Congresso Brasileiro de Resíduos Orgânicos
08 a 09 de outubro de 2009
Hotel Canto do Sol - Vitória-ES

SISTEMA DE GESTÃO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS: COMPOSTO DE LIXO EM USINAS DE COMPOSTAGEM E UTILIZAÇÃO DE LODO DE ESGOTO

Regynaldo Arruda Sampaio – ICA/UFMG

Doutor em Fitotecnia (Produção Vegetal), Núcleo de Ciências Agrárias - Universidade Federal de Minas Gerais

1. GESTÃO DE COMPOSTO DE LIXO EM USINAS DE COMPOSTAGEM

O acúmulo de lixo nas grandes cidades, em conseqüência do crescimento populacional e da ampliação do parque industrial, tem causado sérios problemas ao meio ambiente. Os lixos normalmente jogados em aterros sanitários podem, sob a ação da precipitação pluviométrica, poluir o solo, a água, as plantas e prejudicar a qualidade de vida da população. Além disso, podem abrigar ou ser criadouro de vetores de importância epidemiológica. Miranda Neto (2000) destaca que o chorume que se escoa dos depósitos de lixo após a fermentação e putrefação, atinge os mananciais, as águas subterrâneas, o lençol freático e as fontes de água que abastecem as cidades, causando doenças na população. Neste contexto, a reciclagem dos materiais inertes e a utilização da parte compostável na produção de adubos orgânicos para as plantas, podem se constituir em práticas importantes para a proteção do meio ambiente.

As usinas de reciclagem de lixo e compostagem são uma alternativa viável para absorver todo o lixo urbano e funcionam como um centro de triagem e de produção de compostos orgânicos. De acordo com Barreira et al. (2006) a produção de composto nas usinas de compostagem a partir de resíduos sólidos urbanos, apresenta benefícios sócio-ambientais, como: geração de emprego, retirada dos resíduos da rota tradicional de descarte (aterros e lixões), além da redução da poluição e da contaminação do meio ambiente.

Segundo Pereira Neto (1996) a compostagem tem como definição a biodegradação aeróbia e termofílica de resíduos orgânicos por microrganismos quimiorganotrófcos, sob condições controladas, e que tem como produto final o húmus, usado na adubação de plantas. Grippi (2001) destaca dois métodos de compostagem do lixo orgânico: 1) Método natural, que consiste na disposição da fração orgânica em pilhas de formatos variáveis, sendo o

processo de revolvimento feito periodicamente com o auxílio de equipamentos apropriados, completando o tempo de compostagem num período de 3 a 4 meses; e, o 2) Método acelerado, que consiste em proporcionar uma aeração forçada por tubulações perfuradas sobre as quais se colocam as pilhas, ou em reatores rotatórios, dentro dos quais são colocados os resíduos, avançando no sentido contrário ao da corrente de ar, sendo depois, dispostos em pilhas como no método natural. O tempo de residência no reator é de cerca de quatro dias e o tempo total da compostagem varia de 2 a 3 meses.

O composto orgânico, independente do processo utilizado, apresenta teores individuais de nitrogênio, fósforo e potássio da ordem de 1% e aproximadamente 50% de matéria orgânica humificada (Silva, 2000). É, portanto, um excelente adubo orgânico que melhora as condições químicas e físicas do solo para o cultivo (Mantovani et al., 2005). Porém, em virtude do lixo conter, normalmente, pilhas, baterias, embalagens de tintas, de inseticidas, de produtos de limpeza e lâmpadas, misturados à parte orgânica (Venezuela, 2001), é grande a preocupação em torno da presença de metais pesados nesses compostos (Egreja Filho et al., 1999; Abreu Junior et al., 2001; Santos et al., 1999; Oliveira et al. 2002), além da preocupação com outros compostos potencialmente tóxicos (Rodrigues et al., 2006).

Um dos principais objetivos da compostagem é produzir um composto orgânico estável, humificado, livre de microrganismos patogênicos e de qualquer substância que possa causar danos à saúde humana, as plantas e aos animais. Por outro lado, são grandes as preocupações relacionadas à compostagem do lixo urbano pelo fato de, na maioria das cidades, o lixo domiciliar ser coletado juntamente com o lixo público, hospitalar e comercial, aumentando, portanto, a possibilidade da existência de contaminações (FEAM, 1995). Barreira et al. (2006) afirma que, para se obter compostos de lixo orgânico de melhor qualidade no Brasil, são necessários, além de uma legislação específica, a intensificação do controle e do monitoramento sobre a sua produção e comercialização. O autor aponta que a falta de análises periódicas nos compostos e de controle sobre sua qualidade dificultam o mercado e não asseguram que os compostos produzidos sejam de bom nível. Destaca, porém, que, mesmo que os compostos produzidos não sejam de alta qualidade, a retirada destes materiais da rota tradicional de descarte já é considerada um grande benefício para o meio ambiente. Nesse caso, a produção de compostos se torna um benefício adicional ao processo que contribui com a maior sustentabilidade do sistema. Além disso, a compostagem transforma a matéria orgânica crua em um produto estabilizado e, mesmo que fosse descartada em aterros sanitários devido sua pouca qualidade, haveria ainda

vantagem em relação à disposição direta no solo em razão da diminuição do volume e pelo menor potencial de contaminação.

