

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
INSTITUTO BRASILIENSE DE DIREITO PÚBLICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DIREITO DO SANEAMENTO

Cecília Strzykalska Fonseca

ASPECTOS LEGAIS DA APLICAÇÃO DO BIOSSÓLIDO
GERADO NAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO
EM USO AGRÍCOLA

Monografia

Rio Grande
2015

Cecília Strzykalska Fonseca

**ASPECTOS LEGAIS DA APLICAÇÃO DO BIOSSÓLIDO
GERADO NAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO
EM USO AGRÍCOLA**

Monografia de conclusão de Curso de Especialização em Direito do Saneamento do Instituto Brasiliense de Direito Público, Brasília, como requisito parcial a obtenção do título de Especialista em Direito do Saneamento.

Orientadora: Professora Ana Carolina Figueiró Longo

**Rio Grande
2015**

À minha mãe Antonina (*in memorian*) e meu pai Vitor Hugo (*in memorian*) que com simplicidade sempre souberam transmitir os valores e princípios do ser moral e ético. Agradeço pela ajuda incondicional, pelos ensinamentos, confiança e pelo amor.

A Ti Senhor, que és o caminho, a verdade e a vida...

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, por me dar o apoio e coragem necessária em todos os momentos. Obrigada pelas dificuldades que me possibilitaram o amadurecimento e pela Paz que me permitiu a reflexão.

Em particular agradeço a minha orientadora, Ana Carolina Figueiró Longo que, em nenhum momento, mediu esforços para me ajudar na pesquisa para a confecção deste trabalho.

Agradeço a Corsan (Companhia Riograndense de Saneamento), pela oportunidade que me foi dada, pois me forneceu as condições necessárias para participação deste trabalho.

À minha grande família e meu namorado Gilber Ricardo Rosa, que, estando perto ou distante, são a energia e o estímulo para a finalização dos meus objetivos.

Enfim, agradeço aos meus grandes e verdadeiros amigos Jozi Fernanda Estanislau, Alice Lausmann e Diogo Fernandes pelo incentivo dado, pois acreditaram e torceram por mim, me dando força e apoio nos momentos mais difíceis durante todo o trabalho.

Obrigada!

RESUMO

Com a crescente pressão da sociedade pela despoluição dos mananciais, e a possível escassez de água que compromete algumas regiões do país, é de extrema importância que seja feito o tratamento de esgoto. As Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs), ao submeterem este material a processos que possibilitem o retorno da água no ambiente, geram resíduo denominado lodo de esgoto, conhecido também por biossólido, e conseqüentemente, outro problema que é a destinação deste resíduo. O objetivo dessa revisão é analisar a política nacional de resíduos sólido (PNRN) e as legislações referentes à disposição agrícola do lodo de esgoto gerado nas ETEs como potencial biofertilizante. Utiliza-se como base metodológica a análise através do estudo de caso. Em seguida, são especificados diversos tratamentos e controles de qualidade, que garantem a sua higienização e eficácia para ser utilizado sem comprometer a saúde da população e ao meio ambiente.

Palavras-chave: Biossólido. Fertilizante. Tratamento de lodo de esgoto.

ABSTRACT

With increasing pressure from society by the pollution of water sources, and the possible water shortage that affects parts of the country, it is of utmost importance to be made treating sewage. The Sewage Treatment Plants (STPs), by submitting this material to processes that enable the return of water in the environment, generate residue termed sewage sludge, also known by biosolids, and consequently, another problem is the disposal of this waste. The objective of this review is to analyze the national solid waste policy (PNRN) and legislation related to agricultural disposal of sewage sludge generated in sewage treatment plants as a potential biofertilizer. It is used as a methodological basis for analysis through case study. They are then specified various treatments and quality controls that ensure your hygiene and effective for use without compromising welcomes the population and the environment.

Keywords: Sewage sludge. Fertilizer. Treatment of sewage sludge.

LISTA DE TABELAS

| | | |
|----------|--|----|
| Tabela 1 | Tempo de sobrevivência de microrganismos patogênicos no solo e vegetais sob temperatura ambiente de 20-30°C..... | 25 |
| Tabela 2 | Tratamentos tempo x temperatura para obtenção de lodo classe A..... | 27 |
| Tabela 3 | Concentrações máximas permissível de metais em solos agrícolas para aplicação de biossólidos (mg/ha)..... | 33 |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 8 |
| 2 OBJETIVOS | 10 |
| 2.1 OBJETIVO GERAL..... | 10 |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 10 |
| 3 RESÍDUOS SÓLIDOS | 11 |
| 3.1 PANORAMA HISTÓRICO DA LEGISLAÇÃO SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS..... | 11 |
| 3.2 POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS – PNRS | 12 |
| 3.3 LEI 11.445/07 – SANEAMENTO BÁSICO..... | 14 |
| 3.4 CONAMA 357/05 – CLASSIFICAÇÃO DOS CORPOS DE ÁGUA | 15 |
| 3.5 CONAMA 375/06 – USO AGRÍCOLA DE LODO DE ESGOTO | 16 |
| 3.6 SISTEMA DE ESGOTO | 18 |
| 3.7 LEI 9.605/98 – SANÇÕES PENAIS E ADMINISTRATIVAS LESIVAS AO MEIO AMBIENTE | 19 |
| 4 PRODUÇÃO DE LODO EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO..... | 20 |
| 4.1 CARACTERÍSTICAS DO ESGOTO | 20 |
| 4.2 PRODUÇÃO DE LODO EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO | 21 |
| 5 USO DO LODO COMO FERTILIZANTE | 23 |
| 5.1 RISCOS ASSOCIADOS | 23 |
| 5.1.1 Higienização de lodo de esgoto visando à destinação agrícola..... | 24 |
| 5.1.1.1 Temperatura..... | 27 |
| 5.1.1.2 pH (potencial hidrogeniônico)..... | 27 |
| 5.1.1.3 Radiação | 28 |
| 5.1.2 CONAMA 375/06 em relação a higienização | 28 |
| 5.1.2.1 Processos de redução adicional de patógenos | 29 |
| 5.2 COMPOSTAGEM | 30 |
| 5.3 METAIS PESADOS | 30 |
| 5.3.1 Acompanhamento dos níveis de metais no solo..... | 32 |
| 5.3.2 Critérios para a escolha de área aptas a receberem o lodo | 33 |
| 5.3.3 Culturas recomendadas..... | 33 |
| 6 CONCLUSÃO..... | 35 |
| REFERÊNCIAS | 36 |

1 INTRODUÇÃO

A elevada incidência de doenças de veiculação hídrica tem como causa epidemiológica principal, a contaminação de fontes de águas e mananciais, pois é o saneamento a maior arma para a prevenção de grande número de doenças (CHAGAS, 2000).

Analisando a atual situação da crise hídrica, cada vez mais temos o desafio e a obrigação da preservação ambiental, por isso a preocupação com o tratamento de efluentes, onde podemos diminuir a poluição nos cursos d'água melhorando a qualidade de lagos e rios.

Nas estações de tratamento de esgotos (ETEs), a água retorna aos mananciais com bom grau de pureza, porém é gerado em resíduo semissólido e pastoso, denominado lodo de ETE ou biossólido.

A disposição do lodo não tratado, ou tratado de forma incorreta, pode gerar problemas de saúde e riscos ambientais.

O gerenciamento deste lodo é uma atividade complexa, se for mal executada, pode comprometer os benefícios que este lodo pode gerar. Se o lodo for depositado em aterros sanitários, além de apresentar altos custos na manutenção, podem proporcionar risco de contaminação de solos e lençóis freáticos.

Os elevados teores de matéria orgânica, além dos macro e micronutrientes existentes no lodo, permitem-no ser comparado a um excelente biofertilizante, podendo proporcionar efeitos benéficos ao solo, que não acontecem com a adição dos adubos químicos.

A substituição de fertilizantes químicos por biofertilizantes evita gastos econômicos e energéticos próprios da atividade de fertilização do solo.

O lodo de esgoto também apresenta microorganismos e nutrientes tais como nitrogênio e fósforo, essenciais para o desenvolvimento das plantas e obtenção de boa produtividade (MELFI; MONTES, 2001). Entretanto, a origem do lodo de esgoto deve ser considerada quanto ao risco no uso na agricultura, uma vez que as quantidades de metais pesados e agentes patogênicos podem limitar o seu emprego. Vários estudos buscam definir a quantidade ideal de lodo de esgoto a ser aplicado nas diferentes culturas. A principal restrição é quanto ao seu emprego em culturas que entram em contato direto com o solo, como por exemplo, horticultura.

