

Lodo de esgoto: diretrizes e o seu uso como fertilizante, condicionador de solo e substrato florestal

Sewage sludge: guidelines and its use as fertilizer, soil conditioner and forest substrate

David Pessanha Siqueira*
Deborah Guerra Barroso**
Claudio Roberto Marciano***

O lodo de esgoto é um resíduo gerado após o tratamento dos esgotos e consiste em um problema ambiental crescente, devido ao aumento das redes de coleta e tratamento desses efluentes. A disposição desse resíduo na agricultura vem se apresentando como a mais adequada, com efeitos positivos apontados por várias pesquisas. No entanto, existem critérios e procedimentos que devem ser contemplados para o gerenciamento legal do lodo. Serão apresentadas as principais diretrizes para utilização do lodo na agricultura, sua influência na fertilidade do solo, como condicionador de solo, e seu desempenho como substrato florestal, destacando os pontos positivos e negativos.

Palavras-chave: Resíduos orgânicos. Sustentabilidade. Legislação ambiental.

Sewage sludge is a residue generated after treatment of sewage, being a growing environmental issue due to the increase in wastewater collection and treatment networks. The disposal of these wastes to agricultural land has been presented as the most appropriate, with positive effects indicated by research. However, there are criteria and procedures to be followed for the sewage sludge legal management. The main guidelines for sewage sludge use in agriculture are presented, as well as its impact on the chemical and physical properties of soils and its performance as a forest substrate, highlighting its strengths and weaknesses.

Key words: Organic residues. Sustainability. Environmental legislation.

1 Introdução

Com a crescente necessidade de conter a poluição dos mananciais e a crescente escassez de água que compromete algumas regiões do país, é necessário e oportuno que o tratamento do esgoto doméstico seja ampliado, reduzindo os impactos de sua deposição inadequada e consequente amortização dos prejuízos ambientais. Contudo, parte da população brasileira não conta com os serviços básicos de saneamento (QUINTANA et

* Engenheiro agrônomo, Mestrando do programa de Produção Vegetal da Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF) - Campos dos Goytacazes/RJ - Brasil. E-mail: pessanhasdavid@hotmail.com.

** Doutora em Produção Vegetal (UENF). Engenheira agrônoma e Professora do laboratório de Fitotecnia da Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF) - Campos dos Goytacazes/RJ - Brasil. E-mail: deborah@uenf.br.

*** Doutor em solos e nutrição de plantas (ESALQ/USP). Engenheiro agrônomo e Professor do Laboratório de Solos da Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF) - Campos dos Goytacazes/RJ - Brasil. E-mail: marciano@uenf.br.

al., 2011). De acordo com o Instituto Trata Brasil, 82,5% dos brasileiros são abastecidos com água tratada e 48,6% têm coleta de esgoto, sendo tratados apenas 39% de todo o volume coletado (TRATA BRASIL, 2016). Segundo a concessionária Águas do Paraíba, 99% da população do município de Campos dos Goytacazes/RJ tem acesso a água tratada, e aproximadamente 80% possuem cobertura para coleta e tratamento do esgoto, estando acima da média nacional (ÁGUAS DO PARAÍBA, 2016).

Ao final do processo de tratamento de esgotos, é gerado um resíduo denominado lodo de esgoto ou biossólido (quando tratado e processado). Segundo Cieslik et al. (2015), Nogueira et al. (2009) e Pegorini et al. (2003), tal resíduo consiste em um problema ambiental crescente, sendo prejudicial à saúde e ao meio ambiente se não for tratado, descartado e/ou reciclado adequadamente. De acordo com a concessionária Águas do Paraíba, são gerados pelo município de Campos dos Goytacazes, em média, 180 toneladas por mês desse resíduo, sendo em sua totalidade destinado ao aterro sanitário, não havendo nenhum tipo de aproveitamento (ÁGUAS DO PARAÍBA, 2016). Além disso, o envio do lodo para o aterro é um processo oneroso, o que vem fomentando pesquisas relacionadas a sua melhor destinação.

Dentre as alternativas para destinação do lodo, o uso na agricultura vem apresentando bons resultados. O efeito residual do lodo de esgoto é positivo sobre a fertilidade do solo, com aporte de diversos nutrientes, sendo uma alternativa à adubação convencional (FERRAZ, 2013). De acordo com Vega et al. (2004), esse material apresenta em sua composição alto teor de matéria orgânica, nitrogênio e fósforo, além de micronutrientes. Santos et al. (2014) também destacam os benefícios da disposição agrícola do lodo de esgoto, haja vista a riqueza de nutrientes que apresenta.

Quando se compara o uso do lodo de esgoto como substrato na produção de diferentes espécies de interesse agrícola, o uso florestal se destaca, contribuindo para mitigação da contaminação ambiental por elementos potencialmente tóxicos, visto que a quantidade de substrato contida nos recipientes é reduzida perto do volume de solo em que são plantadas. Além disso, as culturas florestais, em sua maior parte, não são destinadas à alimentação humana ou animal (GOMES et al., 2013; RIGO et al., 2014; ROCHA et al., 2013). Labrecque et al. (1995) destacam também o potencial fitorremediador das espécies florestais, podendo acumular os metais pesados em sua biomassa.

A constante exploração das florestas nativas pela expansão agrícola, pela pecuária extensiva, ou pelo aproveitamento direto da madeira, muitas vezes de forma ilegal, acarreta grande diminuição da cobertura florestal, provocando a degradação e o desequilíbrio ambiental. Assim, com o aumento da fiscalização e as exigências de medidas compensatórias, há grande demanda por mudas nativas para a recuperação das áreas degradadas, revegetação, reflorestamento para fins econômicos, adequação ambiental das propriedades, arborização, entre outros fins (CALDEIRA et al., 2013; LELES et al., 2006).

Além desse problema em nível nacional, a região Norte Fluminense sofre ainda com a exploração de argila, matéria-prima utilizada por diversas cerâmicas situadas na região,

causando grande prejuízo ambiental devido à remoção da vegetação e do solo, sendo necessária a recomposição florestal dessas áreas, ampliando a demanda por mudas nativas.

