

A LOGÍSTICA NA DESTINAÇÃO DO LODO DE ESGOTO

Lucia Camilo de Godoy¹

¹ Faculdade de Tecnologia de Americana
lucinhacgodoy@gmail.com

Resumo

Este artigo aborda as possíveis formas de reuso e destinação final do lodo resultante do processo de tratamento esgoto com enfoque logístico. Estudos alertam para a problemática do lodo tendo em vista a crescente demanda de área para disposição final adequada. Atualmente, a região das bacias PCJ (Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá) produz em média 32 mil toneladas mensais, estima-se que em 2020 a produção atinja três mil toneladas diárias, o triplo do que hoje sai das estações. Buscam-se, portanto, soluções para destinação final e reciclagem do lodo de esgoto, transformando-o de rejeito à matéria-prima com valor agregado. Trata-se de pesquisa bibliográfica e documental, que visa aprofundar o conhecimento teórico para possível implantação prática. A análise se aplica tanto à logística reversa quanto à logística verde, área que busca refrear o aumento abusivo da geração de resíduos que prejudicam o meio ambiente e incentiva as ações de reaproveitamento.

Palavras-chave: Lodo de esgoto, biossólidos, disposição final, reuso.

Abstract

This article focuses, in logistics perspective, on possible ways of reusing and finding a final destination for sludge which results from processes of sewage treatment. Studies point to the sludge problem by noticing the increasing demand for area for adequate disposal. Currently, the PCJ basin region (water basins of rivers "Piracicaba, Capivari and Jundiá") produces, on average, 32 thousand tons per month, and it is estimate that, in 2020, production will reach 3 thousand tons per day, three times what is produced today. The goal, then, is to find solutions for final destination and reuse of sewage sludge, transforming it from an unwanted product to a valuable raw material. It's bibliographic and documentary research approach is made in order to increase theoretical knowledge for practical implementation. The analysis applies to reverse logistics as well as to green logistics, a field that targets to encouraging reusing actions and curbing abusive increase of residual generation that damages environment.

Key words: sewage sludge, biosolids, final disposal, reuse.

Introdução

Com o crescimento urbano acelerado, a produção de lodo gerado nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) também aumenta, principalmente no Estado de São Paulo, onde se encontra a maior parte da população urbana do país. Embora esse resíduo represente em média 1% a 2% do volume total do esgoto tratado, seu gerenciamento é bastante complexo e demanda custos elevados (ANDREOLI *apud* MAZIVIERO, 2011).

O processamento e a disposição final do lodo podem representar até 60% do custo operacional de uma ETE (VON SPERLING, 2001). Geralmente para destinação final do lodo são utilizados os aterros sanitários, no entanto, alguns estudos vislumbram sua aplicação como insumo agrícola, fertilizante ou mesmo na construção civil.

Diante da necessidade de preservação ambiental ao se destinar corretamente os resíduos sólidos resultantes do tratamento de esgoto, surge o desafio de encontrar formas economicamente viáveis e ecologicamente seguras para reutilizar o lodo, reintegrando um produto de descarte ao ciclo produtivo.

1 Logística reversa e logística verde

A logística reversa preocupa-se principalmente com o retorno dos resíduos de pós-consumo e pós-venda ao ciclo produtivo, agregando-lhes valor econômico, logístico e ambiental. É muitas vezes confundida com a logística verde, porém enquanto a reversa busca meios de reinserir ao ciclo de negócios os produtos já descartados, a logística verde planeja e diminui impactos ambientais da logística comum (RESENDE, 2004).

