoto.

3.5 IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS E POSSÍVEIS SOLUÇÕES.

Uma das principais preocupações do uso de lodo de esgoto na agricultura é a quantidade de micronutrientes e metais pesados presente neles. Os principais elementos tóxicos encontrados no lodo são: Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Fe, Co, Mn, Mo, Hg, Sn e Zn. O controle desses metais é extremamente importante, pois podem causar sérios riscos à saúde humana, animal e vegetal, porém o teor de metais no solo está diretamente ligado a boa prática do sistema de tratamento de esgoto e ao tratamento de esgoto industriais das ETE's. (SANTOS, 2006). Geralmente o lodo de esgoto urbano contém baixa quantidade de metais pesados, porém a preocupação se dá quando os lodos provenientes de esgotos industriais e águas de chuvas entram em contato com o lodo de esgoto urbano, pois podem conter altas concentrações de metais pesados, contaminando o lodo de esgoto geralmente usado como adubo orgânico. (BERTON, 2000).

Existem elementos que são essenciais para o crescimento das plantas, como Fe, Cu, Mn, Zn, Mo e Ni. O desenvolvimento das plantas depende da disponibilidade de nutrientes no solo, logo alguns metais também são importantes, porém em pequenas quantidades, pois se disponibilizado em muita quantidade, os metais mesmo podem se acumular no solo, causando uma toxicidade neste. (LOBO, 2006).

A composição do lodo de esgoto pode variar de resíduo para resíduo, interferindo diretamente na questão agrônômica e também nos impactos ambientais que o lodo poderá causar se não for devidamente tratado. Alguns estudos mostram a disponibilidade de elementos tóxicos no lodo de esgoto da cidade de Franca e Barueri, no estado de São Paulo, representado pela Figura 8.

Figura 8 – Características químicas dos lodos de esgotos das Estações de Tratamento de Esgoto de Franca (LF) e de Barueri (LB), localizadas no estado de São Paulo, utilizados em cinco cultivos de milho.

Atributo*	Unidade ⁽¹⁾	Primeiro plantio		Segundo plantio		Terceiro plantio		Quarto plantio		Quinto plantio	
		LB	LF	LB	LF	LB	LF	LB	LF	LB	LF
Arsênio	mg kg ⁻¹	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<0,01	<0,01	<0,1	<0,1
Alumínio	mg kg ⁻¹	28,781	32,564	25300	33500	23,283	23,317	11959	18189	14230,7	21672,2
Cádmio	mg kg ⁻¹	12,8	3,32	9,5	2,0	9,4	2,05	16,2	1,14	14,0	0,6
Chumbo	mg kg ⁻¹	364,4	199,6	233	118	348,9	140,5	137,9	78,6	148,7	43,0
Cobre	mg kg ⁻¹	1058	239,8	1046	359	953,0	240,9	682,8	187,1	867,8	196,0
Cromo total	mg kg ⁻¹	823,8	833,8	1071	1325	1297,2	1230,3	609,3	202,0	639,6	182,4
Ferro	mg kg ⁻¹	54,181	33,793	32500	31700	37,990	24,176	39058	39895	32100	64900
Mercurio	mg kg ⁻¹	<0,01	<0,01	<1	<1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,1	<0,1
Molibdênio	mg kg ⁻¹	<0,01	<0,01	<1	<1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,1	<0,1
Níquel	mg kg ⁻¹	518,4	54,7	483	74	605,8	72,4	331,3	63,9	270,0	49,5
Selênio	mg kg ⁻¹	<0,01	<0,01	<1	<1	<0,01	<1	<0,01	<0,01	<0,1	<0,1
Zinco	mg kg ⁻¹	2821	1230	3335	1590	3372	1198	2327,9	773,0	3330,0	890,6
Boro	mg kg ⁻¹	36,2	40,7	11,2	7,1	29,3	19,7	10,7	10,4	17,6	13,6
Carbão orgânico	g kg ⁻¹	248,2	305,1	271	374	292,9	382,4	354,2	370,9	534,4	475,4
pH		6,6	6,3	6,4	6,4	6,4	5,4	8,5	8,9	8,0	8,3
Umidade**	%	66,4	83	80,2	82,4	71,2	82,7	79,5	74,6	78,8	78,5
Sólidos Voláteis	%	43,0	60,5	-	-	56,8	72,5	62,6	67,0	59,6	58,65
N Total**	g kg ⁻¹	21	56,4	49,7	67,5	42,1	68,2	50,8	49,7	79,7	57,7
Fósforo	g kg ⁻¹	15,9	16,0	31,2	21,3	26,9	12,9	17,7	13,8	17,9	27,3
Potássio	g kg ⁻¹	1,0	1,0	1,97	0,99	1,0	1,0	1,5	1,5	1,0	1,0
Sódio	g kg ⁻¹	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,9	0,4
Enxofre	g kg ⁻¹	13,4	16,3	10,8	13,3	17,1	15,7	11,7	9,3	14,5	10,1
Cálcio	g kg ⁻¹	40,3	29,2	22,8	16,8	47,8	24,8	20,1	13,3	19,4	11,5
Magnésio	g kg ⁻¹	3,0	2,2	3,7	2,5	4,5	2,2	3,7	2,7	3,8	5,0
Manganês	mg kg ⁻¹	429,5	349,3	335	267	418,9	232,5	277,5	439,8	246,9	712,9