Sempre se deve levar em consideração que este lodo deve ser bem higienizado e análises constantes de lotes para que garanta a ausência de metais pesados, que só aparecem quando ocorre alguma contaminação por lodos industriais.

A higienização busca garantir um nível de patogenicidade (eliminando grande parte de bactérias, fungos e inclusive ovos helmintos) que quando disposto no solo, o lodo não cause riscos à população nem ao meio ambiente e, somente após esse processo é que o lodo estará pronto para ser utilizado como biofertilizante. O tempo para conclusão da higienização depende do tipo de processo adotado pela unidade de gerenciamento. Um dos processos de higienização é a caleação que consiste em misturar cal virgem (CaO) em proporções que variam em função do peso seco do lodo, de modo a promover o aumento do pH, aumentando a temperatura do meio e inativando até 90% dos organismos patogênicos. Normalmente agricultores utilizam a cal virgem para corrigir o pH do solo, com a utilização do lodo, além de corrigir o pH, será fornecido nutrientes essenciais ao desenvolvimento das plantas.

A resolução CONAMA nº 357/2005 (alterada pela Resolução CONAMA nº 430/2011) dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes.

A Resolução CONAMA nº 375/2006, que define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, determina que os lodos gerados em sistemas de tratamento de esgoto sejam submetidos a processos de redução de patógenos e análise de metais pesados para que possam ser utilizados na agricultura.

Esta resolução estabelece que os critérios nela contidos possam ser reformulados a qualquer momento, com base em pesquisas científicas e desenvolvimento tecnológico. Determina que o Ministério do Meio Ambiente coordene um grupo de monitoramento permanente, que iria se reunir ao menos anualmente e que sua revisão seria obrigatoriamente no sétimo ano de sua publicação (BRASIL, 2006). Porém, nada foi alterado no documento.

A complexidade da legislação brasileira para uso agrícola contribui para pouca difusão de uma prática utilizada mundialmente que segundo a Resolução Conama 375/06 é uma alternativa que apresenta vantagens ambientais quando comparado a outras práticas de destinação final e que se enquadra nos princípios de reutilização de resíduos de forma ambientalmente adequada (BRASIL, 2006).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo dessa revisão é analisar a política nacional de resíduos sólido (PNRN) referente à disposição agrícola do lodo de esgoto gerado nas estações de tratamento de esgotos (ETEs) como potencial biofertilizante.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Analisar a política nacional de resíduos sólidos (lei 12.305);
- b) avaliar a lei 11.445;
- c) estudar o CONAMA 357 e 375;
- d) caracterizar o lodo gerado em estações de tratamento de esgotos, quanto ao risco de metais pesados e quanto ao risco microbiológico.

3 RESÍDUOS SÓLIDOS

3.1 PANORAMA HISTÓRICO DA LEGISLAÇÃO SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS

Por ter promovido uma mudança de paradigma no contexto ambiental brasileiro, merece destaque a Lei Federal nº 6.938, de agosto de 1981, que estabelece a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação. Através da mesma é constituído o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), é criado o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e é instituído o Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental.

Constituem objetivos desta política: a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar no país condições ao desenvolvimento sócio econômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana, atendidos os seguintes princípios: ação governamental na manutenção do equilíbrio ecológico; racionalização do uso do solo, do subsolo, da água e do ar; proteção dos ecossistemas; controle e zoneamento de atividades poluidoras; incentivo aos estudos e pesquisas orientados ao uso racional e proteção dos recursos naturais; acompanhamento do estado da qualidade ambiental; recuperação de áreas degradadas e proteção das ameaçadas de degradação; educação ambiental para a defesa do meio ambiente.

A Constituição Federal, promulgada em 1988, garante, em seu artigo 225, o direito de todos os brasileiros “ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações”. O artigo 23 define que são competências comuns da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos municípios “proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer de suas formas”.

A aprovação da Lei nº 12.305/10, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), após longos vinte e um anos de discussões no Congresso Nacional marcou o início de uma forte articulação institucional envolvendo os três entes federados – União, Estados e municípios, o setor produtivo e a sociedade civil na busca de soluções para os graves problemas causados pelos resíduos, que vem comprometendo a qualidade de vida dos brasileiros.

3.2 POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS – PNRS

A Lei 12.305, de 02 de agosto de 2010, instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, que dispõe diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos. Também identifica as responsabilidades dos geradores de resíduos e do poder público. Foi regulamentada pelo Decreto 7.404, de 23 de dezembro de 2010, que também criou o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa.

O Plano mantém estreita relação com os Planos Nacionais de Mudanças do Clima (PNMC), de Recursos Hídricos (PNRH), de Saneamento Básico (Plansab) e de Produção e Consumo Sustentável (PPCS). Apresenta conceitos e propostas que refletem a interface entre diversos setores da economia compatibilizando crescimento econômico e preservação ambiental com desenvolvimento sustentável.

Os principais objetivos dessa lei são:

- Proteção da saúde pública e da qualidade ambiental estimulando padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços com desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias limpas;
- Não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos;
- Gestão integrada dos resíduos sólidos que busca compartilhar a responsabilidade pelo ciclo de vida dos produtos, envolvendo todos da cadeia de comercialização, como fabricantes, distribuidores, consumidores e órgãos públicos;
- Incentivo à indústria da reciclagem, tendo em vista fomentar o uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados;
- Incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para a melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos sólidos, incluídos a recuperação e o aproveitamento energético (BRASIL, 2010).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos estabelece princípios, objetivos, diretrizes, metas e ações e importantes instrumentos como o Plano Nacional de Resíduos Sólidos, que está em processo de construção e contemplará os diversos tipos de resíduos gerados, alternativas de gestão e gerenciamento passíveis de implementação, bem como metas para diferentes cenários, programas, projetos e ações correspondentes. A norma é aplicável para os responsáveis, direta ou indiretamente, pela geração de resíduos sólidos e para quem desenvolva ações relacionadas à sua gestão integrada ou ao seu gerenciamento. A lei traz importantes definições, incluindo a de resíduos sólidos, entendidos como:

Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente viáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2010).

Com a publicação da Política, deve-se observar o atendimento da seguinte ordem de prioridade na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

Relevante obrigação imposta pela lei é relacionada ao Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos - PGRS, para o qual deve ser designado responsável técnico devidamente habilitado para sua elaboração, implementação, operacionalização e monitoramento de todas suas etapas. A norma, que fixa o conteúdo mínimo para o PGRS, mandamenta que o Plano é obrigatório para:

- a) geradores de resíduos industriais, resíduos de serviços de saúde, resíduos de mineração e resíduos dos serviços públicos de saneamento básico,
- b) estabelecimentos comerciais e de prestação de serviços que gerem resíduos perigosos; gerem resíduos que, mesmo caracterizados como não perigosos, por sua natureza, composição ou volume, não sejam equiparados aos resíduos domiciliares pelo poder público municipal; empresas de construção civil.
- c) responsáveis por portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira e as empresas de transporte.
- d) responsáveis por atividades agrossilvopastoris, se exigido pelo órgão competente do SISNAMA, do SNVS ou do SUASA.

Conforme já mencionado, a Política estabelece a responsabilidade direta e indireta pelo gerenciamento dos resíduos sólidos. Nesses termos, a contratação de serviços de coleta, armazenamento, transporte, transborda tratamento ou destinação final de resíduos sólidos, ou de disposição final de rejeitos, não isenta os responsáveis pela elaboração do PGRS da responsabilidade por danos que vierem a ser provocados pelo gerenciamento inadequado dos respectivos resíduos ou rejeitos.

Segundo o Art. 18. A elaboração de plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos, nos termos previstos por esta Lei, é condição para o Distrito Federal e os Municípios terem acesso a recursos da União, ou por ela controlados, destinados a empreendimentos e serviços relacionados à limpeza urbana e ao manejo de resíduos sólidos, ou para serem

beneficiados por incentivos ou financiamentos de entidades federais de crédito ou fomento para tal finalidade. O plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos pode estar inserido no plano de saneamento básico previsto no art. 19 da Lei nº 11.445, de 2007.

3.3 LEI 11.445/07 – SANEAMENTO BÁSICO

Um dos princípios fundamentais do saneamento básico, segundo a Lei nº 11.445 é o abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos realizados de formas adequadas à saúde pública e à proteção do meio ambiente.