A melhor alternativa para se ter compostos de lixo de melhor qualidade é através da coleta seletiva de lixo, fato comum em países desenvolvidos, porém, pouco implementado no Brasil. Outro aspecto diz respeito a integração da compostagem do lixo com os resíduos de podas de árvores urbanas, num sistema denominado windrow. Desta forma, otimiza–se o processo, reciclando um material também rico em matéria orgânica e que invariavelmente acabam em aterros sanitários ou lixões. Pereira e Tavares (2000) afirmam que a melhor alternativa para solucionar o problema do lixo em áreas urbanas é a gestão integrada de resíduos sólidos, sendo necessários a modernização permanente da gestão, a adoção de modelo tecnológico moderno e de baixo custo, a educação ambiental contínua e a participação popular em todos os níveis. Destacam ainda que para ter sustentabilidade é preciso a construção de unidades ou módulos menores, respeitando princípios básicos e sistêmicos da minimização, descentralização, segregação, da reciclagem e da compostagem, beneficiando a qualidade, racionalidade, preservação e recuperação ambiental (Figura 1).

Legaspe (2006) cita alguns programas bem sucedidos de reciclagem do lixo orgânico em São Paulo que podem servir de referências para outras regiões brasileiras. O autor destaca o Programa Feira Limpa, que consiste na idéia de recolher de forma seletiva as sobras orgânicas da feira livre utilizando bags de polipropileno e tambores de plástico; o Programa Reciclagem da Madeira, que consiste na reutilização de madeira descartada como lixo doméstico e em obras de demolição/construção; e o Programa Reciclagem do Peixe, que recicla as vísceras, transformando-as em farinha de peixe e ração animal.

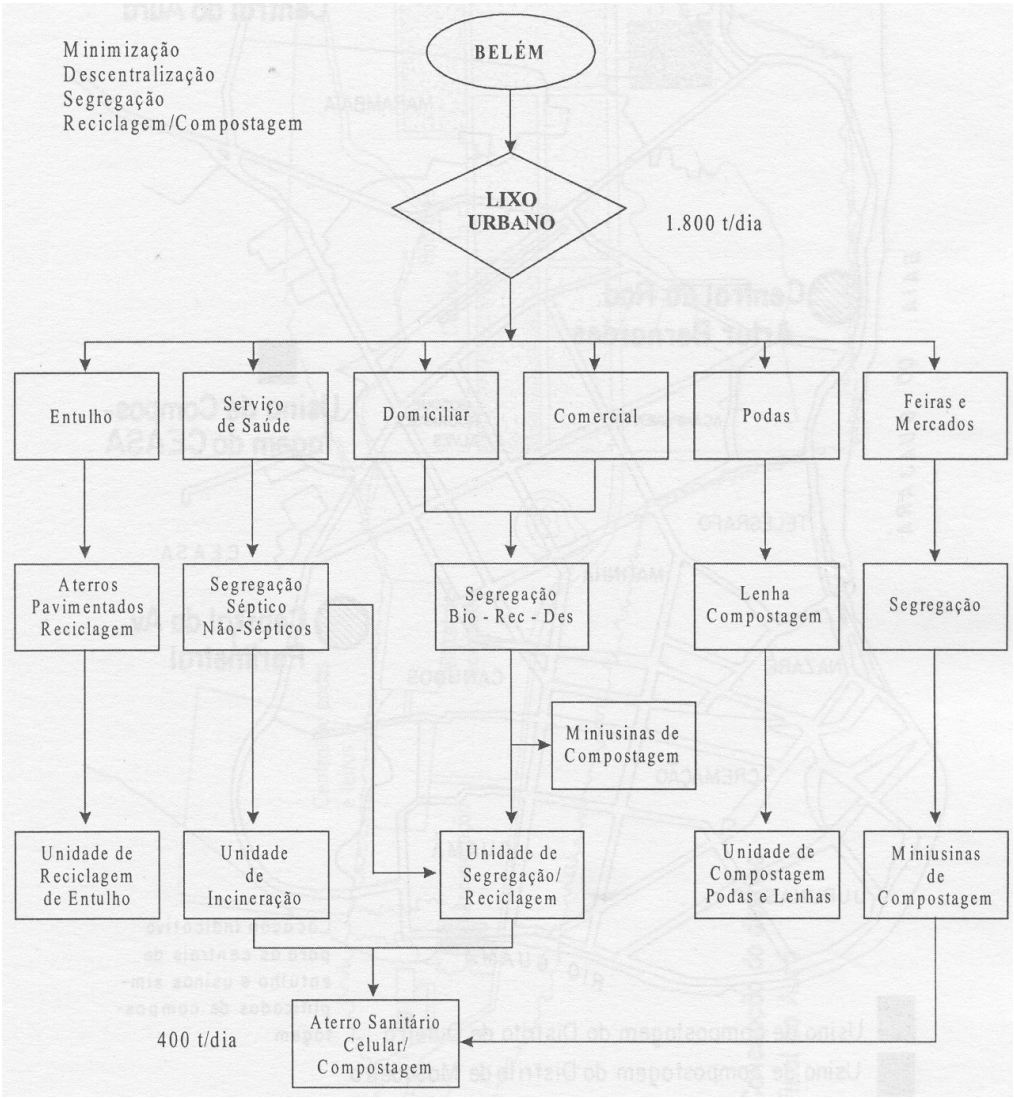


Figura 1 – Modelo proposto de sistema integrado de manejo e resíduos sólidos para o município de Belém – Pa. Fonte: Pereira e Tavares (2000).