⁽¹⁾ Valores apresentados em base de matéria seca. ⁽²⁾ Determinado de acordo com EPA SW-846-3051 (1986), no IAC (Campinas, São Paulo).
⁽³⁾ Valores do N total e umidade foram determinados na amostra sob condição original, na Embrapa Meio Ambiente.

Fonte: Bettioli, W.; Camargo, O. A. (2006)

Segundo Bettioli (2006), alguns lodos de esgoto necessitam de complementação potássica, pois o mesmo geralmente é pobre em potássio, em relação à necessidade de absorção da planta.

Na resolução do CONAMA, ficou permitido o número de cargas acumuladas pela aplicação do lodo de esgoto ou produto derivado em kg/ha em solos agrícolas, permitindo então as cargas descritas na Tabela 4 abaixo.

Tabela 4 – Tabela de relação de kg/ha permitido de substâncias inorgânicas para a aplicação de LE no solo.

Substâncias inorgânicas	Carga acumulada permitida de substâncias inorgânicas pela aplicação do LE ou de um produto derivado (kg/ha)
Arsênio	30
Bário	265
Cádmio	4
Chumbo	41
Cobre	137
Cromo	154
Mercúrio	1,2
Molibdênio	13
Níquel	74
Selênio	13
Zinco	445

Fonte: (CONAMA, 2012).

Nota: Adaptada pelo autor.

Com isso o produtor, no momento da avaliação do lodo de esgoto, deve se enquadrar nos requisitos citados pelo CONAMA, a fim de se proteger contra futuros danos, até mesmo sobre o aspecto de um acúmulo de elementos tóxicos e metais pesados no solo, evitando a degradação do mesmo á longo período.

Vale ressaltar que disponibilidade de poluentes ao meio ambiente pode causar danos a qualidade do solo e também as plantas a longo prazo.

Há estudos que comprovam que o lodo de esgoto estritamente urbano contem baixos teores de patógenos e metais pesados, sendo que quando disposto no solo o acúmulo desses metais não será significativo. (SILVÉRIO, 2004).

3.6 TÉCNICAS DE ANÁLISES ANALÍTICAS.

Para a realização de análise de metais e/ou substâncias tóxicas é necessário algumas técnicas analíticas para a identificação dos íons e a sua concentração no lodo e também no solo para controle do acúmulo neste.

Nesse caso, é necessário encontrar o reagente adequado para identificar o íon em solução, os chamados agentes quelantes. O EDTA, por exemplo, é conhecido por complexar íons metálicos como o Fe, Cu, Mn, Zn, Ca e Mg. Após identificar o agente quelante, para a análise de íons em solução, é preciso escolher a

técnica de análise levando em conta a seletividade, o custo e a disponibilidade de materias de análise. (TROEH, 2007).

Algumas técnicas analíticas conhecidas para a análise da concentração desses íons são a espectrometria (exemplo: absorção atômica), as análises colorimétricas conhecidas pelos espectrofotômetros UV-Vis e a cromatografia, que irão analisar e quantificar a disponibilidade desses íons para a absorção das plantas ou os íons livres presentes na solução do solo. (CAMARGO, 2001).

O uso de equipamentos como o AAS (Atomic Absorption Spectroscopy) ou mais conhecido como espectrofotômetro de absorção atômica como mostra a Figura 9, permite a análise qualitativa (determinação dos íons) e análise quantitativa (concentração dos íons) com o método determinado pelo analista, pois consiste em interpretar e escolher os agentes quelantes e o método de análise, para que a amostra seja atomizada na chama do queimador que pode chegar á 2000 °C, e interpretada pelo detector do equipamento, podendo ser pelo método de emissão atômica ou absorção atômica. (SKOOG, 2010).

Figura 9 – Espectrofotômetro de absorção atômica.




Fonte: Elaborada pelo autor.

Depois de analisada, a amostra é interpretada, ou seja, a quantidade daquele íon na amostra, a importância dele aonde será usado e a disponibilidade desse íon no lodo de esgoto compostado e no solo, visto que cada nutriente têm sua importância para a fertilidade do solo e para o crescimento da planta. (LOBO, 2006).