A logística verde adiciona a todas as atividades logísticas uma preocupação ecológica, como, por exemplo, fabricar garrafas plásticas mais finas utilizando menos matéria prima ou dar preferência ao transporte em lotes cheios. Algumas ações da logística verde podem não reduzir tanto os custos, mas os consumidores estão a cada dia mais dispostos a dar preferência a produtos que indiquem a responsabilidade ecológica do fabricante. De acordo com o *Green Logistics Forum*, realizado na Europa em 2010, as atividades logísticas devem estar equilibradas nos seguintes pilares: econômico/financeiro, social e meio ambiente, como demonstrado na Figura 1:

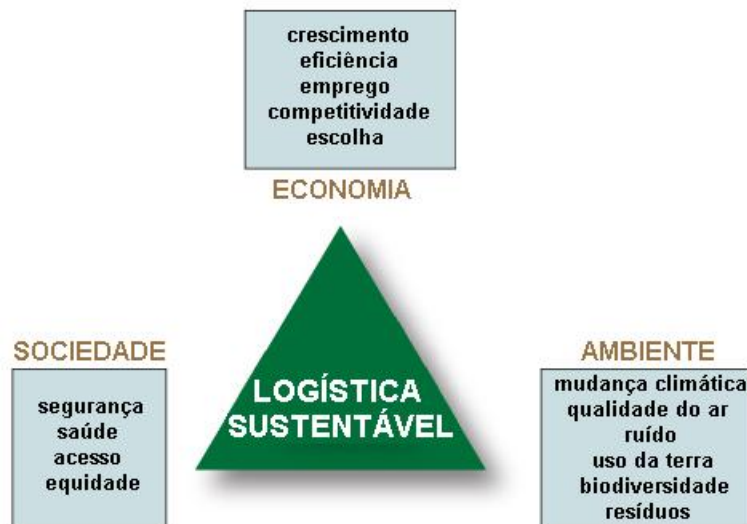


Figura 1 – Conceito de logística verde.
Fonte: MCKINNON *et al.* (2010)

Atualmente, sustentabilidade não pode ser encarada apenas como uma ideia a ser desenvolvida, ela deve traduzir-se em ações imediatas e concretas para que seja possível existir um futuro, no mínimo, razoável. Neste cenário, surge a Política Nacional de Resíduos Sólidos que direciona a responsabilidade da destinação ambientalmente adequada aos geradores dos resíduos e fixa prazo até 2014 para que a situação dos aterros esteja resolvida. Não será mais

uma questão de escolha, mas uma determinação legal. Portanto, as estações de tratamento de esgoto precisam adequar-se às novas exigências o quanto antes.

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. 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.

Considerando que um dos objetivos principais dessa Lei é o reaproveitamento dos resíduos sólidos, um plano microrregional que integre as ações de municípios limítrofes pode diminuir custos para o reaproveitamento adequado do lodo de esgoto. Principalmente porque o art. 36, alínea V, deixa claro que o titular dos serviços públicos de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos será responsável por “implantar sistema de compostagem para resíduos sólidos orgânicos e articular com os agentes econômicos e sociais formas de utilização do composto produzido” (BRASIL, 2010).

3 Lodo de esgoto

A quantidade gerada de lodo de esgoto cresce proporcionalmente ao aumento dos serviços de coleta e tratamento de esgoto, que, por sua vez, deve acompanhar o crescimento populacional. Em 2010, estimativas apontavam uma produção nacional de 150 a 220 mil

toneladas de matéria seca por ano, considerando que o tratamento de esgoto atingia apenas 30% da população urbana (PEDROZA *et al.*, 2010).

Em média, estima-se que cada ser humano produza cerca de 120g de sólidos secos diários lançados nas redes de esgoto (METCALF E EDDY, 1991, *apud* NUVOLARI *et al.*, 2011). O esgoto, quando não contém resíduos industriais, é basicamente composto por 99,87% de água, 0,04% de sólidos sedimentáveis, 0,02% de sólidos não sedimentáveis e 0,07% de substâncias dissolvidas (NUVOLARI *et al.*, 2011).

O tratamento de esgoto por processo biológico resulta em dois tipos de resíduos: o efluente líquido pronto para ser devolvido ao meio ambiente e o lodo (primário e secundário) que é um material pastoso com grande concentração de microorganismos, sólidos orgânicos e minerais (NUCCI *et al.*, 1978).

