

# Caracterização de biossólido e potencial de uso na produção de mudas de *Schinus terebinthifolia* Raddi

*Characterization of biosolids and potential use in the production of seedlings of Schinus terebinthifolia Raddi*

Alan Henrique Marques de Abreu<sup>1\*</sup> , Jorge Makhouta Alonso<sup>1</sup> ,  
Lucas Amaral de Melo<sup>1</sup> , Paulo Sérgio dos Santos Leles<sup>1</sup> , Gabriel Rocha dos Santos<sup>1</sup> 

## RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo caracterizar técnica, química e biologicamente o biossólido proveniente da estação de tratamento de esgoto (ETE) de Alegria, Rio de Janeiro, e inferir sobre sua aptidão como componente do substrato para produção de mudas de *Schinus terebinthifolia* Raddi (aroeira pimenteira). Foram coletadas amostras significativas do biossólido, submetidas às análises química e biológica em um laboratório especializado, atendendo às especificações da legislação vigente (Resolução CONAMA nº 375/2006). No viveiro, foram testadas quatro diferentes formulações de substrato, compostas de diferentes proporções volumétricas de substrato comercial (SC) e biossólido (BIO), consistindo nos seguintes tratamentos: T1 (100% SC + 0% BIO); T2 (75% SC + 25% BIO); T3 (50% SC + 50% BIO); e T4 (0% SC + 100% BIO). O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com 4 tratamentos, 4 repetições de 18 mudas. O biossólido atendeu às especificações da legislação quanto à sua composição. Aos 120 dias após a semeadura foram mensuradas a altura da parte aérea e o diâmetro do coleto, observando que o crescimento das mudas foi diretamente proporcional à concentração de biossólido no substrato. O biossólido da ETE Alegria atende à legislação de uso agrícola e mostrou ser viável tecnicamente para a produção de mudas de aroeira pimenteira.

**Palavras-chave:** lodo de esgoto; substrato; aroeira.

## ABSTRACT

This study aimed to technically, chemically and biologically characterize the biosolids from the Sewage Treatment Plant (STP) of Alegria, Rio de Janeiro, Brazil, and infer about their aptitude as a substrate component for the seedlings production of *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan. Significant samples of biosolid were collected and submitted to chemical and biological analysis in a specialized laboratory, according to the specifications of the current Brazilian law (CONAMA Resolution nº 375/2006). In the forest nursery, four different formulations of substrate, composed by different volumetric proportions of commercial substrate (CS) and biosolids (BIO) were tested, consisting of the following treatments: T1 (100% SC + 0% BIO); T2 (75% SC + 25% BIO); T3 (50% SC + 50% BIO); e T4 (0% SC + 100% BIO). The experimental design was CRD, each of the four treatments having four replications of eighteen seedlings. The biosolid met the legal specifications concerning its composition. Fifty days after sowing, shoot height and stem diameter were measured. It was observed, for both characteristics, that seedling growth was directly proportional to the concentration of sewage sludge in the substrate. Finally, the Alegria ETE's biosolid attends the legislation and shows a technically viable alternative for the production of angico vermelho seedlings.

**Keywords:** sewage sludge; substrate; aroeira.

## INTRODUÇÃO

Atualmente um dos maiores passivos ambientais urbanos no Brasil corresponde à disposição final dos resíduos sólidos urbanos, dentre eles encontra-se o lodo de esgoto, que é o resíduo gerado durante o tratamento de esgotos sanitários. É inevitável o incremento na produção de lodo de esgoto, pois existe atualmente uma pressão por políticas públicas que visem ao aumento da rede de coleta e tratamento de resíduos. Além disso, a geração do lodo é uma característica inerente ao processo de tratamento de esgotos e tende a um crescimento proporcional ao da população urbana. Portanto surge a necessidade

de dispor os lodos de esgoto de forma adequada à proteção do meio ambiente e à saúde da população (BRASIL, 2006).

O lodo de esgoto devidamente tratado e estabilizado passa a ser denominado biossólido e constitui uma fonte de matéria orgânica e de nutrientes para as plantas (ABREU *et al.*, 2017c). Sua reciclagem agrícola e florestal pode ser uma alternativa interessante, tanto para os geradores de biossólido, que passam a dispor seu resíduo de forma mais sustentável, como para os receptores, que passam a receber um material rico em nutrientes e matéria orgânica, em quantidade e com baixo custo.

<sup>1</sup>Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - Rio de Janeiro (RJ), Brasil.

\*Autor correspondente: alanhenriquem@gmail.com

Recebido: 12/12/2012 - Aceito: 15/05/2018 - Reg. ABES: 108265

Na área florestal, o biossólido pode ser aproveitado de diferentes formas, desde substrato para produção de mudas florestais, condicionador de solos para recuperação de áreas degradadas, até como fertilizante em plantios comerciais, na restauração florestal e em plantios de arborização urbana (TRAZZI *et al.*, 2014; SANTOS *et al.*, 2014; BONINI *et al.*, 2015; MARRON, 2015; DONOSO *et al.*, 2016; ABREU *et al.*, 2017a; CABREIRA *et al.*, 2017; GUERRINI *et al.*, 2017). O uso como substrato para produção de mudas florestais pode ser uma alternativa interessante, tendo em vista o alto custo dos substratos orgânicos disponíveis atualmente no mercado. Uma das principais vantagens do biossólido como substrato é o melhor aproveitamento dos nutrientes pelas plantas, visto que parte deles está na forma orgânica e é liberada gradativamente, suprimindo as necessidades nutricionais das mudas de forma adequada durante o ciclo de produção (ASSENHEIMER, 2009; ABREU *et al.*, 2017c).

O biossólido normalmente apresenta uma composição variável quanto à matéria orgânica, disponibilidade de nutrientes e metais pesados e riscos biológicos, principalmente em função da bacia de esgotamento da estação de tratamento de esgoto (ETE) e do tipo de tratamento empregado (ABREU *et al.*, 2017c). Sendo assim, torna-se necessário realizar estudos que visem à reciclagem desse resíduo de forma segura para o meio ambiente e para a saúde da população.

Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo caracterizar técnica, química e biologicamente o biossólido proveniente da ETE Alegria, Bairro Caju, Rio de Janeiro, de acordo com a resolução CONAMA nº 375/2006, e inferir sobre sua aptidão como componente de substratos para produção de mudas de *Schinus terebinthifolia* Raddi.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O biossólido utilizado no trabalho é proveniente da ETE Alegria, localizada no bairro do Caju, Rio de Janeiro. O material foi disponibilizado pela Companhia Estadual de Águas e Esgoto do Rio de Janeiro (CEDAE). O esgoto tratado pela ETE Alegria é derivado de áreas urbanas domiciliares e comerciais.

Na ETE Alegria, o processo de tratamento inicia-se com a passagem dos resíduos constituídos de apenas 1% de sólidos por decantadores primários para remoção da água. Em seguida é direcionado a adensadores, de onde sai com teor de 5% de sólidos, indo então para biodigestores anaeróbios onde ocorre redução de volume do material, da concentração de patógenos, do risco de putrefação e da emissão de odores. Na sequência o lodo de esgoto passa por centrifugas, resultando em um material com teor de sólidos de 30%, depois é conduzido ao secador térmico, onde a temperatura pode alcançar 200°C, e o lodo sai com teor de sólidos de 80 a 90%. O lodo utilizado no experimento não passou pela secagem térmica, sendo encaminhado após a centrifugação para um local seco e arejado para secagem natural por solarização por

45 dias, quando atingiu em torno de 75% de sólidos. Após a secagem natural, o material foi triturado com auxílio de um triturador orgânico Trapp® modelo Tr 200, para homogeneização das partículas.

Para a caracterização e avaliação do potencial agrícola do biossólido cedido pela CEDAE, foi coletada uma amostra representativa do material de acordo com as normas contidas no Anexo IV da Resolução nº 375/2006 do CONAMA (BRASIL, 2006). Em seguida a amostra foi enviada para o Laboratório TASQA Serviços Analíticos Ltda, localizado na cidade de Paulínia, São Paulo, especializado na área de análise de resíduos sólidos.

O material foi analisado química e biologicamente de acordo com os procedimentos adotados pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (U.S. EPA) SW-846, recomendados pela Resolução nº 375/2006 do CONAMA (BRASIL, 2006). Os parâmetros avaliados foram: potencial agronômico; substâncias inorgânicas e orgânicas potencialmente tóxicas; indicadores bacteriológicos e agentes patogênicos; e estabilidade.

O potencial agronômico é determinado com base na concentração de macronutrientes no biossólido. Foram realizadas as seguintes determinações: N total, N Kjeldahl, N amoniacal, N nitrito/nitrato, P total, Ca, Mg, S, Na. Os sólidos voláteis e totais no biossólido foram analisados de acordo com os procedimentos adotados pela U.S. EPA SW-846, método 3051 (USEPA, 1994). A análise de carbono orgânico foi realizada por via úmida, segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1997).

A caracterização química do biossólido quanto à presença de substâncias inorgânicas refere-se à composição em relação à presença de metais pesados e de micronutrientes. Os elementos avaliados foram: arsênio, bário, cádmio, chumbo, cobre; cromo, mercúrio, molibdênio, níquel, selênio e zinco. Para a determinação dos metais presentes no biossólido foram utilizadas as referências contidas na norma U.S. EPA SW-846, método 3051 (USEPA, 1994), com determinação por espectrometria de emissão atômica (ICP-AES), que prevê a digestão de 0,5 a 1,0 g de material em 10 mL de HNO<sub>3</sub>, concentrado em forno micro-ondas com tubos de Teflon à pressão de 0,76 MPa por 10 minutos.

Foram avaliadas também as substâncias orgânicas com potencial de risco à saúde humana, especificadas no anexo V da Resolução CONAMA nº 375 (BRASIL, 2006), que se enquadram nos grupos dos benzenos clorados, ésteres de ftalatos, fenóis não clorados e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos.

A caracterização microbiológica do biossólido quanto à presença de coliformes termotolerantes, ovos viáveis de helmintos e *Salmonella* sp. correspondem à presença de patógenos nocivos à saúde humana. A caracterização foi realizada de acordo com a norma U.S. EPA Part 503 (USEPA, 2003), conforme estipulado pela Resolução CONAMA nº 375 (BRASIL, 2006). Por meio de tais análises, o biossólido pode ser classificado em classe A (excelente qualidade) ou B (maiores restrições

de uso), dependendo da presença e/ou concentrações dos microrganismos em sua composição.

A estabilidade do biossólido foi determinada pela relação entre sólidos voláteis e sólidos totais. De acordo a Resolução CONAMA nº 375/2006 (BRASIL, 2006), o lodo de esgoto, para ser considerado estabilizado e, portanto, definido como biossólido, deve apresentar índice de estabilidade (relação entre sólidos voláteis e sólidos totais) de no máximo 0,70.

## Produção de mudas

Visando avaliar a viabilidade técnica do biossólido proveniente da ETE Alegria como substrato para a produção de mudas florestais nativas, foi conduzido um experimento no viveiro florestal pertencente à Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, testando diferentes proporções volumétricas de biossólido como componente do substrato.

A espécie utilizada foi *Schinus terebinthifolia* Raddi, conhecida popularmente como aroeira pimenteira e amplamente utilizada em projetos de recomposição florestal. Foram testadas quatro diferentes formulações de substrato compostas por diferentes proporções volumétricas de biossólido (BIO) e substrato comercial (SC), consistindo nos seguintes tratamentos: T1 (100% SC + 0% BIO); T2 (75% SC + 25% BIO); T3 (50% SC + 50% BIO); e T4 (0% SC + 100% BIO). Depois de preparados e homogeneizados os substratos, foram preenchidos os recipientes (tubetes de 280 cm<sup>3</sup>). O delineamento estatístico utilizado foi o inteiramente casualizado, constituído dos 4 tratamentos e 4 repetições de 18 mudas cada, totalizando 72 mudas por tratamento.