A lei estabelece as regras básicas para o setor ao definir as competências do governo federal, estados e prefeituras para serviços de saneamento e água, além de regulamentar a participação de empresas privadas no saneamento básico:

- a) Governo Federal – Estabelece diretrizes gerais, formula e apoia programas de saneamento em âmbito nacional;
- b) Estados – Opera e mantém sistemas de saneamento, além de estabelecer as regras tarifárias e de subsídios nos sistemas operados pelo estado;
- c) Prefeituras – Compete ao município prestar, diretamente ou via concessão a empresas privadas, os serviços de saneamento básico, coleta, tratamento e disposição final de esgotos sanitários. As prefeituras são responsáveis também por elaborar os Planos Municipais de Saneamento Básico (PMSB), que são os estudos financeiros para prestação do serviço, definição das tarifas e outros detalhes. O município que não preparar o plano fica impedido de contar com recursos federais disponíveis para os projetos de água e esgoto (BRASIL, 2007).

Conforme o art. 52. A União elaborará, sob a coordenação do Ministério das Cidades:

I - o Plano Nacional de Saneamento Básico - PNSB que deverá conter:

- a) os objetivos e metas nacionais e regionalizadas, de curto, médio e longo prazos, para a universalização dos serviços de saneamento básico e o alcance de níveis crescentes de saneamento básico no território nacional, observando a compatibilidade com os demais planos e políticas públicas da União;
- b) as diretrizes e orientações para o equacionamento dos condicionantes de natureza político-institucional, legal e jurídica, econômico-financeira, administrativa, cultural e tecnológica com impacto na consecução das metas e objetivos estabelecidos;
- c) a proposição de programas, projetos e ações necessários para atingir os objetivos e as metas da Política Federal de Saneamento Básico, com identificação das respectivas fontes de financiamento;
- d) as diretrizes para o planejamento das ações de saneamento básico em áreas de especial interesse turístico;
- e) os procedimentos para a avaliação sistemática da eficiência e eficácia das ações executadas (BRASIL, 2007).

Segundo a lei 11.445 o PNSB deve abranger o abastecimento de água, o esgotamento sanitário, o manejo de resíduos sólidos e o manejo de águas pluviais e outras ações de saneamento básico de interesse para a melhoria da qualidade ambiental, incluindo e unidades hidrossanitárias para populações de renda baixa (BRASIL, 2007).

3.4 CONAMA 357/05 – CLASSIFICAÇÃO DOS CORPOS DE ÁGUA

Devido a grande necessidade de se preservar recursos hídricos, conservando as águas com a melhor qualidade possível, com potencial de utilizar águas residuárias, impulsionou diversos estudos técnicos de tratamento de efluentes (SOUZA et. al., 2010).

As águas residuárias lançadas rotineiramente nos cursos d'água sem tratamento e sem maiores preocupações a respeito dos riscos à saúde humana e ao ambiente, são altamente dependentes da capacidade autodepuradora do corpo hídrico, tornando-se um poluente em potencial mediante o crescimento populacional e industrial associada à limitada capacidade assimilativa do ambiente (FEIGIN; RAVINA; SHALHEVET, 1991).

A reutilização de águas residuárias pode ser considerada como uma medida de controle da poluição, pois, com a adoção de tal prática, evita-se o lançamento de esgotos nos corpos d'água. Restauradas e em boas condições, irão encontrar novos usos, sem maiores contaminações (FEIGIN; RAVINA; SHALHEVET, 1991).

A Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, alterada pela resolução 410/2009 e pela 430/2011, é o principal instrumento regulador sobre a classificação das águas existentes no território brasileiro e as respectivas diretrizes ambientais para o seu enquadramento, além de estabelecer as condições e padrões de lançamento de efluentes, visando à proteção desse recurso.

Após analisada as características do efluente, depois de feito ensaios de ecotoxicidade, necessita ser tratado, visando atender as condições estabelecidas na 357/05 antes de lançamento no corpo hídrico, para evitarmos contaminação da vida aquática (RIGO et al., 2014).

A técnica de reuso no Brasil segue uma normativa quanto ao uso do lodo de esgoto, tendo diretrizes estabelecidas por meio do CONAMA Nº 375/2006, portanto o efluente poderá ser enquadrado em algumas normas dessa diretriz, embora específica para lodo de esgoto (RIGO et al., 2014).

Entre os procedimentos da Resolução Conama 375/06 estão aqueles relacionados ao licenciamento, à frequência de monitoramento do lodo, à elaboração de projeto agrônômico, às condições de manuseio, transporte e aplicação do material.

O documento também estabelece critérios para culturas e áreas agrícolas aptas a receberem o material, para restrições locacionais, para definição de taxa de aplicação e para o monitoramento das áreas de aplicação. Entre os requisitos mínimos de qualidade do lodo são definidos limites máximos de concentração para agentes patogênicos, indicadores bacteriológicos e contaminantes inorgânicos. Também é exigido o monitoramento de substâncias orgânicas no lodo de esgoto, ao contrário da maior parte das legislações internacionais sobre o tema, não sendo determinados limites máximos de concentração (BRASIL, 2006).

3.5 CONAMA 375/06 – USO AGRÍCOLA DE LODO DE ESGOTO

A resolução N° 375, de 29 de agosto de 2006 define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados. Esta resolução determina que os lodos gerados em sistemas de tratamento de esgoto sejam submetidos a processos de redução de patógenos e da análise de metais pesados para que possam ser utilizados na agricultura. Os tratamentos necessários envolvem processos de adensamento, desaguamento, estabilização e higienização (VON SPERLING; CHERNICHARO, 2001). O adensamento e o desaguamento visam principalmente à redução do volume de água e a redução do volume do lodo, respectivamente.

A aplicação dessas legislações torna-se necessária com a constante ampliação da quantidade de esgotos tratados, responsável pela geração de um inevitável crescimento da produção de lodo no Brasil. A geração de grandes volumes de lodo, seu processamento e disposição são um dos problemas mais complexo ambientalmente (PAULA JÚNIOR et. al, 2005).

Conforme o crescimento populacional a produção de lodo de esgotos gerados nas ETE's (Estações de Tratamento de Esgoto) cresceu proporcionalmente, tornando-se um problema sua disposição final. Com a intenção de aproveitar o lodo de esgoto e seus derivados como fonte de matéria orgânica e nutriente para as plantas, iniciou-se o uso agrícola indiscriminado e não regulamentado dos mesmos, ocasionando poluição no solo e uma fonte potencial de riscos à saúde pública (COCIONE et al., 2010).

Pelo princípio dos 3R's (reduzir, reutilizar e reciclar) a reutilização do lodo se enquadra como alternativa passível de vantagens ambientais frente a outros métodos de destinação final deste lodo (COCIONE et al., 2010).

Uma vez que o uso agrícola de lodo de esgoto envolve a adição de nutrientes e matéria orgânica ao solo, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) incluiu lodo de esgoto na Instrução Normativa N° 15/2004, em resposta ao Decreto n° 4954/2004 que regulamenta os fertilizantes orgânicos. A diferença entre a Regulamentação do CONAMA e as Instruções Normativas do MAPA diz respeito à rastreabilidade. No caso do CONAMA, as áreas em que o lodo de esgoto será aplicado também deverão ser controladas. As Estações de Tratamento de Esgoto deverão identificar qual lote de lodo de esgoto foi aplicado em qual área agrícola. Somente assim, tem-se um controle do uso do resíduo, facilitando, inclusive, a identificação de falhas na aplicação ou avaliação da qualidade do lodo de esgoto utilizado (PIRES, 2006).

Conforme o Art 3° do CONAMA 375 os lodos gerados em sistemas de tratamento de esgoto, para terem aplicação agrícola, deverão ser submetidos a processo de redução de patógenos e da atratividade de vetores, de acordo com o Anexo I desta Resolução.

§ 1o Esta Resolução não se aplica a lodo de estação de tratamento de efluentes de processos industriais.

§ 2o Esta Resolução veta a utilização agrícola de:

I - lodo de estação de tratamento de efluentes de instalações hospitalares;

II - lodo de estação de tratamento de efluentes de portos e aeroportos;

III - resíduos de gradeamento;

IV - resíduos de desarenador;

V - material lipídico sobrenadante de decantadores primários, das caixas de gordura e dos reatores anaeróbicos;

VI - lodos provenientes de sistema de tratamento individual, coletados por veículos, antes de seu tratamento por uma estação de tratamento de esgoto;

VII - lodo de esgoto não estabilizado; e

VIII - lodos classificados como perigosos de acordo com as normas brasileiras vigentes (BRASIL, 2006).

