



Biossólido de lodo de esgoto na agricultura: desafios e perspectivas

Manoel Victor Borges Pedrosa¹

Wallace Luís de Lima²

Atanásio Alves do Amaral³

Arnaldo Henrique de Oliveira Carvalho⁴

Resumo

Objetivou-se com este trabalho fazer uma revisão de literatura sobre o uso de resíduos de esgoto em sistemas de produção agroecológicos. O resíduo de esgoto é comumente chamado de lodo de esgoto e é um resíduo rico em matéria orgânica, originado durante o tratamento das águas residuárias nas Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs). Sua aplicabilidade na agricultura deve ser muito bem planejada, pois em sua constituição, além da matéria orgânica que traz benefícios diversos para o solo e as culturas, há a presença de metais pesados, elementos químicos de peso específico maior do que $5\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ou número atômico maior que 20 e microrganismos patogênicos, que podem desenvolver doenças para o seu hospedeiro, quando em condições adequadas para sua sobrevivência e multiplicação. Com isso, a Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006, define que não é permitido o uso do lodo de esgoto para as olerícolas, pastagens, tubérculos e raízes, bem como seus derivados. Essa recomendação estende-se a todas as culturas em que suas partes comestíveis estão em contato com o solo. Caso haja a aplicação em uma determinada área, o período de espera para uma possível utilização para pastagem é de 24 meses. No caso de tubérculos, olerícolas, raízes e demais culturas, o período mínimo é de 48 meses. As melhores aplicabilidades do lodo de esgoto são o seu uso para recuperação de áreas degradadas e formulação de substratos para mudas de espécies florestais.

Palavras-chave: Lodo. Matéria orgânica. Áreas degradadas. Substratos.

Introdução

Um dos grandes problemas ambientais vivido atualmente refere-se à contaminação dos cursos d'água. Ao realizar o descarte de esgoto doméstico, sem qualquer tipo de tratamento, ocorre a contaminação da água que consumimos, bem como a degradação para os animais que ali vivem. Na busca por um planeta mais sustentável, deve-se buscar diminuir a produção de materiais poluidores, neste caso, a solução mais viável é o tratamento do esgoto (RANGEL et al., 2004).

Ao realizar o tratamento do esgoto, gera-se um resíduo sólido, rico em matéria orgânica, que pode apresentar teores satisfatórios de nitrogênio, fósforo, zinco, cobre, ferro, manganês e molibdênio. Esse material contribui para um grave problema ambiental, devido à falta de um local adequado para sua disposição. As opções para a disposição final do lodo são a deposição florestal e oceânica, incineração, aterro sanitário e, na agricultura, como fertilizante orgânico. Entre essas alternativas, o

1 Instituto Federal do Espírito Santo - *Campus* de Alegre, pós-graduando em Agroecologia. victorpedrosa2009@hotmail.com. Rod Br 482, Km 48, s/n - Rive, Alegre ES, 29520-000.

2 Instituto Federal do Espírito Santo - *Campus* de Alegre, professor-doutor. wallace@ifes.edu.br.

3 Instituto Federal do Espírito Santo - *Campus* de Alegre, professor-doutor. atanasio.ifes@gmail.com.

4 Instituto Federal do Espírito Santo - *Campus* de Ibatiba, professor-mestre. arnaldohenrique.carvalho@gmail.com.

uso na agricultura se mostra como a opção mais economicamente viável, devido à redução do uso de insumos (RIGO et al. 2014).

Estudos vêm demonstrando que a utilização do lodo de esgoto traz diversos benefícios à agricultura, como a incorporação dos macronutrientes (nitrogênio e fósforo) e dos micronutrientes (zinco, cobre, ferro, manganês e molibdênio). Com essas características nutricionais, pode-se dizer que, de modo geral, o lodo de esgoto é um atributo relevante a ser utilizado como adubação em algumas culturas (BETTIOL et al., 2004).

Segundo a Norma Brasileira (NBR) 10.004 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, 2004), o lodo de esgoto pode ser classificado em duas classes. A classe I inclui os resíduos perigosos à saúde humana e ao meio ambiente, contendo metais pesados e possuem características de inflamabilidade, corrosividade e toxicidade. A classe II inclui os resíduos com a possível presença de patógenos. Existe ainda uma subclassificação dentro da classe II, a classe II A para os materiais não inertes, e a classe II B para os inertes.

Por conta de suas características, como fonte de metais pesados, compostos orgânicos persistentes e de patógenos em concentrações nocivas à saúde e ao meio ambiente, foi criada a Resolução nº 375, de 29 de agosto de 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 e dá outras providências” (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA, 2006).

O uso do lodo de esgoto em sistemas de produção agroecológicos é uma ótima opção para o reúso desse material; entretanto, seu planejamento deverá ser minucioso, pois apresenta potencial de contaminação por metais pesados que, caso ocorra, fará com que haja prejuízos na prática agrícola, podendo causar danos maiores do que a adubação mineral. Com isso, objetivou-se realizar uma revisão de literatura sobre o uso do lodo de esgoto, descrevendo suas características gerais, bem como seus modos de utilização.

Atributos nutricionais do lodo de esgoto

A realidade brasileira no que tange ao tratamento de seus resíduos domésticos é precária. O saneamento básico não está presente em todas as cidades brasileiras, deixando muitas pessoas em condições subumanas. Quando ele ocorre, gera um resíduo, o lodo de esgoto, que, apesar de ser um material descartado no tratamento do esgoto, tem potencial agrônomo, possibilitando ao produtor uma boa fonte de matéria orgânica para o solo (CATOLICO et al., 2015).

O uso planejado do lodo de esgoto pode trazer benefícios para o meio ambiente, pois dá uma funcionalidade para o resíduo e melhora a qualidade do solo, assim como para o produtor, com o aumento da produtividade agrícola. Com a elevação da matéria orgânica no solo, as plantas cultivadas terão melhores condições nutricionais, com isso, um melhor crescimento e desenvolvimento. Além disso, haverá uma economia financeira com a inserção desse adubo na unidade produtiva, preterindo os fertilizantes químicos (SANTOS et al. 2014).

Entretanto, não se recomenda sua utilização em culturas com ciclo de vida curto, por apresentar composição de elementos tóxicos e agentes patogênicos ao homem (BETTIOL; CAMARGO, 2006). Faz-se necessário que o lodo de esgoto seja devidamente higienizado e manejado e existem diversos procedimentos para o seu tratamento. Os métodos mais utilizados para a sua estabilização são: processos biológicos (aeróbicos e anaeróbicos), estabilização química e compostagem (oxidação aeróbica).

Não se permite o lodo de esgoto para as olerícolas, pastagens, tubérculos e raízes, bem como seus derivados. Essa recomendação estende-se a todas as culturas em que suas partes comestíveis estão em contato com o solo. Caso haja a aplicação em uma determinada área, o período de espera para uma possível utilização para pastagem é de 24 meses. No caso de tubérculos, olerícolas, raízes e demais culturas, o período mínimo é de 48 meses (CONAMA, 2006).

Sobre a composição dos nutrientes presentes no lodo de esgoto, o United State Department of Agriculture (USDA, 1980) relata que um lodo de esgoto típico tem em média 40 kg¹ de N, 20 de P, 4 de K e 250 de C-orgânico ou 43 % de matéria orgânica. Na Tabela 1, visualiza-se a concentração de nutrientes em um lodo de esgoto, em comparação com a exigência nutricional de algumas culturas.

