

Avaliação de diferentes combinações entre lodo de ETA e lodo de ETE para produção de mudas florestais

Evaluation on different combinations between WTP sludge and WWTP sludge to production of forest seedling

• **Data de entrada:**
05/12/2019

• **Data de aprovação:**
29/10/2021

Cleonice Lucia Barbosa Mattos da Cruz¹ | Ana Silvia Pereira Santos² | Elisabeth Ritter^{2*}

DOI: <https://doi.org/10.36659/dae.2022.080>

ORCID ID

Cruz CLBM  <https://orcid.org/0000-0003-4866-8029>

Santos ASP  <https://orcid.org/0000-0001-7823-9837>

Ritter E  <https://orcid.org/0000-0002-3908-1608>

Resumo

A incorporação do lodo de ETA no substrato para produção de mudas de espécies nativas da Mata Atlântica é uma solução para destinação de parte do lodo de ETA gerado. No viveiro pesquisado, atualmente são utilizados no substrato 50% de lodo proveniente de estação de tratamento de esgoto (ETE) e 50% de um solo adquirido comercialmente. Nesta pesquisa foram produzidos traços com percentuais de lodo de ETA e com percentuais de lodo de ETE para produção de espécies de Aroeira Pimenteira e Aldrigo. O traço que apresentou melhores resultados com 95% de confiança foi o traço T5, com 25% de lodo de ETA e 75% lodo de ETE. Este foi o único que alcançou 100% de sobrevivência e maiores taxas de crescimento em relação à altura e ao diâmetro do coleto, assim como o maior Índice de Qualidade de Dickson (IQD). Em relação aos benefícios econômico e ambiental, verificou-se que é possível evitar o uso anual de aproximadamente 7.500 m³ de solo e a disposição do lodo em aterro sanitário com uma economia anual superior a R\$ 832 mil reais.

Palavras-chave: Lodo de ETA. Lodo de ETE. Espécies nativas da Mata Atlântica, Uso benéfico do lodo de ETA.

Abstract

The incorporation of WTP sludge into the substrate for seedling production of native species of the Atlantic Forest is a solution for disposal of part of the generated ETA sludge. In the nursery researched, currently, there is used 50% of the sludge from the wastewater treatment plant (WWTP) and 50% of a commercially purchased soil in the substrate. In this research, traces with percentages of WTP sludge and percentages of WWTP sludge were produced and used the species Aroeira Pimenteira and Aldrigo. The trace that presented the best results with 95% confidence was the T5 trace, with 25% of WTP sludge and 75% WWTP sludge, as it was the only one that reached 100% survival and higher growth rates in relation to the height and the stalk diameter, as well as Highest Dickson's Quality Score (DQS). Regarding the economic and environmental benefits, it was verified that it is possible to avoid the annual use of approximately 7,500 m³ of soil and the disposal of sludge in a landfill with an annual saving of over R\$ 832 thousand.

Keywords: WTP sludge. WWTP sludge. Native species of the Atlantic Forest. Reuse of WTP sludge.

¹ Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro (CEDAE) - Rio de Janeiro - Rio de Janeiro - Brasil.

² Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) - Rio de Janeiro - Rio de Janeiro - Brasil.

* **Autora correspondente:** ritteruerj@gmail.com.

1 INTRODUÇÃO

O lodo de ETA é gerado no processo de tratamento de água, em unidades de decantação e de filtração, e apresenta composição variável (DI BERNARDO et al., 2012) contendo minerais e substância húmicas da água bruta, além de produtos químicos adicionados (coagulantes e auxiliares de coagulação) (OWEN, 2002; URBAN e ISAAC, 2019). Por outro lado, o lodo de ETE é um material oriundo do tratamento de esgoto, que pode ser gerado em processos biológicos, físicos e físico-químicos. Assim, em função da tecnologia de tratamento de esgoto adotada na fase líquida, o lodo de ETE pode conter componentes semelhantes aos encontrados em lodo de ETA, além de metais, organismos patogênicos, contaminantes orgânicos e outros possíveis (SPERLING et al., 2007).

Tanto o lodo de ETA como o lodo de ETE, quando dispostos inadequadamente, podem acarretar sérios danos à saúde humana e ao meio ambiente. O lodo de ETA é historicamente disposto direta ou indiretamente em leitos de rios, ou em menor quantidade em aterro sanitário, podendo ainda sofrer incineração (SCALIZE, 2014). O lodo de ETE, após processos de adensamento, digestão e desaguamento, em geral é encaminhado para disposição em aterros sanitários (ANDREOLI et al., 2014). Entretanto, segundo Urban e Isaac (2019), a crescente preocupação ambiental, associada ao aumento da produção de ambos os resíduos e à evolução legal, tem alavancado ações técnico-científicas de uso benéfico do lodo.