Esta resolução estabelece ainda que os critérios nela contidos podem ser reformulados a qualquer momento, com base em pesquisas científicas e desenvolvimento tecnológico. Também determina que o Ministério do Meio Ambiente coordene um grupo de monitoramento permanente, que iria se reunir ao menos anualmente e que sua revisão seria obrigatoriamente no sétimo ano de sua publicação (BRASIL, 2006).

Entre os procedimentos da Resolução Conama 375/06 estão àqueles relacionados ao licenciamento, à frequência de monitoramento do lodo, à elaboração de projeto agrônomo, às condições de manuseio, transporte e aplicação do material.

O documento também estabelece critérios para culturas e áreas agrícolas aptas a receberem o material, para restrições locais, para definição de taxa de aplicação e para o monitoramento das áreas de aplicação. Entre os requisitos mínimos de qualidade do lodo são definidos limites máximos de concentração para agentes patogênicos, indicadores bacteriológicos e contaminantes inorgânicos. Também é exigido o monitoramento de substâncias orgânicas no lodo de esgoto, ao contrário da maior parte das legislações internacionais sobre o tema, não sendo determinados limites máximos de concentração (BRASIL, 2006).

3.6 SISTEMA DE ESGOTO

O sistema de esgotos existe para evitar contato de dejetos humanos com a população, com as águas de abastecimento e alimentos. O sistema de esgotos sanitários é o conjunto de obras e instalações que inclui: coleta, transporte e afastamento, tratamento, e disposição final das águas residuárias, de uma forma adequada do ponto de vista ambiental (LEAL, 2008).

Para a construção de um sistema de esgotos sanitários têm-se os seguintes objetivos:

- a) afastamento rápido e seguro dos esgotos;
- b) coleta dos esgotos individual ou coletiva (fossas ou rede coletora);
- c) tratamento e disposição adequada dos esgotos tratados, visando atingir a conservação dos recursos naturais;
- d) eliminação de focos de contaminação e poluição;
- e) eliminação de problemas estéticos desagradáveis;
- f) redução dos recursos aplicados no tratamento de doenças;
- g) diminuição dos custos no tratamento de água para abastecimento (LEAL, 2008).

Devido a grande quantidade de lodo de esgoto que vem sendo gerado em grandes centros urbanos, pesquisadores intensificaram estudos para utilização desse resíduo para fins agrícolas, este tipo de reciclagem visando utilização agrônômica é uma tendência mundial (LOPES, 2008).

Segundo Nogueira (et al., 2008), devido ao elevado percentual de matéria orgânica e elementos essenciais as plantas que estão presentes no lodo de esgoto, pode-se substituir, ainda que parcialmente, os fertilizantes minerais, ajudando na manutenção da fertilidade do solo.

Autores como Tsutiya (2000) e Melfi & Montes (2001) estudam que a matéria orgânica contida no lodo de esgoto pode aumentar o conteúdo de húmus do solo,

consequentemente melhora a capacidade de armazenamento e infiltração da água, aumentando a resistência dos agregados e reduzindo a erosão.

3.7 LEI 9.605/98 – SANÇÕES PENAIS E ADMINISTRATIVAS LESIVAS AO MEIO AMBIENTE

A lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, dispõe sobre sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente. Conforme o artigo 56 referido:

Produzir, processar, embalar, importar, exportar, comercializar, fornecer, transportar, armazenar, guardar, ter em depósito ou usar produto ou substância tóxica, perigosa ou nociva à saúde humana ou ao meio ambiente, em desacordo com as exigências estabelecidas em leis ou nos seus regulamentos: Pena- reclusão, de um a quatro anos, e multa.

§ 1º. Nas mesmas penas incorre quem:

I - abandona os produtos ou substâncias referidos no caput ou os utiliza em desacordo com as normas ambientais ou de segurança;

II - manipula, acondiciona, armazena, coleta, transporta, reutiliza, recicla ou dá destinação final a resíduos perigosos de forma diversa da estabelecida em lei ou regulamento (BRASIL, 1998).

4 PRODUÇÃO DE LODO EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO

4.1 CARACTERÍSTICAS DO ESGOTO

A NBR 9800 diferencia esgoto doméstico de esgoto sanitário, sendo o primeiro o despejo líquido resultante do uso da água para higiene e atividades fisiológicas humanas. Enquanto esgoto sanitário é definido como o despejo líquido constituído de esgotos doméstico e industrial, água de infiltração e a parcela de contribuição pluvial parasitária julgada conveniente (ABNT, 1987).

Os esgotos domésticos ou domiciliares provêm principalmente de residências, edifícios comerciais, instituições ou quaisquer edificações que contenham instalações de banheiros, lavanderias, cozinhas, ou qualquer dispositivo de utilização da água para fins domésticos. Compõem-se essencialmente da água de banho, urina, fezes, restos de comida, sabão, detergentes, águas de lavagem.

Os esgotos industriais, extremamente diversos, provêm de qualquer utilização da água para fins industriais, e adquirem características próprias em função do processo industrial empregado. Assim sendo, cada indústria deverá ser considerada separadamente, uma vez que seus efluentes diferem até mesmo em processos industriais similares (JORDÃO, 1995 apud CHAGAS, 2000).

O esgoto doméstico bruto constitui-se de 99,9% de água e 0,1% de matéria sólida. Nas áreas urbanas os principais agentes poluidores de águas são os esgotos, que na maioria das vezes são lançados diretamente nos corpos de água.

Diante da atual degradação dos recursos hídricos, os esgotos de diversas cidades brasileiras devem ser tratados em Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs), que operam com diferentes sistemas tecnológicos.

Depois do tratamento de esgoto nas ETEs a água residuária retorna ao manancial com bom grau de pureza, porém, ocorre a geração de um resíduo semi-sólido, pastoso e de natureza predominantemente orgânica, chamado de lodo de esgoto ou biossólido (ANDRADE, 1999). A destinação deste lodo residual que é gerado nas ETEs é um grande problema ambiental para as empresas de saneamento, públicas ou privadas.

4.2 PRODUÇÃO DE LODO EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO

Quando os projetos das estações de tratamento de esgoto foram elaboradas e executadas não havia preocupação com a destinação adequada do lodo gerado. Com o aumento da pressão de órgãos ambientais, o crescimento das áreas urbanas, a expansão de redes coletoras de esgoto e a exigência de sistemas de tratamento mais eficientes, exigiram que as empresas de saneamento se preocupassem e adotassem medidas de forma ambientalmente adequada em relação ao tratamento e disposição final do lodo de esgoto.

Primeiramente para avaliar a alternativa de disposição do lodo final faz-se necessário analisar as características do lodo gerado na ETE, levando em consideração a vazão do esgoto afluente a ETE e a composição, pois disso dependerá a quantidade e a qualidade do lodo gerado.

Quanto mais avançado e eficiente for o processo de tratamento de esgoto, maior será a quantidade de lodo produzido, que deve ser gerenciado e disposto adequadamente no meio ambiente (GODOY, 2013).

Nas estações de tratamento de esgoto brasileiras, o lodo gerado está sendo disposto de modo errado, podendo causar danos ambientais. Segundo informações do Plano Nacional de Saneamento Básico de 2008 somente 12% dos municípios brasileiros dispõem corretamente o lodo gerado (IBGE, 2010). Segundo Bastos (2012) as principais alternativas para sua destinação são a sua disposição em aterro sanitário, incineração, biomassa para geração de energia e formas de disposição no solo, como a recuperação de áreas degradadas, uso como fertilizante em culturas ou condicionador de solo e reflorestamento.

Conforme alguns autores Bittencourt (2014) e Andreolli (et al., 2014) as opções atuais mais viáveis sob os aspectos ambiental, econômico e operacional é a disposição em aterro sanitário ou industrial licenciado ou uso agrícola. As demais alternativas de tratamento e disposição finais adotadas mundialmente, não seriam viáveis no Brasil.

Peculiaridades locais são variáveis e devem ser levadas em consideração para a definição de um plano de gerenciamento de lodo de esgoto que promova a sustentabilidade do processo. A disposição final de lodo (doméstico e/ou doméstico industrial) é relacionada aos aspectos geográficos, ausência de aterros licenciados ou de áreas agrícolas próximas e critérios legais.

Conforme Bittencourt (2014) uma grande parte dos municípios brasileiros não possuem aterros licenciados, limitando a possibilidade dessa alternativa para disposição final do lodo de esgoto, que é considerado resíduo sólido pelo PNRS.

