

DOI: 10.33947/1981-741X-v21n1-4804

USO DO LODO DE ESGOTO NA COMPOSIÇÃO DE SUBSTRATO PARA PRODUÇÃO DE MUDAS DE ESPÉCIES ARBÓREAS BRASILEIRAS**USE OF SEWAGE SLUDGE IN SUBSTRATE COMPOSITION FOR THE PRODUCTION OF BRAZILIAN TREE SPECIES SEEDLINGS**Alessandro Reinaldo Zabotto¹, Patrick Luan Ferreira dos Santos¹, Fernando Broetto², Iraê Amaral Guerrini¹**RESUMO**

O uso de resíduos orgânicos em substratos é uma alternativa que vem sendo estudada, buscando resolver a problemática que envolve a reciclagem dos resíduos gerados, principalmente pelas cidades. O lodo de esgoto é um resíduo derivado das estações tratamento de esgoto e por ser fonte primária de nutrientes e matéria orgânica, o seu uso na composição de substratos ou como fertilizante vem sendo avaliado. Por ser um insumo de baixo valor comercial, seu uso pode contribuir com a redução de insumos no viveiro e, ainda, trazer benefícios ambientais por conta da sua reciclagem. O substrato exerce influência significativa no desenvolvimento das plantas, sendo primordial a produção de mudas de qualidade, visando o bom desenvolvimento em campo. Diante do exposto, buscou-se com este estudo bibliográfico sintetizar os principais resultados obtidos em experimentos científicos publicados a partir do ano de 2009, envolvendo a utilização do lodo de esgoto na composição de substratos para a produção de mudas de espécies arbóreas nativas brasileiras. Os principais resultados observados na literatura especializada mostram que o uso do resíduo na formulação e composição dos substratos pode acarretar melhorias nos aspectos físicos e químicos, nos parâmetros qualitativos das espécies, com impactos positivos no crescimento e desenvolvimento das plantas. Em relação a sustentabilidade ambiental, há a redução do descarte no aterro colaborando com a reciclagem ambientalmente correta do resíduo.

PALAVRAS-CHAVE: Biossólido. Resíduo orgânico. Adubação. Espécies florestais. Reciclagem.**ABSTRACT**

The application of organic residuals generated on substrates is an alternative that has been studied, seeking to solve the problem that involves the recycling of waste generated, mainly by cities. Sewage sludge is a residue derived from sewage treatment plants and as it is a primary source of nutrients and organic matter, its use in the composition of substrates or as a fertilizer has been evaluated. As it is an input of low commercial value, its use can contribute to the reduction of inputs in the nursery and also bring environmental benefits due to its recycling. The substrate influences the development of the plants, being essential the production of quality seedlings, the good development in the field. Given the above, this bibliographical study sought to synthesize the main results obtained in scientific experiments published from the year 2009, involving the use of the sewage method in the composition of substrates for the production of seedlings of native Brazilian tree species. The main results observed in the specialized literature, showing that the use of waste in the composition and composition of substrates, can lead to improvements in physical and chemical aspects, in the qualitative parameters of the species, positively impacting plant growth and development and environmental sustainability, with reduction of disposal in landfill and environmentally correct recycling of waste.

KEYWORDS: Biosolid. Organic residue. Fertilization. Forest species. Recycling.**INTRODUÇÃO**

Com a crescente urbanização, diariamente, são gerados enormes quantidades de resíduos, dentre eles o lodo de esgoto. A disposição final se torna um problema por conta dos altos custos envolvidos no transporte e armazenamento do resíduo em aterros sanitários, sendo este o principal destino no Brasil.

¹ Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP – Botucatu (SP) alezabotto@gmail.com; patricklfsantos@gmail.com; irae.guerrini@unesp.br

² Instituto de Biociências da UNESP – Botucatu (SP) fernando.broetto@unesp.br

Desta forma, se faz necessário buscar alternativas para a reciclagem visando minimizar os impactos ambientais causados pela disposição inadequada.

O lodo de esgoto é resultado do tratamento de águas residuárias, sendo proveniente do processo de separação de sólidos e líquidos, enquanto a água é tratada, grandes quantidades de lodo são removidas (FYTILI; ZABANIOTOU, 2008; REZENDE et al., 2020). A reciclagem do lodo de esgoto apresenta ganhos sociais e ambientais, evitando a contaminação dos corpos d'água e possíveis riscos à saúde humana. Uma outra vantagem, é seu uso para fins agrícolas ou florestais, reincorporando os nutrientes ao solo que foram exportados pelas culturas (ZABOTTO et al., 2019a).

O lodo de esgoto pode melhorar as propriedades químicas e físicas do solo ou substratos, mas necessita de tratamento apropriado por conter patógenos, poluentes e metais pesados em sua composição (BRANDANI et al., 2019). As principais formas de reciclagem são na agricultura e na silvicultura, como condicionador de solo ou fertilizante, visto que o resíduo contém altos teores de matéria orgânica (ZABOTTO et al., 2018; SILVA et al., 2020). Ainda, apresenta potencial para ser utilizado como fertilizante orgânico ou substrato para produção de mudas, contribuindo para a redução do uso de fertilizantes minerais e combustíveis fósseis (KACPRZAK et al., 2017).

É imprescindível a produção de mudas de qualidade para que se possa alcançar crescimento satisfatório em condições adversas que poderão ser encontradas no campo, e assim estabelecer bons povoamentos florestais. Buscando a melhoria contínua no processo de produção, o meio de propagação e cultivo das mudas (seja por estaquia ou semente) evoluiu, sendo hoje utilizadas diversas misturas de materiais orgânicos na formulação de substratos (CALDEIRA et al., 2016). Nesse sentido, a utilização do lodo de esgoto na composição de substratos para a produção de mudas de espécies florestais é vista como uma alternativa viável (CABREIRA et al., 2017), tanto do ponto de vista técnico quanto econômico.

Buscando sintetizar as pesquisas realizadas com a utilização do lodo de esgoto na composição de substratos, o presente estudo bibliográfico buscou avaliar e discutir os resultados publicados a partir do ano de 2009 envolvendo a produção de mudas de espécies arbóreas brasileiras.

PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DO LODO DE ESGOTO

Tendo em vista os esforços elencados no Plano Nacional de Saneamento Básico (BRASIL, 2020) para ampliação do serviço de tratamento de esgoto no Brasil, construções de novas estações de tratamento de esgoto foram realizadas em diversas regiões. Para o tratamento do esgoto, são necessários uma série de processos a fim de separar ou eliminar a matéria orgânica presente na água. O resíduo resultante da separação das águas residuárias é denominado de lodo de esgoto (SINGH; AGRAWAL, 2008).

Por conter características de material essencialmente orgânico, o lodo de esgoto se enquadra nos princípios de reutilização e/ou reaproveitamento de resíduos em consonância com a Lei nº 12.305 de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010). Porém, antes da utilização do resíduo, é necessário adequá-lo à legislação vigente, o que pode ser feito por diferentes processos tecnológicos (SUTHAR, 2010). O aproveitamento em área agrícola ou florestal encontra amparo legal na resolução do

Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA nº 498 de 2020, que define os processos de tratamento e critérios para o uso, evitando assim os riscos à saúde pública e ao meio ambiente (BRASIL, 2020).

O esgoto doméstico é composto por água e resíduos sólidos, sendo destes, aproximadamente 70% matéria orgânica (gorduras, proteínas, carboidratos, etc.) e 30% inorgânicos (areia, metais, sais etc.) (FERNANDES, 2000). Por se tratar de matéria orgânica, o lodo de esgoto possui composição química variável (Tabela 1), dependendo da sua origem e do processo de tratamento realizado. De maneira geral, o resíduo pode conter 3% nitrogênio, 2% fósforo e até 1% de potássio (MUNHOZ; BERTON, 2001).

Por ser rico em N e P, possuir altos teores de matéria orgânica e de micronutrientes, o lodo de esgoto pode ser uma alternativa em relação aos fertilizantes minerais, com potencial para ser utilizado na agricultura e na área florestal (BETTIOL; CAMARGO, 2006), já que possui nutrientes que atendem as necessidades de diversas culturas. Outro ponto importante é que os nutrientes são liberados lentamente para as plantas quando comparado a fertilizantes minerais, evitando, assim, perdas por lixiviação, volatilização ou percolação (OLIVEIRA et al., 2018).

Tabela 1. Características químicas do lodo de esgoto utilizado em diferentes experimentos.
Table 1. Chemical characteristics of sewage sludge used in different experiments.

N	P	K	Ca	Mg	S	MO	C	Autores
g kg ⁻¹								
25	32	1	12	2,0	24	330	180	ZABOTTO et al. 2020
34,8	21,6	1,9	23,3	3,6	12	-	-	RIBEIRINHO et al 2012
24,4	20	4	19	3,0	16	530	290	*LOBO et al. 2013
32	18	2,1	13,1	2,8	24	520	289	BACKES et al. 2010
17	25,4	15	26,2	5,2	26,2	490	282	AFAZ et al. 2017
36	20,4	0,4	-	-	-	-	-	PEREIRA et al. 2020
38,8	6,1	4,9	2,3	0,1	11,9	-	-	LIMA FILHO et al. 2019
Na	B	Cu	Fe	Mn	Zn	C/N	pH	Autores
mg kg ⁻¹								
568	145	159	33465	315	870	7/1	6,4	ZABOTTO et al. 2020
-	-	726	26070	222	2589	-	-	RIBEIRINHO et al 2012
1340	-	304	23250	472	3750	12/1	6,6	*LOBO et al. 2013
-	-	722	28800	674	500	9/1	5,9	BACKES et al. 2010
-	-	600	2300	500	1300	-	7,4	AFAZ et al. 2017
-	-	35,5	16234	31,3	148	-	-	PEREIRA et al. 2020

Não informado; *Compostado com bagaço de cana

Benefícios podem ser notados nos solos com a aplicação do lodo de esgoto, como a formação de agregados, colaborando com a infiltração, aeração, retenção de água e reduzindo a erosão, com melhora na qualidade em áreas degradadas (PEDROZA et al., 2010). Causa efeitos positivos nas propriedades químicas e físicas do solo, devido aos teores de matéria orgânica presentes em sua composição (SINGH; AGRAWAL, 2008), o que contribui positivamente para elevação da atividade microbiana (SASTRE et al., 1996).

Por conter metais pesados, o lodo de esgoto deve ser aplicado com base em análises das concentrações destes metais, que em altas doses se tornam tóxicos para as plantas (USMAN et al., 2012). Normalmente, os metais pesados presentes no resíduo são o cobre, zinco, níquel, cádmio, chumbo dentre

outros, sendo as concentrações destes metais variáveis, originada de acordo com o local de captação do resíduo. Porém, a disponibilidade dos metais para as plantas vai depender da forma química, sendo que diversos estudos mostram que as quantidades encontradas não são tóxicas ao ambiente, não causando toxidez aos vegetais (SILVA et al., 2001; FYTILI; ZABANIOTOU, 2008).

Diante do exposto, observa-se que o uso de lodo de esgoto pode apresentar efeitos benéficos no desenvolvimento de culturas florestais. No caso específico dos substratos para a produção de mudas, a utilização do resíduo pode proporcionar maiores teores de matéria orgânica e nutrientes, possibilitando o crescimento e desenvolvimento adequado das plantas, gerando economia com fertilizantes minerais e benefícios ambientais (TRIGUEIRO; GUERRINI, 2003).

CARACTERÍSTICAS DOS SUBSTRATOS PARA PRODUÇÃO DE MUDAS

Com o crescente desmatamento em diversos biomas brasileiros (SOS MATA ATLÂNTICA, 2021; INPE, 2018), espera-se aumento na procura por mudas de espécies nativas, haja vista a necessidade de recuperação destas áreas. Sendo o Brasil um país florestal com abundância de espécies que podem ser utilizadas na recuperação de áreas degradadas e na silvicultura, os plantios de espécies nativas são extremamente importantes para a conservação da biodiversidade (ZABOTTO et al., 2019b).