Tabela 1. Concentração de nutrientes do lodo de esgoto, em comparação com a exigência nutricional de algumas culturas

Nutrientes	Teores de nutrientes do lodo de esgoto (g.kg ⁻¹)*	Exigências nutricionais da alface (g.kg ⁻¹)**	Exigências nutricionais do eucalipto (g.kg ⁻¹)***	Exigências nutricionais da roseira (g.planta.ano ⁻¹)****	Exigências nutricionais do café (g.kg ⁻¹)*****
N	27,4	30 – 50	28 – 40	7,8	33
P	18	4 – 7	2,5 – 4	1,6	1,3
K	18	50 – 80	15 – 30	2,9	18
Ca	11	15 – 25	5 – 7	2,1	8
Mg	2	4 – 6	2 – 3	0,8	3
Fe	21,75	50 – 150	101 – 220	81,1	0,070
Mn	0,582	30 – 150	250 – 500	51,6	0,035
Zn	1,09	30 – 100	30 – 60	15,7	0,015

Fonte: *Backes (2013); **Trani e Raji (1997); ***Higashi et al. (2000); ****Haag et al. (1989); *****Costa e Bragança (1996).

Garcia et al. (2009) utilizaram o lodo de esgoto da estação de tratamento de efluentes de Jerônimo Monteiro (ES) (Tabela 2) nas doses de 0, 25, 50, 75 e 100 ton. ha⁻¹, buscando a recuperação de um solo degradado. Ao comparar o lodo de esgoto com outras fontes orgânicas presentes na literatura, como esterco de galinha, esterco bovino, vinhaça e composto de lixo urbano, observa-se que este é superior em N, Ca, Mg e S a todos os outros compostos orgânicos. O fósforo é inferior apenas ao do esterco bovino e o potássio apresenta um dos menores resultados, o que pode ser devido ao fato de ser muito solúvel em água, sendo perdido no processo de tratamento do esgoto.

Tabela 2. Teor de macronutrientes no lodo da ETE de Jerônimo Monteiro em comparação com outros materiais orgânicos

Descrição das concentrações	Elemento					
	N	P	K	Ca	Mg	S
	-----% em peso seco -----					
Lodo da ETE de Jerônimo*	2,17	0,50	0,60	17,13	1,88	1,54
Esterco bovino**	1,50	1,20	0,70	2,00	0,60	0,20
Esterco de galinha**	1,40	0,80	2,10	2,30	0,50	0,20
Vinhaça**	0,06	0,01	0,30	0,10	0,04	0,05
Composto de lixo urbano**	0,60	0,20	0,30	1,10	0,10	0,20

Fonte: *Garcia et al. (2009); **Khiehl (1985).

Carvalho et al. (2015) verificaram a composição química da fração orgânica de cinco tipos de lodo de esgoto, buscando identificar qual método possibilitava um produto final com melhores teores nutricionais para o uso na agricultura. Os materiais se diferenciaram quanto às etapas subsequentes de condicionamento químico, sendo três referentes ao processo anaeróbico e dois de modo aeróbico. Os materiais com tratamento aeróbico possibilitam um composto mais indicado para condicionamento do solo, enquanto o anaeróbico para fertilizante orgânico.

No trabalho de Fidalski e Chaves (2010), no qual se realizou aplicação superficial de diversos tipos de resíduos orgânicos na cultura do *Coffea arabica* L. (lodo de esgoto bruto, lodo de esgoto bruto com cal virgem, esterco bovino, esterco de galinha, palha de café, cama de frango, bagaço de cana-de-açúcar, bagaço de cana-de-açúcar com esterco de galinha e esterco de suínos, torta de filtro de cana-de-açúcar, leucena, matéria seca de mucuna cinza, guandu, braquiária, sorgo forrageiro, amendoim forrageiro, bagaço de laranja, chorume de suínos e sulfato de amônio), verifica-se a ação do lodo de esgoto bruto e lodo de esgoto bruto com cal virgem sobre a fertilidade do solo. O lodo com cal virgem possibilita melhorias nos teores de Ca^{2+} e Mg em amostras de solo na profundidade de 0 – 40 cm. Tais resultados estão relacionados com a concentração desses elementos na cal virgem. Com isso, o lodo de esgoto se torna um adubo mais rico em nutrientes.

Contaminação por metais pesados no lodo de esgoto

Os metais pesados e agentes patogênicos são a preocupação que se tem ao aplicar o lodo de esgoto na cultura de interesse agrônômico. Os metais pesados, elementos químicos com peso específico maior que 5 g cm^{-3} e/ou número atômico maior que 20 (Malavolta, 1994), podem causar sérios problemas de saúde, tais como: problemas respiratórios, fadiga crônica, doenças mentais, entre outros.

Nascimento et al. (2014a) avaliaram os teores de metais pesados (Zn, Cu, Ni, Cd, Pb e Cr) em lodo de esgoto tratados com os seguintes processos de estabilização: solarizado, compostado, vermicompostado e caleado e verificaram que em todos os casos não houve contaminação do material, estando esses bem abaixo da concentração máxima permitida. Na Tabela 3, visualizam-se os limites de metais pesados permitidos por lei e as concentrações dos diferentes tipos de lodo de esgoto (LE).

Tabela 3. Limites de metais pesados permitidos pela legislação e as concentrações dos diferentes tipos de lodo de esgoto (LE)

Metais	LE solarizado (kg.ha^{-1})*	LE compostado (kg.ha^{-1})*	LE vermicompostado (kg.ha^{-1})*	LE caleado (kg.ha^{-1})*	Legislação (mg.kg^{-1} , base seca)**
Zn	3,21	15,02	7,17	22,89	2800
Cu	0,49	2,35	1,36	3,58	1500
Ni	0,28	1,73	0,82	1,58	420
Cd	0,007	0,05	0,02	0,13	39
Pb	0,56	4,36	2,29	14,38	300
Cr	4,28	33,54	16,29	41,60	1000

Fonte: *Nascimento et al. (2014a); **Brasil (2006).

No trabalho de Nascimento et al. (2014b), foi estudada a possibilidade de passagem de metais pesados para o solo e para plantas de girassol, pela prática da adubação química e adubação com o lodo de esgoto. Foram aplicadas as concentrações de: 0; 4,84; 9,68; 19,36 e 29,04 mg ha^{-1} , em

base seca, referentes à exigência de nitrogênio da cultura. Foi observado que os níveis de Zn são superiores na planta e no solo para os tratamentos com lodo de esgoto. Verificou-se ainda que a planta apresenta aumento de Zn, Cu e Mn e queda de Pb, com o acréscimo da quantidade de lodo de esgoto aplicada.

Lobo e Grassi Filho (2015) também trabalharam com a cultura do girassol e avaliaram as aplicações nas concentrações de 25, 50, 75 e 100 Kg ha⁻¹ do lodo de esgoto. Nas condições do experimento em questão, o lodo se mostra como uma boa opção para trabalhar a fertilidade da cultura, pois não há a presença de metais pesados nos teores foliares e nas sementes. Também não há a presença de elementos-traços no solo.

Silva et al. (2014) avaliaram a presença de metais pesados no solo e em plantas de soja após a aplicação de lodo de esgoto biodigerido nas doses de 0, 2, 4 e 8 mg ha⁻¹. Em relação ao solo, os elementos Ni, Cd, Pb e Zn têm seus teores aumentados com o uso de lodo de esgoto biodigerido.

A possível contaminação de metais pesados na cultura do milho foi estudada por Gonçalves Junior et al. (2015), sendo avaliada em uma única aplicação, com e sem a presença de adubação mineral nas doses de 0; 10,0; 20,0; 40,0 e 60,0 mg ha⁻¹ de lodo de esgoto. Entre os elementos estudados, apenas o Zn eleva suas taxas com o emprego do lodo de esgoto, independente da presença do adubo mineral (Tabela 4).