A alternativa para uso agrícola alia baixo custo e impacto ambiental positivo, quando é realizada dentro de critérios seguros. Segundo Andreolli (et al., 2014) depende de um adequado planejamento que considere um detalhado estudo e conjunto de informações, tais como: estimativa de produção (conforme a vazão da ETE), avaliação da qualidade do lodo, estudo das áreas de aplicação, organização e operação da distribuição, higienização adequada do lodo, adequações necessárias as estações de tratamento de esgotos e monitoramento ambiental. Deve-se garantir um insumo de boa qualidade para a agricultura, com garantia de segurança sanitária e ambiental à população.

Essa destinação proporciona benefícios à sociedade e ao ambiente, pois contribui para o cultivo de alimentos e para conservação do solo e da água. A complexidade da legislação brasileira para uso agrícola tem dificultado a gestão do processo e conseqüentemente vem contribuindo para pouca difusão de uma prática mundialmente consolidada, que segundo a Resolução Conama 375/06 é uma alternativa que apresenta vantagens ambientais quando comparado a outras práticas de destinação final; e que se enquadra nos princípios de reutilização de resíduos de forma ambientalmente adequada (BRASIL, 2006).

5 USO DO LODO COMO FERTILIZANTE

O surgimento de áreas degradadas no Brasil aumenta consideravelmente ao longo dos anos, ocasionando diversos prejuízos ao meio ambiente. Segundo Sampaio (2012) área degradada pode ser conceituada como um ambiente modificado por uma obra de engenharia ou submetido a processos erosivos que alteraram suas características originais de recuperação natural dos solos, exigindo, a intervenção do homem para sua recuperação.

O uso de materiais orgânicos é extremamente importante para promover melhorias nas características físicas de solos degradados, especialmente os de característica arenosa, pois um dos principais efeitos da matéria orgânica (MO) sobre os atributos físicos do solo está associado ao grau de agregação, que altera a densidade, a porosidade e a capacidade de retenção e infiltração de água (SAMPAIO, 2012).

Além dos elevados teores de matéria orgânica, o lodo apresenta macro e micronutrientes que permitem ser comparado a um excelente biofertilizante, capaz de proporcionar efeitos benéficos ao solo que por adição de adubos químicos, não acontece.

O lodo de esgoto é rico também em microrganismos e nutrientes tais como nitrogênio e fósforo, essenciais para o desenvolvimento das plantas e obtenção de boa produtividade.

Segundo Malta (2001 apud QUINTANA et al., 2011), o lodo de esgoto aplicado no solo melhora o nível de fertilidade, eleva o pH, diminui o teor de alumínio trocável, aumenta a capacidade de troca de cátions (CTC) e a capacidade de fornecer nutrientes para as plantas; e por conter em sua constituição teores elevados de matéria orgânica, promove o crescimento de organismos do solo, os quais são de fundamental importância para a ciclagem de nutrientes que é a contínua transferência de nutrientes do solo para as plantas, e destas para o solo.

Este material passa por diversos tratamentos e controles de qualidade, que garantem sua higienização e eficácia para ser utilizado como fertilizante (QUINTANA et al., 2011).

5.1 RISCOS ASSOCIADOS

Tanto os países norte-americanos quanto os europeus reconhecem as formas de disposição benéfica da reciclagem na agricultura a médio e longo prazos. As principais limitações desta opção seriam os riscos de contaminação do solo com metais pesados e agentes patogênicos que devem ser reduzidos a níveis que não apresentem riscos à saúde humana (ANDREOLLI et al., 2014).

5.1.1 Higienização de lodo de esgoto visando à destinação agrícola

Grande parte dos agentes patogênicos presentes no esgoto concentra-se no lodo, o qual apresenta níveis de concentração superiores aos observados no esgoto bruto. Muitos parasitas intestinais, e principalmente seus ovos, são pouco afetados pelos processos de tratamento de esgoto e de estabilização convencionais, necessitando uma etapa complementar ou conjugada aos processos convencionais para sua inativação. Essa etapa é denominada de higienização (BITTENCOURT, 2014).

É importante salientar que o processo não é uma “desinfecção”, uma vez que não são desativados totalmente todos os microrganismos patogênicos presentes no lodo. A higienização busca reduzir a patogenicidade do lodo a níveis que não venham a causar riscos à saúde da população, de acordo com as exigências para cada utilização.

A aplicação de lodo em aterros sanitários ou reutilização em matrizes de concreto possui um nível menor de exigência sanitária comparado a aplicação em jardins de acesso público, ou sua reciclagem na agricultura. Estas exigências podem ser atendidas por um processo de higienização do lodo ou por restrições temporais de uso e acesso público. (ANDREOLLI et al., 2014)

O lodo contém uma ampla variedade de microrganismos patogênicos. A simples presença do agente infeccioso nos lodos utilizados na agricultura não implica na imediata transmissão de doenças, caracterizando apenas um risco em potencial. O risco real de um indivíduo ser infectado depende da combinação de alguns fatores, dentre os quais: a resistência dos organismos patogênicos ao tratamento de esgotos; a dose considerada infectiva; patogenicidade; suscetibilidade ao grau de imunidade do hospedeiro e tempo de exposição humana aos focos de transmissão. Logo, para que um microrganismo presente em um efluente utilizado na agricultura chegue a provocar doença, o mesmo teria que resistir aos processos de tratamento de esgotos e sobreviver no meio-ambiente em número suficiente para infectar um indivíduo suscetível (BASTOS, 1993).

Doenças somente serão contraídas quando seres humanos ou animais são expostos a suficientes concentrações de microrganismos patogênicos que possam desencadear a infecção. Esta concentração, denominada dosagem infecciosa, depende de cada microrganismo e da capacidade de neutralização de cada pessoa.

Bactérias e protozoários são rapidamente desativados por fatores ambientais, como temperatura e pH, o que os torna pouco significativos. Vírus, helmintos e protozoários não se reproduzem fora do seu específico organismo hospedeiro. Portanto, uma vez inativos, não são

capazes de crescer novamente. Algumas bactérias têm esta capacidade de recrescimento, tornando-se um aspecto de atenção em qualquer sistema de higienização.

Ovos de helmintos e cistos de protozoários são os mais preocupantes, uma vez que apenas um ovo ou um cisto podem ser suficientes para desencadear a infecção do hospedeiro. (ANDREOLLI et al., 2014).

A Tabela 1 apresenta um resumo das informações disponíveis na bibliografia sobre o tempo de sobrevivência no solo e em vegetais de organismos patogênicos comumente encontrados nos esgotos

Tabela 1 - Tempo de sobrevivência de microrganismos patogênicos no solo e vegetais sob temperatura ambiente de 20-30°C

| Microrganismos | Sobrevivência | |
|-------------------------------|-----------------|----------------|
| | Solo | Vegetais |
| Vírus entéricos | <100 dias (<20) | <60 dias (<15) |
| Bactérias | <70 dias (<20) | <30 dias (<15) |
| Coliformes fecais | <70 dias (<20) | <30 dias (<15) |
| Salmonella sp | <20 dias (<10) | <5 dias (<2) |
| Vibrio cholerae | | |
| Protozoários | <20 dias (<10) | <10 dias (<2) |
| Entamoeba. hystolitica cistos | | |
| Helmintos | Meses | <60 dias (<30) |
| Ascaris lumbricoide ovos | <90 dias (<30) | <30 dias (<10) |
| Necator americanos larvas | Meses | <60 dias (<30) |
| Ancylostoma duodenale | Meses | <60 dias (<30) |
| Taeni sagineta ovos | | |
| Trichuris trichiura ovos | | |

Fonte: OMS, 1989

Obs.: Os valores fora dos parênteses referem-se aos máximos observados na literatura, os valores entre parênteses aos mais habitualmente verificado.

Embora o conhecimento da tolerância dos microrganismos às condições ambientais não permita a caracterização de um risco real de transmissão de doenças, o conhecimento destes valores não deixa de ser uma ferramenta na avaliação dos riscos de infecção (CHAGAS, 2000).

Diversos processos têm sido apontados por pesquisas brasileiras como alternativas de higienização do lodo de esgoto. Fatores ambientais como baixa umidade e elevado pH (potencial hidrogeniônico), podem reduzir o tempo de sobrevivência dos organismos patogênicos presentes no lodo, sendo que a influência pode variar conforme o patógeno. A estocagem por longos períodos em leitos de secagem pode ser considerada um processo eficaz na destruição de ovos helmintos, uma vez que a radiação solar e a diminuição de umidade contribuem para redução da concentração destes patógenos (BITTENCOURT, 2014).