Tendo em vista a importância social, econômica e ambiental do lodo de esgoto, esta revisão tem como objetivo direcionar quanto aos critérios e procedimentos preconizados pela legislação vigente e manuais técnicos para disposição legal do lodo de esgoto na agricultura, com ênfase nos efeitos de sua aplicação no solo e o uso como substrato para produção de mudas de espécies florestais.

2 Lodo de esgoto: Diretrizes

Resíduo sólido é definido como: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólidos ou semissólidos, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2012), estando incluso o lodo de esgoto, por definição.

A Agenda 21, apesar de não legislar, serve como instrumento de planejamento para construção de uma sociedade sustentável e propõe um capítulo sobre o manejo ambientalmente saudável dos resíduos sólidos e questões relacionadas com esgotos, afirmando ser uma das questões mais importantes para a manutenção da qualidade do meio ambiente da terra, e principalmente para que se alcance um desenvolvimento sustentável. Neste capítulo foram definidos quatro programas prioritários: a redução da produção de resíduos, o aumento da reutilização e reciclagem, a promoção de depósitos e tratamento ambientalmente saudável e a ampliação do alcance dos serviços que se ocupam com os resíduos.

A disposição final adequada do lodo de esgoto é uma etapa fundamental no processo operacional de uma Estação de Tratamento de Efluentes (ETE). Tendo em vista a importância social e o apelo ambiental que reside sobre o lodo, buscam-se alternativas para sua disposição, em especial as universidades e instituições de pesquisa, em conjunto com as empresas geradoras do lodo. Nesse cenário, a reciclagem agrícola aparece como a destinação mais promissora tanto sob o aspecto ambiental, quanto econômico, pois transforma um rejeito em um importante insumo.

Devido às propriedades agrícolas apresentadas pelo lodo de esgoto, foram criadas regulamentações como a da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA, sigla em inglês), direcionando sobre o uso e disposição seguros desse material, incluindo seu uso agrícola, servindo como norte para o Brasil, onde o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) incluiu o lodo na Instrução Normativa n. 15, de 22 de dezembro de 2004 (BRASIL, 2004), que dispõe sobre fertilizantes orgânicos, sendo o lodo de esgoto definido como: “fertilizante orgânico composto, proveniente do

sistema de tratamento de esgotos sanitários, que resulte em produto de utilização segura na agricultura, atendendo aos limites estabelecidos para contaminantes”.

A Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), n. 375/2006 (BRASIL, 2006), é que define, em âmbito nacional, os critérios e procedimentos para o uso agrícola do lodo de esgoto sanitário e seus produtos derivados, estabelecendo os limites para substâncias potencialmente tóxicas e agentes patogênicos, evitando riscos à saúde pública e ao meio ambiente, conforme Tabelas 1 e 2, determinantes para caracterização de seu potencial agrônômico.

A partir da publicação n. 375/2006 do CONAMA, o lodo de esgoto foi submetido à classificação A e B, quanto às concentrações de agentes patogênicos. Nessa mesma resolução, ficou determinado que, após cinco anos da data de publicação, estaria permitida a aplicação na agricultura apenas de lodo classificado como A, sendo as concentrações limites vigentes, desde 2011, descritas na Tabela 2.

Tabela 1. Requisitos mínimos de qualidade de lodo de esgoto ou produto derivado, para que seja destinado ao uso agrícola

| Substâncias Inorgânicas | Concentração máxima (mg.kg ⁻¹ base seca) |
|-------------------------|---|
| Arsênio | 41 |
| Bário | 1.300 |
| Cádmio | 39 |
| Chumbo | 300 |
| Cobre | 1.500 |
| Crômio | 1.000 |
| Mercúrio | 17 |
| Molibdênio | 50 |
| Níquel | 420 |
| Selênio | 100 |
| Zinco | 2.800 |

Tabela 2. Limite da concentração de agentes patogênicos para uso na agricultura, estabelecido pelo CONAMA, 2006

| Agente Patogênico | Concentração aceita |
|----------------------------|------------------------------|
| Coliformes termotolerantes | <10 ³ NMP/g de ST |
| Ovos viáveis de helmintos | < 0,25 ovo/g de ST |
| <i>Salmonella</i> | ausência em 10g de ST |
| Vírus | < 0,25 UFP/g de ST |

Onde: ST – sólidos totais; NMP – número mais provável; UFP – unidade formadora de placa

Segundo Alamino (2010), um determinado lote de lodo de esgoto pode estar dentro dos limites propostos pela Resolução n. 375/2006 do CONAMA para metais

pesados, entretanto esses são superiores aos limites estabelecidos na lista de valores orientados para solos e águas subterrâneas, preconizados pela Resolução n. 420/2009, também desse mesmo órgão (BRASIL, 2009). Assim como Pires (2006), Alamino (2010) afirma ainda que a aplicação do lodo deve ser feita com alto rigor, sendo monitorados os níveis superficiais e subsuperficiais, já que o lodo, em períodos relativamente curtos, pode alcançar grandes profundidades, podendo atingir o lençol freático.

Da Costa et al. (2010), avaliando a presença de fósforo na enxurrada a que um solo foi submetido, após a aplicação de lodo de esgoto por 6 anos, afirmam que o aumento do fósforo no solo pelo lodo não resultou em maiores concentrações de fósforo na água de enxurrada, não havendo elevação da eutrofização dos corpos hídricos, para as condições do estudo.

Além de determinar os limites de substâncias inorgânicas e agentes patogênicos, a Resolução n. 375/2006 do CONAMA regulamenta também os processos de desinfecção e estabilização do lodo de esgoto para redução dos agentes patogênicos e atratividade de vetores, sendo eles: digestão aeróbia, digestão anaeróbia, secagem em leitos de areia ou bacias, compostagem e o método pela adição de álcali.