Para que se possa obter êxito na implantação de povoamentos florestais, seja em plantios com fins comerciais ou ecológicos, são indispensáveis mudas que atendam aos critérios de qualidade. Entende-se por mudas de qualidade aquelas com parâmetros de crescimento e desenvolvimento adequados de acordo com a finalidade. Normalmente, os parâmetros que atestam a boa qualidade das mudas são a altura, diâmetro do coleto e o desenvolvimento radicular, além das propriedades nutricionais e sanitárias. Entretanto, diversos fatores relacionados à produção podem afetar a qualidade das mudas, tais como a qualidade da semente, o tamanho e tipo do recipiente utilizado na semeadura, as características do substrato e a adubação (GONÇALVES et al., 2000).

Em relação ao substrato, o mesmo pode ser definido como um material produzido artificialmente e que possui todas as características de um solo de qualidade, permitindo o desenvolvimento das plantas de maneira adequada (LANDIS, 1990). Assim, o substrato deve possuir propriedades químicas, físicas e biológicas apropriadas para a produção de mudas. Dentre as propriedades físicas importantes, pode-se destacar a estrutura, textura, porosidade, densidade e o teor de matéria orgânica (FLORIANO, 2004).

Para compor o substrato são indispensáveis materiais que propiciem boa aeração, drenagem e disponibilidade de nutrientes para as plantas, sendo aconselhável o uso de misturas de dois ou mais materiais (LIMA et al., 2006). Diversos tipos de compostos podem ser utilizados na formulação, exercendo influência direta no desenvolvimento das mudas. Além das características químicas e físicas, o custo e a disponibilidade também devem ser levados em consideração, e ainda, a espécie que será plantada (FONSECA, 2001).

A adequada absorção de nutrientes pelas plantas é dependente da composição do substrato. Desta forma, a matéria prima utilizada pode dificultar a disponibilização dos nutrientes, influenciando inclusive na capacidade de retenção de água (MINAMI, 2000). O substrato deve ser isento de elementos com

concentração fitotóxica, fitopatógenos, pragas e plantas daninhas e possuir boa aeração para o adequado desenvolvimento radicular (VAVRINA et al., 2002).

Assim sendo, a incorporação do lodo de esgoto ao substrato pode acarretar na melhora dos aspectos físicos e químicos, sendo fatores indispensáveis na produção de mudas de qualquer espécie. Contudo, é primordial que se faça análise do resíduo visando mensurar os elementos presentes em sua composição (COELHO et al., 2019), a fim de que se formule o substrato ideal.

ESTADO DA ARTE

Visando contribuir com a reciclagem do lodo de esgoto e avaliar os efeitos do seu uso em plantas, estudos vêm sendo realizados tanto na área agrícola como na florestal, desde o seu emprego na composição de substrato para produção de mudas ou como fertilizante e condicionador de solo.

Utilizando 10 tipos de substratos com diferentes proporções de lodo de esgoto, sementes de *Sesbania virgata* foram semeadas em tubetes de 120 cm³, e após 150 dias, foram avaliadas a altura, diâmetro do coleto e massa fresca e seca da parte aérea e raízes. Os resultados mostraram que o substrato com a proporção com 40% de lodo de esgoto e 60% composto orgânico (esterco bovino e palha de café *in natura*) proporcionaram os maiores índices médios para os parâmetros avaliados, sendo recomendado para o desenvolvimento de mudas da espécie (DELARMELENA et al., 2013). Em experimento com duração de 105 dias e objetivando avaliar doses de lodo de esgoto misturado a substrato comercial em mudas de *Lafoensia pacari*, Abreu et al., (2017) aplicaram cinco tratamentos, sendo três deles com o resíduo, proveniente de três estações de tratamento. As sementes foram semeadas em tubetes com capacidade de 280 cm³, sendo posteriormente avaliados os parâmetros qualitativos. De maneira geral, os resultados obtidos com os tratamentos utilizando o lodo de esgoto foram superiores ao controle (substrato comercial) em todos os parâmetros avaliados. Para os autores, esses resultados se devem aos teores de macro e micronutrientes presentes no resíduo, não sendo necessário adição de fertilizantes minerais em nenhum momento da produção.

Caldeira et al., (2018) trabalhando com mudas de *Aegiphila sellowiana*, testaram substratos com diferentes proporções de lodo de esgoto misturado a outros compostos orgânicos (100:0, 80:20, 60:40, 40:60 e 20:80%) e uma testemunha (substrato comercial). Após 120 dias de experimentação, foram mensurados o diâmetro do coleto, altura, massa seca da parte aérea e raízes, massa seca total e o índice de qualidade de Dickson (IQD) de cada planta exposta aos tratamentos. Os autores observaram que as plantas que receberam o tratamento com a proporção 20:40% de lodo de esgoto misturado com outros compostos orgânicos obtiveram os melhores índices de crescimento. Resultados semelhantes foram obtidos por Pereira et al., (2020) com mudas de Ipê roxo (*Tabebuia avellanedae*). No trabalho, os autores observaram que o lodo de esgoto tem potencial para suprir a necessidade nutricional da espécie, disponibilizando satisfatoriamente teores de macro e micronutrientes no substrato.

Em experimento com as espécies *Schinus terebinthifolius* e *Handroanthus heptaphyllus*, foram aplicadas diferentes proporções de lodo de esgoto misturado ao substrato comercial, variando entre 0% e 100% de lodo de esgoto. Ao final do experimento (134 dias), foram avaliadas as medidas de altura, diâmetro

do coleto, massa seca da parte aérea e das raízes, relação altura/diâmetro do caule, relação massa seca da parte aérea/massa seca das raízes, e o índice de qualidade de Dickson das mudas. As análises dos teores químicos e físicos dos substratos mostraram que o lodo de esgoto proporcionou efeitos benéficos acarretando maior microporosidade e disponibilidade de nutrientes conforme o aumento das doses do resíduo. Para *Schinus terebinthifolius*, os tratamentos com 50% e 100% de lodo de esgoto proporcionaram os melhores resultados, sendo que para *Handroanthus heptaphyllus*, o tratamento com 50% de lodo de esgoto foi o que propiciou melhores parâmetros de qualidade das mudas. De acordo com os autores, o uso do lodo de esgoto pode ser indicado para composição de substratos para produção de ambas espécies (ABREU et al., 2017b).