O aproveitamento do lodo já é feito em outros países há bastante tempo, sendo o reuso agrícola o método mais empregado, no Brasil as alternativas de reuso ainda são pouco utilizadas e a destinação mais comum é o aterro sanitário. A Figura 2 ilustra a atual distribuição da destinação do lodo na região da bacia dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (PCJ):

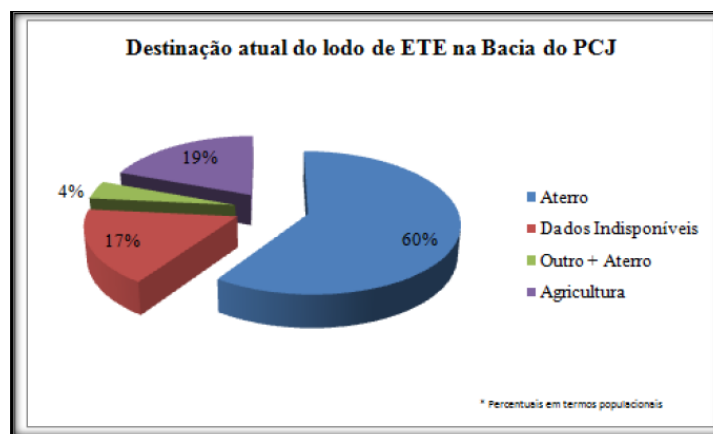


Figura 2 - Destinação atual do lodo de ETE na bacia do PCJ.
Fonte: BIOCICLO (2012).

O artigo 3º da 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 da atratividade de vetores, para que possam ser utilizados na agricultura.

Os tratamentos necessários envolvem processos de adensamento, desaguamento, estabilização e higienização, dependendo do destino final. (VON SPERLING, 2001). O adensamento e o desaguamento visam principalmente à redução do volume de água e a redução do volume do lodo, respectivamente. Estabilizar o lodo tem por finalidade reduzir a quantidade de patógenos, eliminar os maus odores e inibir, reduzir ou eliminar o potencial de putrefação.

A higienização busca garantir um nível de patogenicidade que, ao ser 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 transportado. O tempo para conclusão da higienização depende do tipo de processo adotado pela unidade de gerenciamento e de sua eficiência, variando de zero, na secagem térmica, a 30/60 dias na caleação.

O processo de caleação 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 numa reação exotérmica que inativa até 90% dos organismos patogênicos e acelera o processo de evaporação, podendo atingir temperaturas de até 80°C.

4 Transporte, movimentação e armazenagem do lodo

Como em toda operação logística, os custos com transporte têm grande influência sobre os custos totais da operação. No caso do lodo, os custos com movimentação e transporte estão diretamente ligados ao seu teor de umidade. A redução de 98% para 85% do teor de umidade do lodo reduz o volume de carga a ser transportada a apenas 13% do volume original (VON SPERLING, 2001). A Tabela 1 indica a variação do teor de umidade média, de acordo com o tipo de biossólido produzido (termo usado para o lodo tratado que pode ser usado principalmente na agricultura) e a significativa redução do número de caminhões necessários para o transporte de 6 ton. de lodo m.s. (matéria seca).

Tabela 1 - Quantidade de biossólidos e número de viagens para transporte de 6 ton. (m.s.)

Tipo Biossólido	Teor de umidade (médio)	Quantidade biossólido úmido (toneladas)	Número de caminhões caçamba (12 ton.)
Lodo Bruto	98,00%	300	25
Lodo Adensado	92,00%	75	6,25
Prensa Desaguadora	85,00%	40	3,3
Centrífuga	70,00%	20	1,67
Filtro Prensa	60,00%	15	1,25
Secagem térmica	10,00%	6,67	0,56

Fonte: VON SPERLING (2001).