Entre os estados brasileiros, o Paraná se destaca na questão da destinação do lodo de esgoto para agricultura, onde a Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) e o Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB) fornecem um manual técnico (PARANÁ, 1999) sobre o uso e manejo adequado do lodo de esgoto, informando sobre cada etapa do processo para reciclagem do lodo.

Outro estado que se destaca é São Paulo, onde a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) fornece também um manual técnico da aplicação de lodos de sistema de tratamento biológico em áreas agrícolas, estabelecendo critérios, procedimentos, requisitos para elaboração e implantação de projetos, visando ao atendimento das exigências ambientais (SÃO PAULO, 1999).

Para o estado do Rio de Janeiro não existe nenhuma instrução para o tratamento e destinação agrícola do lodo de esgoto, sendo tal uso amparado apenas pela Resolução n. 375/2006 do CONAMA (BRASIL, 2006), que regulamenta tal disposição em nível nacional. Vale ressaltar que, mesmo nos estados onde há publicações de manuais técnicos próprios para gerenciamento do lodo de esgoto, eles não podem ser menos restritivos que a legislação federal.

É fundamental que o lodo de esgoto seja submetido ao processo de desinfecção antes de ser destinado à agricultura, e, dentre os processos de higienização, o que vem sendo largamente utilizado é a aplicação de cal, pela maior facilidade de execução e menor custo. O procedimento se baseia na elevação do pH a níveis superiores a 12, durante duas horas, e, posteriormente, acima de 11,5, por mais 22 horas, com isso, há formação de um ambiente inapto para vida da maioria dos microrganismos nocivos, destruindo-os (BRASIL, 2006). Além da destruição dos microrganismos, após tal procedimento, o resíduo deixa de apresentar odor fétido.

Segundo Andreoli et al. (1998), o tratamento com adição de cal a 50% do peso seco foi eficiente na eliminação de 100% dos coliformes fecais, salmonela, estreptococos, cistos de protozoários e larvas de helmintos. Alves Filho (2014) afirma que a caleação do lodo foi suficiente para atender aos valores limites preconizados na Resolução n. 375/2006 do CONAMA (BRASIL, 2006), quanto à concentração de patógenos, entretanto a caleação foi feita a 30% do peso seco. O manual PROSAB/SANEPAR (PARANÁ, 1999) sugere o uso da cal virgem, variando de 30 a 50% do peso seco. Já Lousada (2015) afirma que a adição de cal hidratada a 15% do peso seco do lodo de esgoto foi eficiente para a eliminação dos patógenos, estando o resíduo apto para utilização agrícola, sendo a metade do menor valor sugerido pelos demais autores, reduzindo custos.

Apesar da divergência quanto à quantidade de cal a ser aplicada, há concordância quanto aos valores de pH a serem atingidos e ao tempo de duração do processo para garantir a desinfecção do lodo, atendendo à legislação vigente.

Barros et al. (2011) também afirmam que a aplicação de cal para higienização do lodo de esgoto foi eficiente para eliminação dos patógenos, estando dentro dos limites estabelecidos pela legislação vigente. No entanto, os autores ressaltam que o lodo apresentou forte alcalinidade e redução nos teores de nutrientes.

Essa forte alcalinidade se apresenta como um entrave na higienização do lodo por meio da aplicação de álcali. Valores elevados de pH são prejudiciais à maioria das espécies de interesse agrícola, sendo um problema, que é agravado quando se trata da produção de mudas em recipientes. Nesse caso, o lodo deve ficar em repouso, chamado período de incubação, e o pH monitorado periodicamente, até que se observem valores aceitáveis para a espécie de interesse. A elevada alcalinidade pode também se apresentar como uma vantagem, em caso de aplicação em solos ácidos, atuando como corretivo do solo.

Uma alternativa à aplicação de álcali para a desinfecção do lodo, também prevista pela legislação vigente e de fácil execução, é a compostagem. De acordo com a Resolução n. 375/2006 do CONAMA, a compostagem pode ser utilizada desde que a biomassa atinja uma temperatura mínima de 40 °C, durante pelo menos cinco dias, com a ocorrência de um pico de 55 °C ao longo de quatro horas sucessivas durante esse período (BRASIL, 2006). O manual técnico da CETESB (SÃO PAULO, 1999) também orienta quanto à utilização da compostagem como método para redução de patógenos, no entanto recomendam que as leiras da compostagem permaneçam, no mínimo, por 15 dias a 55 °C, com revolvimento mecânico da leira durante pelo menos 5 dias ao longo dos 15 dias do processo, sendo o tempo na maior temperatura superior ao sugerido pela Resolução n. 375/2006 do CONAMA.

Já o manual técnico da PROSAB/SANEPAR (PARANÁ, 1999) descreve detalhadamente o processo, indicando que o lodo deve ser misturado com resíduos orgânicos (restos vegetais picados, palha, bagaço de cana, etc.), respeitando a relação C/N entre 20 e 30, ou seja, 20 a 30 unidades de Carbono para uma unidade de Nitrogênio. Segundo eles, para a completa desinfecção do lodo, é necessário temperatura acima

de 60 °C, por um período mínimo de 10 dias, e, quando for observada redução na temperatura, a leira deve ser revolvida, promovendo a aeração e mistura dos materiais. Após o revolvimento, se o composto aquecer novamente é porque o processo não chegou ao fim, sendo esse o parâmetro utilizado para a finalização do processo.

Devido ao desacordo quanto ao tempo e à temperatura necessária para completar o processo de compostagem, é recomendável que se utilizem os maiores valores de tempo e temperatura, que são os sugeridos pelo manual da PROSAB/SANEPAR, mesmo sendo superior ao preconizado na legislação nacional.

3 Influência da aplicação do lodo de esgoto no solo

A destinação agrícola do lodo de esgoto promove o aporte de matéria orgânica e nutrientes para o solo, melhorias nas condições físicas do solo, previne a contaminação e degradação dos recursos hídricos e contribui para o aumento da produção de alimentos (BITTENCOURT et al., 2014).