Tabela 4. Valores médios dos teores de Zn, Fe, Mn e Pb no tecido vegetal das plantas de milho em função das doses de biossólido utilizadas no experimento

Metais	Doses em Mg ha ⁻¹				
	0	10	20	40	60
	-----% Mg Kg ⁻¹ -----				
Zn	13,25 c	17,94 b	16,69 b	19,50 ab	21,62 a
Fe	183,50	102,50 b	132,06 ab	114,25 b	137,31 ab
Mn	54,25	42,31 b	44,50 b	45,38 ab	44,12 b
Pb	2,49	1,17 b	1,13 b	1,15 b	1,23 b

Para cada elemento, na linha, médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Fonte: Gonçalves Junior et al. (2015).

Contaminação por patógenos no lodo de esgoto

O lodo de esgoto é dividido em duas classes, de acordo com a concentração de patógenos presentes na solução. O lodo Classe A apresenta coliformes termotolerantes < 10³ NMP/g de sólidos totais; ovos viáveis de helmintos < 0,25 ovo/g de sólidos totais; vírus < 0,25 UFP ou UFF/g de sólidos totais e inexistência de Salmonella em 10 g de sólidos totais. O lodo classe B possui coliformes termotolerantes < 10⁶ NMP/g de sólidos totais; ovos viáveis de helmintos < 10 ovo/g de sólidos totais (BRASIL, 2006).

A classificação dos tipos de lodo indica suas possíveis utilizações. De acordo com a Resolução CONAMA nº 375 (2006), o lodo de esgoto considerado classe A não pode ser trabalhado na fertilização do solo de pastagens, tubérculos, olerícolas, culturas inundadas e de raízes, assim como todas as outras culturas que possuam contato de sua parte comestível com o solo. O lodo de esgoto classe B apresenta menor restrição, pois não há tanto rigor quanto aos patógenos. Neste caso, pode-se trabalhar restritamente com a cafeicultura, silvicultura e produção de fibras e óleos.

Para a obtenção de um material, que esteja de acordo com as exigências sanitárias previstas por lei, tanto para o lodo de esgoto classe A, quanto para o classe B, faz-se necessário que este passe por uma higienização. Esse procedimento de eliminação de patógenos pode ser realizado por meio de diversas técnicas, sendo elas: pasteurização; caleação (inertização pela cal); secagem térmica; digestão aeróbica e anaeróbica; hipercloração; compostagem; vermicompostagem, entre outras (SINHÁ et al. 2010).

Entre as técnicas mencionadas acima, a compostagem apresenta capacidade de viabilizar o lodo de esgoto por meio da redução dos ovos de helminto nesse material. Segundo Corrêa et al. (2007), a compostagem, com poda de árvores, serragem e lodo de esgoto contribuem de forma significativa para qualidade do material, haja vista a queda de 4,7 ovos viáveis de helmintos por grama para 0,34 ovos por grama. Após a compostagem, realizou-se ainda a vermicompostagem, por meio da inoculação do composto maduro com minhocas. Essa técnica tornou o material livre de ovos de helmintos.

A eficácia da eliminação de ovos viáveis de helmintos na solução de lodo de esgoto pela aplicação de cal pode ser observada nos resultados do experimento de Rossmann et al. (2014), no qual foi constatada a presença de 27,99 ovos viáveis no lodo de esgoto sem o uso da cal; 1,75 com caleação por duas horas; 0,19 com caleação por 72 horas. Pode-se, então, classificar o lodo de esgoto caleado por duas horas, em classe A ($<0,25$ ovos.g⁻¹ de sólidos totais) e o lodo caleado por 72 horas, em classe B (<10 ovos.g⁻¹ de sólidos totais).

A técnica de secagem térmica é observada no estudo de Fologari et al. (2012), em que se testaram as temperaturas de 45, 50, 55, 60 e 65 °C para a eliminação de *Escherichia coli* no lodo de esgoto. A partir de 55 °C, há uma descontaminação do material com demanda de menor tempo, sendo essa a metodologia mais indicada.

O tratamento aeróbico de eliminação de agentes patogênicos pode ser observado no trabalho de Silva et al. (2009), com compostos com 0, 10, 20 e 30 % de lodo de esgoto. Ao final do experimento, há um produto com descontaminação total aos 14, 28, 35 e 63 dias, respectivamente.

Dores-Silva et al. (2011) trabalharam com a vermicompostagem para a obtenção de lodo de esgoto sem a presença de agentes patogênicos (Tabela 5). Três diferentes formulações foram estudadas, sendo estas: 100 % lodo de esgoto; 75 % lodo de esgoto e 25 % solo; 50 % lodo de esgoto e 50 % solo. Foram realizadas sete coletas do vermicomposto em intervalos de 15 dias. Observa-se que a partir da sexta coleta, nos três tipos de lodo, os valores estão abaixo de 0,25 ovos.g⁻¹ de sólidos totais, classificando-o como lodo de esgoto classe A.

Tabela 5. Variação na concentração de ovos viáveis de helmintos (resultados expressos em base seca)

Coletas	A Ovos*	B Ovos*	C Ovos*
1 ^a	10,00	4,00	3,00
2 ^a	8,00	3,00	1,00
3 ^a	< 0,25	< 0,25	< 0,25
4 ^a	< 0,25	< 0,25	< 0,25
5 ^a	< 0,25	1,00	< 0,25
6 ^a	< 0,25	< 0,25	< 0,25
7 ^a	< 0,25	< 0,25	< 0,25

*4g de amostra seca

Fonte: Dores-Silva et al. (2011).

Lodo de esgoto na produção de alimentos

A utilização do lodo de esgoto como fertilizante apresenta potencial para suprir as necessidades nutricionais das plantas de forma igualitária à adubação mineral ou, até mesmo, superando seus rendimentos. O produtor, ao utilizar o lodo, terá ganhos em produtividade e economia com insumos químicos. Contudo, existem riscos ao se praticar a agricultura com esse resíduo sólido, pois além do potencial nutricional, este possui risco de contaminação dos alimentos, com patógenos e metais pesados (RIBEIRO; MELO, 2008).

Quando há a presença de contaminantes do lodo no solo, estes podem ter diferentes destinos, todos gerando danos ambientais de uma determinada forma. Os possíveis destinos são: lixiviação de nutrientes para cursos d'água, volatilização, degradação química e biológica, assimilação pelas plantas e bioacumulação em organismos que consumiram alimentos (vegetal ou animal) contaminados (SAITO, 2008).

A eficácia do uso do lodo de esgoto foi analisada na cultura da mamoneira em relação ao seu desenvolvimento inicial. As doses usadas foram: 0, 4, 8, 16 e 32 mg ha⁻¹. Os resultados referentes à altura de plantas e fitomassa seca indicam uma resposta linear às doses de lodo de esgoto, podendo inferir que, ao aumentar as doses de lodo de esgoto, esses valores seriam acrescidos (BACKES et al., 2009).

O lodo de esgoto contribui significativamente para a cultura do feijoeiro, com o fornecimento de nitrogênio para a cultura, que é um dos nutrientes mais limitantes para a sua produção. Segundo Prado e Cunha (2011), observa-se um aumento de 5 % de nitrogênio em plantas de feijoeiro, ao se aplicar 42 mg.ha⁻¹ de lodo de esgoto no solo. Essa resposta apresenta um comportamento linear, podendo-se alcançar maiores valores de nitrogênio ao aumentar a dose de lodo de esgoto.

Em relação à produtividade do feijoeiro, a utilização do lodo de esgoto pode contribuir para um aumento no número de grãos, sendo que ao aplicar 0; 10.000; 20.000; 30.000 e 40.000 kg ha⁻¹ de lodo de esgoto, obtêm-se os valores de 1.823; 2.297; 2.426; 2.537; 2.622 e 2.865 kg ha⁻¹ de feijão, respectivamente (LOBO et al. 2015).