É de suma importância que seja feita análise do solo e do lodo compostado, para verificar a disponibilidade dos nutrientes em ambos, como mostra a Figura 10. Os resultados são emitidos em laudos de análise, onde são expressos os valores das análises nas unidades de interesse.

Figura 10 – Laudo de análise de solo.



TS TECNOLOGIA EM ANÁLISE DE SOLO E SERVIÇOS AGRÍCOLA EIRELI

RUA ANTONIO LUDOVICO NETO - Nº 140 - JARDIM MARIA LUIZA IV
LONÇOS PAULISTA - SP | CEP: 18.884-576.
FONE: 014 3289 7311 | e-mail: techsolo@techsolo.com.br

Laudo de Análise de Solo

Solicitante: MARIANA LOPES E THIAGO LEITE

Proprietário: MARIANA LOPES E THIAGO LEITE

Propriedade: CHACARA DA BENÇÃO

Município: Lemeópolis Paulista - SP

Data: 07/10/2015

Telefone: () -

Convênio: PARTICULAR

Laudo Nº: 5374/2015

Resultado de Análise Química

Cod. Lab.	Descrição Amostra	pH		P (res.) P (inh.) S			K (res) Na Ca Mg Al H + Al					R.O.	Cond. Elétrica			
		H ₂ O	SMP	CaCl ₂	KCl	m	mg. dm ⁻³	ppm	mmole. dm ⁻³	g/Kg	uS/cm					
80418	00-20 CM - 1ª AMOSTRAGEM	na	8,14	4,1	na	3,9	na	8	0,38	na	3,7	2,0	3	38,38	11,0	na
80419	20-40 CM - 1ª AMOSTRAGEM	na	8,10	4,1	na	3,7	na	9	0,21	na	2,7	1,5	5	37,84	11,0	na

Resultados Complementares

Cod. Lab.	Descrição Amostra	SB		V	m	Ca/T	Mg/T	K/T	H+Al/T	Ca+Mg/T	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	Ca+Mg/K	
		t	CTC												
80418	00-20 CM - 1ª AMOSTRAGEM	8,08	9,48	42,48	14	38	9	5	1	88	13	1,9	9,7	5,3	15,0
80419	20-40 CM - 1ª AMOSTRAGEM	4,41	9,41	42,35	10	53	8	4	0	90	10	1,8	12,9	7,1	20,0


Resultados de Micronutrientes

Cod. Lab.	Descrição Amostra	B	Cu	Fe	Mn	Zn
		mg. dm ⁻³ (ppm)				
80418	00-20 CM - 1ª AMOSTRAGEM	0,24	0,3	28	0,8	0,1
80419	20-40 CM - 1ª AMOSTRAGEM	0,21	0,3	24	0,7	0,1


Resultados de Análise Física


Cod. Lab.	Descrição Amostra	Arenia Grossa	Arenia Fina	Argila Total	Argila	Silte	Classificação
		Textura (g/kg)					
80418	00-20 CM - 1ª AMOSTRAGEM	537	238	773	180	47	Média
80419	20-40 CM - 1ª AMOSTRAGEM	504	233	757	200	43	Média

na = Não analisado;
 Pome = Fósforo total;
 P(inh.) = Fósforo indissolúvel;
 SB = Soma de bases;
 T = CTC a pH 7,5;
 m = Mat. Aluminica;
 Arenia Fina (Arenia Grossa, Arenia Fina, Arenia Total, Argila e Silte) = Matéria Derivada;
 Condutividade Elétrica = Resist. 1:5



2015 IAC





Elieandro Antonio de Andrade - Engenheiro Químico
Responsável Técnico
CRQ IV REGIAO 504345631

Fonte: Elaborada pelo autor.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo abordou o destino final do lodo de esgoto proveniente das ETEs, visando várias maneiras de descarte e/ou aproveitamento ecológicamente correto, dando ênfase a reutilização do lodo de esgoto em uso agrícola.

Atualmente o lodo de esgoto está sendo utilizado como adubo orgânico, o que antigamente não era feito. Com isso, os aterros sanitários ganham mais espaços, evitando a abertura de novos aterros. Outra vantagem da reutilização do lodo de esgoto é a disponibilidade de nutrientes ao solo, possibilitando que o solo possa dispor desses nutrientes às plantas.

Além de ser rico em matéria orgânica, o lodo de esgoto também possui um alto teor de nitrogênio essencial à planta. Outros nutrientes também estão disponíveis no lodo, como o fósforo e alguns micronutrientes, porém cabe realizar uma análise do lodo antes de seu uso, pois o mesmo pode apresentar patógenos e metais pesados.