A semeadura foi realizada diretamente nos tubetes, distribuindo três sementes por recipiente. Após a germinação foi feito o desbaste, procurando deixar a plântula de maior vigor e mais centralizada. Aos 150 dias após a semeadura foram mensuradas as características altura da parte aérea e diâmetro do coleto das mudas, em seguida foram coletadas as cinco mudas com as medidas mais próximas da média de cada tratamento e as mesmas foram levadas ao laboratório, onde tiveram o sistema radicular separado da parte aérea para determinação da massa seca da parte aérea e radicular. Com esses componentes foi possível determinar o índice de qualidade de Dickson, amplamente utilizado para determinação da qualidade de mudas.

Os dados e as suas relações foram submetidos à análise de variância ( $F < 0,05$ ). Quando foram detectadas diferenças significativas, os dados foram submetidos ao teste de Tukey, ao nível de 5% de significância. Foi utilizado o software Sistema de Análises Estatísticas e Genéticas (SAEG) (RIBEIRO JUNIOR, 2001).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A presença de altos teores de nutrientes no biossólido da ETE Alegria (Tabela 1) corrobora os resultados observados por Mtshali *et al.* (2014)

analisando biossólido de sete ETEs em Swaziland, na África Austral e Carvalho *et al.* (2015), que analisaram cinco diferentes biossólidos provenientes de duas ETEs do estado de São Paulo, Brasil. Esses autores, assim como no presente estudo, encontraram altos teores de matéria orgânica e nutrientes no biossólido, principalmente N e P.

No biossólido, a maior parcela de N encontra-se na forma orgânica e, portanto, fica prontamente disponível para as plantas somente após a degradação da matéria orgânica (CARVALHO *et al.*, 2015; NASCIMENTO, 2016). Essa característica pode ser observada na Tabela 1, em que o N disponível no formato de nitrito, nitrato e amônia representa apenas 16% do N total (Kjeldahl). Isso faz com que o N presente no biossólido seja liberado lentamente para o sistema, o que pode ser favorável para a absorção pelas plantas florestais em comparação com o uso de fertilizantes químicos.

Outro ponto importante é a presença de carbono orgânico (CO), que está diretamente ligado ao teor de matéria orgânica no material. Altos teores de CO e conseqüentemente de matéria orgânica em substratos para produção de mudas florestais favorecem a solubilização de nutrientes, o aumento da capacidade de troca catiônica (CTC), a melhora da absorção de micronutrientes pelas plantas, a facilitação da penetração das raízes, a melhora da capacidade tampão do substrato, além da liberação lenta de água e nutrientes essenciais como nitrogênio, enxofre e fósforo (BONINI *et al.*, 2015).

Outro elemento presente em altas concentrações no biossólido é o fósforo. Esse nutriente encontra-se fortemente adsorvido nos minerais

**Tabela 1 - Concentração dos diferentes elementos indicadores do potencial agrônomo observada no lodo de esgoto proveniente da estação de tratamento de esgoto Alegria, Rio de Janeiro.**

Substância	Unidade	Concentração
Carbono orgânico	%	28,7
Fósforo total	%	0,62
Potássio total	%	0,50
Sódio total	%	0,16
Enxofre total	%	1,20
Cálcio total	%	0,24
Magnésio total	%	0,01
Nitrogênio total	%	3,88
Nitrogênio Kjeldahl	mg.kg <sup>-1</sup>	33,497
Nitrogênio amoniacal	mg kg <sup>-1</sup>	208
Nitrito	mg N.kg <sup>-1</sup>	17
Nitrato	mg N. kg <sup>-1</sup>	5,318
Sólidos totais	%	74,29
Sólidos voláteis	%	24,29
Umidade	%	25,71
pH em água (1:10)	-	5,45

de argila dos solos tropicais, sendo muito baixa a sua disponibilidade para as plantas. Já no biossólido, grande parte desse elemento estará prontamente disponível para as plantas nos primeiros meses do ciclo de produção, fato desejado dada a essencialidade desse elemento na participação dos processos metabólicos das plantas, em especial sua participação na formação do sistema radicular.

Em relação ao potássio e ao sódio, ambos altamente solúveis, geralmente apresentam-se em concentrações menores em biossólido seco do que em lodo de esgoto úmido, devido à alta solubilidade desses nutrientes, que são diluídos durante o processo de desaguamento (BERTON; NOGUEIRA, 2010). Como o esgoto que chega na ETE para tratamento é composto por 99,9% de água, grande parte desses nutrientes ficam solubilizados na água residuária.

O enxofre é encontrado em quantidades consideráveis no lodo de esgoto da ETE Alegria, sendo o segundo macronutriente mais abundante. A presença desse elemento em lodos de esgoto é creditada à presença de surfactantes, provenientes de detergentes descartados em grande quantidade nos esgotos domésticos (SÍGOLO; PINHEIRO, 2010). Além disso, parte desse enxofre pode ser creditada à vinculação com fezes, que são fontes de compostos de proteínas, como a tiamina, que produz, em condições redutoras, gás sulfídrico ( $H_2S$ ), de odor característico (BETTIOL; CAMARGO, 2006).

O cálcio e o magnésio são elementos que estão presentes no biossólido essencialmente na forma mineral, ou seja, inorgânica, e segundo Tsutiya (2001), mesmo dosagens pequenas de biossólido podem suprir as necessidades desses nutrientes, dependendo da necessidade da cultura. O pH do lodo da ETE Alegria foi de 5,45, nível considerado dentro da faixa ideal de 5,0 a 7,0 para substratos de mudas florestais (CARNEIRO, 1995). Muitas reações físicas, químicas e biológicas do substrato, e por consequência o desenvolvimento das mudas, dependem do pH. Nos valores de pH de 6,0 a 7,0 ocorre adequada disponibilidade de nutrientes nos substratos minerais, mas para substratos orgânicos, como é o caso do biossólido, esse valor varia de 5,2 a 5,5.