A produtividade do milho também sofre influência positiva da aplicação de lodo de esgoto. O emprego de doses de 0; 7,7; 15,4; 29,7; 45,1 e 60,5 t ha⁻¹ de lodo de esgoto gera aumento na produção até a dose de 26 t ha⁻¹. Os elementos Ca, Mg, Cu, Mn e Zn apresentam-se em boas concentrações nas folhas de milho, de modo a satisfazer as necessidades nutricionais da planta (GOMES et al. 2007).

A influência do lodo de esgoto na produtividade também foi o foco do estudo de Nogueira et al. (2006) na consorciação de milho e feijão. Foram aplicados diferentes tipos de lodo, sendo estes: 16,7 t/ha de lodo não higienizado; 13,8 t/ha de lodo higienizado + extrato de nim (*Azadirachta indica*); 33,2 t/ha de lodo tratado + cal; composto orgânico de Ipomea + lodo compostado nas doses de 28,1 e 30,6 t/ha. Para esse último, houve a adição de 2 % de fosfato natural reativo no início da compostagem e lodo compostado + fosfato natural nas doses de 13,1; 14,1 e 31,8 t/ha. Nesse experimento, não foi verificada influência do uso do lodo em nenhuma das análises da produtividade, tanto no milho quanto no feijão.

O uso do lodo de esgoto geralmente propicia aumento em alguns elementos na planta, de modo a não contemplar todos os nutrientes necessários para o bom crescimento e desenvolvimento das plantas. Com base nisso, Chueiri et al. (2007) utilizaram doses de 0; 2,5; 5,0; 7,5 e 10,0 mg ha⁻¹ de lodo de esgoto alcalinizado como suplemento para a adubação mineral na cultura do trigo. Os teores de K, N, Mg, Cu e Zn são melhorados com o uso do lodo de esgoto.

A prática do lodo de esgoto pode ainda ser realizada com outras práticas agroecológicas. Lobo et al. (2012) estudaram o uso do lodo de esgoto no cultivo da soja nas doses de 0, 10, 20, 30, 40 t ha⁻¹, juntamente com a inoculação de bactéria fixadora de nitrogênio (*Bradyrhizobium Japonic*), avaliando o teor de N foliar, massa seca de nódulos e número de nódulos da planta no florescimento. O resultado da união entre essas técnicas foi superior à utilização do lodo sozinho. Esse ainda teve queda nos resultados com o aumento das doses de lodo.

Singh e Agrawal (2010) estudaram a possível translocação de teores de metais pesados em grãos de arroz com lodo de esgoto nas doses de 0; 3; 4,5; 6; 9; 12 kg m⁻². Os elementos: Ni, Cd, Cu, Cr, Zn, Pb e Mn têm seus teores aumentados proporcionalmente com os teores de lodo. Para o níquel e o cádmio, a partir de 4,5 kg m⁻², seus valores superam o limite permitido por lei; tal comportamento é semelhante para o chumbo, na dose de 9 kg m⁻². Os demais elementos não alcançam os limites permitidos em grãos de arroz.

A utilização do lodo de esgoto como componente de substrato de mudas pode melhorar o crescimento e desenvolvimento das plantas, de acordo com Freitas e Melo (2010), que testaram o uso do lodo de esgoto proveniente de uma Estação de Tratamento de Esgoto de uma empresa farmacêutica em uma mistura de composto orgânico em mudas de tomateiro nas seguintes formulações: solo + esterco bovino (3:1), solo + composto (3:1), solo + composto (2:2), composto puro e plantmax (composto comercial). Ao final do experimento, o composto puro obteve os melhores resultados nas avaliações de altura, número de folhas, massa seca da parte aérea e índice total de crescimento.

No estudo de Coelho et al. (2011), avaliou-se o efeito da substituição da adubação mineral pelo lodo de esgoto no desempenho agrônomo da bananeira cv. IAC 2001, em relação à demanda de nitrogênio da cultura. Ao avaliar os teores de nutrientes das folhas de bananeiras, nota-se que os elementos N, P, K, Mg, S, B, Fe, Zn apresentam valores semelhantes ao da adubação mineral, mostrando a possibilidade de aplicação do lodo de esgoto como fertilizante para a cultura.

A substituição da adubação mineral pelo uso do lodo de esgoto também foi realizada na cultura da laranjeira no trabalho de Romeiro et al. (2014). As doses de 0, 6, 12, 18, 24 e 30 kg planta⁻¹ de lodo de esgoto possibilitam valores crescentes nos teores de N, P e Ca. Os resultados referentes ao K e Mg são inferiores aos da adubação mineral.

Trabalho semelhante foi realizado em tangerineiras 'Ponkan' enxertadas em citrumeleiro 'Swingle'. Nota-se que as folhas das plantas adubadas com lodo de esgoto apresentam valores superiores à adubação convencional nos teores de N, P, Ca e S. Os valores de K e Mg não são influenciados pelo lodo de esgoto. Quanto aos teores de As, Cd, Cr e Hg, não há toxidez (SANTOS et al. 2011).

O uso do lodo de esgoto para fertilização do solo na emergência e desenvolvimento inicial do maracujazeiro doce foi estudado por Oliveira et al. (2009), com a aplicação de doses de 5 t ha⁻¹ e corrigido até 60 % da saturação de bases com 5 t ha⁻¹, em Argissolo vermelho e Latossolo vermelho. A aplicação de lodo em Latossolo amarelo melhora a emergência do maracujazeiro doce. A inserção do lodo de esgoto adiciona elementos-traços nas plantas, todavia sem atingir níveis tóxicos.

A produtividade da cultura da bananeira com lodo de esgoto foi avaliada no trabalho de Melo e Ligo (2006) nas proporções de 9, 18 e 36 t.ha⁻¹. Efeitos positivos são encontrados, como por exemplo o aumento da produtividade na dose de 9 t.ha⁻¹. Entretanto, foi detectado atraso no florescimento e época de colheita para essa cultura em comparação à adubação convencional. Cabe ressaltar que as frutas não acumularam metais pesados pela adubação com lodo de esgoto.

Uso de lodo de esgoto na produção de mudas

A produção de mudas exige um substrato de qualidade, que propicie boa aeração, drenagem e absorção de água, de modo que a germinação ocorra com sucesso. O substrato na produção de mudas garante o desenvolvimento de uma planta com qualidade, em curto período de tempo e baixo custo. O substrato, ao apresentar boas características químicas e físicas, possibilita a disponibilidade de nutrientes às plantas, bem como a retenção de umidade, de modo satisfatório às necessidades da planta (CUNHA et al., 2006).

Caldeira et al. (2014) testaram o lodo de esgoto na composição de substratos para produção de mudas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden (eucalipto). Os tratamentos consistiram na mistura de lodo de esgoto com resíduos orgânicos, palha de café in natura e fibra de coco, em diferentes concentrações. O substrato que apresenta melhores resultados é a combinação de 80 % de lodo de esgoto + 20 % de palha de café in natura, tendo em vista que alcançam os maiores valores para o crescimento em altura, massa seca total, da parte aérea e radicular e diâmetro do coleto.

Na produção de muda da espécie florestal *Sesbania virgata* (cambaí-amarelo), verifica-se que o lodo de esgoto foi benéfico ao crescimento inicial das plantas quando consorciadas com palha de café e/ou composto orgânico (esterco bovino e palha de café, proporção de 1:1) em diferentes combinações. Verificam-se ganhos em altura, massa seca da parte aérea, diâmetro do coleto, massa seca das raízes nas mudas com aplicação de lodo de esgoto. Nota-se ainda que a melhor proporção de material para substrato é de 40 % de lodo de esgoto + 60 % composto orgânico (DELARMELENA et al., 2013).