Lima Filho et al., (2019) em experimento com *Ceiba speciosa*, testaram diferentes tubetes com capacidade de 55, 110, 180 e 280 cm³ preenchidos com 80% de lodo de esgoto e 20% de fibra de coco. Com 93 dias após a semeadura, foram avaliadas as medidas biométricas e de biomassa das mudas. Os resultados mostraram que houve tendência de maior crescimento das plantas que foram semeadas nos maiores tubetes. Para os autores, este efeito foi ocasionado provavelmente pelo maior volume de substrato aliado à maior disponibilidade de nutrientes e matéria orgânica, possibilitada pela adubação com o lodo de esgoto.

Em outro experimento com a mesma espécie e utilizando lodo de esgoto misturado com fibra de coco (proporções de 25%, 50%, 75% e 100% de lodo de esgoto), Alonso et al., (2018) utilizaram tubetes com capacidade de 280 cm³. Após 120 dias, foram mensuradas as medidas biométricas (altura e diâmetro do coleto) e biomassa (massa seca da parte aérea e das raízes). As análises estatísticas corroboraram os dados do trabalho anterior, em que as maiores proporções do lodo de esgoto resultaram em maiores médias dos parâmetros avaliados, proporcionando mudas com qualidade. Para os autores, quantidades de 50% a 100% do volume do tubete com lodo de esgoto podem ser indicados para a produção de mudas da espécie.

Diferenças estatísticas foram observadas por Santos et al., (2013) em experimento com plântulas de *Parapiptadenia rígida*. O estudo foi desenvolvido em substrato composto por lodo de esgoto e casca de arroz carbonizada, utilizando-se tubetes com capacidade de 280 cm³. Após 120 dias de experimentação, o substrato que continha 60% de lodo de esgoto apresentou as maiores médias para mudas nas características de altura, diâmetro do coleto, massa seca da parte aérea e raízes e massa seca total. Maiores médias também foram observadas para a relação altura/diâmetro do coleto, relação massa seca da parte aérea/massa seca de raiz e índice de qualidade de Dickson. Em outro estudo, utilizando diferentes resíduos orgânicos na composição de substrato na produção de mudas de *Chamaecrista desvauxii*, Caldeira et al., (2013) avaliaram as medidas biométricas e biomassa das mudas. Após 150 dias, os resultados indicaram que o substrato a base de lodo de esgoto, casca de arroz carbonizada e palha de café *in natura* (proporção com 60% de lodo de esgoto) proporcionou efeitos positivos nas características avaliadas, podendo ser recomendada para a produção de mudas da espécie.

Em mudas de Timbó (*Ateleia glazioviana*), foram testados 11 tratamentos à base de materiais orgânicos (lodo de esgoto, esterco bovino e substrato comercial) em várias proporções misturados com areia e solo. As mudas produzidas em todos os substratos atingiram índice de qualidade de Dickson de

0,20, o que é considerado ideal na produção de mudas de espécies arbóreas. Na análise dos autores, o substrato contendo lodo de esgoto apresentou maiores médias em relação aos demais tratamentos, proporcionando maior diâmetro do coleto (tratamento com a proporção de 30% de lodo de esgoto) e massa seca da parte aérea (tratamento com a proporção com 40% de lodo de esgoto) (GONÇALVES et al., 2014).

Plântulas de *Lafoensia glyptocarpa* foram estudadas por Siqueira et al., (2018), que utilizando-se de tubetes com 180 cm³, avaliaram diferentes proporções de lodo de esgoto (25%, 50% e 75%) incorporado ao substrato comercial. Aos 110 dias foram analisadas as medidas de altura e diâmetro do coleto, índice de cor verde das folhas e a área foliar. As medidas de biomassa e os teores de N, P e K das folhas dos tratamentos também foram avaliadas. Os resultados apontaram diferenças significativas em todas as plantas que receberam os tratamentos com lodo de esgoto em comparação com o tratamento controle, para todas as variáveis analisadas. Destaca-se, segundo os autores, que o resíduo proporcionou maiores índices de cor verde nas folhas e teores de N. Assim, as concentrações entre 25% a 75% de lodo de esgoto adicionado ao substrato podem ser recomendadas para a produção de mudas da espécie.

Em trabalho com mudas de Aroeira (*Schinus terebinthifolius*), diferentes proporções de lodo de esgoto e casca de arroz carbonizada (80/20, 70/30, 60/40, 50/50 e 40/60) foram inseridos em tubetes com capacidade de 50 cm³ de substrato. Ao final do experimento, foram avaliadas a altura das plantas, o diâmetro do coleto, o acúmulo de matéria seca de parte aérea e raízes e análise química do tecido vegetal. A partir dos resultados obtidos, verificou-se que o teor de nutrientes disponibilizado pelo lodo de esgoto foi suficiente para a nutrição das mudas, que não apresentaram sinais de deficiência ou toxidez. Para tanto, as proporções indicadas para o desenvolvimento inicial da espécie devem apresentar entre 40% e 60% de lodo de esgoto, sendo esta excelente alternativa para a reciclagem do resíduo (TRIGUEIRO; GUERRINI, 2014).

Em outro experimento com *Schinus terebinthifolius*, Chagas et al., (2019) avaliaram o efeito de várias proporções de lodo de esgoto incorporado com terra vegetal. Ao final do período experimental, as plantas que receberam o resíduo apresentaram maior altura, diâmetro do coleto, número de folhas e elevados teores de açúcares e clorofila nas folhas. Testando fertilizantes de liberação lenta em três tipos de substratos (comercial, composto de poda de árvore e lodo de esgoto na proporção 3:1; composto de poda de árvore e lodo de esgoto na proporção 2:1), mudas de *Anadenanthera colubrina*, aos 8 meses após a germinação, foram avaliadas quanto à altura, diâmetro do coleto e massa seca da parte aérea (folhas e ramos). Os dados apresentados sugerem que o substrato com lodo de esgoto acarretou melhores parâmetros de altura, diâmetro do coleto e massa seca da parte aérea das mudas. Desta forma, Scheer et al., (2012) concluíram que os substratos a base de lodo de esgoto têm potencial para substituir os substratos comerciais, e ainda, redução ou substituição dos fertilizantes minerais aliando redução de custo e sustentabilidade.

