



## Destinação e reuso na agricultura do lodo de esgoto derivado do tratamento de águas residuárias domésticas no Brasil

Michelle M. Rigo<sup>1</sup>, Rafaela R. Ramos<sup>1</sup>, Alexandre A. Cerqueira<sup>2</sup>, Paulo Sérgio A. Souza<sup>2</sup>, Mônica Regina C. Marques<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Doutoranda no programa de pós-graduação multidisciplinar em meio ambiente, rua São Francisco Xavier, 524, Bairro Maracanã, Pavilhão Haroldo Lisboa Filho, 3ª andar, sala 304, LABTAM, E-mail: michelle.rigo@gmail.com; rafaellauerj@hotmail.com;

<sup>2</sup> Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Programa de pós graduação em Química, rua São Francisco Xavier, 524, Bairro Maracanã, Pavilhão Haroldo Lisboa Filho, 3ª andar, sala 304, LABTAM, E-mail: alexandrecerq@ig.com.br; paulosasouza@gmail.com;

<sup>3</sup> Professora Associada do Departamento de Química Orgânica do Instituto de Química da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), orientadora no Programa de Pós-graduação em Química e no Doutorado Multidisciplinar em Meio Ambiente, E-mail: monicamarques@uerj.br

*Artigo recebido 19 dezembro 2013; aceito para publicação 29 agosto 2014; publicado 15 outubro 2014*

### Resumo

Em decorrência do aumento populacional e do avanço das tecnologias de tratamento de esgotos, observa-se a crescente geração de lodo de esgoto. Esse resíduo é rico em nutrientes essenciais para plantas e isso impulsionou os pesquisadores a buscar formas de utilizar esse subproduto na agricultura. O presente estudo discute as formas de destinação do lodo de esgoto e o seu reuso na agricultura, relacionando-o à evolução da Política Ambiental Brasileira, aos tipos de uso do lodo nos moldes, principalmente, da resolução 375/2006 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Por meio da revisão literária obteve-se conhecimento sobre o tema, relacionando as pesquisas científicas e realizadas com o lodo no Brasil, tanto para melhoria de produtividade dos cultivos, quanto para melhorias de solos degradados. Para adequar-se aos padrões estabelecidos pelo CONAMA, o aprimoramento e a constante revisão das normas do uso agrícola de lodo de esgoto são necessários de forma a efetivar esta atividade de uma forma ambientalmente sustentável.

Palavras chave: Gestão de Resíduos Sólidos, Nutrientes, Legislação Ambiental, Agricultura Sustentável.

### Abstract

**Destination and reuse in agriculture of sewage sludge derived from the treatment of domestic wastewater in Brazil.** As a result of population growth and the advancement of wastewater treatment technologies, we observe the growing generation of sewage sludge. This residue is rich in essential nutrients for plants; it spurred researchers to seek ways to use this byproduct in agriculture. This study discusses the ways of disposal of sewage sludge and its reuse in agriculture, as related to the evolution of the Brazilian Environmental Policy, the types of use of sludge in the molds, mainly of resolution 357/2006 of CONAMA. Through literature, review was obtained knowledge on the subject, linking scientific research and performed with the sludge in Brazil, both for improving crop yields, as for improvement of degraded soils. To comply with the standards established by CONAMA, improvement and continuous review of standards in the agricultural use of sewage sludge is necessary to effecting such activity as environmentally sound.

Keywords: Waste Management, Nutrients, Environmental Regulation, Sustainable Agriculture.

## Introdução

A deterioração da qualidade das águas está crescendo progressivamente com a urbanização, com o aumento da produção de bens de consumo e o incremento das atividades agroindustriais. Segundo von Sperling (1997), a produção em larga escala de bens de consumo decorre a geração de grande quantidade de resíduos sólidos, líquidos e gasosos. Além disso, o lançamento de diversos resíduos nos corpos d'água conduz à intensificação de processos poluidores prejudiciais aos sistemas aquáticos e comprometedores dos usos aos quais aqueles recursos hídricos estavam destinados.

Nesse contexto, a ampliação das redes de coleta e o incremento do tratamento de efluentes tendem a se expandir. Do tratamento do esgoto gera-se um subproduto (podendo ser originado do tratamento de esgotos domésticos e industriais) denominado lodo de esgoto ou biossólido (quando tratado e processado). Tal subproduto se constitui em um grande problema ambiental urbano, pois trata-se de um resíduo crescente e gerado mundialmente.

Entre as opções disponíveis destacam-se: a incineração, a deposição oceânica e florestal e a utilização agrícola como fertilizante, que tem sido considerada promissora. Segundo Barbosa & Tavares Filho (2006), quando o lodo é tratado e processado, obtêm características permissíveis para o uso agrícola de maneira ambientalmente segura. Isso se deve ao fato que os biossólidos possuem nutrientes (como nitrogênio, fósforo, potássio, entre outros essenciais às plantas) que são ricos em matéria orgânica, além de atuarem como condicionadores do solo, melhorando sua estrutura. Sendo assim, a reciclagem de matéria orgânica e dos nutrientes presentes neste lodo é o principal benefício para o ambiente, podendo substituir parcialmente o uso de adubos químicos (Cocione et al. 2010).

O presente estudo discute as formas de destinação e reuso agrícola do lodo de esgoto, relacionando-o à evolução da Política Ambiental Brasileira.

## Evoluções da Política Ambiental Brasileira

Conforme relata Machado (2000), a publicação da Lei n.º 6.938/81, sobre a implantação da Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação é responsável por normatizar as questões de proteção, conservação e preservação ambiental, instaurando um novo processo de tratamento dessas questões. Essa lei, em escala nacional, unificou princípios ambientais, responsabilizando-se sobre a supervisão de normas gerais da política ambiental. Antes de sua aplicação não havia no direito brasileiro uma preocupação sistemática com a tutela ambiental e com a defesa do meio ambiente.