Embora o biossólido proveniente da ETE Alegria apresente elevados níveis de nutrientes em sua composição, é imprescindível que o mesmo atenda às exigências estipuladas pela Resolução nº 375/2006 do CONAMA para que esse potencial possa ser aproveitado. Nesse sentido, um dos componentes de maior preocupação é a concentração de metais pesados no biossólido. Na Tabela 2 são apresentados os dados referentes à presença de compostos inorgânicos (metais pesados) no lodo de esgoto da ETE Alegria. Verifica-se que, para todos os elementos analisados, as concentrações encontradas foram menores do que o máximo permitido pela legislação, caracterizando o biossólido como viável para a utilização como substrato.

Alguns compostos inorgânicos como o Mo, Cu e Zn, que aparecem na composição química do biossólido, são considerados micronutrientes essenciais para as plantas. Segundo Carneiro (1995), seu fornecimento

é essencial para o crescimento e o desenvolvimento das plantas, além de influenciar na eficiência de absorção dos macronutrientes.

Segundo Guilherme *et al.* (2010), nos Estados Unidos o termo *lodo limpo* se aplica, conforme norma EPA CFR 40, Part 503 (USEPA, 1993), aos materiais que apresentam qualidade excepcional, por conterem teores de Cd, Hg e Pb, respectivamente, menores que 39, 17 e 300, situação em que se enquadra o biossólido da ETE Alegria. No entanto, segundo Fjällborg *et al.* (2005), isso não elimina os riscos de contaminação, visto que sucessivas aplicações podem levar ao acúmulo desses metais no solo agrícola. Sendo assim, a destinação florestal como substrato para a produção de mudas florestais, fertilizante para plantios de recomposição florestal com espécies nativas ou condicionador de solos para recuperação de áreas degradadas, por exemplo, pode ser mais atrativa do ponto de vista ambiental, visto que nessas atividades seriam realizadas apenas uma ou duas aplicações, diferentemente do uso agrícola para culturas de ciclo curto, em que são realizadas aplicações sucessivas.

A Resolução CONAMA nº 375/2006 teve como base para definição das concentrações máximas permitidas de As, Cd, Pb, Cu, Hg, Ni, Se e Zn em biossólido a norma americana EPA CFR 40, Part 503 (USEPA, 1993). O mesmo não ocorreu para os níveis de Cr, Ba e Mo, que foram definidos baseados na metodologia proposta pela Agência Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) (DIAS, 2004). Sampaio (2010) faz crítica aos níveis de metais na legislação brasileira, questionando a importação dos valores de referência da norma americana, que foram alcançados em condições ambientais diferentes. Questiona ainda a extrapolação dos valores para Cr, Ba e Mo, que foram obtidos nas

**Tabela 2 - Concentração de substâncias inorgânicas potencialmente tóxicas no lodo de esgoto proveniente da estação de tratamento de esgoto Alegria, Rio de Janeiro.**

Substâncias	Concentração permitida <sup>1</sup>	Concentração observada <sup>2</sup>
	mg.kg <sup>-1</sup>	
Arsênio	41	< 2,62
Bário	1.300	157
Cádmio	39	< 0,20
Chumbo	300	197
Cobre	1.500	267
Crômio	1.000	70
Mercúrio	17	< 0,033
Molibdênio	50	22,6
Níquel	420	40,2
Selênio	100	< 5,90
Zinco	2.800	681

<sup>1</sup>Concentração máxima permitida segundo a Resolução nº 375/2006 do CONAMA (BRASIL, 2006); <sup>2</sup>concentração observada no lodo da estação de tratamento de esgoto Alegria.

condições específicas do estado de São Paulo, baseados, segundo o autor, em estudos simplificados de caracterização de solos do estado.

Outro parâmetro importante trata-se da análise dos agentes patogênicos e indicadores bacteriológicos, que é utilizada para identificar possíveis riscos de contaminação microbiológica e qualificar o biossólido em classe A ou B. De acordo com os dados apresentados na Tabela 3, o biossólido da ETE Alegria pode ser classificado como de classe A, indicando que a concentração de microrganismos patogênicos no material está abaixo da máxima permitida, atendendo às normas da Resolução nº 375/2006 do CONAMA. A mesma resolução estipula que passados cinco anos de sua publicação, apenas lodos enquadrados na classe A poderão ser utilizados na agricultura, portanto o biossólido da ETE Alegria encontra-se no padrão de excelente qualidade para disposição agrícola e florestal.

Assim como para valores referenciais de metais pesados, os padrões microbiológicos da classe A são exatamente os mesmos fixados pela legislação norte-americana (USEPA, 1993), sendo esse padrão mundialmente aceito como forma de promover a necessária segurança à saúde pública da população exposta. Segundo Sampaio (2010), apesar de a legislação brasileira aceitar os mesmos parâmetros adotados mundialmente, a mesma faz severas restrições em relação à aplicação do lodo classe A, mesmo não existindo qualquer estudo técnico científico que as justifiquem. Segundo as legislações americana (USEPA, 1993) e australiana (NRMCM, 2004), lodos enquadrados nessa classe não estão sujeitos a qualquer tipo de restrição para sua aplicação e comercialização, sendo inclusive comercializados em supermercados nos Estados Unidos para uso doméstico (SAMPAIO, 2010).

Bastos *et al.* (2009), em uma análise crítica da Resolução CONAMA nº 375/2006 quanto à contaminação microbiana, concluíram através de testes laboratoriais que a versão atual da resolução pode ser demasiadamente rigorosa com o lodo do tipo A, tanto nos critérios de qualidade quanto, principalmente, nas restrições de uso. Os autores sugerem ainda que os limites de ovos viáveis para o padrão classe A (< 0,25 ovo/g de sólidos totais) pode ser muito restrito. Estudos dessa natureza estão sendo a base para a revisão dessa resolução, que está em andamento nas câmaras técnicas do CONAMA.