Utilizando fertilizantes de liberação lenta, Cabreira et al., (2019) trabalharam com mudas de Guapuruvu (*Schizolobium parahyba*). Os autores avaliaram os efeitos de doses crescentes do fertilizante usando lodo de esgoto como substrato. Após 93 dias do início do experimento, os autores observaram que o uso do lodo de esgoto como substrato não impactou negativamente no crescimento das mudas. Ainda, o

uso do resíduo aliado a diferentes doses de fertilização mineral proporcionou crescimento satisfatório das mudas. Cabreira et al., (2017) realizaram estudo com produção de mudas de três espécies florestais (*Peltophorobium dubim*, *Lafoensia pacari* e *Ceiba speciosa*). Os substratos foram compostos por lodo de esgoto, solo argiloso e areia nas proporções de 20-70-10%, 40-50-10% e 80-10-10%, respectivamente. Foram realizadas avaliações dos parâmetros de crescimento (altura e diâmetro do coleto) e de biomassa (massa seca da parte aérea e raízes). Todas as variáveis analisadas apresentaram resultados significativos nas plantas que receberam o tratamento com 80% de lodo de esgoto, demonstrando o potencial do resíduo no fornecimento de nutrientes para as plantas.

Com o objetivo de analisar diferentes substratos a base de lodo de esgoto, sementes de Angico-vermelho (*Parapiptadenia rigida*) foram semeadas em tubetes de polietileno de 200 cm³. Decorridos 180 dias do início do experimento, as mudas foram analisadas quanto à altura, diâmetro do coleto, índice de qualidade de Dickson, massa fresca e seca da parte aérea e raízes e os teores de macro e micronutrientes do tecido vegetal. De acordo com os autores, o lodo de esgoto proporcionou melhorias nas características químicas dos substratos, disponibilizando satisfatoriamente nutrientes para as plantas. Com relação a qualidade das mudas, foram observados efeitos positivos com a aplicação de diferentes doses, que podem variar entre 40% e 60% de lodo de esgoto na proporção do substrato (SANTOS et al., 2019).

Avaliando os efeitos do lodo de esgoto associado a diferentes substratos (à base de casca de pinus ou à base de fibra de coco) em diferentes proporções, Siqueira et al., (2019) observaram efeitos positivos do resíduo na produção de mudas de *Plathymentia reticulata*. No estudo, foram utilizados tubetes com capacidade de 180 cm³ contendo diferentes compostos. Em relação às características de crescimento das plantas, foram avaliadas as medidas de altura, diâmetro do coleto e área foliar. Os resultados mostraram que a menor dose do lodo de esgoto (20%) proporcionou as melhores características para as mudas, com crescimento semelhante as mudas que foram semeadas em substrato contendo fertilizantes minerais.

Silva et al., (2019) estudaram o potencial do uso do lodo de esgoto como substrato em mudas de *Luehea divaricata*. Foram utilizados tubetes contendo tratamentos com 100% de lodo de esgoto (proveniente de duas estações de tratamento) e um substrato comercial a base de casca de pinus compostada e vermiculita. Foram observados efeitos significativos nas mudas que receberam os tratamentos com lodo de esgoto, com crescimento superior às que foram submetidas ao tratamento contendo substrato comercial. Desta forma, os autores concluíram que o uso do resíduo acarreta em diversos benefícios, proporcionando mudas de maior qualidade e podendo ser indicado para a produção de mudas da espécie.

Além do uso do resíduo aliado ao como substrato para produção de diversas espécies, experimentos foram realizados buscando avaliar os efeitos do lodo de esgoto na formulação de substratos para germinação de sementes, conforme publicado por Cunha et al., (2020). No trabalho, os autores testaram doses de 0%; 15%; 30%; 45% e 60% de lodo de esgoto incorporado com solo e areia grossa. As sementes da espécie *Handroanthus impetiginosus* foram avaliadas quanto a porcentagem de germinação (G%), o índice de velocidade de germinação (IVG), tempo médio de germinação (TMG) e velocidade média de germinação (VMG). Os resultados mostraram que os maiores índices dos parâmetros avaliados foram observados nos tratamentos com a proporção de 45% de lodo de esgoto. Para os autores, o uso resíduo

como substrato na germinação de sementes pode acarretar em maior disponibilidade de nutrientes e matéria orgânica, além de maior aeração e retenção de água.

Apesar do benefício nutricional que o lodo de esgoto pode proporcionar, o resíduo ajuda a reter água no substrato, conforme relatado por Morgado et al., (2020). Em trabalho com mudas de *Peltophorum dubium*, Silva L. et al., (2020) observaram que o substrato formulado a partir de lodo de esgoto e casca de eucalipto, apresentou menor frequência de irrigação diária. No experimento, foram avaliadas medidas de biometria e biomassa, índice de cor verde, índice de qualidade de Dickson, perda de água por lixiviação e capacidade de retenção de água do substrato. Os resultados apontaram melhor desenvolvimento das mudas com a irrigação de 2 vezes ao dia. Corroborando os dados, Morgado et al., (2020) observaram em mudas de Embaúba-prateada (*Cecropia hololeuca*), que o lodo de esgoto fornece nutrientes necessários para o desenvolvimento da espécie, auxiliando inclusive na retenção de água sendo semelhante ao substrato comercial utilizado.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

De forma geral, os resultados encontrados na literatura justificam o uso do lodo de esgoto como componente de substratos para produção de mudas de espécies arbóreas, com efeitos positivos nas características das espécies estudadas e com potencial para substituir os fertilizantes minerais. Porém, avaliando os resultados descritos neste estudo, pôde-se notar que a quantidade de lodo de esgoto utilizada na composição de substratos sofre ampla variação de acordo com a espécie. Deve-se considerar ainda a análise química do resíduo, que pode apresentar variações nos teores de nutrientes de acordo com a região de coleta.