A Constituição Federal de 1988 incluiu um capítulo sobre o meio ambiente inserindo mudanças significativas na área. No mesmo ano, foi instituída a Lei de Crimes Ambientais (Lei n.º 9.605), contribuindo para o fortalecimento dos instrumentos do Direito Ambiental no Brasil. Em 1989, a Lei Federal n.º 7.735 criou o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA).

Em 1992, foi instituído o Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal (MMA), pela Lei n.º 8.490, que assumiu a coordenação da Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), sendo responsável pela definição de objetivos, metas e políticas ambientais para o país (Moraes & Turolla 2004).

### Política de saneamento e política de resíduos sólidos

O saneamento básico tem relação direta com a saúde pública, o meio ambiente, o desenvolvimento urbano, habitacional e tecnológico todos perfazendo preciosas conquistas da civilização.

Para os efeitos da Lei n.º 7.750 de 1992: *“Saneamento ambiental é o conjunto de ações com o objetivo de alcançar níveis crescentes de salubridade ambiental, compreendendo o abastecimento de água; a coleta, o tratamento e a disposição dos esgotos e dos resíduos sólidos e gasosos e os demais serviços de limpeza urbana; o*

*manejo das águas pluviais urbanas; o controle ambiental de vetores e reservatórios de doenças e a disciplina da ocupação e uso do solo, nas condições que maximizem a promoção e a melhoria das condições de vida nos meios urbano e rural”.*

176

O crescimento econômico dos últimos anos, a melhor distribuição de renda e os programas sociais turbinaram o consumo, mas não favoreceram necessariamente a qualidade de vida da população, quando se trata de condições básicas de infraestrutura, educação e saúde. Esse é exatamente o caso das redes de esgoto, importantes não apenas pelo conforto proporcionado, mas principalmente por causa de suas implicações para a saúde pública. No Brasil, o percentual de domicílios servidos por rede de esgoto ou fossa séptica pouco aumentou nos últimos dez anos, passando de 62,2% para 67,1%. Mesmo considerando um período mais longo, o avanço foi tímido, pois, em 1991, 52,4% dos domicílios eram ligados a redes de esgoto. Na região Norte, houve até um recuo, e o número de domicílios com rede de esgoto diminuiu de 35,6% em 2000 para 32,5% no ano passado. Já na região Sudeste o percentual subiu no mesmo período de 82,3% para 86,5% (IBGE, 2010).

Isso demonstra que volumes exorbitantes de esgoto bruto são lançados diariamente em cursos d'água, causando, obviamente, graves problemas sanitários e ambientais. Ressalta-se ainda, que a história brasileira é pontuada por aspectos institucionais e de regulação sobre a qualidade das águas, que se modificaram na medida em que os conceitos de saúde e meio ambiente foram sendo incorporados (Branco, 1991).

Logo, por meio da regulamentação da lei 11.445/07, foram estabelecidas as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico, integrando a infraestrutura, os serviços referentes aos sistemas de abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos, estabelecendo os princípios básicos para o

estabelecimento, das condições e padrões, destes serviços.

No entanto, no mesmo texto, os sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário, são apontados como constituintes do conjunto de serviços referentes à infraestrutura do saneamento básico. Desta forma, a questão dos recursos hídricos passou a ser competência da Lei nº 9.433/97, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, criando o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Não obstante, a Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída pela Lei nº 12.305/10, regulamentará de maneira abrangente o processo de gestão de resíduos sólidos, agregando à lacuna deixada pela promulgação da Lei nº 11.445/2007.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos dispõe, sobre os princípios, objetivos e instrumentos da gestão de resíduos sólidos, estabelecendo as diretrizes referentes à gestão integrada e ao gerenciamento dos mesmos. Os planos regionais de gestão integrada de resíduos sólidos (municipal, estadual, microrregionais, intermunicipais) são uma maneira tanto de instrumentalizar como de tornar a política factível.

Cabe destacar que a Lei nº 12.305/10, deixa claro que a responsabilidade do gerador de resíduos não se encerra na contratação / terceirização de serviços de gestão de seus resíduos, de modo que, uma vez sendo o gerenciamento feito de maneira ambientalmente inadequado, o gerador é igualmente responsabilizado. Ainda, os responsáveis pelos danos ambientais gerados, deverão ressarcir o poder público, pelos gastos gerados em resposta as ações mal empreendidas. Outro avanço é o da responsabilidade compartilhada, que ataca o problema de gestão dos resíduos de maneira orgânica, não apenas pensando-o no “final da cadeia”, mas sim, desde sua geração. Nesse quesito, a implementação da logística reversa é de suma importância, pois remete para os fabricantes a responsabilidade de destinação de seus resíduos, fazendo com que estes passem a questionar e a procurarem soluções para esta questão, até então, ignoradas por eles.

É o caso das estações de tratamento de água e esgoto em zona urbana, concomitantemente ao crescimento

populacional, surgiu à necessidade de adequar a água a certas condições de uso previsto, conseqüentemente, o tratamento das águas residuárias é importante para a saúde pública e para a conservação dos mananciais, originando desenvolvimento de tecnologias de tratamento, principalmente nos países desenvolvidos, embora, nos países subdesenvolvidos como o Brasil, exista grandes investimentos nessa área, uma vez que, a fiscalização para o cumprimento da legislação e a adequação as resoluções do CONAMA vigentes no país estão vigorando.