A utilização do lodo de esgoto como substrato para produção de mudas também pode ser visualizada no trabalho de Scheer et al. (2012), em mudas de *Lafoensia pacari* (dedaleiro). O substrato de lodo de esgoto é superior ao substrato comercial, na concentração convencional, com melhores resultados para os parâmetros: altura, diâmetro, biomassa, índice de qualidade de Dickson (fórmula matemática utilizada para calcular a qualidade das mudas), quantidade e eficiência do uso de nutrientes.

A espécie *Schinus terebinthifolius* Raddi (aroeira-pimenteira) teve seu desenvolvimento inicial analisado com o uso de lodo de esgoto e casca de arroz carbonizado na formulação de seu substrato (TRIGUEIRO; GUERRINI, 2014). Os tratamentos utilizados foram: substrato comercial (controle), e as proporções de 80/20, 70/30, 60/40, 50/50 e 40/60 de lodo de esgoto e casca de arroz carbonizado, respectivamente. Os resultados obtidos indicam que os tratamentos com lodo de esgoto não proporcionam acréscimos nos valores de diâmetro do colo e altura da planta. Em relação à parte nutricional das plantas, tanto para a parte aérea, quanto para a raiz, observam-se ganhos nutricionais com o uso do lodo de esgoto. Na parte aérea, há concentrações superiores de N, P, K, Fe, Ca, Cu, S, Mn e Zn. Resultado semelhante para o sistema radicular, excluindo o K e Ca.

A aplicação de lodo de esgoto pode aumentar os teores de alguns elementos na planta. Silva et al. (2015), com doses de 0; 2,0; 4,0; 6,0 g/dm³ de lodo de esgoto, nas proporções de 1:1; 1:2; 1:3 de lodo e resíduos oriundos da agroindústria de palmito, respectivamente, verificaram melhorias nos teores de nitrogênio da parte aérea de mudas de juçara. Testou-se ainda a presença de fósforo e potássio, entretanto, não há diferença significativa para a testemunha.

Trazzi et al. (2014) também apresentaram resultados positivos para a concentração de nutrientes da parte aérea de mudas de *Tectona grandis* (teca) com substratos à base de lodo de esgoto. O substrato com 80 % de lodo de esgoto e 20 % de casca de arroz carbonizada possibilita os melhores resultados para nitrogênio, cálcio e magnésio. A proporção de 20 % de lodo de esgoto e 80 % de casca de arroz carbonizada proporciona os maiores valores de fósforo e potássio para as mudas.

Uso de lodo de esgoto na recuperação de áreas degradadas

A utilização do lodo de esgoto contribui para a qualidade do solo em suas propriedades físicas, químicas e biológicas. A aplicação do lodo de esgoto possibilita um acréscimo nos teores de matéria orgânica no solo, o que torna o solo mais propício para o desenvolvimento de culturas agrícolas (MAIO et al., 2011). A melhoria na propriedade química do solo é percebida com a inserção de nutrientes presentes na matéria orgânica do lodo de esgoto, assim como o aumento na saturação de bases e capacidade de troca de cátions. A matéria orgânica age de forma significativa na física do solo, por meio de uma melhor agregação do solo, promovendo uma menor densidade, maior aeração e melhor absorção de água do solo (NAKAYAMA et al., 2014), entre outros.

Tendo em vista os benefícios proporcionados ao solo pela aplicação de lodo de esgoto, surge a sua utilização para a recuperação de áreas degradadas. Segundo Garcia et al. (2009), em seu trabalho com aplicação de lodo de esgoto visando melhorias das propriedades químicas de um solo degradado, o lodo de esgoto estabilizado com cal possibilitou acréscimos significativos no teores de P, Na, Ca, CTC total e efetiva, pH, matéria orgânica.

Campos e Alves (2008) corroboram a premissa da utilização do lodo de esgoto para recuperação de área degradada em trabalho realizado em Selvíria (MS), em um solo degradado com cultivo de eucalipto e braquiária durante 2,5 anos. O lodo de esgoto, nas doses de 30 e 60 Mg ha⁻¹, contribuiu para a recuperação dessa área com melhorias na propriedade física do solo, além de contribuir para maiores rendimentos na massa da braquiária e crescimento mais acentuado do eucalipto.

Kitamura et al. (2008) também utilizaram o lodo de esgoto para retomar a produtividade de uma área. Os autores avaliaram métodos para acelerar a formação do horizonte A do solo, que teve sua fração totalmente perdida nessa área. O lodo de esgoto esteve presente em um dos tratamentos testados, com aplicação de 60 Mg ha⁻¹ + *Astronium fraxinifolium* + *Brachiaria decumbens*. A física e química do solo do horizonte A são melhoradas com o uso do lodo de esgoto, demonstrando o efeito da matéria orgânica presente no lodo de esgoto quando aplicados em solos degradados ou de baixa fertilidade natural.

Bonini et al. (2015) testaram a influência de lodo de esgoto nas doses de 30 e 60 mg ha⁻¹ na reestruturação de um solo degradado; com a adição do lodo de esgoto, observa-se uma melhoria nos atributos físicos (aumento na macroporosidade e porosidade; diminuição da resistência à penetração e densidade do solo) e químicos (melhoria nos teores de matéria orgânica, K e saturação por bases) do solo em questão, após quatro anos de cultivo de eucalipto e braquiária.

A matéria orgânica presente no lodo de esgoto pode ser mineralizada após um tempo no solo. No trabalho de Sampaio et al. (2012), avaliaram-se características físicas de solo de área degradada com aplicação de lodo de esgoto nas doses de 0; 2,5; 5; 10; 15 e 20 t ha⁻¹. Foram testados os períodos de seis, doze e dezoito meses. Os valores de agregados e porosidade do solo são mais insinuantes na época de seis meses de avaliação, tendo aos 12 meses valores intermediários. Aos 18 meses, não se verifica influência do lodo de esgoto nessas propriedades do solo.

Os atributos químicos do solo também são influenciados pela aplicação de lodo de esgoto. Bittencourt et al. (2012) avaliaram o uso de lodo de esgoto (77 Mg.ha⁻¹ Sólidos Totais) juntamente com lodo de estação de tratamento de água (24, 37 e 61 Mg.ha⁻¹) em uma área degradada. Com o emprego desse material, obtêm-se melhorias nos teores de Ca, Mg, P e saturação de bases no solo da área em estudo.

Considerações finais

O tratamento do esgoto busca a disposição de um efluente sem contaminantes e que não traga prejuízos ao meio ambiente. Nesse processo obtém-se o lodo de esgoto, no qual ficam presentes grandes quantidades de elementos químicos que, após tratamentos adequados, podem ser utilizados na agricultura como uma forma orgânica de adubo. A agricultura se mostra como uma saída para o uso desse resíduo, entretanto, deve haver um planejamento adequado, pois o lodo apresenta quantidades satisfatórias de alguns elementos, podendo ser necessária a utilização de outros adubos para o fornecimento dos elementos em déficit. O lodo de esgoto pode ser utilizado como adubo na agricultura, porém com cuidados referentes à presença de patógenos e metais pesados para a manutenção da saúde humana. Faz-se necessária a realização de pesquisas que especifiquem melhor as possibilidades de uso do lodo nas culturas de interesse agrônômico, buscando a criação de metodologias específicas para cada cultura.