Em relação aos parâmetros ambientais e econômicos, são gerados inúmeros benefícios através da reciclagem do resíduo. Na esfera econômica, há possibilidade de redução de custos não só no viveiro, mas também com impactos na cadeia produtiva, através do menor uso de fertilizantes minerais e possibilidade de redução do uso da água no processo de irrigação das mudas. Aliado a isto, os custos na estação de tratamento de efluentes também podem ser reduzidos, devido a eliminação do transporte do resíduo para descarte até o aterro sanitário. Todos esses fatos são corroborados devido ao Brasil possuir a maior diversidade de espécies arbóreas do mundo. Seja para silvicultura comercial ou restauração de áreas degradadas, possuímos alta demanda de mudas de espécies nativas que podem reciclar se não todo, mas grande parte do lodo de esgoto gerado nas cidades.

Diante do exposto, e para que a sua aplicabilidade em espécies florestais seja feita de forma adequada, são necessários esforços conjuntos entre os órgãos públicos e empresas privadas que fazem a gestão das estações de tratamento de efluentes e empresas que podem comercializar e distribuir o resíduo pronto para o uso, visto que a maior parte do resíduo ainda é descartada em aterros sanitários. As universidades também têm papel fundamental nesse processo, podendo colaborar com novas tecnologias que visem auxiliar o processo de separação e tratamento do resíduo nas ETEs e em estudos com a aplicação do resíduo em espécies florestais ainda não testadas.

REFERÊNCIAS

- ABREU, A. H. M.; SANTOS LELES, P. S.; MELO, L. A.; OLIVEIRA, R. R.; FERREIRA, D. H. A. A. Caracterização e potencial de substratos formulados com biossólido na produção de mudas de *Schinus terebinthifolius* Raddi. e *Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 4, p. 1179-1190, 2017b.
- ABREU, A. H.; MARZOLA, L. B.; MELO, L. A. D.; LELES, P. S. D. S.; ABEL, E. L.; ALONSO, J. M. Urban solid waste in the production of *Lafoensia pacari* seedlings. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 2, p. 83-87, 2017a.
- AFÁZ, D. C. D. S.; BERTOLAZI, K. B.; VIANI, R. A. G.; SOUZA, C. F. Composto de lodo de esgoto para o cultivo inicial de eucalipto. **Revista Ambiente & Água**, v. 12, p. 112-123, 2017.
- ALONSO, J. M.; ABREU, A. H. M. D.; MELO, L. A. D.; LELES, P. S. D. S.; CABREIRA, G. V. Biosolids as substrate for the production of *ceiba speciosa* seedlings. **Cerne**, v. 24, n. 4, p. 420-429, 2018.
- BACKES, C.; SANTOS, A. J. M.; GODOY, L. J. G. D.; BÔAS, R. L. V.; OLIVEIRA, M. R. D.; OLIVEIRA, F. C. D. Doses de lodo de esgoto compostado em produção de tapete de grama esmeralda imperial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p.1402-1414, 2013.
- BETTIOL, W.; DE CAMARGO, O. A. **Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006.
- BRANDANI, C. B.; KÜHL, A. S.; ILARIO, V. E.; PITOMBO, L. M.; FERREIRA-FILHO, P. J.; PEREIRA, E. A.; CARMO, J. B. D. Nutritional evaluation of Guanandi seedlings fertilized with sewage sludge. **Bragantia**, v. 78, n. 2, p. 253-263, 2019.
- BRASIL. **Plano Nacional de Saneamento Básico**. Brasília: [s. n.], 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/plansab>. Acesso em: 10 ago. 2021.
- BRASIL. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 Presidência da República, Departamento da Casa Civil. Brasília, 2010.
- CABREIRA, G. V.; LELES, P. S. D. S.; ALONSO, J. M.; ABREU, A. H. M. D.; ARTHUR JUNIOR, J. C.; GUSMÃO, A. V. V.; LOPES, N. F. Fertilization and containers in the seedlings production and post-planting survival of *Schizolobium parahyba*. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 4, p. 1644-1657, 2019.
- CABREIRA, G. V.; SANTOS LELES, P. S.; ALONSO, J. M.; DE ABREU, A. H. M.; LOPES, N. F.; SANTOS, G. R. Biossólido como componente de substrato para produção de mudas florestais. **Floresta**, v. 47, n. 2, p. 165-176, 2017.
- CALDEIRA, M. V. W.; MACEDO DELARMELINA, W.; TANNURE FARIA, J. C.; SILVA JUVANHOL, R. Substratos alternativos na produção de mudas de *Chamaecrista desvauxii*. **Revista Árvore**, v. 37, n. 1, p.31-39, 2013.
- CALDEIRA, M. V. W.; OLIVEIRA GONÇALVES, E.; WENDLING, I.; MARTINS, R. D. C. C. Produção de Mudas. **Silvicultura do Eucalipto no Brasil**, 2016, 305p.
- CALDEIRA, M. V.; SANTOS, F. E.; KUNZ, S. H.; KLIPPEL, V. H.; DELARMELINA, W. M.; GONÇALVES, E. D. O. Solid urban waste in the production of *Aegiphila sellowiana* Cham. seedlings. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 12, p. 831-836, 2018.

CHAGAS MENDONÇA, A. M.; DA SILVA DIAS, G.; DE SOUZA NASCIMENTO, A. V.; CAMPOS, J. A.; DE SANTANA, M. C.; JÚNIOR, C. D. S.; SANTOS, P. A. A. Utilização do lodo de esgoto na produção de mudas de *Schinus terebinthifolius* Raddi (Anacardiaceae). **Scientia Plena**, v. 15, n. 8, p. 081201, 2019.

COELHO, T. R.; SILVA, J. A. F.; DIAS, M. V. Lodo de estação de tratamento de esgoto (ete) e compostagem orgânica em cultivo de mudas nativas: estudo na região dos lagos rj-brasil. **Revista Internacional de Ciências**, v. 9, n. 2, p. 84-102, 2019.

CUNHA, G. D.; STACHIW, R.; QUADROS, K. M. Lodo de estação de tratamento de água como componente para germinação de mudas florestais. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 1, p. 40-53, 2020.