No Brasil, uma alternativa que pode ser adotada como forma de planejamento é a garantia da qualidade do efluente por etapas (von Sperling & Chernicharo 2000), afigurando-se, assim, como uma solução prática no sentido de viabilizar um atendimento gradativo aos padrões de qualidade da água e aos objetivos do tratamento de esgotos.

Essa evolução gradual da qualidade do efluente tratado deve permitir, além da redução dos custos de implantação da Estação de Tratamento de Esgotos (ETE), a adoção de novas alternativas tecnológicas, mesmo com mudanças na concepção original proposta para o tratamento. Além disso, está opção vem sendo ecologicamente adequada contribuindo com a política de recursos hídricos, gerenciamento de resíduos, CONAMA (380/06 retifica 375/05; 54/05; 397/08 retifica 357/05).

### Lodo de esgoto

Com a necessidade do tratamento das águas residuárias, ocorre um aumento considerável na zona urbana no número de estações de tratamento de esgoto (ETE's) a fim de tratar a água após seu uso. As ETE's têm a função de tratar os esgotos e transforma-los em águas de qualidade compatível com seu uso previsto. Deste tratamento gera-se um volume grande de lodo de esgoto, onde nele são concentradas as impurezas do esgoto tratado sendo, portanto, o último resíduo do ciclo urbano da água (Fernandes & Silva, 1999).

O lodo de esgoto tem características específicas conforme o tratamento dado ao esgoto doméstico apresentando variações

em sua composição química, física e biológica que dependem de fatores como os hábitos da população e a infraestrutura urbana. Quando processado, tratado e utilizado de uma maneira adequada, poderá ser utilizado para o aproveitamento dos seus nutrientes, principalmente na agricultura, atividades florestais e recuperação do solo degradado.

### Legislação: águas residuárias e lodo de esgoto

A necessidade de se preservar os recursos hídricos, conservando as águas de melhor qualidade para usos mais restritivos, atrelada ao potencial que representa o reúso de águas residuárias, impulsionou o desenvolvimento de diversos processos e técnicas de tratamento para minimizar os efeitos adversos decorrentes da descarga de efluentes no ambiente (Souza et. al., 2010).

As águas residuárias lançadas rotineiramente nos cursos d'água, sem maiores preocupações a respeito dos riscos à saúde humana e ao ambiente, são altamente dependentes da capacidade autodepuradora do corpo hídrico, tornando-se inadequadas mediante o crescimento populacional e industrial associada à limitada capacidade assimilativa do ambiente (Feigin et al. 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.

A Resolução CONAMA n° 357/05, que alterou as de n° 20/86 e n° 274/00, 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. Por outro lado, a técnica de reúso difundida no Brasil, e que segue totalmente uma normativa é o uso do lodo de esgoto, tendo diretrizes estabelecidas por meio do CONAMA N° 375/2006, assim como para seus derivados, portanto o efluente poderá ser enquadrado em algumas normas dessa

diretriz, embora específica para lodo de esgoto.

A aplicação dessas legislações como mencionada torna-se necessária com a premente ampliação da quantidade de esgotos tratados, responsável pela geração de um grande e inevitável crescimento da produção de lodo no Brasil. Embora exista uma tendência à aplicação de tecnologias que reflitam em uma menor produção de lodo, não se podem descartar o emprego dos sistemas convencionais que geram quantidades grandes de lodos. A geração de grandes volumes de lodo e seu processamento e disposição talvez seja o problema mais complexo ambientalmente (Paulo Junior et al., 2005).

“Ocasionalmente pelo crescimento populacional a produção de lodo de esgotos gerados nas ETE’s 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, proliferação de vetores de doenças, tornando-se uma fonte potencial de riscos à saúde pública (Cocione et al. 2010)”.

Logo, ao ser considerado o princípio dos 3R’s (reduzir, reutilizar e reciclar) a utilização do lodo se enquadra como alternativa passível de vantagens ambientais frente a outros métodos de destinação final de lodo (Cocione et al., 2010).

Além da resolução CONAMA 375/06 nacional de uso do lodo na agricultura, o estado de São Paulo, o Estado do Paraná, estabelece critérios para a disposição agrícola do lodo de esgoto, investindo nessa área, sendo criadas antes do CONAMA 375/06, porém as normas dos estados não poderão ser mais permissivas que a federal.

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 Nº 15/2004, em

resposta ao Decreto nº 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 e/ou avaliação da qualidade do lodo de esgoto utilizado (Pires, 2006).

### **Alternativas para a disposição final de lodos gerados em estações de tratamento de esgoto (ETE’s)**

As ETE’s, ao submeterem a água residuária a processos que possibilitem o retorno desta no ambiente, geram um resíduo denominado lodo de esgoto, conhecido também por biossólido e, conseqüentemente, ocasiona outro problema que é a destinação deste resíduo (Quintana et al., 2011). Desta forma, a disposição final do lodo, é uma etapa problemática do processo operacional de uma ETE.

A avaliação de alternativas para a disposição final do lodo de esgoto é normalmente complexa por envolver aspectos técnicos, econômicos, ambientais e legais, que ultrapassam os limites das estações de tratamento. Por apresentar em sua composição microrganismos patogênicos, metais pesados e outros compostos tóxicos, mesmo após o processo de tratamento, o lodo quando disposto de maneira inadequada, pode trazer danos ao meio ambiente e a saúde humana. As alternativas de processamento e destino final quando realizadas dentro da ótica sustentável, devem se preocupar em produzir um lodo de melhor qualidade, reduzindo o percentual de patógenos e metais e reciclando ao máximo o lodo produzido (Tsutiya 2000).

Segundo Bettiol & Camargo (2000) o lodo de esgoto é empregado como recurso alternativo com êxito não só na atividade agrícola, mas também na atividade florestal; no reúso industrial (produção de agregado

leve, fabricação de tijolos e cerâmica e produção de cimento); na conversão em óleo combustível e na recuperação de solos.