Esses benefícios promovidos pelo lodo são observados em diversas pesquisas, como a realizada por Guedes e Poggiani (2003), que acompanharam a variação dos teores de nutrientes foliares em eucalipto fertilizado com lodo de esgoto quatro meses após o plantio das mudas. Os autores afirmam que a aplicação do lodo em cobertura foi benéfica para as plantas, que apresentaram teores mais elevados de N, P, e Ca, quando comparadas às plantas que receberam adubação química convencional, apesar de teores mais baixos de Mg e Mn.

Barreiros et al. (2007), em estudos avaliando as características físicas e químicas da madeira, em um plantio de *Eucalyptus grandis*, com cinco anos de idade, adubado com lodo de esgoto tratado, encontraram redução na densidade básica da madeira, o que foi compensado pelo aumento da produtividade. A redução da densidade básica da madeira foi atribuída ao aumento da taxa de crescimento, reduzindo a espessura da parede celular e a largura da fibra, retardando o amadurecimento da madeira. Com relação aos teores de celulose, lignina e poder calorífico, os mesmos afirmam que não houve alteração, porém os teores de hemicelulose e de cinzas aumentaram com a aplicação de lodo, sendo esse incremento atribuído à maior absorção de nutrientes, principalmente de Cálcio.

Vega et al. (2005), avaliando a influência do lodo de esgoto no sistema radicular da pupunheira, afirmam que houve aumento da biomassa radicular quando aumentada a dose de lodo, existindo uma relação direta com o crescimento da parte aérea da planta. Os autores afirmam ainda que houve redução na densidade do solo, promovendo maior crescimento em profundidade do sistema radicular da pupunheira.

Além dos benefícios do uso do lodo de esgoto no setor florestal, seu uso na agricultura se estende a diversas culturas de interesse agrônômico, trazendo benefícios como aumento do número de vagens e rendimento de grãos em feijoeiro (LOBO et al., 2012); aumento do diâmetro do caule, altura da planta e diâmetro da cabeça no cultivo

de girassol (ALBUQUERQUE et al., 2015); maior crescimento inicial e desenvolvimento radicular em gramados (NOBILE et al., 2014); aumento do peso de grãos em milho (GARCIA et al., 2012), entre outros, reafirmando seu potencial agrícola.

Além do potencial como fertilizante, o lodo exerce também influência sobre as características físicas, atuando como condicionador de solo. Sampaio et al. (2012), avaliando o lodo de esgoto na recuperação de áreas degradadas e seu efeito sobre as características físicas do solo, afirmam que houve aumento dos agregados do solo conforme o aumento das doses de lodo aplicadas, sendo utilizadas por eles: 0, 2,5, 5, 10, 15 e 20 Mg ha⁻¹. Segundo os autores, a porosidade e o teor de umidade também foram beneficiados com o aumento das doses.

De Maria et al. (2007), acompanhando a agregação do solo em área que recebeu lodo de esgoto por dois anos consecutivos, em duas doses: 10 e 20 Mg ha⁻¹, concluíram que o lodo agiu como condicionador de solo, melhorando sua agregação, em função do aumento da matéria orgânica. Os autores afirmam que esse efeito foi observado na camada mais superficial (0-10 cm).

Lousada (2015), avaliando as alterações nos atributos do solo pela aplicação de lodo de esgoto doméstico, afirma que, além do aumento de pH, saturação por bases, CTC, fósforo e cálcio, a aplicação do lodo proporcionou incrementos na macroporosidade, porosidade total e aeração do solo. A autora afirma também que, com a aplicação do lodo, houve aumento da macroporosidade e consequente redução da umidade na capacidade de campo, ou seja, menor quantidade de água foi suficiente para que o solo alcançasse a capacidade de campo, em relação à adubação convencional.

Segundo Campos e Alves (2008), o uso do lodo de esgoto na reestruturação de um solo degradado, cultivado com eucalipto há 2,5 anos e braquiária, influenciou positivamente, quando comparado ao solo exposto, sem tratamento para recuperação. Sendo os melhores indicadores da recuperação física do solo: a densidade, a porosidade total e a macroporosidade. Além da ação positiva nas características físicas do solo, os autores afirmam que os tratamentos com lodo promoveram maior rendimento de matéria seca para a braquiária, tendo sido utilizadas pelos autores as doses de 30 e 60 Mg ha⁻¹, sem diferença estatística entre as mesmas. Já para o eucalipto, o maior incremento em altura e diâmetro foi observado na maior dose aplicada. O melhor desempenho das culturas também indica melhorias na qualidade física do solo em que foi aplicado o lodo de esgoto.

Bonini et al. (2015), avaliando a aplicação de lodo de esgoto e adubação mineral nos atributos químicos de um solo degradado, também cultivado com eucalipto e braquiária, observaram que o lodo influenciou positivamente na recuperação dos atributos químicos do solo (pH, CTC, soma de bases, matéria orgânica, fósforo, cálcio, magnésio e potássio), sendo o fósforo, a matéria orgânica e a saturação por bases indicadores importantes da qualidade química do solo, apresentando maior sensibilidade. Segundo os autores, a melhor dose aplicada foi de 60 Mg ha⁻¹, no entanto não foram citadas informações sobre o desempenho das culturas. O mesmo autor afirma que a degradação do solo

resulta na queda de sua fertilidade, ocasionada pela redução dos teores e da qualidade da matéria orgânica e pela redução dos teores de macro e micronutrientes. Comumente, há aumento dos teores de Mn e Al, devido à redução do pH. Referidos atributos constituem indicadores importantes da qualidade do solo (BONINI, 2012).

Maio et al. (2011), avaliando os atributos físicos de um solo cultivado com girassol e adubado com lodo de esgoto desidratado e silicato de magnésio, destacam o aumento da porosidade total, grau de floculação de argilas e índice de estabilidade de agregados quando utilizado o lodo, sendo utilizadas por eles as seguintes doses: 0, 6,25, 12,5 e 18,5 Mg ha⁻¹ sem diferença estatística. Também Faria (2011) confirma os efeitos positivos da aplicação de lodo de esgoto no solo, com benefícios nas características físicas, químicas e biológicas. O autor destaca ainda o aumento do fósforo disponível às plantas.