DELARMELENA, W. M.; CALDEIRA, M. V. W.; FARIA, J. C. T.; OLIVEIRA GONÇALVES, E. Uso de lodo de esgoto e resíduos orgânicos no crescimento de mudas de *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. **Revista Agro@ambiente on-line**, v. 7, n. 2, p. 184-192, 2013.

FERNANDES, F. Estabilização e higienização de biossólido. In: BETTIOL, N.; CAMARGO, O. A. (Eds.) **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariuna: EMBRAPA MEIO AMBIENTE, 2000. p. 45-67.

FLORIANO, E. P. **Germinação e dormência de sementes florestais**. Santa Rosa: ANORGS, 2004. 19p. (Caderno Didático).

FONSECA, T. G. **Produção de mudas de hortaliças em substratos de diferentes composições com adição de CO₂ na água de irrigação**. 2001. 85p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, São Paulo, 2001.

FYTILI, D.; ZABANIOTOU, A. Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods a review. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 12, n. 1, p. 116-140, 2008.

GONÇALVES, E. O.; PETRI, G. M.; CALDEIRA, M. V. W.; DALMASO, T. T.; SILVA, A. G. Crescimento de mudas de *Ateleia glazioviana* em substratos contendo diferentes materiais orgânicos. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 3, p. 339-348, 2014.

GONÇALVES, J. L. D. M.; SANTARELLI, E. G.; MORAES NETTO, S. P.; MANARA, M. P.; STAPE, J. L. Produção de mudas de espécies nativas: substrato, nutrição, sombreamento e fertilização. **Nutrição e fertilização florestal**, 2000.

INPE. **INPE estima 7.900 km² de desmatamento por corte raso na Amazônia em 2018**. Brasília: INPE, 2018. Disponível em: http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=4957. Acesso em: 10 ago. 2021.

KACPRZAK, M.; NECZAJ, E.; FIJAŁKOWSKI, K.; GROBELAK, A.; GROSSER, A.; WORWAG, M.; SINGH, B. R. Sewage sludge disposal strategies for sustainable development. **Environmental research**, v. 156, p. 39-46, 2017.

LANDIS, T. D. **Containers and Growing Media**. USDA Forest Service, 1990.

LIMA FILHO, P.; LELES, P. S. D. S.; ABREU, A. H. M. D.; SILVA, E. V. D.; FONSECA, A. C. D. Produção de mudas de *Ceiba speciosa* em diferentes volumes de tubetes utilizando o biossólido como substrato. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 1, p. 27-39, 2019.

LIMA, R. D. L. S. D.; SEVERINO, L. S.; SILVA, M. I. D. L.; JERÔNIMO, J. F.; VALE, L. S. D.; BELTRÃO, N. E. D. M. Substratos para produção de mudas de mamoneira compostos por misturas de cinco fontes de matéria orgânica. **Ciência e agrotecnologia**, v. 30, n. 3, p. 474-479, 2006.

LOBO, T. F.; GRASSI FILHO, H.; BULL, L. T.; KUMMER, A. C. Efeito do lodo de esgoto e do nitrogênio nos fatores produtivos do girassol. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 504-509, 2013.

MINAMI, K. Adubação em substrato. In: KAMPF, A. N.; FERMINO, M. H. **Substrato para plantas: a base da produção vegetal em recipientes**. Porto Alegre: Gênese, 2000. 312p.

MORGADO, B.; OLHER, I.; CAMARGO, T. P.; ROSSI, M. N.; LOBO, T. F.; SIQUEIRA, M. V. B. M. Growth of *Cecropia hololeuca* in water blades and substrates formulated with sewage sludge. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian**, v. 63, p. 1-10, 2020.

MUNHOZ, R. O.; BERTON, R. S. **Disponibilidade de fósforo para o milho em solo que recebeu lodo de esgoto**. Lodo de esgoto: Impactos ambientais na agricultura, 2001, p. 91-124.

OLIVEIRA, D. P. F.; RUIZ, A. M. M.; BROETTO, F.; ZABOTTO, A. R.; KÜHN, I. E.; ANDRADE, T. C. O.; MACHUCA, L. M. R. Lodo de esgoto: uso do lodo de esgoto em plantas. In: RAMOS, E. G.; ZUÑIGA, E. A.; MACHUCA, L. M. **Estresse das plantas cultivadas & protocolos de análise**. Botucatu: FEPAF, 2018. p. 51-58.

PEDROZA, M. M.; VIEIRA, G. E. G.; SOUSA, J. F.; CASTILHO PICKLER, A.; LEAL, E. R. M.; CRUZ MILHOMEN, C. Produção e tratamento de lodo de esgoto—uma revisão. **Revista Liberato**, v. 11, n. 16, p. 89-188, 2010.

PEREIRA, G. P. P. A.; RIBEIRO, M. H. G.; ALBUQUERQUE JÚNIOR, E. C.; PAULA SILVA, V.; PASTICH GONÇALVES, E. A. Utilização de lodo anaeróbico de estação de tratamento de esgoto na produção de mudas de ipê roxo (*Tabebuia avellanedae*). **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales, Investigación, desarrollo y práctica**, v. 13, n. 1, p. 188-201, 2020.

REZENDE, B. T.; SANTOS, P. L. F.; BEZERRA, J. C. M.; PAGLIARINI, M. K.; CASTILHO, R. M. M. Sewage sludge composted in the coloring and development of Bermuda grass. **Ornamental Horticulture**, v. 26, n. 3, p. 440-447, 2020.

RIBEIRINHO, V. S.; MELO, W. J. D.; SILVA, D. H. D.; FIGUEIREDO, L. A.; MELO, G. M. P. D. Fertilidade do solo, estado nutricional e produtividade de girassol, em função da aplicação de lodo de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 2, p. 166-173, 2012.

SANTOS, F. E. V.; CALDEIRA, M. V. W.; KUNZ, S. H. Qualidade de mudas de *Parapiptadenia rigida* (Benth.) *Brenan* produzidas em diferentes substratos com lodo de esgoto e casca de arroz. **Revista Ecologia e Nutrição Florestal-ENFLO**, v. 1, n. 2, p. 55-62, 2013.