2. GESTÃO DE LODO DE ESGOTO EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS (ETES)

A crise ambiental mundial resulta da intensa exploração dos bens naturais do planeta pelo homem. Esse consumo exagerado tem causado sérias degradações dos recursos naturais e produzido uma enorme quantidade de resíduos que se acumulam em sua maior parte nos recursos hídricos. O uso da água pelo homem, até pouco tempo dita como um recurso natural infinito vem causando sérios problemas ambientais e sociais, principalmente nos grandes centros urbanos. A falta de saneamento básico, além de causar doenças às

populações mais carentes, tanto nos centros urbanos quanto no meio rural, também é responsável pela poluição dos recursos hídricos e solos adjacentes.

Devido ao agravamento dessas condições, atualmente o homem passou a se preocupar técnico, político, social e ambientalmente com a questão da regeneração ou recuperação desses bens naturais, principalmente com os recursos hídricos nos centros urbanos por meio do saneamento básico. Com o tratamento das águas residuárias nas Estações de Tratamentos de Esgotos (ETEs), o homem passou a devolver aos cursos d`água uma água limpa, livre de matéria orgânica e de contaminantes. Como conseqüência disso, tem-se um resíduo sólido gerado pelo tratamento dessas águas, denominado lodo de esgoto.

O lodo de esgoto é um material rico em matéria orgânica e nutrientes, o que o torna potencialmente favorável para o uso agrícola. Porém, esse uso deve ser controlado, em razão dos riscos de contaminações do ambiente com patógenos, metais pesados e substâncias orgânicas potencialmente tóxicas. Por isso, esse resíduo passou a se tornar preocupante quanto a sua disposição final, tanto que no Brasil, em 29 de agosto de 2006 foi aprovada uma Resolução no Conselho Nacional do Meio Ambiente, o CONAMA, a de número 375, estabelecendo todos os critérios técnicos para o monitoramento e a disposição final do lodo de esgoto.

A forma mais econômica e ambientalmente correta do uso lodo de esgoto respeitando todas as normas legais é na agricultura. Por isso há a necessidade de pesquisas de campo para validar o seu uso, tanto técnico quanto cientificamente.

O lodo de esgoto é originário das estações de tratamentos de águas residuárias, sejam elas domiciliares, industriais ou agroindustriais. Para a sua geração são considerados três sistemas de tratamentos, os quais diferem um do outro pela capacidade da retirada de sólidos. São tecnicamente conhecidos como tratamento primário (neste envolve uma fase preliminar), secundário e terciário (Von Sperling, 1995). Nestes sistemas de tratamentos de esgoto atualmente são utilizados tratamentos físico-químicos ou biológicos de acordo com o sistema local de cada ETE.

Na fase preliminar o objetivo é a remoção dos sólidos grosseiros como materiais de maiores dimensões e areia, por grades e caixa de areia, desta forma o líquido passa a conter somente sólidos finos suspensos ou dissolvidos. Assim, o tratamento primário envolve a

remoção de sólidos da sedimentação através de caixas retentoras de areia (fase preliminar) e decantadoras ou flotação, de materiais constituídos principalmente de partículas em suspensão. A produção de sólidos em caixas retentoras desta fase deve ser enterrados e aqueles retirados de decantadores devem ser digeridos adequadamente para posterior secagem e disposição em locais apropriados. As formas de tratamento desse lodo variam de maneira bastante ampla (CETESB, sd).

O tratamento secundário, por sua vez, destina-se a degradação biológica que podem ser via anaeróbia, aeróbia e/ou anóxica tanto para remoção da matéria carbonácea como para remoção de nutrientes (Garbossa, 2006; Von Sperling, 1995).

O tratamento terciário objetiva a remoção de poluentes específicos, isto é, compostos tóxicos ou não biodegradáveis, ou ainda a remoção de poluentes não removidos suficientemente no tratamento secundário (Von Sperling, 1995).

No processo aeróbio, para cada quilograma de DBO removida ocorre a formação de cerca de 0,4 a 0,7 quilograma de bactérias (matéria seca) e, no processo anaeróbico, tem-se para cada quilograma de DBO removida a formação de 0,2 a 20 quilograma de bactérias aproximadamente (CETESB, sd). Corroborando com estes dados, Andreoli et al. (1998) afirmam que a produção de lodo é variável em função do tipo de tratamento adotado; no Brasil sistemas aeróbios de lodo ativado produzem 37 g de lodo/hab.dia, enquanto que, sistemas anaeróbios, apenas 15 g de lodo/hab.dia.

De acordo com Andreoli et al. (1998) os diferentes sistemas de tratamento e seus respectivos estágios geram lodos com características e quantidades variáveis. Segundo os autores, de forma genérica, os decantadores primários produzem de 2.500 a 3.500 litros de lodo por milhão de litros de esgoto tratado, com 3 a 7% de sólidos e contendo 60 a 80% de matéria orgânica. Os tratamentos secundários promovem o incremento da atividade microbiana, de forma a converter os sólidos dissolvidos em sólidos suspensos, ou seja, biomassa microbiana, e reduzir o conteúdo de matéria orgânica. Posteriormente, a biomassa microbiana é precipitada junto com outras partículas produzindo o lodo secundário. Os processos aeróbios produzem de 15 a 20 mil litros de lodo por milhão de litros de esgoto tratado, com 0,5 a 2% de sólidos contendo 50 a 60% de matéria orgânica. Os processos anaeróbios, em geral, produzem quantidades menores de lodo.