Barbosa e Tavares Filho (2006), em artigo de revisão sobre a influência do lodo de esgoto nas propriedades químicas e físicas do solo, na produtividade e recuperação de áreas degradadas, concluíram que houve incrementos positivos na estrutura e agregação das partículas do solo. Foi destacado pelos autores o potencial de fertilização que o lodo de esgoto apresenta, contribuindo para o rápido estabelecimento e crescimento de gramíneas e leguminosas, colaborando positivamente para a cobertura do solo.

Devido à ampla diversidade edafoclimática do Brasil, são necessários estudos avaliando o desempenho do lodo nas diferentes situações, em especial, avaliando os efeitos residuais do lodo em longo prazo.

4 Uso do lodo de esgoto como substrato florestal

O lodo de esgoto, estabilizado e desinfetado por meio do processo de compostagem ou adição de álcali, pode ser utilizado como substrato para mudas florestais, atendendo à crescente demanda por mudas de espécies nativas e exóticas, formando mudas de qualidade e com menor custo (SILVA et al., 2015).

Uma importante vantagem da disposição agrícola do lodo de esgoto voltada para o setor florestal é que muitas espécies possuem potencial de bioacumulação dos metais pesados na biomassa das plantas, como afirmam Labrecque et al. (1995), avaliando esse efeito em duas espécies de *Salix* fertilizadas com lodo. Os autores concluíram que as espécies não apresentaram nenhum sintoma de toxidez devido à absorção dos metais pesados. Os mesmos observaram ainda que a absorção dos metais pesados dentro dos tecidos foi proporcional à quantidade presente no solo. Além disso, a maioria das espécies não é destinada à alimentação humana ou animal.

No viveiro, Silva et al. (2015), avaliando a produção de mudas de juçara com resíduos agroindustriais e lodo de esgoto compostado, não verificaram, durante a fase de viveiro, sintomas de toxidez nas plantas. Os autores afirmam também que não houve nenhum sintoma de deficiência nutricional.

Em alguns casos, as mudas cultivadas nos compostos à base de lodo de esgoto respondem bem à fertilização complementar, porém os nutrientes já existentes no lodo podem ser suficientes para a formação de plantas com boa qualidade, gerando economia temporal e financeira, quando comparado com a adubação convencional (SCHEER et al., 2010). Trigueiro e Guerrini (2003), em estudos utilizando o lodo de esgoto para produção de mudas de eucalipto, obtiveram uma economia de fertilizantes na ordem de 64%.

Trigueiro e Guerrini (2003), Gomes et al. (2013), Rocha et al. (2013), Trazzi et al. (2014) e Trigueiro e Guerrini (2014) concordam com relação ao efeito positivo da utilização do lodo como substrato, porém destacam os cuidados com relação ao seu teor na composição total do substrato, pela possibilidade de conterem em sua composição elementos prejudiciais às plantas, como os metais pesados.

Maia (1999), estudando o uso da casca de *pinus* e lodo de esgoto como substrato para a produção de mudas de *Pinus taeda*, encontrou uma produção de biomassa maior nos tratamentos com casca de *Pinus* e lodo, quando comparada ao uso do solo. A autora reconhece a fertilidade potencial que o lodo apresenta, porém também afirma que o lodo não deve ser utilizado como substrato puro, recomendando as seguintes proporções de mistura de solo: casca de pinus: lodo: 20:40:40, 0:50:50 e 0:33:67, em proporções de volume.

Trigueiro e Guerrini (2003), avaliando o uso do lodo de esgoto como substrato para produção de mudas de eucalipto, afirmam que as doses de lodo de esgoto não devem ser superiores a 70% do total do substrato, podendo ser prejudicial à muda, sendo recomendado por eles entre 40 e 50%.

Rocha et al. (2013) indicam a utilização do composto de lodo de esgoto sem ou com material estruturante, não ultrapassando um percentual de 60% como substrato para produção de mudas clonais de *Eucalyptus*, o que resulta em desenvolvimento adequado das mudas, mesmo sem a aplicação de adubação suplementar no processo de produção.

Em trabalho realizado por Trigueiro e Guerrini (2014), utilizando o lodo de esgoto na produção de mudas de aroeira-pimenteira (*Schinus terebinthifolius* Raddi.), os autores sugerem que a proporção de lodo deve situar-se entre 40 e 60%, em combinação com a casca de arroz carbonizada. Já Nóbrega et al. (2007), em estudos com a mesma espécie, afirmam que a proporção 37% de lodo de esgoto e 63% de solo é a mais adequada para o preparo do substrato, sendo a porcentagem usada de lodo menor do que a sugerida por Trigueiro e Guerrini (2014).

Gomes et al. (2013), em estudos utilizando o lodo de esgoto como substrato para mudas de *Tectona grandis* L., recomendam a proporção de 60% de lodo, 30% de substrato comercial e 10% de terra de subsolo (v:v:v) para composição do substrato. Os autores verificaram ainda que os tratamentos que receberam lodo de esgoto na sua composição revelaram um crescimento em altura superior às mudas do tratamento com substrato comercial.

Estudos com uso de lodo de esgoto também em mudas de *Tectona grandis* L., realizados por Trazzi et al. (2014), corroboram os autores acima, sugerindo o uso de 60-

80% de lodo de esgoto, associado à fibra de coco triturada, e, de 80%, quando associado à casca de arroz carbonizada, proporções que resultaram em maiores incrementos em altura, massa seca de parte aérea e diâmetro do coleto.

Scheer et al. (2012), avaliando compostos de lodo de esgoto para a produção de mudas de angico-branco (*Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan), concluíram que, apesar de apresentar resposta positiva à fertilização adicional, os nutrientes presentes no substrato composto por resíduos de poda de árvores trituradas e lodo de esgoto foram suficientes para promover um crescimento satisfatório das plantas.