Na Tabela 4 são apresentadas as concentrações de compostos orgânicos potencialmente tóxicos encontrados no biossólido da ETE Alegria, assim como a concentração permitida pela Resolução CONAMA para

**Tabela 4 - Concentração de compostos orgânicos persistentes potencialmente tóxicos no lodo de esgoto proveniente da estação de tratamento de esgoto Alegria, Rio de Janeiro.**

Substância	Concentração permitida <sup>1</sup>	Concentração observada <sup>2</sup>
	mg.kg <sup>-1</sup>	
Benzenos clorados		
1,2-Diclorobenzeno	0,7300	< 0,002
1,3-Diclorobenzeno	0,3900	< 0,002
1,4-Diclorobenzeno	0,3900	< 0,002
1,2,3-Triclorobenzeno	0,0100	< 0,004
1,2,4-Triclorobenzeno	0,0110	< 0,002
1,3,5-Triclorobenzeno	0,5000	< 0,006
1,2,3,4-Tetraclorobenzeno	0,1600	< 0,006
1,2,4,5-Tetraclorobenzeno	0,0100	< 0,006
1,2,3,5-Tetraclorobenzeno	0,0065	< 0,006
Ésteres de ftalatos		
Di-n-butil ftalato	0,700	0,545
Di (2-etilhexil)ftalato (DEHP)	1,000	23,833*
Dimetil ftalato	0,250	< 0,020
Fenóis não clorados		
Cresóis	0,160	< 0,010
Fenóis clorados		
2,4-Diclorofenol	0,031	< 0,010
2,4,6-Triclorofenol	2,400	< 0,010
Pentaclorofenol	0,160	< 0,010
Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos		
Benzo(a)antraceno	0,0250	< 0,0005
Benzo(a)pireno	0,0520	< 0,0005
Benzo(k)fluoranteno	0,3800	< 0,0005
Indeno(1,2,3-c,d)pireno	0,0310	< 0,0005
Naftaleno	0,1200	0,0711
Fenantreno	3,3000	< 0,0005
Lindano	0,0010	< 0,0010

<sup>1</sup>Concentração máxima em solos agrícolas permitida segundo a Resolução nº 375/2006 do CONAMA (BRASIL, 2006); <sup>2</sup>concentração observada no lodo da estação de tratamento de esgoto Alegria; \*acima da concentração máxima permitida em solos agrícolas, segundo a Resolução nº 375/2006 do CONAMA (BRASIL, 2006).

**Tabela 3 - Concentração de microrganismos patogênicos no lodo de esgoto proveniente da estação de tratamento de esgoto Alegria, Rio de Janeiro.**

Parâmetro	Unidade	Concentração permitida <sup>1</sup>	Concentração observada <sup>2</sup>
Coliformes Termotolerantes	NMP.g <sup>-1</sup> ST	< 1.000	< 0,04
Ovos viáveis de Helmintos	Ovos.g <sup>-1</sup> ST	< 0,25	< 0,01
<i>Salmonella</i> sp.	Presente/ausente em 10 g ST	Ausente	Ausente

<sup>1</sup>Concentração máxima permitida segundo a Resolução nº 375/2006 do CONAMA (BRASIL, 2006); <sup>2</sup>concentração observada no lodo da estação de tratamento de esgoto Alegria; NMP: número mais provável; ST: sólidos totais.

fins de monitoramento após a aplicação no solo. Apenas um dos componentes apresentou concentração no bio-sólido superior aos limites propostos para monitoramento após aplicação em solos agrícolas estipulados pela Resolução CONAMA e, portanto, merece mais atenção. O Di(2-etilhexil) ftalato (DEHP) é uma substância utilizada na fabricação de compostos plásticos, PVC, cosméticos, brinquedos, ferramentas e equipamentos de laboratório, sendo vulgarmente chamada de plastificante (HAY, 2010). Essa substância pode causar danos ao meio ambiente e à saúde humana e de outros organismos (BILLA; DEZOTTI, 2007). No entanto, deve-se observar, como enfatizado anteriormente, que os valores máximos permitidos para os compostos orgânicos persistentes, determinados pela legislação brasileira, são referentes à concentração dessas substâncias por kg de solo agrícola e não diretamente no bio-sólido, como foi avaliado no trabalho.

Souza *et al.* (2010) encontraram concentrações de DEHP em lodos de ETEs de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, na ordem de 94 mg.kg<sup>-1</sup>. Fromme *et al.* (2002) encontraram, em lodos de ETEs na Alemanha, concentrações de DEHP que variaram de 27,9 a 154 mg.kg<sup>-1</sup> de matéria seca de lodo. Marttinen *et al.* (2003), avaliando a concentração de DEHP em 11 ETEs na Finlândia, encontraram concentrações variando de 28 a 122 mg.kg<sup>-1</sup>. Já Smith e Riddell-Black (2007), em uma revisão sobre as concentrações dos compostos orgânicos persistentes em lodos da Europa, concluíram que a concentração média de DEHP nos lodos das ETEs europeias é de 110 mg.kg<sup>-1</sup>. Em Portugal, onde as pesquisas para destinação de resíduos sólidos encontram-se em estágios mais avançados, já existe uma legislação que determina a concentração máxima de DEHP no próprio lodo de esgoto. Segundo o Decreto-Lei nº 118/2006 (PORTUGAL, 2006), a concentração máxima permitida é de 100 mg.kg<sup>-1</sup>. Todos esses valores estão acima dos 23,833 mg.kg<sup>-1</sup> encontrados no bio-sólido analisado neste trabalho.

Considerando o exposto, pode-se afirmar que a concentração encontrada de DEHP no bio-sólido da ETE Alegria está dentro dos padrões normais para lodos de esgotos e sua periculosidade à saúde humana é minimizada, ainda mais quando utilizados os devidos equipamentos de proteção individual exigidos pela Resolução CONAMA para manuseio do resíduo.

Apesar da Resolução CONAMA nº 375/2006 (BRASIL, 2006) estipular que deve ser realizada a caracterização do lodo para compostos orgânicos potencialmente tóxicos, a mesma não define valores máximos permitidos. Segundo Hay (2010), embora seja louvável que a lista de poluentes orgânicos proposta pela USEPA (1993) esteja incluída na Resolução CONAMA nº 375/2006, é possível que os lodos no Estados Unidos contenham uma lista de produtos químicos totalmente diferentes dos existentes no Brasil. Sendo assim, o enfoque restrito aos compostos orgânicos mais conhecidos necessita ser reavaliada.