Os sistemas de tratamento biológico com reatores anaeróbios são alternativas viáveis para efluentes líquidos municipais, uma vez que este sistema gera menor produção de lodo e também demanda de pouca energia para ser operado. Além disso, o biogás produzido pode ser reutilizado para o funcionamento do sistema ou como fonte de energia alternativa para outros fins, se tornando uma opção mais sustentável (Garbossa, 2006).

Machado (2001) em revisão de literatura sobre o tema apresenta tabelas os dados constantes das tabelas 1 e 2, que mostram as relações dos sistemas de tratamento de esgoto com suas respectivas produções de lodo. Verifica-se por meio da tabela 1 que, geralmente, quanto mais elevado o grau de tratamento, maior será a quantidade de lodo gerado e, também, que os processos anaeróbios, em geral, produzem quantidades menores de lodo se comparadas com os processos aeróbios. A tabela 2 também demonstra que os tratamentos anaeróbios produzem uma quantidade inferior de lodo, se comparada aos tratamentos aeróbios seguindo os resultados apresentados na tabela 1.

Tabela 1 – Relação do sistema de tratamento de esgoto com a quantidade de lodo produzido.

Sistemas de tratamentos	Quantidade de lodo produzido (m^3/hab.ano)
Tratamento primário	0,6 – 13
Lagoa facultativa primária	0,037
Lagoa facultativa	0,03 – 0,08
Lagoa anaeróbia – lagoa facultativa	0,01 – 0,04
Lagoa aerada facultativa	0,03 – 0,08
Lodos ativados (convencional)	1,1 – 1,5
Lodos ativados (aeração prolongada)	0,7 – 1,2
Lodos ativados (fluxo intermitente)	0,7 – 1,5
Filtro biológico (baixa carga)	0,4 – 0,6
Filtro biológico (alta carga)	1,1 – 1,5
Biodiscos	0,07 – 1,0
Reator anaeróbio de manta de lodo	0,07 – 0,1
Fossa séptica – filtro anaeróbio	0,07 – 0,1

Fonte: Adaptado de Von Sperling (1995) e Prosab (1999), citado por Machado (2001).

Na tabela 3, Machado (2001) apresenta resultados das contribuições médias “per capita” para os 4 sistemas de tratamentos de esgoto estabelecidos em sua pesquisa sobre a situação brasileira dos lodos de esgotos. Esses valores foram levantados de dados obtidos de ETEs de todo o território nacional, em pelo menos uma ETE de cada Estado do Brasil.

A composição química das diversas substâncias presentes nos esgotos domésticos é extremamente variável, dependendo dos hábitos da população e diversos outros fatores (Roque, 1997). Uma alternativa para ter um efluente de boa qualidade que se enquadre nas exigências legais e ambientais é a combinação dos sistemas anaeróbios com aeróbios, uma vez que no sistema aeróbio os compostos orgânicos e inorgânicos são retirados em quase sua totalidade do efluente (Castillo et al., 1997; Torres e Foresti, 2001; Ros e Vrtovesk, 1998). Convém destacar que, na medida em que mais estações de tratamento em nível secundário se tornam necessárias para preservação dos cursos d'água receptores, melhor se torna a qualidade de lodos produzidos nas estações de tratamento de esgotos (Chagas, 1999).

Tabela 2 – Quantidade de lodo gerado em alguns novos sistemas de tratamento de esgoto

Sistemas de Tratamentos	Produção de lodo seco (g.SST/hab.dia)	Qualidade do lodo gerado
Reator UASB, sem tratamento complementar.	15 – 20	Lodo estabilizado
Lodos ativados convencionais (com decantador primário, tanque de aeração e decantador secundário, adensador de lodo e digestor anaeróbio).	35 – 40	Lodo estabilizado
Filtro biológico de alta taxa (com decantador primário, filtro biológico e decantador secundário, adensador de lodo e digestor anaeróbio).	35 – 40	Lodo Digerido
Lodos ativados por aeração prolongada (θc=18 a 30 dias, sem decantador primário, sendo que θc é o tempo de retenção celular ou idade do lodo).	40 – 45	Lodo estabilizado aerobiamente, mais fácil de desidratar.
Lodos ativados de alta taxa (θc=1,0 a 2,0 dias, sem decantador primário e sem digestor de lodo; tanque de aeração cm oxigênio puro ou através de poço profundo tipo “deep shat”	65 – 70 lodo não digerido; 90 – 95 para estabilização com cal do lodo desidratado (pH>11)	Se houver percolação de água pelo lodo, o mesmo volta a ficar não estabilizado.
Reator UASB seguido de lodos ativados com alta taxa (θc<3 dias, sem nitrificação)	< 25 – 30	Lodo digerido
Reator UASB seguido de lodos ativados com alta taxa (θc=4 a 7 dias, com nitrificação)	22 – 27	Lodo digerido
Reator UASB seguido de filtro biológico de alta taxa	25 – 30	Lodo digerido
Reator UASB e filtro biológico aerado submerso (sem nitrificação)	25 – 30	Lodo digerido
Lagoas aeradas aeróbias seguidas de lagoas de decantação	15 – 25, com remoção do lodo a cada 4 a 5 anos	Lodo digerido

Fonte: Além Sobrinho (2000) citado por Machado (2001).