Estudos realizados no viveiro, quanto ao crescimento inicial de quatro espécies arbóreas nativas (aroeira-pimenteira, cabreúva-vermelha, pau-de-viola e unha-de-vaca) adubadas com diferentes doses de lodo de esgoto seco à temperatura de 105 °C (granulado) e com fertilização mineral, cultivadas em potes de 4 litros, realizados por Paiva et al. (2009), demonstraram que a aplicação do lodo estimulou o crescimento das mudas das quatro espécies em altura e na produção de biomassa.

Siqueira et al. (2016), avaliando o lodo de esgoto na composição de substrato para produção de mudas de mirindiba-rosa (*Lafoensia ghyptocarpa*), obtiveram melhores resultados nos tratamentos com lodo de esgoto, quando comparados ao substrato comercial, no entanto para algumas variáveis, as maiores doses de lodo foram prejudiciais, sendo recomendada pelos autores proporções entre 60 e 70% de lodo, em mistura com o substrato comercial.

Avaliações quanto ao efeito de diferentes substratos sobre o desenvolvimento de mudas de *Acacia* sp., realizadas por Cunha et al. (2006), indicaram que as sementes que foram inoculadas com bactérias do gênero *Rhizobium* e submetidas à semeadura em substrato composto por 100% de lodo de esgoto apresentaram maior crescimento quando comparadas com aquelas conduzidas nos demais substratos. Entretanto, não foram descritas as características do torrão. Trigueiro e Guerrini (2003) afirmam que a qualidade do torrão foi prejudicada na maior dose de lodo de esgoto, apresentando baixa agregação e dificuldade de extração da muda do tubete, o que foi atribuído ao baixo enraizamento apresentado pelas mudas de eucalipto. Já Silva et al. (2015), utilizando resíduos agroindustriais e lodo de esgoto compostado, afirmam que a facilidade de extração e a firmeza foram prejudicadas nas menores dose de lodo de esgoto. Os autores afirmam que o tratamento com a maior dose de lodo de esgoto apresentou boa agregação do sistema radicular ao substrato.

Lima et al. (2011), avaliando a casca de mamona associada a quatro fontes de matéria orgânica para a produção de mudas de pinhão-manso, observaram que a adição de lixo urbano, lodo de esgoto ou torta de mamona proporcionou melhor crescimento das mudas, sendo que o substrato composto por terra, torta de mamona e lodo de esgoto resultou em maiores teores foliares de cálcio e potássio.

Apesar dos benefícios gerados pela utilização do lodo na composição de substratos florestais, Silva et al. (2015) ressaltam a importância de novos testes com mudas de diferentes espécies, bem como das possíveis formulações dos componentes do substrato.

5 Considerações finais

O lodo de esgoto possui instrumentos e leis para seu gerenciamento, em especial para sua destinação agrícola, sendo necessário um estudo rigoroso do material a ser utilizado, do local, da frequência de aplicação e seu efeito residual, permitindo definição adequada do manejo das áreas ao longo do tempo, garantindo a segurança socioambiental.

Além dos benefícios como fertilizante, o lodo de esgoto pode ser utilizado como um bom condicionador de solo, trazendo efeitos para a macroporosidade, porosidade total, estabilidade de agregados e densidade, especialmente em solos degradados.

Dentre as possibilidades de destinação do lodo de esgoto, a disposição na agricultura é promissora, em especial na recuperação de áreas degradadas e na composição de substratos florestais, cujos benefícios variam de acordo com a espécie.

Referências

- ÁGUAS DO PARAÍBA. *Grupo águas do Brasil: A concessionária*. Disponível em: < <http://www.grupoaguasdobrasil.com.br/aguas-paraiba/a-concessionaria/>>. Acesso em: 22 jun. 2016.
- ALAMINO, R.C.J. *A utilização de lodo de esgoto como alternativa sustentável na recuperação de solos degradados: Viabilidade, avaliação e biodisponibilidade de metais*. 2010. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.
- ALBUQUERQUE, H.C.; JUNIO, G.R.Z.; SAMPAIO, R.A.; FERNANDES, L.A.; ZONTA, E, BARBOSA, C.F. Yield nutrition of sunflower fertilized with sewage sludge. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.19, n. 6, p. 553-559, 2015.
- ALVES FILHO, A. *Desinfecção de lodo de esgoto anaeróbico para fins agrícolas*. 2014. 79 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014.
- ANDREOLI, C.V.; DE LARA, A.I.; FERREIRA, A.C.; BONNET, B.R.P.; PEGORINI, E.S. A gestão dos bio sólidos gerados em estações de tratamento de esgoto doméstico. *Engenharia e Construção*, Curitiba, n. 24, 1998.
- BARBOSA, G.M.C.; TAVARES FILHOS, J. Uso agrícola do lodo de esgoto: influência nas propriedades químicas e físicas do solo, produtividade e recuperação de áreas degradadas. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 27, n. 4, p. 565-580, 2006.
- BARREIROS, R.M.; GONÇALVES, J.L.M.; SANSÍGOLO, C.A.; POGGIANI, F. Modificações na produtividade e nas características físicas e químicas da madeira de *Eucalyptus grandis* causadas pela adubação com lodo de esgoto tratado. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 103-111, 2007.
- BARROS, I.T.; ANDREOLI, C.V.; SOUZA JUNIOR, I.G.; COSTA, A.C.S. Avaliação agrônômica de bio sólidos tratados por diferentes métodos químicos para aplicação na cultura do milho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 15, n. 6, p. 630-638, 2011.