Sewage sludge biosolids in agriculture: challenges and prospects

Abstract

The objective of this study was to conduct a literature review on the use of sewage waste in agroecological production systems. The sewage waste is commonly called sewage sludge, it is a residue rich in organic matter, originated during the treatment of wastewater in Sewage Treatment Plants (STPs). Its applicability in agriculture should be well planned, because in its constitution, in addition to organic matter that brings many benefits to soil and crops, there is the presence of heavy metals, specific chemicals greater than $5\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ weight or greater than 20 atomic number and pathogenic microorganisms which may develop disease to its host, when in appropriate conditions for their survival and multiplication. Thus, Resolution nº 375, of 29 August 2006, states that sewage sludge should not be used for vegetable crops, pastures, tubers and roots, as well as its derivatives. This recommendation extends to all cultures that are in contact with the ground. If there is the application in a particular area, the waiting period for possible use for grazing is 24 months. For tubers, vegetable crops, roots and other crops, the minimum period is 48 months. Therefore, the best applicability of sewage is to recover degraded areas and to develop substrates for forest species seedlings.

Keywords: Sludge. Organic matter. Degraded areas. Substrates.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 1004- Resíduos sólidos:** classificação. Rio de Janeiro. ABNT, 2004.

BACKES, C.; LIMA, C. P. de; FERNANDES, D. M.; GODOY, L. J. G. de; KIIHL, T. A. M.; VILLAS BÔAS, R. L. Efeito do lodo de esgoto e nitrogênio na nutrição e desenvolvimento inicial da mamoneira. **Bioscience Journal**, v. 25, n. 1, p. 90-98, 2009. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/viewFile/6797/4489>>. Acesso em: 13 abr. 2016.

BACKES, C.; SANTOS, A. J. M.; GODOY, L. J. G. de; BÔAS, R. L. V.; OLIVEIRA, M. R. de; OLIVEIRA, F. C. de. Doses de lodo de esgoto compostado em produção de tapete de grama esmeralda imperial. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 37, n. 5, p. 1402-1414, 2013. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v37n5/29.pdf>>. Acesso em: 9 de abril de 2016.

BETTIOL, W. Effect of sewage sludge on the incidence of corn stalk rot caused by *Fusarium*. **Summa Phytopathologica**, v. 30, n. 1, p. 16-22, 2004. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/111951/1/2004AP001.pdf>>. Acesso em: 10 abr. 2016.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Jaguariúna: **Embrapa Meio Ambiente**, 2006. p. 259-268. Disponível em: <<http://www.cnpma.embrapa.br/download/LivroLodoEsgoto.pdf>>. Acesso em: 13 abr. 2016.

BITTENCOURT, S.; SERRAT, B. M.; AISSE, M. M.; MARIN, L. M. K. S.; SIMÃO, C. C. Aplicação de lodos de estações de tratamento de água e de tratamento de esgoto em solo degradado. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 17, n. 3, p. 315-324, 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v17n3/v17n3a08>>. Acesso em: 14 abr. 2016.

BONINI, C. S. B.; ALVES, M. C.; MONTANARI, R. Recuperação da estrutura de um Latossolo vermelho degradado utilizando lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. Recife, v. 10, n. 1, p. 34-42, 2015. Disponível em: <http://www.agraria.pro.br/ojs-2.4.6/index.php?journal=agraria&page=article&op=view&path%5B%5D=agraria_v10i1a4513&path%5B%5D=3675>. Acesso em: 13 abr. 2016.

CALDEIRA, M. V. W.; GONÇALVES, E. O.; TRAZZI, P. A.; DELARMINA, W. M.; ROCHA, R. L. F. Crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis* utilizando lodo de esgoto, fibra de coco e palha de café *in natura*. **Floresta**, v. 44, n. 2, p. 195 - 206, 2014. Disponível em: <<http://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/30170/22774>>. Acesso em: 9 abr. 2016.

CAMPOS, F. S.; ALVES, M. C. Uso de lodo de esgoto na reestruturação de solo degradado. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 32, n. 4, p. 1389-1397, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v32n4/a03v32n4.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2016.

CARVALHO, C. S.; RIBEIRINHO, V. S.; ANDRADE, C. A. de; GRUTZMACHER, P.; PIRES, A. M. M. Composição química da matéria orgânica de lodos de esgoto. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 10, n. 3, p. 413-419, 2015. Disponível em: <http://www.agraria.pro.br/sistema/index.php?journal=agraria&page=article&op=view&path%5B%5D=agraria_v10i3a5174&path%5B%5D=1861>. Acesso em: 13 abr. 2016.

CATOLICO, A. C. C.; CARVALHO, L. C. G.; JARQUE, N. A. Aproveitamento de resíduos do saneamento básico na fabricação de cerâmica vermelha. **XI Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 11, n. 9, p. 79-96, 2015. Disponível em: <http://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum_ambiental/article/view/1173/1196>. Acesso em: 11 abr. 2016.

CHUEIRI, W. A.; SERRAT, B. M.; BIELE, J.; FAVARETTO, N. Lodo de esgoto e fertilizante mineral sobre parâmetros do solo e de plantas de trigo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 11, n. 5, p. 502-508, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v11n5/v11n05a09.pdf>>. Acesso em: 13 abr. 2016.

COELHO, H. A.; GRASSI FILHO, H.; ROMIERO, J. C. T.; POMPERMAYER, G. V.; BARBOSA, R. D.; LOBO, T. F. Desempenho agrônômico do lodo de esgoto como fonte de nitrogênio em bananeiras. **Revista Agrarian**, v. 4, n. 13, p. 172-181, 2011. Disponível em: <<http://ojs.ufgd.edu.br/index.php/agrarian/article/view/1222/757>>. Acesso em: 9 abr. 2016.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 375, de 29 de agosto de 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, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>>. Acesso em: 14 abr. 2016.

CORRÊA, R. S.; FONSECA, Y. M. F.; CORRÊA, A. S. Produção de biossólido agrícola por meio da compostagem e vermicompostagem de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 11, n. 4, p. 420-426, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v11n4/v11n04a12.pdf>>. Acesso em: 11 abr. 2016.

CUNHA, A. M.; CUNHA, G. M.; SARMENTO, R. A.; CUNHA, G. M.; AMARAL, J. F. T. Efeito de diferentes substratos sobre o desenvolvimento de mudas de acacia sp. **Revista Árvore**, v. 30, n. 2, p. 207-214, 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v30n2/a07v30n2>>. Acesso em: 11 abr. 2016.

DELARMELINA, W. M.; CALDEIRA, M. V. W.; FARIA, J. C. T.; GONÇALVES, E. de. O Uso de lodo de esgoto e resíduos orgânicos no crescimento de mudas de *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 7, n. 2, p. 184-192, 2013. Disponível em: <<https://revista.ufr.br/agroambiente/article/view/888/1148>>. Acesso em: 8 abr. 2016.

DORES-SILVA, P. R.; LANDGRAF, M. D.; REZENDE, M. O. Acompanhamento químico da vermicompostagem de lodo de esgoto doméstico. **Química Nova**, v. 34, n. 6, p. 956-961, 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v34n6/08.pdf>>. Acesso em: 12 abr. 2016.

FIDALSKI, J.; CHAVES, J. C. D. Respostas do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) IAPAR-59 à aplicação superficial de resíduos orgânicos em um Latossolo vermelho distrófico típico. **Coffee Science**, Lavras, v. 5, n. 1, p. 75-86, 2010. Disponível em: <<http://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/274/pdf>>. Acesso em: 17 abr. 2016.

FOLOGARI, O.; REIS, C. Z. dos; PHILLIPPI, L. S. Determinação de parâmetros cinéticos da inativação térmica de *Escherichia coli* em lodo de esgoto. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 17, n. 3, p. 255-262, 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v17n3/v17n3a01.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2016.