Tabela 3 – Média da estimativa da produção "per capita" de lodo no Brasil em função do tipo de tratamento de esgoto empregado.

Tipos de tratamento de esgoto	Média da estimativa de produção "per capita" de lodo (kg.SST/hab.ano)	Média da estimativa de produção "per capita" de lodo (g.SST/hab.dia)
Lagoas de estabilização	6,75	18
Sistemas Aeróbios	14,01	38
Sistemas Anaeróbios	5,48	15
Sistemas Mistos	8,96	25
Média Brasil	11,87	33

Fonte: Machado (2001)

Chagas (1999) destaca que muitas vezes é subestimado o aumento da fertilidade física dos solos através da aplicação dos lodos. Isso porque lodos digeridos aumentam mais a fertilidade física do solo do que a sua fertilidade química, principalmente devido aos seguintes fatores: capacidade de reter a umidade; formação de camada protetora que reduz ou elimina a erosão pelo vento e pela chuva; melhoria das condições de abertura de sulcos no solo; melhoria da estrutura do solo quanto às condições de aeração pelo aumento do volume de vazios; redução das perdas de nutrientes, pela maior dificuldade no escoamento superficial; condições favoráveis para a proliferação de micro e macro organismos desejáveis na agricultura, como as minhocas, por exemplo.

A matéria orgânica presente no lodo está diretamente ligada ao tratamento final que se dá na ETE. Andreoli et al. (1998) cita que os lodos do estado do Paraná oriundos de tratamentos anaeróbios, geralmente tratados em reatores, podem apresentar grandes variações em função da periodicidade de descarga, tornando-o um lodo mais mineralizado, com menor conteúdo de matéria orgânica e nutrientes e umidade variável. Já o aeróbio, apresenta composição mais uniforme. Na tabela 4, são apresentados pelo autor os dados médios da composição média dos tipos de lodo do Estado do Paraná.

Andreoli et al. (2007) concluem que mesmo com a composição variável do lodo, em virtude das diferenças regionais e do próprio processo de geração, o lodo de esgoto possui elevada contribuição nutricional para as plantas e, portanto, para o desenvolvimento de áreas agrícolas. Atualmente, segundo o autor, grande parte do lodo gerado em áreas urbanas no Brasil é destinada a aterros sanitários e apenas cerca de 15% é utilizado na produção agrícola.

Assim sendo, cada região precisa criar normas para otimizar o lodo de esgoto no campo, para não comprometer a saúde do homem, dos animais e das águas subterrâneas e superficiais. É preciso que se façam pesquisas locais quanto ao tratamento de águas residuárias, pois a eficiência do tratamento está ligada ao conhecimento do afluente que chega à ETE (Andreolli, 1998; Bertiol e Camargo, 2006).

Tabela 4 - Composição média dos tipos de lodo do Estado do Paraná. (% em relação ao peso seco).

LODO	N total	P_2O_5 total	K_2O	Ca	Mg	pH	M.O.	C	C/N
aeróbio	4.91	3.70	0.36	1.59	0.60	5.9	69.4	32.1	6
anaeróbio	2.22	0.95	0.34	0.83	0.30	6.1	36.2	20.1	9

Fonte: Andreoli et al. (1998)

Em 29 de agosto de 2006 foi publicada a Resolução CONAMA de nº 375 definindo critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dando outras providências. O principal foco desta resolução é a padronização do lodo de esgoto e sua viabilização agronômica. É por meio dela que são regidas todas as premissas legais para sua disposição final, seja no aproveitamento deste resíduo no campo ou outras alternativas, como aterro sanitário.

Esta Resolução apresenta onze Seções que descrevem todos os critérios, definições e quantidades permitidas no lodo de esgoto ou produto derivado de elementos químicos e biológicos tóxicos, além de toda a normatização para o seu gerenciamento desde a sua saída dos tratamentos das águas residuárias até a sua disposição final.

Abaixo são feitas colocações gerais de cada Seção presente na Resolução citada, sendo que a mesma pode ser consultada integralmente na página da internet do CONAMA[1].

De acordo com a Seção I desta Resolução, as disposições preliminares estabelecem os critérios e procedimentos para o uso, em áreas agrícolas, de lodo de esgoto gerado em

[1] Resolução CONAMA de nº 375 de 29 de agosto de 2006: Disponível em: <http://4ccr.pgr.mpf.gov.br/institucional/grupos-de-trabalho/gt-aguas/resolucoes-conama-docs/res37506.pdf> acesso em 25 de agosto de 2009.

estação de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, visando benefícios à agricultura e evitando riscos à saúde pública e ao ambiente. Nesta Seção são descritas as definições relacionadas ao lodo de esgoto e todos seus componentes intrínsecos, como agentes patogênicos, aplicação no solo, estabilização, tipos variados de lodos entre outras.

Na Seção II, são estabelecidas as frequências de monitoramento do lodo de esgoto ou produto derivado. Essa frequência de monitoramento varia de acordo com a quantidade em toneladas/ano (base seca) aplicada no solo, variando de mensal, bimestral, trimestral, semestral e anual, sendo as quantidades relacionadas respectivamente de até 60, de 60 a 240, de 240 a 1.500, de 1.500 a 15.000 e acima de 15.000 t/ano.