O custo de transporte é um importante parâmetro para a viabilidade econômica do uso agrícola do lodo de esgoto. Quanto maior o volume transportado por viagem, menor o custo unitário de transporte (VON SPERLING, 2001).

Antes de ser enviado ao destino final, o lodo tem que ser transportado dentro da própria estação de tratamento de esgoto (ETE). Segundo Von Sperling (2001) para essa movimentação,

geralmente, são utilizadas esteiras transportadoras ou caçambas do tipo *Brook* com capacidade média de 5m³ cada, acopladas a caminhões com dispositivos hidráulicos de carga e descarga.

O carregamento de caminhões pode ser realizado com pás carregadeiras de rodas ou retroescavadeiras e devem possuir carrocerias totalmente vedadas, serem equipados com sistema de trava que impeça a abertura da tampa traseira, possuir lona plástica para cobertura, cone de sinalização, pá ou enxada e luvas de látex.

Além de respeitar a capacidade volumétrica da caçamba transportadora, outros cuidados devem ser tomados no transporte de biossólidos, lembrando que é de total responsabilidade da empresa geradora do resíduo. Deverão ser observadas também as condições das estradas a percorrer, distância, tipos de veículos, limpeza dos pneus ou de qualquer outra parte do veículo ao sair da ETE, não carregar nem transportar em dias chuvosos se a operação não puder ser realizada em ambiente e caminhões cobertos.

O art. 19, da Resolução CONAMA 375/2006 determina que a Unidade de Gerenciamento de Lodo (UGL) é responsável pelo carregamento e transporte do biossólido. Estabelece que para retirá-lo da ETE, o motorista do caminhão deve apresentar um Termo de Responsabilidade e Formulário de Controle e Retirada devidamente preenchidos. Os documentos são emitidos pela própria UGL e deverão ser mantidos em arquivo para que possam ser apresentados aos órgãos fiscalizadores sempre que forem solicitados (BRASIL, 2004). Essa também é uma exigência do órgão ambiental Companhia Estadual de Tecnologia em Saneamento Básico (CETESB) que serve para rastrear o resíduo, identificando o gerador, o transportador e o destino do lodo.

Lodos úmidos com no máximo 5% de concentração de sólidos são transportados em caminhões tanque, do tipo “limpa-fossa” e os sólidos utilizam caminhões tipo basculante com capacidade entre 10 a 16 metros cúbicos (ou aproximadamente 8 a 12,8 toneladas de lodo por viagem), caçamba bem vedada e travada para evitar fuga do material, coberta por lona.

O uso de caminhões do tipo semirreboque com capacidade de transporte entre 20 a 25m³/viagem possibilitaria uma redução nos custos de transporte por tonelada (CANZIANI, 1999). O transporte do lodo deve ser bem gerenciado para evitar transtornos durante o percurso, tais como desconforto devido a odores desagradáveis tanto para o motorista, quanto para a comunidade por onde passar.

Enquanto permanecer na unidade gerenciadora, o lodo deverá ser armazenado em local coberto para evitar encharcamento e diminuir o problema de odor. O local deve possuir piso de concreto armado ou asfalto, impermeabilizado de modo a evitar a infiltração do lodo no solo e estruturas de coleta de chorume e de águas pluviais (VON SPERLING, 2001). O manual de estocagem de biossólidos da Agência de Proteção Ambiental Norte Americana (USEPA) considera necessário o investimento em obras adequadas, como galpões com piso de concreto ou asfalto e cobertura (USEPA, 2000, *apud*, SANTOS; JOHN, 2007).

No Brasil, a Resolução CONAMA 375/2006, seção VIII, preconiza que a estocagem do lodo numa propriedade deve ser feita em local com declividade máxima de até 5%, com distância mínima de segurança de rios, poços, lagos, minas e afins que varia de 15 a 100m e por período máximo de 15 dias. Também proíbe que a estocagem seja feita diretamente sobre o solo. O manuseio e carregamento de caminhões na área de estocagem poderão ser feitos com pás carregadeiras de rodas ou retroescavadeiras com caçambas frontais (BRASIL, 2004).