FREITAS, R. X. A.; MELO, G. A. Avaliação do uso de biocomposto de lodo de esgoto como substrato para produção de mudas. **Remoa**, v. 12, n. 12, p. 2665-2673, 2013. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/remoa/article/view/7992/pdf>>. Acesso em: 16 abr. 2016.

GARCIA, G. O.; GONÇALVES, I. Z.; MADALÃO, J. C.; NAZÁRIO, A. A.; BRAGANÇA, H. N. Características químicas de um solo degradado após aplicação de lodo de esgoto doméstico. **Revista Verde**, v. 4, n. 2, p. 01-12, 2009. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/277810554_CHARACTERISTICAS_QUIMICAS_DE_UM_SOLO_DEGRADADO_APOS_APLICACAO_DE_LODO_DE_ESGOTO_DOMESTICO>. Acesso em: 11 abr. 2016.

GOMES, S. B. V.; NASCIMENTO, C. W. A.; BIONDI, C. M. Produtividade e composição mineral de plantas de milho em solo adubado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 11, n. 5, p. 459–465, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v11n5/v11n05a02.pdf>>. Acesso em: 13 abr. 2016.

GONÇALVES JUNIOR, A. C.; NACKE, H.; SCHWANTES, D.; COELHO, G. F.; SOUSA, R. F. B. de; PARIZOTTO, A. A. Fitodisponibilidade de metais em milho (*Zea mays*) cultivado com aplicação de biossólido. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 38, n. 1, p.71-78, 2015. Disponível em: <<http://www.scielo.mec.pt/pdf/rca/v38n1/v38n1a11.pdf>>. Acesso em: 10 abr. 2016.

HAAG, H. P.; MINAMI, K.; TUCCI, M. L. Recrutamento de nutrientes pela roseira. In: HAAG, H. P. (Coord.), MINAMI, K.; LIMA, A. M. L. P. **Nutrição mineral de algumas espécies ornamentais**. Campinas: Fund. Cargill, 1989. p. 288.

HIGASHI, E. N.; SILVEIRA, R. L. V. A.; GONÇALVES, A. N. Monitoramento nutricional e fertilização em macro, mini e microjardim clonal de *Eucalyptus*. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p.192-215.

LOBO, T. F.; GRASSI FILHO, H. Efeito de elementos tóxicos em função do lodo de esgoto na cultura do girassol. **Revista Verde**, v. 10, n. 1, p. 136-142, 2015. Disponível em: <<http://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/2818/2977>>. Acesso em: 11 abr. 2016.

LOBO, T. F.; GRASSI FILHO, H.; BÜLL, L. T.; SOUZA, F. L. P. de. Efeito do nitrogênio e do lodo de esgoto na nutrição do feijoeiro. **Revista Verde**, v. 10, n. 2, p. 33 - 41, 2015. Disponível em: <<http://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/2662/2976>>. Acesso em: 12 abr. 2016.

LOBO, T. F.; GRASSI FILHO, H.; CARDOSO, E. J. B. N.; ALMEIDA, L. S.; NOMIYAMA JUNIOR, N. Crescimento e fixação biológica do nitrogênio em soja cultivada com doses de lodo de esgoto compostado. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 4, p. 1333-1342, 2012. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/6344/WOS000314513600009.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 14 abr. 2016.

KITAMURA, A. E.; ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A. S.; GONZALEZ, A. P. Recuperação de um solo degradado com a aplicação de adubos verdes e lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 32, n. 1, p. 405-416, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v32n1/38.pdf>>. Acesso em: 11 abr. 2016.

MAIO, M. M.; SAMPAIO, R. A.; NASCIMENTO, A. L.; PRATES, F. B. S.; RODRIGUES, M. N.; SILVA, H. P. da; DIAS, A. N.; FREITAS, C. E. S. Atributos físicos do solo, adubado com lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio. **Revista Ceres**, v. 58, n. 6, p. 823-830, 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rceres/v58n6/21.pdf>>. Acesso em: 14 abr. 2016.

MALAVOLTA, E. **Fertilizantes e seu impacto ambiental**: micronutrientes e metais pesados, mitos, mistificação e fatos. São Paulo, PRODUQUÍMICA, 1994. 153p.

MELO, L. A. S.; LIGO, M. A. V. Uso de lodo de esgoto em bananicultura: efeitos de doses no primeiro ano de aplicação. **Revista Científica Rural**, v. 11, n. 2, p. 33-38, 2006. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/125725/1/2006AP-034.pdf>>. Acesso em: 11 abr. 2016.

NAKAYAMA, F. T.; OLIVEIRA, C. L. B. de; PERDONÁ, M. J. Recuperação de solo degradado com a aplicação de lodo de esgoto e plantas de cobertura. **X Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 10, n. 7, p. 28-38, 2014. Disponível em: <http://amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum_ambiental/article/view/826/850>. Acesso em: 16 abr. 2016.

NASCIMENTO, A. L.; SAMPAIO, R. A.; CRUZ, S. F. da; ZUBA JUNIOR, G. R.; BARBOSA, C. F.; FERNANDES, L. A. Metais pesados em girassol adubado com lodo de esgoto submetido a diferentes processos de estabilização. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 18, n. 7, p. 694-699, 2014a. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v18n7/v18n07a04.pdf>>. Acesso em: 12 abr. 2016.

NASCIMENTO, A. L.; SAMPAIO, R. A.; ZUBA JUNIOR, G. R.; CARNEIRO, J. P.; FERNANDES, L. A.; RODRIGUES, M. N. Teores de metais pesados no solo e em girassol adubado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 18, n. 3, p. 294-300, 2014b. Disponível em: <<http://www.agriambi.com.br/revista/v18n03/v18n03a08.pdf>>. Acesso em: 14 abr. 2016.

NOGUEIRA, T. A. R.; SAMPAIO, R. A.; FERREIRA, C.; FONSECA, I. M. Produtividade de milho e de feijão consorciados adubados com diferentes formas de lodo de esgoto. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 6, n. 1, 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.cl/pdf/rcsuelo/v6n1/art06.pdf>>. Acesso em: 9 abr. 2016.

OLIVEIRA, J. P. B.; LOPES, J. C.; ALEXANDRE, R. S.; JASPER, A. P. S.; SANTOS, L. N. S.; OLIVEIRA, L. B. Concentração de metais pesados em plantas de maracujá doce cultivadas em dois solos tratados com lodo de esgoto. **Engenharia Ambiental**, v. 6, n. 2, p. 217-223, 2009. Disponível em: <<http://ferramentas.unipinhal.edu.br/engenhariaambiental/viewarticle.php?id=244>>. Acesso em: 10 abr. 2016.

PRADO, A. K.; CUNHA, M. E. T. Efeito da aplicação de lodo de esgoto e curtume nas características físico-químicas do solo e na absorção de nitrogênio por feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Unopar Científica Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 10, n. 1, p. 37-41, 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/313495382_Efeito_da_aplicacao_de_lodo_de_esgoto_e_curtume_nas_caracteristicas_fisico-quimicas_do_solo_e_na_absorcao_de_nitrogenio_por_feijoeiro_Phaseolus_vulgaris_L. Acesso em: 12 abr. 2016.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A.; BETTIOL, W.; GUILHERME, L. R. G.; DYNIA, J. F. Acúmulo de Cu, Mn, Ni, Pb e Zn em Latossolo vermelho adubado com fontes de lodo de esgoto e cultivado com milho. **Ciência Agrotécnica**, v. 28, n. 1, p. 15-23, 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cagro/v28n1/a02.pdf>>. Acesso em: 8 abr. 2016.