- BITTENCOURT, S.; SERRAT, B.M.; AISSÉ, M.M.; GOMES, D. Sewage sludge usage in agriculture: a case study of its destination in the Curitiba Metropolitan Region, Paraná, Brasil. *Water Air Soil Pollut*, v. 225, p. 2014-2082, 2014.
- BONINI, C.S.B. *Restauração ecológica de um solo decapitado sob intervenção antrópica há 17 anos*. 2012. 191 f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2012.
- BONINI, C.S.B.; ALVES, M.C.; MONTARINI, R. 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, 2015.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia legal. *A caminho da Agenda 21 brasileira: Princípios e ações*. Brasília.
- BRASIL. *Lei n. 12.305/2010*. Dispõe sobre os princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluindo os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis. 2012. 72p.
- BRASIL. *Instrução normativa 15/2004*. Definições e normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura. 2004.
- BRASIL. *Resolução n. 375/2006*. Critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. 2006.
- BRASIL. *Resolução n. 420/2009*. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. 2009.
- CALDEIRA, M.V.W.; DELARMINA, W.M.; PERONI, L.; GONÇALVES, E.O.; DA SILVA, A.G. Lodo de esgoto e vermiculita na produção de mudas de eucalipto. *Pesquisa agropecuária tropical*, Goiânia, v. 43, n. 2, p. 155-163, 2013.
- CAMPOS, F.S.; ALVES, M.C. Uso de lodo de esgoto na reestruturação de solo degradado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p. 1389-1397, 2008.
- CIESLIK, B.M.; NAMIESNIK, J.; KONIECZKA, P. Review of sewage sludge managements: standards, regulations and analytical methods. *Journal of cleaner production*, v. 90, p. 1-15, 2015.
- CUNHA, A.M.; CUNHA, G.M.; SARMENTO, R.A.; CUNHA, G.M.; DO AMARAL, J.F.T. Efeito de diferentes substratos sobre o desenvolvimento de mudas de *Acacia* sp. *Revista Árvore*, Viçosa/MG, v. 30, n. 2, p. 207-214, 2006.
- DE MARIA, E.C.; KOCSSI, M.A.; DECHEN, S.C. Agregação do solo em área que recebeu lodo de esgoto. *Bragantia*, Campinas, v. 66, n. 2, p. 291-298, 2007.

- FARIA, R.L. O uso do lodo de esgoto na agricultura: impactos ambientais e restrições técnicas. *Complexus: Engenharia, Arquitetura e Design*, n. 2, p. 102-122, 2011.
- FERRAZ, A.V. *Efeito residual do lodo de esgoto na produtividade e na ciclagem de nutrientes em plantios de Eucalyptus grandis e no cultivo de plantas alimentícias (simulando alteração do uso agrícola do solo)*. 2013. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.
- GARCIA, G.O.; VENTURIN, A.Z.; RIBEIRO, H.R.; GONÇALVES, M.S.; SPADETTO, M.F. Crescimento e nutrição de milho decorrentes da aplicação de lodo de esgoto doméstico. *Nucleus*, v. 9, n. 1, p. 93-100, 2012.
- GOMES, D.R.; CALDEIRA, M.V.W.; DELARMINA, W.M.; GONÇALVES, E.O.; TRAZZI, P.A. Lodo de esgoto como substrato para produção de mudas de *Tectona grandis* L. *Revista Cerne*, Lavras, v. 19, n. 1, p. 123-131, 2013.
- GUEDES, M.C.; POGGIANI, F. Variação dos teores de nutrientes foliares em eucalipto fertilizado com Biossólido. *Scientia forestalis*, n. 63, p.188-201, 2003.
- LABRECQUE, M.; TEODORESCU, T.I.; DAIGLE, S. Effect of wastewater sludge on growth and heavy metal bioaccumulation of two *Salix* species. *Plant and soil*, v. 171, n. 2, p. 303-316, 1995.
- LELES, P.S.S.; LISBOA, A.C.; NETO, S.N.O.; GRUGIKI, M.A.; FERREIRA, M.A. Qualidade de mudas de quatro espécies florestais produzidas em diferentes tubetes. *Floresta e ambiente*, v. 13, n. 1, p. 69-78, 2006.
- LIMA, R.L.S.; SEVERINO, L.S.; FERREIRA, G.B.; SOFIATTI, V.; SAMPAIO, L.R.; BELTRÃO, N.E.M. Casca de mamona associada a quatro fontes de matéria orgânica para produção de mudas de pinhão-manso. *Revista Ceres*, Viçosa/MG, v. 58, n. 2, p. 232-237, 2011.
- LOBO, T.F.; GRASSI FILHO, H.; BULL, L.T. Efeito do nitrogênio e do lodo de esgoto nos fatores produtivos do feijoeiro. *Revista Ceres*, Viçosa/MG, v. 59, n. 1, p. 118-124, 2012.
- LOUSADA, L.L. *Nutrição e crescimento de sorgo sacarino e alterações nos atributos do solo pela aplicação de lodo de esgoto doméstico*. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos/RJ, 2015.
- MAIA, C.M.B.F. Uso de casca de *Pinus* e lodo biológico como substrato para produção de mudas de *Pinus taeda*. *Boletim de pesquisa florestal*, Colombo, n. 39, p. 81-92, 1999.
- MAIO, M.M.; SAMPAIO, R.A.; NASCIMENTO, A.L.; PRATES, F.B.S.; RODRIGUES, M.N.; DA SILVA, H.P.; DIAS, A.N.; FREITAS, C.E.S. Atributos físicos do solo, adubado com lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio. *Revista Ceres*, Viçosa/MG, v. 58, n. 6, p. 823-830, 2011.
- NOBILE, F.O.; NUNES, H.D.; NEVES, J.C. Doses de lodo de esgoto sobre o desenvolvimento da grama bermuda (*Cynodon dactylon*). *Nucleus*, v. 11, n. 2, p. 271-282, 2014.

NOBREGA, R.S.A.; VILAS BOAS, R.C.; NOBREGA, J.C.A.; DE PAULA, A.M.; MOREIRA, F.M.S. Utilização de Biossólido no crescimento inicial de mudas de aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi). *Revista Árvore*, Viçosa/MG, v. 31, n. 2, p. 239-246, 2007.