5 Principais métodos de descarte do lodo

A preocupação com o descarte correto do lodo de esgotos é algo relativamente recente no Brasil. Até poucos anos, a única referência ao lodo nos projetos das ETEs, após o tratamento, era uma seta e as palavras “disposição final”, sem identificar onde seria o descarte e nem como seria feito. Dessa forma, as empresas gerenciadoras de saneamento básico procuravam apenas se livrar do resíduo, sendo as formas mais utilizadas o descarte da torta de lodo em aterros sanitários – *landfill*, e o descarte do lodo líquido, bombeado através de dutos até alto-mar – descarga oceânica (NUVOLARI *et al.*, 2011).

Com a crescente preocupação de preservação do meio ambiente a descarga oceânica não é mais utilizada, sendo inclusive proibida nos EUA e na Europa. Os processos que englobam a disposição final de 90% do lodo produzido no mundo são: incineração, disposição em aterros e uso agrícola. A Tabela 2 apresenta dados comparativos de custos da disposição final de lodo:

Tabela 2 – Comparação dos custos da disposição final do lodo de esgoto

Alternativas de disposição final	Custo (US\$/t)
Oceânica	12 a 50
Aterros Sanitários	20 a 60
Incineração	55 a 250
Reciclagem Agrícola	20 a 125

Fonte: ANDREOLI *et al.* (2006).

6 Reuso do lodo

Diante do progressivo aumento populacional, os problemas ambientais resultantes da geração de resíduos da atividade humana exigem ações que viabilizem o equilíbrio entre consumo e reuso. No caso do lodo de esgoto não é diferente, pois além do grande volume que exigirá cada vez áreas maiores para descarte existe ainda o problema ambiental que a ausência de tratamento adequado pode causar à área onde é depositado.

Outro ponto importante é que o lodo pode deixar de ser apenas um problema sobre como e onde ser descartado para se tornar um produto que pode reduzir o uso de recursos naturais em

processos produtivos, beneficiar solos degradados, entre outras aplicações que vão agregar valor a algo que até então gerava custos para ser dispensado.

No Brasil, o descarte ainda é normalmente realizado em aterros sanitários, o que agrava o problema com lixo urbano e vai contra a Política Nacional de Resíduos Sólidos, que prevê a redução de resíduos sólidos urbanos úmidos dispostos em aterros sanitários.

No item “Agricultura Sustentável” da Agenda 21, programa de ação resultante da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento realizada no Rio de Janeiro em 1992, a utilização do lodo de esgotos na recuperação de solos empobrecidos é incentivada, mediante a garantia da inexistência de impactos ambientais negativos.

A aplicação do lodo na agricultura parece ser a forma mais difundida de utilização do resíduo. No entanto, outras formas de aproveitamento também estão sendo estudadas:

- Reaproveitamento Industrial
 - Fabricação de tijolos e cerâmicas;
 - Produção de agregado leve para construção civil;
 - Produção de cimento.
- Reaproveitamento Agrícola
 - Fertilizante orgânico e compostagem;
 - Recuperação de solos degradados.

A incorporação do lodo de esgotos na fabricação de produtos cerâmicos, como telhas, tubos, tijolos e lajotas, tem-se mostrado uma alternativa viável de destinação adequada. O lodo é adicionado ao processo durante a etapa de preparação da massa cerâmica e auxilia na correção de umidade. Isso pode ser feito manualmente, com pás carregadeiras, ou em olarias mais tecnificadas, utilizando-se equipamentos apropriados (ANDREOLI *et al.*, 2006).

Pesquisas demonstram que é possível utilizar o lodo de esgoto como substituto a agregados leves na fabricação de cimentos e concretos, bem como peças feitas desses materiais. Os agregados leves seriam as areias, pequenas pedras, etc.