As restrições de uso se referem principalmente a definição de um período de carência entre a incorporação do lodo no solo e a sua utilização agrícola, a proibição do plantio de culturas em que a parte comestível tem contato direto com o solo, como a olericultura, os tubérculos etc e a observância de distâncias adequadas entre as áreas de aplicação de lodo a regiões densamente povoadas e corpos d'água. Conforme a eficiência do sistema de higienização selecionado, não há necessidade prática de nenhum tipo de restrição. Os demais fatores de restrição, tais como o teor de Nitrogênio e micronutrientes, custos de transporte, critérios de armazenagem e cuidados com o manuseio, são relacionados à prática agrônômica e portanto deverão ser verificados por ocasião da recomendação agrônômica (SANEPAR, 1999).

Entre os diversos princípios capazes de promover a desinfecção do lodo, três fatores se destacam como mais indicados: a temperatura, o pH e a radiação. Sob determinadas condições ambientais, estes fatores apresentam faixas em que os organismos se mantêm presentes ou em desenvolvimento no lodo, e desde que quebrado este equilíbrio, os organismos são destruídos. A intensidade e o tempo em que estes fatores são impostos à massa de lodo de esgoto determinam a eficiência da desinfecção. Assim, a modificação destes fatores nos lodos constituem-se nos princípios dos métodos de desinfecção (SANEPAR, 1999).

As características finais do lodo de esgoto são diretamente afetadas pela forma de tratamento e higienização a que este é submetido. Conforme Bittencourt (2014) lodos, cuja higienização é feita com cal, possuem pH mais elevado e menos nitrogênio devido às perdas por volatilização da amônia (NH₃). Lodos compostados possuem menos nitrogênio e uma relação Carbono/Nitrogênio mais elevada, devido à adição de material rico em carbono para promover a compostagem da mistura.

5.1.1.1 Temperatura

Para que haja redução de microrganismos patogênicos por via térmica, faz-se necessário fazer uma relação com o tempo de permanência do lodo a uma determinada temperatura (ANDREOLLI et al., 2014).

No quadro abaixo está, segundo a USEPA, um dos quatro tratamentos de relação tempo temperatura:

Tabela 2 - Tratamentos tempo x temperatura para obtenção de lodo classe A.

| TRATAMENTO | APLICAÇÃO | REQUISITOS |
|------------|--|--|
| 1 | Teor de ST (Sólidos Totais) maior ou igual a 7% | Temperatura igual ou superior a 50°C, por período igual ou superior a 20 minutos |
| 2 | Teor de ST igual ou maior que 7%, aquecidos por quaisquer gases aquecidos ou de um líquido imiscível | Temperatura igual ou superior a 50°C, por período igual ou superior a 15 minutos |
| 3 | Teor de ST menor que 7% | Temperatura igual ou superior a 50°C, por período igual ou superior a 30 minutos |

Fonte: BITTENCOURT, 2014.

5.1.1.2 pH (potencial hidrogeniônico)

Um eficaz agente de desinfecção é o pH, ou a concentração hidrogeniônica, que define a acidez ou alcalinidade, tanto do solo quanto do lodo. Os organismos patogênicos quando expostos a níveis baixo ou alto de pH tendem a ser destruídos. Da mesma forma que a ação da temperatura, as alterações mais intensas do pH demandam um menor tempo de contato, para a obtenção da eficaz higienização do lodo. Segundo pesquisa da Sanepar (1999) a adição de cal virgem na proporção de 50% do peso seco do lodo eleva o pH da massa de lodo calado para níveis acima de 12,0, resultando na destruição dos principais agentes patogênicos incluindo larvas e ovos de helmintos. É importante salientar que a calagem reduz a contagem de ovos de

helmintos, desde que respeitados o período de contato, que são variáveis segundo a dosagem de cal, os ovos remanescentes são ovos mortos que não apresentam potencial infectivo.

Conforme o produto utilizado para elevação de pH, esta mistura poderá elevar a temperatura, que atuando em conjunto com a elevação de pH, permite uma condição mais efetiva para a inativação dos microrganismos patogênicos e um período menos exigente para a relação tempo-temperatura que a via térmica isoladamente. Assim, as condições requeridas para se obter um lodo sanitariamente seguro por este mecanismo incluem:

- a) elevar o pH do lodo para valores superiores a 12 por no mínimo 72 horas;
- b) manter a temperatura do lodo superior a 52°C por no mínimo 12 horas, durante o período onde o pH está maior que 12;
- c) secar o ambiente até se atingir a concentração de sólidos de 50%, após o período de elevação do pH (ANDREOLLI et al., 2014).

5.1.1.3 Radiação

Os raios Beta e gama podem ser usados para inativar microrganismos patogênicos devido à sua ação nas estruturas coloidais celulares.

A efetividade dos raios beta em reduzir patogênicos depende da dosagem de radiação que é aplicada ao lodo. Esta radiação tem pouco poder de penetração no lodo, e portanto, para ser efetiva, precisa ser introduzida passando por uma fina camada de lodo líquido.

Os raios Gama são capazes de penetrar facilmente no lodo e, por conseguinte a tecnologia pode ser utilizada em lodo líquido em tubulações ou mesmo desidratado em esteiras transportadoras que tenham contato com a fonte radioativa. (ANDREOLLI et al., 2014)

A radiação solar, mais especificamente os raios ultravioletas, é conhecida pelo seu poder bactericida. Muitos pesquisadores reportam condições de inativação de microrganismos patogênicos quando o lodo é exposto à radiação solar (ANDREOLLI et al., 2014).

5.1.2 CONAMA 375/06 em relação a higienização

Segundo o Anexo I da CONAMA 375/2006 (BRASIL, 2006) os processos de redução significativa de patógenos são:

- a) digestão aeróbia - a ar ou oxigênio, com retenções mínimas de 40 dias a 20°C ou por 60 dias a 15°C;

- b) secagem em leitos de areia ou em bacias, pavimentadas ou não, durante um período mínimo de 3 meses;
- c) digestão anaeróbia por um período mínimo de 15 dias a 35-55°C ou de 60 dias a 20°C;
- d) compostagem por qualquer um dos métodos citados anteriormente, desde que a biomassa atinja uma temperatura mínima de 40°C, durante pelo menos cinco dias, com a ocorrência de um pico de 55°C, ao longo de quatro horas sucessivas durante este período;
- e) estabilização com cal, mediante adição de quantidade suficiente para que o pH seja elevado até pelo menos 12, por um período mínimo de duas horas.

5.1.2.1 Processos de redução adicional de patógenos

- a) Compostagem confinada ou em leiras aeradas (3 dias a 55°C no mínimo) ou com revolvimento das leiras (15 dias a 55°C no mínimo, com revolvimento mecânico da leira durante pelo menos 5 dias ao longo dos 15 do processo);
- b) secagem térmica direta ou indireta para reduzir a umidade do lodo de esgoto ou produto derivado a 10% ou menos, devendo a temperatura das partículas de lodo de esgoto ou produto derivado superar 80°C ou a temperatura de bulbo úmido de gás, em contato com o lodo de esgoto ou produto derivado no momento da descarga do secador, ser superior a 80°C;
- c) tratamento térmico pelo aquecimento do lodo de esgoto ou produto derivado líquido a 180°C, no mínimo, durante um período de 30 minutos;
- d) digestão aeróbia termofílica a ar ou oxigênio, com tempos de residência de 10 dias a temperaturas de 55 a 60°C;
- e) processos de irradiação com raios beta a dosagens mínimas de 1 megarad a 20°C, ou com raios gama na mesma intensidade e temperatura, a partir de isótopos de Cobalto 60 ou Césio 137; e
- f) processos de pasteurização, pela manutenção do lodo de esgoto ou produto derivado a uma temperatura mínima de 70°C, por um período de pelo menos 30 minutos (BRASIL, 2006).

5.2 COMPOSTAGEM

A compostagem é um processo biológico de degradação da matéria orgânica. Os microrganismos degradam a matéria orgânica contida no lodo puro ou em mistura com outros resíduos orgânicos (palhas, folhas, papel e restos de comida, etc.) em processos exotérmicos liberando calor, e conseqüentemente aumentando a temperatura das leiras, que são suco ou rego aberto na terra para que nele se deposite semente ou muda. Experimentos utilizando restos vegetais e lodo apresentaram aumentos de temperatura até alcançar a fase termófila, o que promove a eliminação dos organismos patogênicos presentes no lodo, desde que por um determinado período de tempo (SANEPAR, 1999).

No processo de compostagem o lodo deve ser misturado a um resíduo estruturalmente rico em carbono (palha de arroz ou trigo, resíduos de podas de árvores triturados, serragem de madeira, etc.) para acelerar o processo de decomposição da matéria orgânica (CHAGAS, 2000).