SANTOS, R. P.; COSTA, A. L.; PEDROSO, L. D.; TRAVESSAS, A. O.; VESTENA, S. Efeito do lodo de esgoto na produção e nutrição de mudas de angico-vermelho (*Parapiptadenia rigida* (Benth.) *Brenan*). **Revista Ecologia e Nutrição Florestal-ENFLO**, v. 7, p. e.08, 2019.

SASTRE, I.; VICENTE, M. A.; LOBO, M. C. Influence of the application of sewage sludges on soil microbial activity. **Bioresource Technology**, v. 57, n. 1, p. 19-23, 1996.

SCHEER, M. B.; CARNEIRO, C.; BRESSAN, O. A.; SANTOS, K. G. Compostos de lodo de esgoto para a produção de mudas de *Anadenanthera colubrina* (Vell.) *Brenan*. **Cerne**, v. 18, n. 4, p. 613-621, 2012.

SILVA, F. C. D.; BOARETTO, A. E.; BERTON, R. S.; ZOTELLI, H. B.; PEEXE, C. A.; BERNARDES, E. M. Efeito de lodo de esgoto na fertilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, p. 831-840, 2001.

SILVA, L. O. C.; FONSECA, A. C.; SIVISACA, D. C. L.; SILVA, M. R.; BOAS, R. L. V.; GUERRINI, I. A. Sewage sludge compost associated to frequency of irrigation for *Peltophorum dubium* (Sprengel) Taubert seedlings production. **Floresta**, v. 50, n. 2, p. 1389-1398, 2020.

SILVA, P. S. T.; ZABOTTO, A. R.; SANTOS, P. L. F.; NASCIMENTO, M. V. L.; TAVARES, A. R.; VILLAS BOAS, R. L. Regrowth and ornamental traits of bermudagrass fertilized with sewage sludge. **Ornamental Horticulture**, v. 26, n. 3, p. 390-398, 2020.

SILVA, T. J.; ALONSO, J. M.; LELES, P. S. S.; SILVA ABEL, E. L.; RIBEIRO, J. G.; SILVA SANTANA, J. E. Mudanças de *Luehea divaricata* produzidas com biossólido de duas estações de tratamento de esgoto. **Advances in Forestry Science**, v. 6, n. 2, p. 595-601, 2019.

SINGH, R. P.; AGRAWAL, M. Potential benefits and risks of land application of sewage sludge. **Waste management**, v. 28, n. 2, p. 347-358, 2008.

SIQUEIRA, D. P.; BARROSO, D. G.; CARVALHO, G. C. M. W. D.; ERTHAL, R. M.; RODRIGUES, M. C. C.; MARCIANO, C. R. Lodo de esgoto tratado na composição de substrato para produção de mudas de *Plathymeria reticulata* Benth. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 2, p. 728-739, 2019.

SIQUEIRA, D. P.; CARVALHO, G. C. M. W.; BARROSO, D. G.; MARCIANO, C. R. Lodo de esgoto tratado na composição de substrato para produção de mudas de *Lafoensia glyptocarpa*. **Floresta**, v. 48, n. 2, p. 277-284, 2018.

SOS MATA ATLÂNTICA. **Desmatamento da mata atlântica cresce em dez estados**. Itu, SP: SOS Mata Atlântica, 2021. Disponível em: <https://www.sosma.org.br/noticias/desmatamento-da-mata-atlantica-cresce-em-dez-estados>. Acesso em: 10 ago. 2021.

SUTHAR, S. Pilot-scale vermireactors for sewage sludge stabilization and metal remediation process: Comparison with small-scale vermireactors. **Ecological Engineering**, v. 36, p. 703-712, 2010.

TRIGUEIRO, R. D. 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.

TRIGUEIRO, R. M.; GUERRINI, L. A. Uso de biossólidos como substratos para produção de mudas de eucalipto. **Scientia Forestalis**, v. 64, p. 150-162, 2003.

USMAN, K.; KHAN, S.; GHULAM, S.; KHAN, M. U.; KHAN, N.; KHAN, M. A.; KHALIL, S. K. Sewage sludge: an important biological resource for sustainable agriculture and its environmental implications. **American Journal of Plant Sciences**, v. 3, n. 12, p. 1708, 2012.

VAVRINA, C. S.; BROWN, K. M.; SNYDER, R.; ORZOLEK, M.; LYNCH, J. P. Production of high-quality tomato transplants with a novel buffered fertilizer. **HortTechnology**, v. 12, n. 4, p. 662-669, 2002.

ZABOTTO, A. R.; COSTA, C. S.; JOCA, T. A. C.; BROETTO, F. Contextualização Econômica e Ambiental da Silvicultura Brasileira de Florestas Plantadas. In: ZABOTTO, A. R. **Estudos Sobre Impactos Ambientais: Uma Abordagem Contemporânea**. Botucatu: FEPAF, 2019b. p. 187-197.

ZABOTTO, A. R.; GOMES, L. D. L.; BOAS, R. L. V.; KANASHIRO, S.; TAVARES, A. R. Nutrition and physiology of hybrid *Eucalyptus urograndis* in soil fertilized with sewage sludge. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, p. 19-24, 2020.

ZABOTTO, A. R.; KÜHN, I. E.; BROETTO, F.; OLIVEIRA, D. P. F.; RUIZ, A. M. M.; ANDRADE, T. C. O.; ZUÑIGA, E. A. Lodo de esgoto: características nutricionais e efeitos da utilização no solo. *In*: RAMOS, E. G.; ZUÑIGA, E.A.; MACHUCA, L. M. **Estresse das plantas cultivadas & protocolos de análise**. Botucatu: FEPAF, 2018. p. 42-50.

ZABOTTO, A. R.; ZUÑIGA, E. A.; RUIZ MACHUCA, L. M.; BROETTO, F.; REIS TAVARES, A.; KANASHIRO, S. Uso de lodos residuales como fertilizante en eucalipto-diagnóstico de investigación. **Idesia (Arica)**, v. 37, n. 2, p. 103-108, 2019a.