Seguem, a seguir, os principais tipos de destinação e tratamento do lodo de esgoto:

### **Incineração**

A incineração tem como principal vantagem a redução do volume de resíduos, que chega a ser de aproximadamente 10 a 20% do volume total, além do aproveitamento energético devido ao processo de cogeração de energia. Em contrapartida, durante o processo de decomposição, apesar dos organismos patogênicos e compostos orgânicos tóxicos serem eliminados, os metais pesados continuam presentes nas cinzas e, portanto, torna-se necessária uma disposição final adequada para a mesma (Tsutya et al. 2001).

### **Disposição em aterro sanitário**

Segundo Tsutiya (2000), o aterro é geralmente necessário para atender os objetivos de absorção dos lodos com características inadequadas ao uso benéfico, como a absorção de volumes excedentes à demanda, disposição de cinzas de incineração e garantia de disposição final adequada independente de quaisquer fatores. Entretanto, na disposição do lodo em aterro não há preocupação em reciclá-lo ou se recuperar nutrientes. No Brasil, grande parte do lodo produzido tem como destino final os aterros sanitários.

Um aterro mal projetado pode provocar a contaminação do ar, das águas superficiais e subterrâneas, do solo e, conseqüentemente, da população com a disposição do lodo de esgoto (Quintana et al., 2011). Além disso, esse tipo de disposição apresenta o inconveniente de reduzir a vida útil dos aterros sanitários.

### **Recuperação de áreas degradadas**

A aplicação de lodos em áreas degradadas traz benefícios às propriedades físicas do solo, desempenhando o papel de condicionador do solo, melhorando a formação de agregados, a infiltração, a

retenção de água e a aeração do solo. Uma área degradada se caracteriza por não fornecer condições de desenvolvimento e fixação da vegetação, pois apresenta falta de matéria orgânica, de nutrientes e da atividade biológica, logo a adição de lodo apresenta vantagens, o que favorece a recuperação e o reaparecimento da vegetação (Tsutiya 2000).

### **Landfarming**

O *landfarming* pode ser considerado também um sistema de tratamento de resíduos. Nesse caso, uma área é destinada exclusivamente para este fim. Não há a utilização dos nutrientes e da matéria orgânica do lodo para fins produtivos. O objetivo é apenas a degradação do lodo pelos microrganismos presentes no perfil arável e a retenção de metais na camada superficial do solo (Andreoli et al., 2004).

### **Agricultura**

A utilização de lodo de esgoto como biofertilizante e condicionador de solos, permite ganhos ao produtor, através do aumento da produtividade das culturas e redução do uso de fertilizantes minerais, com ganhos para os geradores de lodo, pela efetivação de métodos adequados e mais econômicos de disposição final desse resíduo (Guedes et al., 2006).

Ainda que existam alguns riscos, é possível reconhecer diversos benefícios originários da aplicação do lodo de esgoto tais como a redução de custos, a conservação do ambiente e das características físicas e químicas do solo. O mesmo autor afirma que, por aproveitarem melhor a composição química do lodo de esgoto e desprezarem os riscos de contaminação com patógenos, algumas culturas são mais indicadas para receberem fertilização com este tipo de material. É o caso do milho e das gramíneas, além de atividades como reflorestamento, recuperação de áreas degradadas e fruticultura (Quintana et al., 2011).

### **Disposição oceânica**

De acordo com Campos (1999) a disposição de despejos nos oceanos é uma

prática antiga, e experiências, realizadas na Inglaterra demonstram que se as operações forem realizadas com cuidado a mesma não representa perigo. O mesmo autor descreve que é essencial um controle monitoramento contínuo e que atualmente o lançamento em oceanos não é permitido.

### **Conversão em óleo combustível**

É um processo termoquímico que vem sendo aplicado a diversas biomassas de origem urbana, industrial e agrícola, procurando-se por meio da conversão térmica transformar o lodo em produtos de potencial valor comercial (Pereira et al., 2004).

### **Uso agrícola do lodo de esgoto**

A disposição de esgotos na agricultura é uma prática antiga, sendo praticada na China, e frequentemente utilizada em países como Inglaterra (1800) e Prússia (desde 1560). No Brasil, ainda está sendo difundida a prática do uso de resíduos de esgoto (lodo e efluente), aos solos, por ser uma técnica ainda em estudos, diante de sua variabilidade de efeitos e nutrientes (Bettiol & Camargo, 2006). Segundo Andreolli et al. 2008, 50% dos biossólidos são dispostos em aterros sanitários, 15,1 % como insumos na agricultura e 34,9% possuem “disposição indefinida”.

Entretanto cabe ressaltar que diversos municípios brasileiros estão coletando e tratando adequadamente os esgotos e tendo com subproduto o lodo de esgoto. Cidades paulistas como Araraquara, Araras, Araçatuba, Campinas, Caraguatatuba, Franca, Jundiá, Limeira, Presidente Prudente, Ubatuba, Ribeirão Preto, São José dos Campos e a grande São Paulo; Cidades paranaenses como Curitiba, Londrina, Maringá, Paranavaí; Cidades mineiras como Belo Horizonte e Uberlândia; Cidades capixabas como Vitória e Cachoeiro de Itapemirim, além de Brasília (DF), Rio de Janeiro, Goiânia, Recife e Campo Grande (MS) tratam o esgoto, gerando o subproduto lodo e buscando uma forma ideal de dispô-lo, proporcionando melhorias na agricultura.

Porém quando se trata de grandes metrópoles como São Paulo, a disposição deste resíduo é complexa, por sua diversificada composição química, pelo grande volume deste subproduto gerado nas ETE's e pela distância das aéreas agrícolas (Bettiol & Camargo 2006).