Na resolução, as concentrações máximas desses compostos são determinadas apenas para fim de monitoramento do solo após aplicação do bio-sólido. Acredita-se que seria mais efetivo e seguro estipular, com base em estudos prévios, os compostos orgânicos potencialmente tóxicos nos lodos gerados no Brasil e as suas respectivas concentrações máximas presentes no lodo, e não em solo agrícola.

Segundo Sampaio (2010), apenas a legislação brasileira exige o monitoramento das substâncias orgânicas sem, contudo, estabelecer os limites máximos permitidos. A exigência de monitoramento dessas substâncias sem a finalidade definida onera o processo de reciclagem agrícola, visto que para a realização dessas análises são necessários métodos laboratoriais sofisticados (cromatografia), de custos bastante elevados.

O bio-sólido proveniente da ETE Alegria, além de mostrar-se com alto potencial nutricional para aproveitamento como substrato para produção de mudas florestais, adequou-se à legislação quanto aos contaminantes químicos e biológicos.

## Produção de mudas

Na Tabela 5 são apresentados os parâmetros morfológicos de crescimento das mudas de aroeira pimenteira, aos 120 dias após a semeadura. As mudas produzidas nos tratamentos T3 e T4 não diferiram estatisticamente entre si e apresentaram valores médios de crescimento significativamente superiores às mudas produzidas no tratamento T2, sendo observados os piores resultados no tratamento T1.

Alguns autores atribuíram o maior crescimento das mudas produzidas em substratos contendo bio-sólido aos teores de matéria

**Tabela 5** - Parâmetros morfológicos de crescimento de mudas de aroeira pimenteira, produzidas sob diferentes proporções de bio-sólidos e substrato comercial, aos 120 dias após a semeadura.

Tratamento	Composição	Altura	Diâmetro	H/D	PSA	PSR	PSA/PSR	Dickson
		(cm)	(mm)	---	(g.planta <sup>-1</sup> )	---	---	
T1	0% BIO/100% SC	12,3 c	1,99 c	6,27 a	0,49 c	0,26 b	2,04 a	0,09 b
T2	25% BIO/75% SC	16,6 b	2,69 b	6,30 a	0,82 b	0,32 b	2,79 a	0,13 b
T3	50% BIO/50% SC	28,2 a	3,84 a	7,41 a	1,41 a	0,57 a	2,57 a	0,20 a
T4	100% BIO/0% SC	28,9 a	3,84 a	7,65 a	1,37 a	0,59 a	2,41 a	0,20 a

H/D: relação altura e diâmetro; PSA: massa seca da parte aérea; PSR: massa seca de raízes; PSA/PSR: relação massa seca da parte aérea e massa seca de raízes; Dickson: índice de qualidade de Dickson; BIO: bio-sólidos; SC: substrato comercial. <sup>abc</sup>As médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

orgânica e nutrientes encontrados nesse resíduo, principalmente N e P (CALDEIRA *et al.*, 2012; DELARMELINA *et al.*, 2013; ROCHA *et al.*, 2013). Segundo Carneiro (1995), as características químicas de um substrato são influenciadas pela disponibilidade de nutrientes minerais presentes, os quais influenciam diretamente no crescimento das mudas. Os tratamentos T3 e T4 receberam mais biossólido, e conseqüentemente mais nutrientes, o que explica o maior crescimento nesses tratamentos.

Mesmo apresentando diferenças significativas entre os parâmetros de crescimento altura da parte aérea, diâmetro do coleto, peso seco aéreo e peso seco radicular, as médias não diferiram estatisticamente entre si quando avaliadas as relações entre essas variáveis. Isso ocorre, segundo Carneiro (1995), pelo ajuste de crescimento das mudas, no qual mecanismos fisiológicos da muda promovem o crescimento balanceado entre as partes aérea e radicular (PSA/PSR) e entre altura e diâmetro (H/D), indicativo de mudas de qualidade. Segundo o autor, esses índices revelam o equilíbrio no desenvolvimento e influenciam no estabelecimento das mudas após o plantio.

As mudas dos tratamentos T3 e T4 também apresentaram valores significativamente superiores do índice de qualidade de Dickson, considerado um bom indicador da qualidade das mudas por se tratar de uma medida morfológica ponderada que considera a robustez (H/D) e o equilíbrio da distribuição da biomassa da muda (PSA/PSR) (MELO *et al.*, 2018). Com isso, conclui-se que as mudas dos tratamentos T3 e T4 foram as que apresentaram melhor qualidade.

Com base nos resultados obtidos, pode-se inferir que a utilização de biossólido para produção de mudas de *Schinus terebinthifolia*

apresenta potencial, trazendo vantagens não só relacionadas ao maior crescimento das mudas, mas também a uma economia relativa à compra de substratos comerciais, tendo em vista que o tratamento com 100% biossólido foi superior ao tratamento com 100% substrato comercial. De acordo com Abreu *et al.* (2017b), o biossólido é um material com reais potenciais para aumento da qualidade, do crescimento e da nutrição de mudas florestais, além do potencial de diminuição dos custos de formação das mudas.

## CONCLUSÃO

Segundo os parâmetros avaliados e considerando o disposto na Resolução nº 375/2006 do CONAMA, o lodo de esgoto da ETE Alegria pode ser considerado viável, técnica, química e biologicamente para uso agrônomo, atendendo aos parâmetros da legislação.

O biossólido deste trabalho demonstrou potencial como componente de substratos para produção de mudas de *Schinus terebinthifolia*, surgindo como uma alternativa mais técnica e ecologicamente viável para a destinação do lodo de esgoto. Pode ser utilizado nas proporções entre 50 e 100% de biossólido, devendo-se preferir 100% de biossólido devido à economia quanto à aquisição de substratos comerciais e à melhor destinação para esse resíduo sólido.

## FONTE DE FINANCIAMENTO

Companhia Estadual de Águas e Esgotos (CEDAE) e Associação Pró-Gestão da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (AGEVAP).