Adicionar cinzas do lodo ao processo produtor de cimento reduz o custo de produção e, como o cimento é o componente mais caro do concreto, também reduz os custos deste item indispensável na construção civil. É possível substituir 35% do consumo de cimento Portland por lodo calcinado entre temperaturas de 700°C a 800°C (MORALES *apud* PEREIRA, 2012).

No Brasil, a técnica de adicionar lodo de esgoto na fabricação de cimento Portland ainda não é muito utilizada. Nos EUA, porém, a operação é realizada com frequência por diversas empresas de saneamento. Não apenas nos EUA, mas também em outros países o uso do lodo de esgoto na fabricação de cimento Portland é bem comum. Em Cingapura, cinzas do lodo de esgoto adicionadas à massa asfáltica foram utilizadas com sucesso na construção de estradas (AZIZ & KOE *apud* ANDREOLI *et al.*, 2006).

Na opinião de Pegorini (1999), o reaproveitamento agrícola demonstra ser a melhor opção de reuso do lodo, pois reduz a exploração de recursos naturais para fabricação de fertilizantes e proporciona os melhores resultados econômicos. No entanto, a qualidade do lodo utilizado na agricultura deve ser assegurada, de modo que promova melhorias às qualidades físicas, químicas e biológicas do solo, sem risco de contaminações, observando-se as exigências da Resolução Conama 375/2006 (BRASIL, 2004).

Os biossólidos apresentam em sua constituição quantidades significativas de nutrientes essenciais ao desenvolvimento das plantas, sendo o nitrogênio e o fósforo os que normalmente se apresentam em maior quantidade. Considerando que o nitrogênio mineral presente no solo é logo absorvido ou perdido para a atmosfera, a matéria orgânica representa uma fonte contínua de nitrogênio, capaz de atender as demandas nutricionais das plantas e alcançar a máxima produção das culturas (VON SPERLING, 2001).

A disposição do lodo em áreas degradadas, por sua composição química, consegue aumentar a capacidade de infiltração e retenção de água e a aeração do solo (TSUTIYA *apud* SKORUPA *et al.*, 2006). Além disso, pesquisas apontam que o gasto com o transporte de lodo será inferior ao gasto com compra de fertilizantes, desde que a distância entre o fornecedor do lodo e a área degradada não seja superior a 150 quilômetros.

7 Viabilidade técnica e econômica

Implantar uma Unidade de Gerenciamento de Lodo (UGL) dentro de uma ETE requer a análise da estrutura física e da capacidade operacional, levando em consideração o tipo de destinação final escolhida. As características dos efluentes recebidos influenciarão diretamente nas etapas de tratamento necessárias e, conseqüentemente, na quantidade e na qualidade de lodo gerado. Sendo assim, é necessário conhecer as características dos efluentes recebidos para definir a melhor forma de destinação final do lodo e prever os custos de cada etapa.

Se a reciclagem agrícola for a destinação final escolhida, será preciso definir onde o lodo será aplicado, saber se existem áreas próximas com culturas onde a legislação permita a aplicação de biossólidos. A distância entre a ETE e a área agrícola onde o lodo será aplicado é fator determinante no custo da operação e o teor de sólidos determinará o tipo de transporte mais adequado.

A viabilidade técnica do gerenciamento do lodo depende da análise de diversos fatores como: áreas disponíveis (para processamento e aplicação), instalações existentes e adequações necessárias, tipo de transporte e manuseio, existência de mão de obra especializada ou treinada e a gestão e controle da UGL.

Realizada a análise de viabilidade técnica torna-se possível a análise de viabilidade econômica. Essa análise definirá critérios de aproveitamento e adaptação dos materiais, instalações e equipamentos já existentes para que os custos com novas aquisições ou

construções sejam minimizados. Alguns equipamentos e materiais de manuseio necessários para o gerenciamento do lodo já estão presentes nas Estações de Tratamento de Esgotos convencionais.