Tsutiya (2001), descreve o uso de lodo de esgoto, como forma de adubação orgânica, favorecendo a formação de agregados, facilitando a penetração das raízes e a vida microbiana, aumentando a resistência do solo à erosão, já que estabiliza a estrutura do solo e aumenta a capacidade de retenção de água, tornando as culturas mais resistentes à seca, além de fornecer nutrientes para as plantas, propiciando maior rendimento de matéria verde e seca.

Em nosso país o uso do lodo de esgoto como fertilizante já foi testado em culturas como o girassol (Ribeirinho et al. 2012), milho, arroz, feijão e outras (Bettiol & Camargo, 2006) haja vista que sua utilização como fertilizante tem aumentado a produtividade de diversas espécies de interesse agrônômico (Silva et al. 2010).

Por outro lado, o uso incorreto deste resíduo pode contaminar o solo, as plantas e as águas superficiais e subterrâneas com nitratos, fosfatos, metais pesados e outros poluentes presentes (Bettiol & Ghini 2011). Nesse caso, faz necessário utilizar plantas que não tenham um consumo direto para os seres humanos, sendo sugestivo utilizar culturas como a do milho, girassol, plantas florestais e em atividades de reflorestamento, recuperação de áreas degradadas e fruticultura.

A resolução CONAMA 375/06, define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto sanitário e seus produtos derivados, definindo limites para substâncias potencialmente tóxicas e critérios para liberação do resíduo. Esta Resolução também define as culturas aptas a receberem lodo de esgoto ou produto derivado, sendo proibida a utilização de lodo de esgoto ou produto derivado em pastagens e cultivo de olerícolas, tubérculos, raízes e culturas inundadas, bem como as demais culturas cuja parte comestível entre em contato direto com o solo.

O uso racional do lodo na agricultura, amparado por legislação ou normas específicas e por pesquisas científicas podem contribuir para o incremento da produtividade e beneficiamento das culturas, bem como melhorias no solo, gerando menor impacto ambiental e contribuindo ainda para os pressupostos da agenda 21 brasileira, buscando um uso sustentável ou a “Agricultura Sustentável”.

Seguindo esse pressuposto, existem vários estudos sobre o uso do lodo e seu efeito em culturas vegetais e no solo, sempre objetivando a aplicação desses resíduos no sistema solo-planta. Pesquisas concluíram que o lodo de esgoto levou ao desenvolvimento e produtividade maior ou igual ao proporcionado pelos fertilizantes convencionais.

Sabe-se, que o lodo de esgoto apresenta composição variável, pois depende da sua origem, a qual pode ser residencial e, ou, industrial, e do processo de tratamento empregado. Um lodo de esgoto típico apresenta basicamente: matéria orgânica, nitrogênio, fósforo, potássio e os demais macros e micronutrientes (Bettiol & Camargo, 2006). O aumento do teor de carbono no solo varia com a quantidade de lodo aplicada e a frequência de aplicação, dessa forma poderá ocasionar o efeito “priming”, caso a quantidade aplicada seja pequena e sem reaplicações, requerendo atenção e cuidados na aplicação.

Garcia et al. (2009a) ao aplicarem doses de lodo na proporção de 0, 25, 50, 75 e 100 ton. ha<sup>-1</sup>, em mudas de eucalipto, observaram que as maiores dosagens de lodo, proporcionou aumento dos teores foliares de nitrogênio, fósforo, potássio, zinco e cobre, diminuição dos teores de magnésio, boro e ferro permanecendo o teor foliar de manganês constante, desta forma não apresentou prejuízos a cultura. Isso pode ser explicado, pelo fato da composição do lodo ser diferente diante dos vários tratamentos existentes de esgoto doméstico, além da variação natural do esgoto doméstico está relacionado com os hábitos e estrutura populacional da cidade onde foi coletado e a forma de tratamento do material.

Com a aplicação de lodo de esgoto e águas residuárias no cultivo de algodão,

Bezerra et al. (2005) verificou que a altura da planta, o diâmetro do caule e a área foliar do algodoeiro aumentaram com as doses de lodo de esgoto (biossólido). Já Backes et al. (2009) obtiveram com o uso de doses de lodo na planta de mamona aumento na altura de plantas e massa de matéria seca da mamoneira, efeito positivo das concentrações de nitrogênio, potássio, magnésio e enxofre e também dos micronutrientes.

Quanto a cultura de girassol, Ribeirinho et al. (2012) observaram que a produtividade de sementes do girassol adubado com o resíduo em todas as doses, foi equivalente à adubação mineral, e os teores foliares situaram-se na faixa adequada, tanto para macro, quanto para micronutrientes. O uso de lodo de esgoto com suplementação potássica, se mostrou eficiente na substituição total ou parcial da adubação mineral, sem prejudicar a produtividade da cultura do girassol.

Porém, em um experimento realizado em campo por nove anos, com cultivo de milho, Nogueira et al. (2008) não obteve diferença na produtividade dos grãos, comparando a aplicação de lodo e de adubação mineral.

Embora a resolução CONAMA 375/06 não autorize o uso de lodo no cultivo de forrageiras, sabe-se que as gramíneas são o principal cultivo das pastagens brasileiras, servindo ainda como fonte de alimento para os animais, logo se inseriu estudos, promovendo a viabilidade do uso de lodo nessas forrageiras.

Lopes et al. (2007), estudando a aplicação do lodo de esgoto no crescimento da gramínea *Digitaria ciliaris* em um argissolo, constataram que o resíduo orgânico proporcionou maior altura e acúmulo de biomassa seca nas plantas. No entanto, os autores também alertaram para o fato de a aplicação do lodo de esgoto utilizado no experimento ter aumentado a acidez do solo.