Nos primeiros dias do processo de biodegradação da matéria orgânica a temperatura se eleva naturalmente, chegando a 60-65°C. Esta elevação da temperatura reduz consideravelmente praticamente eliminando os microrganismos patogênicos do lodo.

Este resíduo, rico em carbono e pobre em nitrogênio equilibra a relação carbono/nitrogênio da mistura, que deve se situar na relação 20 e 30 para que o processo de compostagem se desenvolva em boas condições. Como é um processo biológico irá depender do controle de parâmetros físico-químicos como a aeração, relação carbono/nitrogênio, umidade, pH e granulometria (SANEPAR, 1999).

No ponto de vista agrônômico, o elemento mais importante do lodo é o nitrogênio, que pode ser parte perdida na volatilização na forma de amônia e na lixiviação na forma de nitrato. Com o decorrer do tempo, tanto a elevação da temperatura como a do pH aceleram as perdas por volatilização (SANEPAR, 1999).

5.3 METAIS PESADOS

O esgoto exclusivamente residencial apresenta baixos teores de metais pesados, o que não implica em qualquer risco sanitário ou ambiental. A presença de contaminantes químicos no esgoto está diretamente ligada ao recebimento de efluentes industriais na rede coletora (ANDREOLLI et al., 2014).

Os processos de remoção de metais do lodo gerado são complexos, pouco eficientes e caros; em vista disso, este é um problema a ser solucionado preventivamente através da identificação das fontes geradoras destes materiais e seu isolamento da rede pública de esgoto. Além disso, faz-se necessário uma política restritiva e rígida de recebimento de esgotos industriais em redes, capaz de garantir a qualidade do lodo produzido (SANEPAR, 1999).

Para estabelecer uma política ambiental sustentável e privilegiar formas de reciclagem do lodo, é preciso uma grande importância para a boa gestão do lodo. É fundamental que as empresas de saneamento tenham uma política clara e bem definida do ponto de vista técnico, para não receber na rede coletora efluentes industriais que possam comprometer a qualidade do lodo.

Apenas são aceitáveis para a reciclagem agrícola os lodos que não impliquem em riscos sanitários e ambientais para o solo, produtos agrícolas, saúde humana e o meio ambiente em geral. No que diz respeito à contaminação por microrganismos patogênicos, existem várias alternativas de desinfecção do lodo para adequá-lo às alternativas de reciclagem. Quanto aos metais pesados e poluentes orgânicos, não existem métodos economicamente viáveis para retirá-los do lodo. A melhor estratégia é a prevenção, pois quando o lodo já está contaminado, mesmo se processado em incineradores, provoca riscos ambientais sensíveis (ANDREOLLI et al., 2014).

A NBR 9.800 - Critérios para lançamento de efluentes líquidos industriais no sistema coletor público de esgoto sanitário (ABNT, 1987) tem por objetivo garantir a segurança e o bom funcionamento da rede coletora e do sistema de tratamento de esgoto, não levando em conta a qualidade do lodo gerado (BITTENCOURT, 2014).

Segundo pesquisas da Sanepar (1999) os principais elementos traços encontrados no lodo de estação de tratamento de esgotos sanitários são: cádmio, cobre, zinco, níquel, mercúrio, cromo, chumbo; alguns são micronutrientes necessários às plantas como cobre e o zinco. Os outros podem se acumular no solo em níveis tóxicos às plantas e ao homem. Quando apresentar metais pesados no lodo das estações de tratamento de esgoto, as indústrias responsáveis por esses lançamentos na rede de esgoto devem ser identificadas, intimadas a tratar seus efluentes e responder a órgãos de fiscalização ambiental (SANEPAR, 1999).

Conforme Tsutiya (2000) as concentrações de molibdênio, cobalto, arsênio, selênio, mercúrio e boro nos biossólidos são geralmente pequenas e raramente limitam as aplicações nos solos agrícolas. Zinco, cobre, níquel, chumbo e cromo, são aceitáveis a sua disposição em solos agrícolas em quantidades um pouco maiores. O cádmio é considerado o metal pesado

mais perigoso devido suas implicações com a saúde humana, sendo que, a maioria das normas internacionais limita severamente a concentração deste metal no solo.

5.3.1 Acompanhamento dos níveis de metais no solo

Sempre que um lote de lodo for destinado a uma gleba (terreno próprio para cultivo) agrícola, só poderá sair da ETE com a recomendação agronômica específica para esta gleba. Devem ser avaliados a característica da área a ser utilizada e o acompanhamento dos níveis de metais pesados no lodo e no solo. Este acompanhamento é indispensável para garantir a segurança da atividade (SANEPAR, 1999).

Na tabela 3 mostra a recomendação das concentrações máximas permissíveis de metais em solos agrícolas para aplicação de biossólidos de alguns países. Analisando a tabela observa-se uma grande diferença de valores entre os países. Os Estados Unidos é o país que permite as maiores concentrações de metais em solos agrícolas, exceto quanto ao chumbo, onde a Nova Zelândia e a Comunidade Européia admitem valores superiores aos americanos. Os valores de metais pesados em solos paulistas e paranaenses, geralmente estão dentro dos intervalos dos solos europeus e americanos.

Tabela 2 - Concentrações máximas permissível de metais em solos agrícolas para aplicação de biossólidos (mg/ha)

| Países | Arsênio | Cádmio | Cromo | Cobre | Ferro | Mercurio | Molibdênio | Níquel | Chumbo | Selênio | Zinco |
|----------------------------|---------|--------|-------|--------|-------|----------|------------|--------|--------|---------|----------|
| Comunidade Européia | - | 1/3 | - | 50/140 | - | 1/1,5 | - | 30/75 | 50/300 | - | 150/ 300 |
| Alemanha | - | 3 | 100 | 100 | - | 2 | - | 50 | 100 | - | 300 |
| França | - | 2 | 150 | 100 | - | 1 | - | 50 | 100 | 10 | 300 |
| Inglaterra | 20 | 3 | 600 | 135 | 500 | 1 | 4 | 75 | 250 | 3 | 300 |
| Itália | - | 3 | 150 | 100 | - | - | - | 50 | 100 | - | 300 |
| Escócia | 12 | 1,6 | 80 | 60 | - | 0,4 | 2 | 40 | 80 | 2,4 | 150 |
| Áustria | - | 3 | 100 | 100 | - | 2 | - | 50 | 100 | - | 300 |
| Canadá (Ontário) | 14 | 1,6 | 120 | 100 | - | 0,5 | 4 | 32 | 60 | 1,6 | 220 |
| Espanha | - | 1 | 100 | 50 | - | 1 | - | 30 | 50 | - | 150 |
| Dinamarca | - | 0,5 | 30 | 40 | - | 0,5 | - | 15 | 40 | - | 100 |
| Finlândia | - | 0,5 | 200 | 100 | - | 0,2 | - | 60 | 60 | - | 150 |
| Noruega | - | 1 | 100 | 50 | - | 1 | - | 30 | 50 | - | 150 |
| Suécia | - | 0,5 | 30 | 40 | - | 0,5 | - | 15 | 40 | - | 100 |
| Nova Zelândia | - | 3,5 | 600 | 140 | - | 1 | - | 35 | 300 | - | 300 |
| Estados Unidos | - | 20 | 1500 | 750 | - | 8 | - | 210 | 150 | - | 1400 |

Fonte: TSUTIYA, 2000.

5.3.2 Critérios para a escolha de área aptas a receberem o lodo

Para otimizar o uso do lodo e eliminar qualquer possibilidade de risco e que propicie melhor resposta agrícola, deve-se fazer uma higienização adequada do lodo, monitoramento dos metais pesados e uma análise criteriosa da área que será aplicado o biossólido.

A área ideal é aquela onde o lodo possa ser utilizado pelas plantas sem resultar em movimento de qualquer componente do lodo por escoamento superficial ou lixiviação (ANDREOLLI et al., 2014).

5.3.3 Culturas recomendadas

O lodo, em termos de resultados agronômicos, pode ser aplicado a maioria das culturas, porém, algumas se adaptam melhor que outras, por aproveitarem melhor sua composição química e liberação de nitrogênio de forma lenta. Na agricultura é comum o uso de esterco suíno, bovino e avícola, estes apresentam propriedades semelhantes a do lodo de

esgoto doméstico que passa por um processo de higienização antes do uso eliminando risco com patógenos.