A Seção III estabelece os requisitos mínimos de qualidade do lodo de esgoto ou produto derivado destinado à agricultura, esses requisitos são voltados para as substâncias inorgânicas, como Arsênio, Bário, entre outros; e agentes patogênicos, sendo este último o que define o lodo em duas classes: Lodo A e Lodo B.

O lodo é classificado como A quando as concentrações de Coliformes Termotolerantes ficam <103 NMP / g de ST, Ovos viáveis de helmintos < 0,25 ovo / g de ST e Salmonella ausência em 10 g de ST, enquanto, o lodo B apresenta as seguintes concentrações: Coliformes Termotolerantes <106 NMP / g de ST e Ovos viáveis de helmintos < 10 ovos / g de ST. Sendo ST: Sólidos Totais, NMP: Número Mais Provável, UFF: Unidade Formadora de Foco e UFP: Unidade Formadora de Placa.

A Seção IV define as culturas aptas a receberem lodo de esgoto ou produto derivado, sendo o Artigo 12 desta Seção taxativo quanto à proibição da aplicação do lodo:

> "*É proibida a utilização de qualquer classe de lodo de esgoto ou produto derivado em pastagens e cultivo de olerícolas, tubérculos e raízes, e culturas inundadas, bem como as demais culturas cuja parte comestível entre em contato com o solo*."

A seção V estabelece as restrições locacionais e da aptidão do solo das áreas de aplicação, ou seja, declividade, proximidades aos mananciais de água, áreas de preservação permanente (APPs), Reserva Legal (RL), entre outras.

Na seção VI é descrito todas as normas para o Projeto Agronômico e das Condições de Uso do lodo de esgoto ou produto derivado. Nesta Seção fica estabelecida a criação de uma Unidade de Gerenciamento de Lodo (UGL) sendo administrada por um Engenheiro Agrônomo.

A Seção VII estabelece os critérios para a aplicação do lodo de esgoto ou produto derivado, sendo o teor de Nitrogênio o principal fator limitante a adubação máxima anual em t/ano (base seca), além da quantidade dos compostos orgânicos persistentes presente no lodo.

A Seção VIII cita as normas para o carregamento, Transporte e Estocagem, sendo que a UGL fica responsável pelo procedimento de carregamento e transporte do lodo de esgoto.

A Seção IX descreve os parâmetros do monitoramento das áreas de aplicação do lodo de esgoto ou produto derivado, sendo a UGL responsável pela caracterização do solo que receberá o lodo de esgoto.

Na Seção X são estabelecidas as responsabilidades de todas as partes envolvidas no processo do uso no lodo de esgoto, desde a UGL e seu administrador até o proprietário da área que receber o lodo de esgoto.

Já a Seção XI e última desta Resolução apresentam as disposições finais da mesma, sendo citadas: a fiscalização do monitoramento de todo o processo junto aos Órgãos competentes, e as penas do não cumprimento do disposto nesta Resolução previstas na Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, e no Decreto no 3.179, de 21 de setembro de 1999.

Sabe-se que a disposição de esgoto já vem sendo utilizado na agricultura desde 1.560 na Prússia, por meio de irrigação com efluentes de esgotos (Bertiol e Camargo, 2006). Por ser constituído de material rico em matéria orgânica e nutrientes, o lodo de esgoto se torna um componente viável na utilização para condicionamento físico e fertilização do solo para usos agrícolas, recuperação de áreas degradadas e reflorestamento (Andreolli et al., 1999; Tsutiya et al., 2002). Os fatores limitantes para sua aplicação são disponibilidade de grandes áreas, os riscos de contaminação do solo com metais pesados e agentes patogênicos, a possibilidade de lixiviação de nitrogênio e fósforo, contaminando o lençol freático e as águas superficiais, e a possibilidade da ocorrência de problemas como atração de insetos vetores,

pequenos roedores e liberação de odores quando não houver estabilização suficiente do lodo (Andreolli, 1999).

No Brasil, existem experiências como a de Curitiba, onde foi implantado, em 2000, o programa para a reciclagem agrícola do lodo, conforme descrito por Fernandes et al. (2003). David e Tsutiya (2001) relatam que a utilização do lodo na agricultura, além de ser a alternativa mais equilibrada do ponto de vista ecológico, foi considerada a solução mais econômica para região metropolitana de São Paulo.

Culturas que recebem o lodo de esgoto têm respondido de forma satisfatória; Galdos et al. (2004) constataram aumento na produção no segundo ano da cultura do milho adubado com lodo de esgoto, comparativamente à do tratamento sem aplicação de lodo e com adubação química. Esses mesmos autores também concluíram que o monitoramento da área onde foi aplicado o lodo de esgoto é importante devido ao aumento de alguns metais pesados no solo, como Cu, Ni e Zn, e na planta, com Zn. Fernandes et al. (2003) relatam um aumento de 43% da produção de feijão safrinha e 48% da produção de milho (grãos), quando o lodo foi utilizado no condicionamento dos solos.