Araújo et al. (2009) objetivou avaliar os efeitos da aplicação de lodo de esgoto e da adubação mineral nitrogenada em um argissolo sobre a fertilidade do solo, a atividade microbiana, o rendimento de matéria seca e o fornecimento de nutrientes à cultura da braquiária, obtendo como melhor resultado de fornecimento de

nitrogênio, por meio de lodo, somente a última e mais alta dosagem de lodo na cultura. Essa dosagem proporcionou aumento na produção de biomassa seca e teores foliares de nitrogênio na *Brachiaria decumbens*.

Conforme mencionado anteriormente, a utilização de lodo de esgoto como biofertilizante e condicionador de solos, permite ainda ganhos ao produtor, através do aumento da produtividade das culturas e redução do uso de fertilizantes minerais, com ganhos para os geradores de lodo, pela efetivação de métodos adequados e mais econômicos de disposição final desse resíduo (Guedes et al., 2006).

Alguns trabalhos foram sendo desenvolvidos e demonstraram efeitos benéficos do lodo nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Como por exemplo, o trabalho desenvolvido por Garcia et al. (2009), ao avaliar as características químicas de um solo degradado após a aplicação de lodo de esgoto doméstico, observaram que aplicação de doses crescentes de lodo de esgoto tratado com cal promoveram o aumento do pH nos teores de matéria orgânica, fósforo, potássio, sódio, cálcio, CTC total e efetiva, soma de bases e diminuição dos valores de magnésio, alumínio e H+Al no solo.

Galdos et al. (2004) realizaram um experimento com duração de dois anos para determinar as alterações que a aplicação de lodo de esgoto gerou sobre os teores de fósforo, entre outros elementos, em um Latossolo Vermelho eutrófico cultivado com milho. Os autores observaram que a produção foi maior nos tratamentos com este tipo de fertilização, onde os teores de fósforo no solo foram semelhantes aos do tratamento com adubo químico.

Da mesma maneira, o lodo de esgoto influenciou as propriedades físicas do solo, quando comparado ao solo exposto (sem tratamento para recuperação) e o solo que recebeu tratamentos para recuperação, cultivado com eucalipto e braquiária. A densidade do solo, a porosidade total e a macroporosidade foram os melhores indicadores da recuperação do solo (Campos & Alves 2008).

Logo, o uso de lodo de esgoto demonstra eficiência para agricultura desde

que utilizado adequadamente para o cultivo vegetal e recuperação de solo. Por isso, a resolução CONAMA 375/06 deverá ser seguida rigorosamente, além de contar com o apoio científico para os testes, diante das variações dos lodos que são gerados nas ETE's e assim, quando necessário, realizar a atualização desta norma, de acordo com a evolução dos tratamentos e disposição deste resíduo no solo a fim de evitar impactos ambientais.

## Discussão

A vulnerabilidade do mundo diante dos problemas ambientais deflagrou preocupação na população, que por sua vez, mobilizou a comunidade científica em prol de alternativas para reduzir os impactos ambientais. Historicamente ocorreram algumas ações, visando à proteção ambiental no mundo, entretanto, essas ações ganharam força no Brasil, com a aprovação da constituição federal do meio ambiente, onde trouxe um capítulo referente, exclusivamente ao meio ambiente.

Como o surgimento das resoluções do CONAMA, esse cenário será conduzido, conjuntamente a constituição ambiental. Com o aumento da urbanização, problemas como saneamento ambiental se intensificam, refletindo principalmente na saúde pública, já que em 1994 apenas 8% da população tinha acesso a tratamento de esgoto, quadro que mudou em 2000, onde 52,2% dos municípios brasileiros eram servidos por algum sistema de saneamento ambiental. Com a regulamentação da lei sobre saneamento básico, política nacional de recursos hídricos e a política nacional de resíduos sólidos, os cenários antes desconhecidos e/ou ignorados são agregados dentro da legislação.

Em termos de lodo de esgoto, subproduto gerado nas estações de tratamento de esgotos. Apresentaram aumento considerável nos últimos anos, sendo necessários estudos específicos de como reciclar este material, sem causar danos ao meio ambiente. O lodo, também chamado de biossólido, é alvo de vários estudos a cerca de suas propriedades químicas, físicas e biológicas. Vários estudos buscam definir a quantidade ideal

de lodo de esgoto a ser aplicado em diferentes culturas e diferentes solos, conforme descrito neste trabalho.

No Brasil alguns estudos comprovaram a eficácia do uso agrícola de lodo de esgoto, entretanto, a possível presença de poluentes como metais pesados, patógenos e compostos orgânicos persistentes são fatores que podem provocar impactos ambientais. Além disso, o nitrato também representa um problema devido à falta de simultaneidade entre sua mineralização e a absorção pelas plantas, resultando em risco de contaminação das águas subterrâneas. Uma vez adicionados ao solo, alguns dos poluentes podem se bioacumular na cadeia alimentar, isso implica em atenção a curto e longo prazo, ao ser utilizado o lodo para suas distintas finalidades.

Sabe-se que o lodo é um recurso alternativo eficiente para diversas atividades, sendo destaque para agricultura. Entretanto, seu uso indiscriminado e não regulamentado ocasionou poluição dos solos, toxicidades nas plantas e até mesmo fonte de risco para a saúde pública. Porém, alguns trabalhos em zona rural, como estudos de casos, deveriam estar mais disponíveis nos meios científicos, para avaliação da opinião dos pequenos produtores de possivelmente utilizar esse resíduo em suas áreas de cultivo.