De acordo com Von Sperling (2001), os custos devem ser divididos em custos de processamento do lodo, transporte e disposição, considerando para cada um destes itens, os custos de investimento, operacionais e administrativos. Os custos de investimento são basicamente compostos pelos equipamentos a serem utilizados; pelos materiais de manuseio (bombas, esteiras, caminhões, tratores, etc); os custos por m² de terreno do local de instalação da UGL; os gastos com obras civis e os gastos com instalações elétricas.

Portanto, após a análise de viabilidade técnica para definir o tipo de processamento e de destinação final, se faz necessária uma análise logística do projeto.

Considerações Finais

Este artigo demonstra que a necessidade de encontrar alternativas seguras para o descarte do lodo de esgoto vai além das obrigações legais e se torna cada vez mais urgente. Considerando o crescimento urbano acelerado e o conseqüente aumento do volume de lodo gerado nas Estações de Tratamento de Esgotos, as ações relacionadas à sustentabilidade e à responsabilidade ambiental estão interligadas e definirão hoje a qualidade de vida das gerações futuras. O desafio de encontrar o equilíbrio entre produção, consumo e descarte deixou de ser um ideal ecológico e passou a ser medida de autopreservação.

Com a homologação de leis, como a Política Nacional de Resíduos Sólidos, que buscam a não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e destinação final ambientalmente segura dos resíduos sólidos e da crescente demanda de área para descarte, as Estações de Tratamento de Esgoto devem reestruturar-se e incluir em suas atividades o processamento do lodo para fins de reuso. Ficou claro que, para isso, as empresas de saneamento também precisam estabelecer critérios para o recebimento de seus efluentes, já que as características do esgoto recebido determinarão as possibilidades de reuso.

Conclui-se que a reutilização do lodo de esgoto após o processamento adequado pode apresentar diversos benefícios ecológicos que justificam os custos do tratamento. Para isso, é necessário que a forma de reuso seja escolhida levando-se em consideração as limitações da Unidade Gerenciadora de Lodos ou das Estações de Tratamento de Esgoto e que as etapas do tratamento sejam executadas com responsabilidade, a fim de garantir a qualidade do produto e a segurança no reuso.

Confirma-se que os itens que mais encarecem a reutilização do lodo, principalmente no que diz respeito à disposição final, são o transporte e o manejo. Através de uma visão sistêmica e planejada é possível identificar os veículos e equipamentos mais adequados em cada etapa do processo, buscando alcançar um sistema logístico organizado e eficaz.

Sendo assim, para destinar corretamente o lodo de esgoto, além do conhecimento técnico sobre os tratamentos envolvidos, são necessários também conhecimentos logísticos. O emprego da logística para planejar, manusear, armazenar e transportar os resíduos é essencial para o sucesso do processo. Os conceitos de logística reversa estão presentes em toda a cadeia de reuso do lodo, bem como os preceitos da logística verde que se preocupa, entre outros aspectos, com a ausência de reaproveitamento e com o crescente aumento da emissão de resíduos ao meio ambiente.

Conclui-se, diante de todo o exposto, que conhecer os processos logísticos para identificar as alternativas existentes em equipamentos, materiais e instalações é fator determinante para garantir a máxima eficiência do processo com o mínimo custo. Da mesma forma, conhecer e aplicar os conceitos relativos à logística reversa e à logística verde é igualmente necessário para que se alcance o equilíbrio entre economia, meio ambiente e sociedade.

Referências

ANDREOLI, C.V. *et al.* **Alternativas de uso de resíduos do saneamento.** Rio de Janeiro: Abes, 2006. 417 p.