NOGUEIRA, T.A.R.; MELOB, W.J.; OLIVEIRA, L.R.; FONSECA, I.M.; DE MELO, G.M.P.; MARCUSSI, S.A.; MARQUES, M.A. Nickel in soil and maize plants grown on an oxisol treated over a long time with sewage sludge. *Chemical Special e Bioavailability*, v. 21, n. 3, p. 165-173, 2009.

PAIVA, A.R.; POGGIANI, F.; GONÇALVES, J.L.M.; FERRAZ, A.V. Crescimento de mudas de espécies arbóreas nativas, adubadas com diferentes doses de lodo de esgoto seco e com fertilização mineral. *Scientia forestalis*, Piracicaba, v. 37, n. 84, p. 499-511, 2009.

PARANÁ. Companhia de saneamento do Paraná (SANEPAR). *Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura*. Programa de pesquisa em saneamento básico. Curitiba, PR, 1999.

PEGORINI, E.S.; ANDREOLI, C.V.; SOUZA, M.L.P.; FERREIRA, A. Qualidade do lodo de esgoto utilizado na reciclagem agrícola na região metropolitana de Curitiba-PR. In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE BIOCÓLIDOS, 1., 2003, São Paulo, SP.

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

QUINTANA, N.R.G.; CARMO, M.S.; MELO, W, J. Lodo de esgoto como fertilizante: produtividade agrícola e rentabilidade econômica. *Revista Nucleus*, v. 8, n. 1, p. 183-192, 2011.

RIGO, M.M.; RAMOS, R.R.; CERQUEIRA, A.A.; SOUZA, P.S.A.; MARQUES, M.R.C. Destinação e reuso na agricultura do lodo de esgoto derivado do tratamento de águas residuárias domésticas no Brasil. *Gaia Scientia*, v. 8, n. 1, p. 174-186, 2014.

ROCHA, J.H.T.; BACKES, C.; DIOGO, F.A.; PASCOTTO, C.B.; BORELLI, K. Composto de lodo de esgoto como substrato para mudas de eucalipto. *Pesquisa Florestal Brasileira*, Colombo, v. 33, n. 73, p. 27-36, 2013.

SAMPAIO, T.F.; GUERRINI, I.A.; BACKES, C.; HELIODORO, J.C.A.; RONCHI, H.S.; TANGANELLI, K.M.; DE CARVALHO, N.C.; OLIVEIRA, F.C. Lodo de esgoto na recuperação de áreas degradadas: efeito nas características físicas do solo. *Revista brasileira de ciências do solo*, Viçosa/MG, v. 36, n. 5, p. 1637-1645, 2012.

SANTOS, E.E.V.; KUNZ, S.H.; CALDEIRA, M.V.W.; AZEVEDO, C.H.S.; RANGEL, O.J.P. 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, 2014.

SÃO PAULO. Companhia ambiental do estado de São Paulo (CETESB). *Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas: critérios para projeto e operação* (manual técnico). 1999. p. 4230.

SCHEER, M.B.; CARNEIRO, C.; DOS SANTOS, K.G. Substratos à base de lodo de esgoto compostado na produção de mudas de *Paraptadenia* rígida (Benth.) Brenan. *Scientia forestalis*, Piracicaba, v. 38, n. 88, p. 637-644, 2010.

- SCHEER, M.B.; CARNEIRO, C.; BRESSAN, O.A.; DOS SANTOS, K.G. Compostos de lodo de esgoto para produção de mudas de *Anadenanthera colubria* (Vell.) Brenan. *Revista Cerne*, Lavras, v. 18, n. 4, p. 613-621, 2012.
- SILVA, F.A.M.; SOUZA, E.I.; ZANON, J.A.; NUNES, G.M.; SILVA, R.B.; FERRARI, S. Produção de mudas de juçara com resíduos agroindustriais e lodo de esgoto compostados. *Brazilian Journal of Biosystems Engineering*, v. 9, p. 109-121, 2015.
- SIQUEIRA, D.P.; BARROSO, D.G.; ERTHAL, R.M. Lodo de esgoto na composição de substrato para produção de mudas de Mirindiba-rosa. In: CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS, 13., 2016, Poços de Caldas, MG. *Anais...* Poços de Caldas, 2016.
- TRATABRASIL. *Ranking do saneamento, instituto Trata Brasil*. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/datafiles/estudos/ranking/2016/relatorio-completo.pdf>>. Acesso em: 01 ago. 2016.
- TRAZZI, P.A.; CALDEIRA, M.V.W.; DOS REIS, E.F.; DA SILVA, A.G. Produção de mudas de *Tectona grandis* em substratos formulados com Biossólido. *Revista Cerne*, Lavras, v. 20, n. 2, p. 293-302, 2014.
- TRIGUEIRO, R.M.; GUERRINI, I.A. Uso de Biossólido como substrato para produção de mudas de eucalipto. *Scientia forestalis*, n. 64, p. 150-162, 2003.
- TRIGUEIRO, R.M.; GUERRINI, I.A. Utilização de lodo de esgoto na produção de mudas de aroeira-pimenteira. *Revista árvore*, Viçosa/MG, v. 38, n. 4, p. 657-665, 2014.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). *Test methods for evaluating solid wastes*. Washington, DC, 1986.
- VEGA, F.V.A.; BOVI, M.L.A.; BERTON, R.S.; GODOY JUNIOR, G.; CEMBRANELLI, M.A.R. Aplicação de Biossólido na implantação da cultura da pupunheira. *Horticultura brasileira*, v. 22, n. 1, p. 131-135, 2004.
- VEGA, F.V.A.; BOVI, M.L.A.; GODOY JUNIOR, G.; BERTON, R.S. Lodo de esgoto e sistema radicular da pupunheira. *Revista brasileira de ciências do solo*, Viçosa/MG, v. 29, n. 2, p. 259-268, 2005.

Artigo recebido em: 31 out. 2016

Aceito para publicação em: 16 nov. 2017