Evidenciando isso, as normas estabelecidas pela resolução CONAMA n° 375/06 monitoram as áreas onde é utilizado o lodo, bem como a responsabilidade de quem gera esse resíduo, cabendo responsabilidade as duas partes em caso de contaminação. Tendo em vista ainda, o monitoramento realizado pelo ministério da agricultura, pecuária e abastecimento que regulamenta a maneira como está sendo adquirido o lodo e seus derivados, e a lei de fertilizantes orgânicos que fiscaliza a produção e uso desses materiais na agricultura. Vale ressaltar, que o lodo deverá cumprir uma série de padrões de qualidade para somente assim estar apto a ser utilizado como fertilizante.

Por isso, Trannin et al. (2004), explica que a variabilidade da composição química e do teor de umidade do lodo de esgoto dificulta a busca por padrões das doses recomendadas, exigindo estudos que

permitam uma utilização agrônômica segura. Certamente por isso, a resolução diz que o uso do lodo deverá obrigatoriamente ser condicionado a um projeto agrônômico com profissional competente. Mas também relata de relatórios anuais a ser preparados pelo grupo designado pelo CONAMA a recomendar melhorias na resolução, entretanto segundo (Cocione et al., 2010) isso não vem sendo cumprido.

Nesse contexto, o uso do lodo gerou conflitos e resistências na sociedade, pois a aplicação inadequada gerou aspectos negativos. Com sua variação na composição, a utilização torna-se viável, apenas quando atende a resolução sobre o lodo e seus derivados, devendo atender características locais, uma vez que cada esgoto doméstico reflete os hábitos e nível de industrialização da população.

## Conclusão

As questões ambientais tiveram grandes avanços nos últimos anos e contaram com apoio da sociedade, não apenas de empresas e órgãos públicos, sendo uma correlação para alcançar o equilíbrio ambiental e social. As legislações, resoluções e normas deram base a esse cuidado com o meio ambiente e em se tratando da destinação final do lodo de esgoto.

Poucos são os usos desse resíduo, pois se trata ainda de uma nova alternativa em fase de estudos e apenas atuando em unidades pilotos, vinculadas a instituições de pesquisa.

Logo, o estabelecimento e constante revisão de normas regulando o uso agrícola de lodo de esgoto e a continuidade das pesquisas em prol de seu uso deverão ter atualizações e constante monitoramento de forma a efetivar essa atividade como ambientalmente adequada e afirmando não ser prejudicial ao meio ambiente.

## Referências

ANDREOLI, M.; VON SPERLING & F. FERNANDES. 2004. **Lodo de esgotos: Tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: DESA/UFMG, v.6.

- ARAUJO, F.F.; GIL, F. C. & TIRITAN, C. S. 2009. Lodo de esgoto na fertilidade do solo, na nutrição de *Brachiaria decumbens* e na atividade da desidrogenase. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 39, n. 1, p. 1-6, jan./mar.
- BACKES, C.; LIMA, C. P.; FERNANDES, D. M.; GODOY, L. J. G.; KIIHL, T. A. M. & VILLAS BÔAS, R. L. 2009. Efeito do lodo de esgoto e nitrogênio na nutrição e desenvolvimento inicial da mamoneira. **Revista Biosciência Journal**, Uberlândia, v. 25, n. 1, p. 90-98, Jan./Feb.
- BARBOSA, G. M. C. & TAVARES FILHO, J. 2006. Uso agrícola do biossólido: influência nas propriedades químicas e físicas do solo, produtividade e recuperação de áreas degradadas. **Ciências Agrárias**, v. 27, n. 04, p. 565-580.
- BETTIOL, W. & CAMARGO, O. A. 2006. **Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura**. Jaguariúna, ed. Embrapa Meio Ambiente, 394p.
- BETTIOL, W. & CAMARGO, O. A. 2000. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 312p.
- BETTIOL, W. & GHINI, R. 2011. Impacts of sewage sludge in tropical soil: a case study in Brazil. **Applied and Environmental Soil Science**, New York, v. 2011, n. 1, p. 1-11.
- BEZERRA, L. J.D.; LIMA, V. L. A., ANDRADE, A. R. S. DE; ALVES, V. W.; AZEVEDO, C. A. V. DE & GUERRA, H. O. C. 2005. Análise de crescimento do algodão colorido sob os efeitos da aplicação de água residuária e biossólidos. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, Suplemento, p.333-338.
- BORSOI, Z. M. F.; LANARI, N. L. & CAMISÃO, M. L. C. 1997. **Tratamento de Esgoto: Tecnologias Acessíveis**. Informe Infraestrutura (área de projetos de infraestrutura), novembro, nº 16.
- BRANCO, S. M. 1991. **Aspectos institucionais e legais do controle da poluição**. In: Hidrologia Ambiental. São Paulo: Associação Brasileira de Recursos Hídricos/Edusp. pp. 349-373.
- BRASIL. **Lei nº 6.938 de 31 de agosto de 1981**, dispõe sobre a Política Nacional do meio ambiente. Acesso em: <<http://www.planalto.gov.br/CCIVIL/LEIS/6938org.htm>> 04 de dez. 2012.
- BRASIL. **Lei nº 9.433 de 08 de janeiro de 1997**, institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Acesso em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm)> 04 de dez. 2012.
- BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Censos Demográficos. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)** Acesso em: <<http://www.ibge.gov.br>> 04 de dez. 2012.
- CAMPOS, F. S. & ALVES, M. C. 2008. Uso de lodo de esgoto na reestruturação de solo degradado. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 32:1389-1397.
- CAMPOS, J. R. 1999. **Tratamento de esgoto sanitário por processo anaeróbico e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: ABES.
- CONAMA – BRASIL: Conselho Nacional do Meio Ambiente. 2012. **Resoluções do Conama: Resoluções vigentes publicadas entre setembro de 1984 e janeiro de 2012**. / Ministério do Meio Ambiente. Brasília: MMA, 1126 p.
- COSCIONE, A. R.; PIRES, A. M. & NOGUEIRA, T. 2010. **Uso Agrícola de Lodo de Esgoto: Avaliação Após a Resolução No. 375 do CONAMA**. São Paulo, ed. FEPAF, p. 407.
- FEIGIN, A.; RAVINA, I. & SHALHEVET, J. 1991. Irrigation with treated sewage effluent: management for environmental protection. Berlin: **Springer-Verlag**, 224p.
- FERNANDES, S.A.P. & SILVA, S.M.C.P. 1999. **Manual Prático para a Compostagem de Biossólidos**. Londrina: Prosab, Finep, 84p.
- GALDOS, M.V.; DE MARIA, I. C. & CAMARGO, O. A. 2004. Atributos químicos e produção de milho em um Latossolo Vermelho eutroférico tratado com lodo de esgoto. **Revista**

- Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.569-577.
- GARCIA, G. O.; GONÇALVES, I. Z.; MADALÃO, J. C.; NAZÁRIO, A. A. & REIS, E. F. 2099a. Análise nutricional de mudas de eucalipto submetidas à aplicação de lodo de esgoto doméstico. **Revista Engenharia Ambiental** - Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n. 3, p. 275-290, set /dez.
- GARCIA, G. O.; GONÇALVES, I. Z.; MADALÃO, J. C.; NAZÁRIO, A. A. & Bragança, H. N. 2009. Características químicas de um solo degradado após aplicação de lodo de esgoto doméstico. **Revista verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 4, p. 1-12.
- GUEDES, M. C.; ANDRADE, C. A. de; POGGIANI, F. & MATIAZZO, M. E. 2006. Propriedades químicas do solo e nutrição do eucalipto em função da aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.30, p.267-280.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo de saneamento ambiental 1994 e 2000 – Brasil**. Rio de Janeiro: Diretoria de Pesquisas.
- LITTLE, P. E. 2003. **Políticas ambientais no Brasil: análises, instrumentos e experiências**. Brasília: Editora Peirópolis, p. 13-21.
- LOPES, J. C.; CATEN A.; LIMA R. V. & ALVEZ A. F. C. 2007. Crescimento de *Digitaria ciliaris* em solo tratado com lodo de esgoto bruto e corrigido. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 19, n. 2, p. 127-134, abr./jun.
- MACHADO, C. J. S. 2000. A questão ambiental brasileira: uma análise sociológica do processo de formação do arcabouço jurídico-institucional. **Revista de Estudos Ambientais**. v. 2, n.2-3,p.5-20.
- MORAES, S. R. R.; TUROLLA, F. A. 2004. Visão geral dos problemas e da política ambiental no Brasil. **Informações Econômicas**, São Paulo, v.34, n.4.
- NOGUEIRA, T.A.R.; OLIVEIRA, L. R.; MELO, W. J.; FONSECA, I. M.; MELO, G. M. P.; MELO, V. P. DE & MARQUES, M. O. 2008. 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.
- PAULA JUNIOR, D. R. DE; MORAES, L. DE M.; CAMARGO, S. A. R. DE; NOUR, E. A. A. & ROSTON, D. M. 2005. Estabilização de lodos de esgoto utilizando reatores anaeróbios sequenciais (sistema RAS). **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n.1, agosto.
- PEREIRA R. G.; ROMEIRO, G. A.; DAMASCENO, R. N.; SENRA, P. M. A. 2004. **Obtenção de óleo combustível a partir da conversão a baixa temperatura de biomassa residual**. In: IV Congresso Latino americano y del Caribe de Gas y Electricidad. Anais... Caribe.
- PIRES, A. M. M. 2006. **Uso agrícola do lodo de esgoto: aspectos legais**. EMBRAPA MEIO AMBIENTE, Jaguariúna, SP.
- QUINTANA, N. R. G.; CARMO, M. S. do & MELO, W. J. de. 2011. Lodo de esgoto como fertilizante: produtividade agrícola e rentabilidade econômica. **Nucleus**, v.8, n.1, abr.
- RIBEIRINHO, V. S.; MELO, W. J. de; SILVA, D. H. da; FIGUEIREDO, L. A. & MELO, G. M. P. de. 2012. Fertilidade do solo, estado nutricional e produtividade de girassol, em função da aplicação de lodo de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 2, p. 166-173, abr./jun.
- SILVA, F.C.; BOARETTO, A. E.; ABREU JUNIOR, C. H.; BERTON, R.S.; BASSO, L. C. & BARBIERI, V. 2010. Impactos da aplicação de lodo de esgoto na cultura da cana-de-açúcar e no ambiente. **LOS Environment**, v.10 n.1.
- SOUZA, J.A.R.; Ferreira, P. A.; Matos, A. T. de & Moreira, D. A. 2010. Nutrição de tomateiro fertirrigado com água residuária da suinocultura. **Revista de Engenharia na agricultura**, v.18 n.1, jan. / fev.
- TRANNIN, I. C. B; SIQUEIRA, J. O. & MOREIRA, F. M. de S. 2005.

Avaliação agronômica de um biossólido industrial para a cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.3, p.261-269, mar.

TSUTIYA, M. T. 2001. **Alternativas de disposição final de biossólidos**. In: TSUTIYA, M.T.et al.(Ed.). **Biossólidos na Agricultura**. São Paulo: SABESP, p.133-180.

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

von SPERLING, E. 1997. **Qualidade de água**. Brasília. Belo Horizonte: ABEAS.

von SPERLING, M. & CHERNICHARO, C. A. L., 2000. 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.