Alcântara et al. (2003) compararam experimentos em que foram aplicados lodo caleado e lodo seco ao ar na cultura do algodoeiro herbáceo. Os resultados obtidos com o lodo seco ao ar foram superiores aos do lodo caleado. O máximo rendimento foi de 46,64 g/planta para a dose de 300,4 kg N/ha. Segundo os autores, a secagem do lodo ao ar preserva a matéria orgânica e os nutrientes, ao passo que a caleação favorece a perda de nitrogênio pela volatilização da amônia. Também pode ter ocorrido um aumento excessivo de pH do solo o que teria provocado o desequilíbrio dos nutrientes, tornando-os indisponíveis para as plantas. Em Linhares/ES, o lodo foi utilizado nas culturas de mamão, banana e café, conforme Wanke et al. (2003). Os autores ressaltam a necessidade de realização de um trabalho de sensibilização dos produtores rurais com o intuito de demonstrar a viabilidade da utilização do lodo na agricultura.

De acordo com Andreoli et al. (1999) foram obtidos aumentos de produtividade significativos com o uso de lodo de esgoto no sistema de cultivo de bracatinga consorciado com o milho e feijão no Paraná, sendo o retorno financeiro investido em adubo, quatro vezes maior com o uso do lodo de esgoto quando comparado a adubação mineral.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tanto os compostos orgânicos de lixo quanto o lodo de esgoto para ser utilizado na agricultura deve apresentar todas as características adequadas e atender todas as normas legais do Ministério da Agricultura, sendo no caso do lodo, também as estabelecidas pela Resolução CONAMA de nº 375 de 29 de agosto de 2006.

Para estabelecer novos critérios sobre a reciclagem agrícola do composto de lixo e do lodo de esgoto, são necessárias mais pesquisas sobre o assunto em todas as regiões do Brasil, uma vez que a legislação atual baseia-se muito em legislações estrangeiras, como a Americana e de alguns países da Europa, como França, Alemanha e Holanda.

Fica evidente, portanto, que tanto o lixo orgânico quanto o lodo de esgoto são problemas graves que precisam ser resolvidos, sendo as suas disposições na agricultura e floresta as alternativas mais adequadas do ponto de vista ecológico.

REFERÊNCIAS

ABREU JUNIOR, C.H.; MURAOKA, T.; OLIVEIRA; F.C. Cátions trocáveis, capacidade de troca de cátions e saturação por bases em solos brasileiros adubados com composto de lixo urbano. **Scientia Agrícola**, v.58, n.4, p.813-824, 2001.

ALCÂNTARA, R. L.; KONIG, A.; BELTRÃO, N.E.M.; GHEYI, H.R.; SANTOS, J.W.; CEBALLOS, B.S.O. Desempenho produtivo do algodoeiro herbáceo em função da aplicação de lodo de esgoto como fonte nutricional. In: IV CONGRESSO REGIONAL DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL DA 4ª REGIÃO DA AIDIS/CONE SUL, 2003, São Paulo - SP. **Anais...** IV Congresso Regional de Engenharia Sanitária e Ambiental da 4ª Região da AIDIS/Cone Sul, 2003. p. II-19.

ANDREOLI, C. V.; LARA, A. I. de; FERREIRA, A. C.; BONNET, B. R. P.; PEGORINI, E. S.; R G K I A Gestão dos Biossólidos Gerados em Estações de Tratamento de Esgoto Doméstico. **Engenharia e Construção**, Curitiba, n. 24, 1998.

ANDREOLI, C.; GARBOSSA, L. H. P.; LUPATINI, G.; PEGORINI, E. S.; BILOTTA, P. Gerenciamento do Lodo de Estação de Tratamento de Esgoto no Brasil. **In**: Conferência Latinoamericana de Saneamento, 2007, Cali/Colômbia. Organización Panamericana de la Salud (OPS), 2007.

ANDREOLI, C.V.; FERNANDES, F.; DOMASZAK, S.C. **Reciclagem agrícola do lodo de esgoto:** estudo preliminar para definição de critérios para uso agronômico e de parâmetros para normatização ambiental e sanitária. Curitiba: SANEPAR, 1999. 82p.

BARREIRA, L.P.; PHILIPPI JUNIOR, A.; RODRIGUES, M.S. Usinas de compostagem do Estado de São Paulo: qualidade dos compostos e processos de produção. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 11, n. 4, p. 385-393, 2006.

BERTIOL, W.E.; CAMARGO, O.A. de - **Lodo de esgoto:** impactos ambientais na agricultura. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 347p.

CASTILLO, A.; CECCHI, F.; MATA-ALVAREZ, J. A combined anaerobic-aerobic system to treat domestic sewage in coastal áreas, **Water Reseach**, v. 31, n. 12, p. 3057-3063, 1997.

CHAGAS, W.F. **Estudo de patógenos e metais em lodo digerido bruto e higienizado para fins agrícolas, das estações de tratamento de esgotos da Ilha do Governador e da Penha no estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: FIOCRUZ/ENSP, 1999, 89p. Dissertação de mestrado.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (sem data) – Função de uma Estação de Tratamento de Esgoto. Disponível em: <*www.ceset.unicamp.br/~mariaacm/ST405/Fun%E7%E3o%20de%20uma%20Esta%E7%E3o%20de%20Tratamento%20de%20Esgoto.doc*> Acesso em: 25 de ago. de 2009.