## REFERÊNCIAS

- ABREU, A.H.M. de; LELES, P.S.S.; ALONSO, J.M.; ABEL, E.L.S.; OLIVEIRA, R.R. (2017a) Characterization of sewage sludge generated in Rio de Janeiro, Brazil, and perspectives for agricultural recycling. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 38, n. 4, Supl. 1, p. 2433-2448. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2017v38n4Supl1p2433>
- ABREU, A.H.M. de; LELES, P.S.S.; MELO, L.A.; OLIVEIRA, R.R.; FERREIRA, D.A.A. (2017b) Caracterização e potencial de substratos formulados com biossólido na produção de mudas de *Schinus terebinthifolius* Raddi. e *Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos. *Ciência Florestal*, v. 27, n. 4, p. 1179-1190. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509830300>
- ABREU, A.H.M. de; MARZOLA, L.B.; MELO, L.A. de; LELES, P.S. dos S.; ABEL, E.L.S.; ALONSO, J.M. (2017c) Urban solid waste in the production of Lafoensia pacari seedlings. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 21, n. 2, p. 83-87, 2017a. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n2p83-87>
- ASSENHEIMER, A. (2009) Benefícios do uso do biossólido como substratos na produção de mudas de espécies florestais. *Revista Ambiente*, v. 5, n. 2, p. 321-330.
- BASTOS, R.K.X.; BEVILACQUA, P.D.; DIAS, G.M.F.; BARONY, F.J.A. (2009) Análise crítica da legislação brasileira para uso agrícola de lodos de esgotos na perspectiva da avaliação quantitativa de risco microbiológico. *Revista AIDIS*, Juruquilla, v. 2, n.1, p. 143-159. <http://dx.doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2009.2.1.13111>
- BERTON, R.S.; NOGUEIRA, T.A.R. (2010) Uso de lodo de esgoto na agricultura. In: COSCIONE, A.R.; NOGUEIRA, T.A.R.; PIRES, A.M.M. *Uso agrícola de lodo de esgoto: Avaliação após a resolução nº 375 do CONAMA*. Botucatu: FEPAP. p. 31-50.
- BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. (2006) *Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura*. Jaguariúna: Ed. Embrapa Meio Ambiente. 349 p.

- BILA, D.M.; DEZOTTI, M. (2007) Desreguladores endócrinos no meio ambiente: efeitos e consequências. *Química Nova*, v. 30, n. 3, p. 651-666. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422007000300027>
- BONINI, C.S.B.; ALVES, M.C.; MONTANARI, R. (2015) Lodo de Esgoto e Adubação Mineral na Recuperação de Atributos Químicos de Solo Degradado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 19, n. 4, p. 388-393. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n4p388-393>
- BRASIL. (2006) Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 375/2006. Define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, n. 167, p. 141-146.
- CABREIRA, G.V.; LELES, P.S. dos S.; ALONSO, J.M.; ABREU, A.H.M.; LOPES, N.F.; SANTOS, G.R. (2017) Biossólido como componente de substrato para produção de mudas florestais. *Floresta*, v. 47, n. 2, p. 165-176. <http://dx.doi.org/10.5380/rfv47i2.44291>
- CALDEIRA, M.V.W.; DEARMELINA, W.M.; LÜBE, S.G.; GOMES, D.R.; GONÇALVES, E.O.; ALVES, A.F. (2012) Biossólido na composição de substrato para produção de mudas de *Tectona grandis*. *Floresta*, v. 42, n. 1, p. 77-84. <http://dx.doi.org/10.5380/rfv42i1.26302>
- CARNEIRO, J.G. de A. (1995) *Produção e controle de qualidade de mudas florestais*. Campos dos Goytacazes: Ed. UFPR/FUPEF/UENF. 451 p.
- CARVALHO, C.S.; RIBEIRINHO, V.S.; ANDRADE, C.A.; GRUTZMACHER, P.; PIRES, A.M.M. (2015) Composição Química da Matéria Orgânica de Lodos de Esgoto. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 10, n. 3, p. 413-419. <http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v10i3a5174>
- DEARMELINA, W.M.; CALDEIRA, M.V.W.; FARIA, J.C.T.; GONÇALVES, E.O. (2013) Uso de lodo de esgoto e resíduos orgânicos no crescimento de mudas de *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. *Agroambiente*, Dourados, v. 7, n. 2, p. 184-192. <http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragrov7i2.888>
- DIAS, C.L. (2004) *Estabelecimento de valores de alerta e limites máximos no lodo de esgoto*. Relatório técnico interno. São Paulo: CETESB. 50 p.
- DONOSO, S.; ROJAS, K.P.; GALDAMES, E.; PACHECO, C.; ESPINOZA, C.; DURÁN, S.; GANGAS, R. (2016) Evaluación de La aplicación de biosólidos em plantaciones de *Eucalyptus globulus*, en Chile central. *Revista FCA Uncuyo*, v. 48, n. 2, p. 107-119.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). (1997). *Manual de métodos de análise de solo*. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA. 212 p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 1).
- FJÄLLBORG, B.; AHLBERG, G.; NILSSON, E.; DAVE, G. (2005) Identification of metal toxicity in sewage sludge leachate. *Environment International*, v. 31, n. 1, p. 25-31. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2004.06.004>
- FROMME, H.; KÜCHLER, T.; OTTO, T.; PILZ, K.; MÜLLER, J.; WENZEL, A. (2002) Occurrence of phthalates and bisphenol A and F in environment. *Water Research*, East Lansing, v. 36, n. 6, p. 1429-1438.
- GUERRINI, I.A.; CROCE, C.G.G.; BUENO, O. de C.; JACON, C.P.R.P.; NOGUEIRA, T.A.R.; FERNANDES, D.M.; GANGA, A.; CAPRA, G.F. (2017) Composted sewage sludge and steel mill slag as potential amendments for urban soils involved in afforestation programs. *Urban Forestry and Urban Greening*, v. 22, p. 93-104. <https://www.researchgate.net/deref/doi.org%2F10.1016%2Fj.ufug.2017.01.015>
- GUILHERME, L.R.G.; SILVA, C.A.; MARCHI, G.; RANGEL, O.J.P. (2010) Elementos traço em lodo de esgoto: Avaliação de risco à saúde após o uso agrícola. In: COSCIONE, A.R.; NOGUEIRA, T.A.R.; PIRES, A.M.M. *Uso agrícola de lodo de esgoto: avaliação após a Resolução nº 375 do CONAMA*. Botucatu: FEPAF. p. 137-156.
- HAY, A.G. (2010) Organic chemicals in sewage sludges: "The book is on the table". In: COSCIONE, A.R.; NOGUEIRA, T.A.R.; PIRES, A.M.M. *Uso agrícola de lodo de esgoto: avaliação após a Resolução nº 375 do CONAMA*. Botucatu: FEPAF. p. 363-399.
- MARRON, N. (2015) Agronomic and environmental effects of land application of residues in short-rotation tree plantations: A literature review. *Biomass and Bioenergy*, v. 81, p. 378-400. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.07.025>
- MARTTINEN, S.K.; KETTUNEN, R.H.; RINTALA, J.A. (2003) Occurrence and removal of organic pollutants in sewages and landfill leachates. *The Science of de Total Environment*, v. 301, n. 1-3, p. 112.
- MELO, L.A.; ABREU, A.H.M.; LELES, P.S.S.; OLIVEIRA, R.R.; SILVA, D.T. (2018) Qualidade e crescimento inicial de mudas de *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth. produzidas em diferentes volumes de recipientes. *Ciência Florestal*, v. 28, n. 1, p. 47-55. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509831574>
- MTSHALI, J.S.; TIRUNEH, A.T.; FADIRAN, A.O. (2014) Characterization of Sewage Sludge Generated From Wastewater Treatment Plants in Swaziland in Relation to Agricultural Uses. *Resources and Environment*, v. 4, n. 4, p. 190-199. <http://dx.doi.org/10.5923/j.re.20140404.02>
- NASCIMENTO, A.L. (2016) *Caracterização microbiológica, química e presença de poluentes orgânicos em amostras de lodo de esgoto de São Paulo*. 88 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.
- NATURAL RESOURCE MANAGEMENT MINISTERS COUNCIL (NRMCC). 2004. *Guidelines for sewerage systems: biosolids management*. National Water Quality Management Strategy Paper 13. Canberra: NRMCC.
- PORTUGAL. (2006) Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Decreto-Lei nº 118/2006. *Diário da República - I Série-A*, Lisboa, n. 118, p. 4385-4386.
- RIBEIRO JÚNIOR, J.I. (2001) *Análises Estatísticas no SAEG*. Viçosa: UFV. 301 p.