RIBEIRO, E. M. P.; MELLO, P. B. A utilização do adubo de resíduos de apara de couro como fonte de nitrogênio no solo agrícola com ganhos energéticos e ambientais. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 28. Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/31415/000678818.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 15 abr. 2016.

RIGO, M. M.; RAMOS, R. R.; CERQUEIRA, A. A.; SOUZA, P. S. A.; MARQUES, M. R. C. Destinação e reúso 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. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/278026813_Destinacao_e_reuso_na_agricultura_do_lodo_de_esgoto_derivado_do_tratamento_de_aguas_residuarias_domesticas_no_Brasil>. Acesso em: 6 abr. 2016.

ROMEIRO, J. C. T.; GRASSI FILHO, H.; MOREIRA, L. L. Q. Absorção de N, P, K, Ca e Mg por laranjeiras 'Pêra' fertilizadas com lodo de esgoto compostado em substituição à adubação nitrogenada mineral. **Irriga**, v. 19, n. 1, p. 82-93, 2014. Disponível em: <<http://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/531>>. Acesso em: 5 abr. 2016.

ROSSMANN, M.; VIEIRA, D. B.; AVELAR, F. F.; MATOS, A. T. de. Redução da viabilidade de ovos de helmintos em lodo de esgoto doméstico caledado. **Engenharia na Agricultura**, v. 22, n. 1, p. 43-49, 2014. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/314833087_Reducacao_da_Viabilidade_de_Ovos_de_Helmintos_em_Lodo_de_Esgoto_Domestico_Caleado>. Acesso em: 6 abr. 2016.

SAITO, M. L. **O uso do lodo de esgoto na agricultura**: precauções com os contaminantes orgânicos. Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, 2007. 35 p.

SAMPAIO, T. F.; GUERRINI, I. A.; BACKES, C.; HELIODORO, J. C. A.; RONCHI, H. S.; TANGANELLI, K. M.; CARVALHO, N. C. de; OLIVEIRA, F. C. Lodo de esgoto na recuperação de áreas degradadas: efeito nas características físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 5, p. 1637-1645, 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v36n5/28.pdf>>. Acesso em: 8 abr. 2016.

SANTOS, C. H.; GRASSI FILHO, H.; SANTOS, J. C.; PENTEADO, B. B. Fertilidade do solo e nutrição de tangerineiras 'Ponkan' manejados com resíduos sólidos e adubação química. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 15, n. 1, p. 75-83, 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v15n1/a11v15n01.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2016.

SANTOS, F. 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 Ambiental**, v. 18, n. 9, p. 971-979, 2014. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v18n9/v18n09a14.pdf>>. Acesso em: 14 abr. 2016.

SCHEER, M. B.; CARNEIRO, C.; BRESSAN, O. A.; SANTOS, K. G dos. Crescimento e nutrição de mudas de *Lafoensia pacari* com lodo de esgoto. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 1, p. 55-65, 2012. Disponível em: <<http://www.floram.org/files/v19n1/v19n1a7.pdf>>. Acesso em: 12 abr. 2016.

SILVA, F. A. M.; SOUZA, I. V. de; ZANON, J. A.; NUNES, G. M.; SILVA, R. B. da; FERRARI, S. Produção de mudas de juçara com resíduos agroindustriais e lodo de esgoto compostados. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 9, n. 2, p. 109-121, 2015. Disponível em: <<http://seer.tupa.unesp.br/index.php/BIOENG/article/view/259/230>>. Acesso em: 7 abr. 2016.

SILVA, M. A. G. da; BÜLL, L. T.; MIGGIOLARO, A. E.; ANTONANGELO, J. A.; MUNIZ, A. S. Fito-disponibilidade de metais utilizando ácidos orgânicos após sucessiva aplicação de resíduos no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 18, n. 12, p. 1287-1295, 2014. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v18n12/a13v18n12.pdf>>. Acesso em: 8 abr. 2016.

SILVA, M. M. P. da; SOUSA, J. T. de; CEBALLOS B. S. O.; FEITOSA, W. B. S.; LEITE, V. D. Tratamento aeróbio conjugado de lodos de tanques sépticos e resíduos sólidos orgânicos domiciliares. **Ambiente e Água**, v. 4, n. 3, p. 123-143, 2009. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Jose_Sousa29/publication/307778472_Treatment_aerobic_conjugate_of_sludges_of_septic_tanks_and_household_organic_solid_wastes/links/584722d308aeda6968227b22/Treatment-aerobic-conjugate-of-sludges-of-septic-tanks-and-household-organic-solid-wastes.pdf?origin=publication_list>. Acesso em: 8 abr. 2016.

SINGH, R. P.; AGRAWAL, M. Variations in heavy metal accumulation, growth and yield of rice plants grown at different sewage sludge amendment rates. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 73, n. 1, p. 632-641, 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0147651310000345>>. Acesso em: 9 abr. 2016.

SINHA, R. K.; HERAT, S.; BHARAMBE, G.; BRAHAMBHATT, A. Vermistabilization of sewage sludge (biosolids) by earthworms: converting a potential biohazard destined for landfill disposal to a pathogen-free, nutritive and safe biofertilizer for farms. **Waste Management & Research**, v. 28, n. 10, p. 872-881, 2010. Disponível em: <<http://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0734242X09342147>>. Acesso em: 10 abr. 2016.

TRANI, P. E.; RAIJ, B. van. Hortaliças. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo**, 2. ed. rev. ampl. Campinas: Instituto Agrônomo & Fundação IAC, 1997. 285p.

TRAZZI, P. A.; DELARMELINA, W. M.; CALDEIRA, M. V. W. Concentração e quantidade de nutrientes em mudas de Teca produzidas em substratos orgânicos. **Ecologia e Nutrição Florestal**, v. 2, n. 1, p. 19-31, 2014. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/enflo/article/view/15279/pdf>>. Acesso em: 7 abr. 2016.

TRIGUEIRO, R. M.; GUERRINI, I. A. Utilização de lodo de esgoto na produção de mudas de aroeira-pimenteira. **Revista Árvore**, v. 38, n. 4, p. 657-665, 2014. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v38n4/09.pdf>>. Acesso em: 7 abr. 2016.

UNITED STATE DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USD). **Report and recommendation on organic farming**. Washington, US Government, 1980. 94p.

Histórico editorial:

Submetido em: 16/05/2016.

Aceito em: 20/10/2016.

Como citar:

ABNT

PEDROSA, M. V. B.; LIMA, W. L. de; AMARAL, A. A. do; CARVALHO, A. H. O. Biossólido de lodo de esgoto na agricultura: desafios e perspectivas. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 9, n. 4, p. 125-142, out./dez. Doi: <http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v9n42017999>

APA

PEDROSA, M. V. B., LIMA, W. L. de, AMARAL, A. A. do & CARVALHO, A. H. O. (2017). Biossólido de lodo de esgoto na agricultura: desafios e perspectivas. *Revista Agrogeoambiental*, 9 (4), 125-142. Doi: <http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v9n42017999>

ISO

PEDROSA, M. V. B.; LIMA, W. L. de; AMARAL, A. A. do e CARVALHO, A. H. O. Biossólido de lodo de esgoto na agricultura: desafios e perspectivas. *Revista Agrogeoambiental*, 2017, vol. 9, n. 4, pp. 125-142. Eissn 2316-1817. Doi: <http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v9n42017999>

VANCOUVER

Pedrosa MVB, Lima WL de, Amaral AA do, Carvalho AHO. Biossólido de lodo de esgoto na agricultura: desafios e perspectivas. *Rev agrogeoambiental*. 2017 out/dez; 9(4): 125-142. Doi: <http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v9n42017999>