DAVID, A.C.; TSUTIYA, M.T. Secagem térmica de biossólidos na região metropolitana de São Paulo. **In:** Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental; AIDIS. Saneamento ambiental: desafio para o século 21. Rio de Janeiro: ABES, 2001. p.1-7.

EGREJA FILHO, F.B.; REIS, E.L.; JORDÃO, C.P.; PEREIRA NETO, J.T. Avaliação quimiométrica da distribuição de metais pesados em composto de lixo urbano domiciliar. **Química Nova**, v.22, n.3, p.324-328, 1999.

FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Como destinar os resíduos sólidos urbanos**. Belo Horizonte: 1995. 47p.

FERNANDES, F.; WEIGERT, W.; ANDREOLI, C. V. Gestão e controles operacionais aplicados à reciclagem agrícola de biossólidos na região metropolitana de Curitiba. In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE BIOSSÓLIDOS, 1, 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Associación Interamericana de Ingenieria Sanitaria y Ambiental, 2003.

GALDOS, M.V.; MARIA, I.C.; CAMARGO, O.A. Atributos químicos e produção de milho em um latossolo vermelho eutroférrico tratado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 28, n.3, p.569-577, 2004.

GARBOSSA, L.H.P. **Avaliação de sistemas anaeróbio-aeróbio com biomassa imobilizada para remoção de matéria carbonácea e nitrogênio de esgoto sanitário e uso de biogás na desnitrificação**. São Paulo: USP, 2006. Tese de Doutorado.

GRIPPI, S. **Lixo, reciclagem e sua história**: guia para as prefeituras brasileiras. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2001, 134p.

LEGASPE, L.R. Resíduo orgânico urbano e seu reaproveitamento como fonte de alimentação humana, animal, compostagem e energia térmica. **In**: SPADOTTO, C.A.; RIBEIRO, W.C. Gestão de resíduos na agricultura e agroindústria. Botucatu: FEPAF, p. 34-62, 2006.

MACHADO, M. F. de S., **A situação brasileira dos biossólidos**. Campinas: Unicamp, 2001. Dissertação de mestrado.

MANTOVANI, J.R.; FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P.; BARBOSA, J.C. Alterações nos atributos de fertilidade em solo adubado com composto de lixo urbano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.817-824, 2005.

MIRANDA NETO, M.J. **O lixo e as políticas públicas. In: Reciclagem do lixo urbano para fins industriais e agrícolas**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental / SECTAM / Prefeitura Municipal de Belém, p. 19-22, 2000.

OLIVEIRA, F.C.; MATTIAZZO, M.E.; MARCIANO, C.R.; ABREU JUNIOR, C.H. Movimentação de metais pesados em Latossolo adubado com composto de lixo urbano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 12, p. 1787-1793, 2002.

PEREIRA NETO, J.T. **Manual de compostagem: processo de baixo custo**. Belo Horizonte: Unicef, 1996. 56p.

PEREIRA, L.O.M.; TAVARES, A.N. **Proposta para a gestão integrada dos resíduos sólidos em Belém. Belém**: Embrapa Amazônia Oriental / SECTAM / Prefeitura Municipal de Belém, p. 31-41, 2000.

PROSAB – Programa de pesquisa em Saneamento Básico. **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. 97 p.

RODRIGUES, M.S.; SILVA, F.C. da; BARREIRA, L.P.; KOVACS, A. Compostagem: reciclagem de resíduos sólidos orgânicos. **In**: SPADOTTO, C.A.; RIBEIRO, W.C. Gestão de resíduos na agricultura e agroindústria. Botucatu: FEPAF, p. 63-94, 2006.

ROQUE, O.C.C. **Sistemas alternativas de tratamento de esgotos aplicáveis as condições brasileiras** – Rio de Janeiro: Fiocruz, 1997. 153p.

ROS, M., VRTOVSEK, J. Wastewater treatment and nutrient removal in the combined reactor. **Water science and Technology**, v. 38, n. 1, p. 87-95, 1998.

SANTOS, I.C. dos; CASALI, V.W.D.; MIRANDA, G.V. Teores de metais pesados, K e Na, no substrato, em função de doses de composto orgânico de lixo urbano e de cultivares de alface. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 29, n. 3, p. 415-421, 1999.

SILVA, M.E. de C. **Compostagem de lixo em pequenas unidades de tratamento**. Viçosa: CPT, 2000. 82p.

TORRES, P.; FORESTI, E. Domestic sewage treatment in pilot system composed of UASB and SBR reactors. **Water Science and Technology**, v. 44, n. 4, p. 247-253, 2001.

TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; SOBRINHO, P.A.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; MELFI, A.J.; MELO, W.J.; MARQUES, M.O. **Biossólidos na agricultura**. São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES, 2002. 468p.

VENEZUELA, T.C. **Determinação de contaminantes metálicos (metal tóxico) num solo adubado com composto de lixo em área olerícola no município de Nova Friburgo**. Rio de Janeiro: Fundação Oswaldo Cruz, 2001. 79p. Dissertação de Mestrado.

VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. Belo Horizonte: UFMG, 1995, 240p.

WANKE. R., SILVA, G. M., SAN'TANA, T. D., GONÇALVES, R. F. Plano de gerenciamento de lodos para pequenas estações de tratamento de esgoto sanitário no município de Linhares-ES. In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE BIOSSÓLIDOS, 1, 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Associación Interamericana de Ingenieria Sanitaria y Ambiental, 2003.