- ROCHA, J.H.T.; BACKES, C.; DIOGO, F.A.; PASCOTTO, C.B.; BORELLI, K. (2013) Composto de lodo de esgoto como substrato para mudas de eucalipto. *Pesquisa Florestal Brasileira*, Colombo, v. 33, n. 73, p. 27-36. <https://doi.org/10.4336/2013.pfb.33.73.331>
- SAMPAIO, A.O. (2010) Adequação das estações de tratamento de esgotos sanitários à resolução número 375 do CONAMA. In: COSCIONE, A.R.; NOGUEIRA, T.A.R.; PIRES, A.M.M. *Uso agrícola de lodo de esgoto: avaliação após a Resolução nº 375 do CONAMA*. Botucatu: FEPAF. p. 265-278.
- SANTOS, F.E.V.; KUNZ, S.H.; CALDEIRA, M.V.W.; AZEVEDO, C.H.S.; RANGEL, O.J.P. (2014) Características químicas de substratos formulados com lodo de esgoto para produção de mudas florestais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 18, n. 9, p. 971-979. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18n09p971-979>
- SÍGOLO, J.B. & PINHEIRO, C.H.R. (2010) Lodo de Esgoto da ETE Barueri - SP: Proveniência do Enxofre Elementar e Correlações com Metais Pesados Associados. *Revista do Instituto de Geociências - USP*, São Paulo, v. 10, n. 1, p. 39-51. <https://doi.org/10.5327/Z1519-874X2010000100004>
- SMITH, S.R.; RIDDELL-BLACK, D. (2007) Sources and impacts of past, current and future contamination of soil. Appendix 2: Organic contaminants. Final Report to DEFRA. Londres: Imperial College. Disponível em: <[http://randd.defra.gov.uk/Document.aspx?Document=SPO547\\_7266\\_FRA.pdf](http://randd.defra.gov.uk/Document.aspx?Document=SPO547_7266_FRA.pdf)>. Acesso em: 15 jun. 2013.
- SOUZA, A.A.R.; SOARES, A.F.; GOMES, L.P.; MIRANDA, L.A.S. (2010) Estudo da remoção de matéria carbonácea e nutrientes em reator sequencial em batelada, tratando mistura de esgoto doméstico e lixiviado de aterro sanitário pré-tratado em lagoas de estabilização. In: *Simpósio Ítalo-Brasileiro de Engenharia Sanitária E Ambiental*, 10 Anais... Maceió: ABES.
- TRAZZI, P.A.; CALDEIRA, M.V.W.; REIS, E.F.; SILVA, A.G. (2014) Produção de mudas de *Tectona grandis* em substratos formulados com biossólido. *Cerne*, Lavras, v. 20, n. 2, p. 293-302. <http://dx.doi.org/10.1590/01047760.201420021134>
- TSUTIYA, M.T. (2001) *Alternativas de disposição Final de Biossólido*. São Paulo: SABESP.
- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). (1993) *Preparing sewage sludge for land application or surface disposal: a guide for preparers of sewage sludge on the monitoring, recordkeeping, and reporting requirements of the federal standards for the use and disposal of sewage sludge*, 40 CFR Part 503. EPA/831B-93-002. Washington: USEPA.
- \_\_\_\_\_. (1994) *Method 3051: Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils*. In: SW-846: Test methods for evaluation solid waste, physical and chemical methods. Office of Solid Waste. Washington: USEPA. p. 1-20.
- \_\_\_\_\_. (2003). *Environmental Regulations and Technology Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge (Including Domestic Septage) Under 40 CFR Part 503*. EPA/625/R-95/013. Cincinnati: USEPA.