Como foi abordado nesse estudo, os impactos ambientais que o lodo pode causar trazem preocupações, como a alta concentração de metais no solo, porém se analisados e controlados, ou seja, um manejo adequado de uso, não apresentam risco ao meio ambiente. Uma das preocupações é o acúmulo de metais pesados no solo, provenientes do lodo de esgoto, por isso é necessário que o lodo seja analisado. A classificação do número de patógenos é dada pelo CONAMA, assim como a classificação do teor de metais pesado.

Contudo, a utilização do lodo de esgoto na agricultura viabiliza nutrientes importantes ao solo, diminuição de espaço nos aterros sanitários, além de diminuir o consumo de adubos sintéticos, pois o lodo, se compostado consegue suprir as necessidades de nutrientes no solo. Logo, o uso de lodo na agricultura é uma técnica promissora capaz de viabilizar ao agricultor menos gastos em adubos, pois ele compreende a mesma eficiência de adubos sintéticos que certamente tem um maior custo no mercado, garantindo ao agricultor um adubo economicamente viável, reaproveitamento de resíduo e sem esquecer da sustentabilidade, pois o lodo é rico em nitrogênio, logo adubos sintéticos com nitrogênio são produzidos através da queima de combustíveis não renováveis, agredindo ao meio ambiente.

REFERÊNCIAS

- BARBOSA, G. M. C.; et al. Efeito residual do lodo de esgoto na produtividade do milho safrinha. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, p.601-605, 2007. Disponível em: LINK DE ACESSO. Acesso em: DATA DE ACESSO.
- BERTON, R.S. Risco de contaminação do agroecossistema com metais pesados. In: BETIOL, W.; CAMARGO, O. A. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. p. 259-268.
- BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. de. **Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. Disponível em: <<http://www.cnpma.embrapa.br/download/LivroLodoEsgoto.pdf>>. Acesso em: 06 mar. 2016.
- BEZERRA, F. B. et al. Lodo de esgoto em revegetação de área degradada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 41, n. 3, p. 469-476, mar. 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/%0D/pab/v41n3/29119.pdf>>. Acesso em: 01 maio 2016.
- CAMARGO, O. A. de. et al. **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resoluções do Conama: resoluções vigentes publicadas entre setembro de 1984 e janeiro de 2012**. Brasília, DF, 2012.
- DELARMELINA, W. M. et al. Uso de lodo de esgoto e resíduos orgânicos no crescimento de mudas de sesbania virgata. **Revista Brasileira de Agroambiente**, Roraima, v. 7 n.2, p. 184-192, maio/ago 2013.
- FERNANDES, F.; SOUZA, S. G. de. Estabilização de lodo de esgoto. In: COSTA, A. F. S. da. **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Curitiba: ABES, 2001. p. 29-55. Disponível em: <<http://finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/CLeverson.pdf>>. Acesso em: 01 maio 2016.
- INÁCIO, C. T.; MILLER, P. R. M. **Compostagem: ciência e prática para a gestão de resíduos orgânicos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.
- LOBO, T. F.; **Níveis de lodo de esgoto no desenvolvimento, nutrição e produtividade da cultura do girassol**. 2006. 64 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, Botucatu, 2006.
- MARIA, I. C. de.; KOCSSI, M. A.; DECHEN, S. C. F. Solos e nutrição de plantas. **Bragantina**, Campinas, v. 66, n. 2, p. 291-298, jan. 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/brag/v66n2/13.pdf>>. Acesso em: 29 maio 2016.
- NUVOLARI, A. et al. **Esgoto Sanitário: Coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola**. São Paulo: Blucher, 2003.

SANTOS, A. D. dos et al. **Gestão de resíduos na agricultura e agroindústria**. Botucatu: FEPAF, 2006.

TERA AMBIENTAL. **Compostagem**, 2014. Disponível em: <
<http://www.teraambiental.com.br/compostagem>>. Acesso em: 29 de maio de 2016.

TROEH, F. R.; THOMPSON, L. M. **Solos e fertilidade do solo**. 6 ed. Andrei, 2007.

TSUTIYA, M. T.; HIRATA, A. Y. **Aproveitamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água do estado de São Paulo**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 21, 2001, São Paulo. Anais... São Paulo: ABES – Trabalho Técnicos, 2001. P. 1-9.

SILVÉRIO, L. Uso agrícola do lodo de esgoto, da matéria orgânica do lixo urbano e de resíduos industriais. **O Agrônomo**, Campinas, n. 1, 2004. Disponível em: <
http://www.iac.sp.gov.br/publicacoes/agronomico/pdf/v56-1_PaginasAzuis56-1-4.pdf
>. Acesso em: 20 mai 2016.

SKOOG, D. A. et al. **Fundamentos de química analítica**. 8 ed. São Paulo: Cengage Learning, 2010. 996.