De uma forma geral, qualquer cultura que não entre em contato direto com o solo que contém o lodo aplicado, pode ser considerada adequada, sob o ponto de vista de segurança sanitária.

Para garantir que não haverá contaminação, qualquer cultura destinada a serem consumidas cruas pela população não devem ser plantadas em solo que receba o lodo (CHAGAS, 2000).

Segundo pesquisas da Sanepar (1999), as culturas que apresentam melhores respostas ao uso do lodo são milho, gramíneas, trigo e sorgo. Também podem ser recomendadas como alternativas interessante o uso para reflorestamento, recuperação de áreas degradadas e fruticultura.

6 CONCLUSÃO

Este artigo demonstra que a necessidade de encontrar alternativas seguras para o resíduo de lodo de esgoto vai além das obrigações legais e se torna cada vez mais fundamental para a sociedade. Com o crescimento urbano e o aumento no tratamento de esgoto, aumentará o volume de lodo gerado nas estações de tratamento, as ações que teremos hoje com sustentabilidade e responsabilidade ambiental definirão a qualidade de vida das gerações futuras.

Para uma medida de autopreservação, tornou-se indispensável encontrar o equilíbrio entre produção, consumo e descarte. Como foi esclarecido o lodo de esgoto é um resíduo do tratamento de efluentes domésticos que contém alguns dos macro e micronutrientes indispensáveis às plantas além de ser rico em matéria orgânica, por isso pode melhorar produtividade das culturas. Com isso, esse material pode vir a ser um complemento capaz de diminuir a utilização de fertilizantes industriais e reduzir os custos de adubação.

Cabe ressaltar também que a inclusão de lodo nos solos é o manejo economicamente mais benéfico, quando comparado a demais alternativas de disposição. Contudo, sua reciclagem agrícola deve obedecer às regras que definem as exigências de qualidade do material, além de outros aspectos como limitações ambientais, taxa de aplicação e cultura agrícola recomendada.

Contudo, as etapas do tratamento devem ser executadas com responsabilidade, a fim de garantir a qualidade do produto e a segurança no reuso.

Foi possível verificar que o desenvolvimento da atividade é complexo e envolve infraestrutura para higienização e armazenamento, transporte, planejamento para formação de lotes, além da necessidade de profissionais capacitados para a gestão do processo.

Faz-se necessário a revisão da Resolução Conama 375/06. São necessários constantes estudos, análises e debates para tornar a destinação agrícola de lodo de esgoto menos burocrática e onerosa, sem comprometer a segurança sanitária e ambiental.

No Brasil as alternativas de reuso ainda são pouco utilizadas e a destinação mais comum é o aterro sanitário. O aproveitamento do lodo já é feito em outros países há bastante tempo, sendo o reuso agrícola o método mais empregado.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9800: Critérios para lançamento de efluentes líquidos industriais no sistema coletor público de esgoto sanitário**. Rio de Janeiro, 1987.

ANDRADE, C. A. **Nitratos e metais pesados no solo e em plantas de *Eucalyptus grandis* após aplicação de biossólido da ETE de Barueri**. 1999. 65f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, 1999.

ANDREOLLI, C. V.; von Sperling, M.; Fernandes, F. **Lodo de esgotos: Tratamento e disposição final**. v.6. Belo Horizonte: UFMG/SANEPAR, 2014.

BASTOS, V. K. **Deteccção e quantificação de ovos viáveis de *Ascaris sp* e outros ovos de helmintos em lodo de esgoto**. 2012. 80f. Dissertação (mestrado em ciências) -Faculdade de saúde pública. São Paulo, 2012.

BITTENCOURT, S. **Gestão do processo de uso agrícola de lodo de esgoto no estado do Paraná: aplicabilidade da resolução CONAMA 375/06**. 2014. 220f. Tese (Doutorado em engenharia de recursos hídricos e ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

BRASIL. CONAMA 357 de 17 de março de 2005, dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 07 ago. 2015.

BRASIL. CONAMA 375 de 29 de agosto de 2006 define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>>. Acesso em: 07 ago. 2015.

BRASIL. Lei nº 11.445 de 05 de janeiro de 2007, dispõe sobre diretrizes nacionais para o saneamento básico. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm>. Acesso em: 28 jul. 2015.

BRASIL. Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010, dispõe sobre a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acesso em: 01 ago. 2015.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília: Governo Federal, 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acesso em: 10 out. 2012.

BRASIL. Lei nº 6.938 de 31 de agosto de 1981, dispõe sobre a Política Nacional do meio ambiente. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.htm>. Acesso em: 06 ago. 2015.

BRASIL. Lei nº 9.605 de 12 de fevereiro de 1998, dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9605.htm>. Acesso em: 06 ago. 2015.

CHAGAS, W. F. **Estudo de patógenos e metais em lodo digerido bruto e higienizado para fins agrícolas das estações de tratamento de esgoto da Ilha do Governador e da Penha no estado do Rio de Janeiro**. 2000. 89f. Dissertação (mestrado em Ciências em saúde pública) – Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2000.

COCIONE, A. R.; PIRES, A. M.; NOGUEIRA, T. **Uso Agrícola de Lodo de Esgoto: Avaliação Após a Resolução No. 375 do CONAMA**. São Paulo, ed. FEPAF, p.407, 2010.

FEIGIN, A.; RAVINA, I.; SHALHEVET, J. **Irrigation with treated sewage effluent: management for environmental protection**. Berlin: Springer-Verlag, 1991. 224p.

GODOY.L.C. A logística na destinação do lodo de esgoto. **Revista de tecnologia de Guaratinguetá**, v.2, n.1, p.79-90, 2013.

IBGE. (2010). **Estatística Populacional – Censo 2010**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/link.php?uf=to>>. Acesso em: ago. 2015.

LEAL, F. C. T. Sistemas de saneamento ambiental. Faculdade de Engenharia da UFJF. Departamento de Hidráulica e Saneamento. **Curso de Especialização em análise Ambiental**. 4. ed. Juiz de Fora, 2008. Notas de Aula.

LOPES, M. A. J. **Incorporação de lodo de esgoto e seus efeitos sobre alguns atributos do solo cultivado com Rabanetes**. 2008. 99f. Dissertação. Recife, Universidade Católica de Pernambuco, 2008.

MELFI, A. J.; MONTES, C. R. Impacto dos biossólidos sobre o solo. In: TSUTIYA et al. **Biossólidos na Agricultura**. São Paulo: SABESP, 2001.

NOGUEIRA, T. A. R.; OLIVEIRA, L. R.; MELO, W. J.; FONSECA, I. M.; MELO, G. M. P.; MELO, V. P. de; MARQUES, M. O. Cádmiu, cromo, chumbo e zinco em plantas de milho e em latossolo, após nove aplicações anuais de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de ciências do solo**, Campinas, v.32, n.5, 2008.

PAULA JUNIOR, D. R. de; MORAES, L. de M.; CAMARGO, S. A. R. de; NOUR, E. A. A.; ROSTON, D. M. Estabilização de lodos de esgoto utilizando reatores anaeróbios sequenciais (sistema RAS). **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n.1, ago. 2005.

PIRES, A. M. M. **Uso agrícola do lodo de esgoto: aspectos legais**. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente, 2006.

QUINTANA, N.R.G.; CARMO, M.S.; MELO, W.J. Lodo de esgoto como fertilizante: produtividade agrícola e rentabilidade econômica. **Revista Nucleus**, v.8, n.1, p.183-92, 2011.

RIGO, M.; RAMOS, R.; CERQUEIRA, A.; SOUZA, P. S.; MARQUES, M. R. **Gaia Scientia**, v.8, n.1, p.174-186, 2014.

SAMPAIO, T. F. et al. Lodo de esgoto na recuperação de áreas degradadas: efeito nas características físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, n.5, p.1637-45, 2012.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ - SANEPAR: **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura**. Curitiba. Sanepar, 1999. 83p.

SOUZA, J. A. R.; FERREIRA, P. A.; MATOS, A. T. de; MOREIRA, D. A. Nutrição de tomateiro fertirrigado com água residuária da suinocultura. **Revista de Engenharia na Agricultura**, v.18 n.1, jan./fev., 2010.

TSUTIYA, M. T. Alternativas de disposição final de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgotos. In: **Impacto Ambiental do Uso Agrícola de Lodo de Esgoto**. Jaguariúna: Bettiol e Camargo, 2000. 312p.

VON SPERLING, M.; CHERNICHARO, C. A. L. A comparison between wastewater treatment processes in terms of compliance with effluent quality standards. Anais do XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, **Anais**, pp. 1-12. Porto Alegre: Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 2001.