BIOCICLO; CONSÓRCIO INTERMUNICIPAL DAS BACIAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ. **Estudo de viabilidade para instalação e operação de centrais de lodos nas Bacias PCJ.** Americana/SP. 2011. Disponível em: <<http://www.agua.org.br/apresentacao-arquivos.aspx?id=73>>. Acesso em: 29 ago. 2012. 12h20.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Comissão de Políticas de Desenvolvimento Sustentável e da Agenda 21 Nacional. **Agenda 21 brasileira: resultado da consulta nacional.** Brasília: Governo Federal, 2004. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/estruturas/agenda21/arquivos/consulta2edicao.pdf>>. Acesso em: 25 abr 2013. 11h45.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 375 de 29 ago 2006.** Brasília: Governo Federal, 2006. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>>. Acesso em: 20 abr 2013. 12h30.

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/l12305.htm>. Acesso em: 10 out 2012. 14h20.

BRASIL. **Decreto 7.404, de 23 de dezembro de 2010.** Brasília: Governo Federal, 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2010/Decreto/D7404.htm>. Acesso em: 10 out 2012. 14h35.

CANZIANI, J.R.F. *et al.* **Análise econômica para reciclagem agrícola do lodo de esgoto da ETE-Belém.** Sanare Rev. Técnica da Sanepar. Curitiba/PR: 1999. v.11. n 11. Disponível em: <<http://www.sanepar.com.br/sanepar/sanare/v11/Editorial/editorial.html>>. Acesso em: 05 abr 2013. 13h40.

MAZIVIERO, G.T. **Avaliação do potencial citotóxico, genotóxico e mutagênico de lodo de esgoto por meio dos sistemas – teste *allium cepa* e *tradescantia pallida***. 2011. 106f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas). UNESP/Rio Claro/SP/2011.

MCKINNON, Alan *et al.* (Orgs.). **Green logistics: improving the environmental sustainability of logistics**. 2010. Disponível em: <<http://www.greenlogistics.org/>>. Acesso em: 05 fev 2013. 09h10.

NUCCI, N.L.R.; COSTA e SILVA, R.J.; ARAÚJO, J.L.B. **Tratamento de esgotos municipais por disposição no solo e sua aplicabilidade no Estado de São Paulo**. São Paulo: Fundação Prefeito Faria Lima - Centro de Estudos e Pesquisas de Administração Municipal, 1978. 70p.

NUVOLARI, A. *et al.* **Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola**. 2ª ed. São Paulo: Blucher, 2011. 565p.

PEDROZA, M.M. *et al.* **Produção e tratamento de lodo de esgoto – uma revisão**. Revista Liberato. v.11, n.16, p. 89-188, jul/dez. 2010. Disponível em: <<http://www.liberato.com.br/upload/arquivos/0121121014101925.pdf>>. Acesso em: 10 mar 2013. 08h25.

PEGORINI, E.S. *et al.* **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura**. Curitiba: SANEPAR, 1999. 92p.

PEREIRA, K.L.A. **Estabilização de um solo com cimento e cinza de lodo para uso em pavimentos**. 2012. 102f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil). UFRN/Natal/RN/2012.

RESENDE, E.L. **Canal de Distribuição Reverso na Reciclagem de Pneus: Estudo de Caso**. 2004. 120f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Industrial/Rio de Janeiro/2004.

SANTOS, A.D.; JOHN, V.M. **Reciclagem do lodo de esgoto da região metropolitana de São Paulo – RMSP**. São Paulo: EPUSP, 2007. 19f. (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil). USP/São Paulo/SP/2007.

SKORUPA, L.A. **Áreas de Preservação Permanente e Desenvolvimento Sustentável** [base de dados na internet]. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente. dez 2003. Disponível em: <<http://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/busca?b=pc&busca=autoria:%22SKORUPA,%20L.%20A.%22&qFacets=autoria:%22SKORUPA,%20L.%20A.%22&biblioteca=vazio&sort=&paginaAtual=2>>. Acesso em: 22 abr 2013. 13h15.

VON SPERLING, M. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG; Companhia de Saneamento do Paraná, 2001. 484p.