No caso do lodo de ETA, usos benéficos como aplicação no solo para agricultura e recuperação de áreas degradadas, produção de artefatos de cerâmica, de cimento ou de concreto e recuperação de coagulante são destacados por Scalize et al. (2014); e usos como silvicultura e pavimentação são destacados por Babatunde e Zhao (2007). Segundo Bittencourt et al. (2012), a aplicação do

lodo de ETA no solo vem ganhando destaque em função da presença considerável de óxidos e hidróxidos de alumínio e ferro, argilas silicatadas e matéria orgânica, que são constituintes de solo. Entretanto, de acordo com os mesmos autores, o alumínio pode reduzir a disponibilidade de fósforo às plantas e/ou em excesso, pode causar efeito tóxico à maioria das plantas.

Já o lodo de ETE tem aplicação mais restrita, principalmente devido ao seu risco de contaminação microbiológica (MAGALHÃES, 2012). Apesar de Andreoli et al. (2014) afirmarem que seu uso benéfico mais indicado é na agricultura, devido ao seu alto teor de matéria orgânica, Magalhães (2012) ressalta que para que a utilização agrícola do lodo seja segura do ponto de vista de saúde pública, é necessário que ele seja submetido a processos de tratamento capazes de eliminar ou reduzir os patógenos a níveis seguros.

Abreu et al. (2019) destacam que a geração de lodo de ETE é uma característica inerente ao processo de tratamento de esgotos e tende a um crescimento proporcional ao da população urbana. Em relação ao lodo de ETA, o mesmo se pode afirmar sobre a geração acompanhar o crescimento populacional. Dessa forma, estudos relacionados à reciclagem de lodo (tanto de ETA como de ETE) são de fundamental importância para a preservação ambiental e para o desenvolvimento de técnicas adequadas de disposição final desse passivo.

Vários estudos sobre o uso benéfico tanto do lodo de ETA como do lodo de ETE vêm sendo desenvolvidos no Brasil e no mundo. No Brasil, o Programa de Pesquisa em Saneamento Ambiental (PROSAB) (FINEP, 2019) iniciou seus estudos sobre o aproveitamento do lodo no final dos anos 90 e início dos anos 2000 no âmbito do seu Edital 01 com o título “Aproveitamento de lodo gerado em estações de tratamento de água e esgotos sanitários, inclusive com a utilização de técni-

cas consorciadas com resíduos sólidos urbanos” (REALI, Coord., 1999; GONÇALVES, Coord., 1999; ANDREOLI, Coord., 1999; FERNANDES, Coord., 2000; ANDREOLI, Coord., 2001). Posteriormente, os biossólidos passaram a ser tratados no PROSAB no tema intitulado “Usos alternativos de lodos de estações de tratamento de água e estações de tratamento de esgotos - Alternativas de uso de resíduos de saneamento” (ANDREOLI, Coord. 2006). Por fim, o PROSAB ainda abordou o tema no edital “Lodo de fossa séptica: caracterização, tecnologias de tratamento, gerenciamento e destino final” (ANDREOLI, Coord. 2009). Mais recentemente, estudos vêm sendo realizados na área agrícola e florestal (ABREU et al., 2019; OLIVEIRA et al., 2015, FERRAZ E POGGIANI, 2014; GOMES et al., 2013;), além de outros.

Em termos de legislação para o aproveitamento de lodo, o Brasil não possui aspectos legais específicos para lodo de ETA. Entretanto, para o lodo de ETE há a Resolução CONAMA nº 375 de 2006, que define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos gerados em Estações de Tratamento de Esgotos (Brasil, 2006). Magalhães (2012) destaca que na Resolução CONAMA nº 375/2006 algumas restrições impostas às duas classes de lodo fixadas em função da qualidade microbiológica são até mais rigorosas do que as adotadas em países como Estados Unidos e Reino Unido.

Outro aspecto relevante a ser considerado na discussão sobre o aproveitamento de lodo é a Lei 12.305 de 2010, que aborda a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e prioriza, em relação aos resíduos, a sua não geração, a sua reutilização e/ou a reciclagem, o seu tratamento e a sua disposição final (Brasil, 2010). Essa lei aborda os resíduos sólidos em geral e faz menção à necessidade de reutilização e reciclagem destes como um todo.

No contexto do presente trabalho, a Companhia Estadual de Águas e Esgoto do Rio de Janeiro (CEDAE), além de operar sistemas de abastecimento de água (SAA) e sistemas de esgotamento sanitário (SES) em diversos municípios do estado do Rio de Janeiro, incluindo a capital, desenvolve ainda o programa Replantando Vida. Trata-se de um programa socioambiental que produz mudas florestais típicas da Mata Atlântica, em substrato composto por solo e lodo de ETE, para replantio em áreas degradadas das proximidades de mananciais. Além do objetivo ambiental, o programa que foi criado em 2007 tem também o viés social, pois já utilizou a mão de obra de mais de 2.700 reclusos do sistema penitenciário do Rio de Janeiro no trabalho de restauração florestal (CECCON e PÉREZ, 2016).

Neste cenário, o principal objetivo do presente trabalho foi avaliar a possibilidade de substituição do solo que compõe o substrato (solo + lodo de ETE) já utilizado no programa Replantando Vida, por lodo de ETA. Segundo Teixeira et al. (2005), a utilização do lodo de ETA na recuperação de áreas degradadas pode ser otimizada pela aplicação conjunta de um resíduo orgânico como o lodo de ETE, que apresenta elevado potencial agrônomo, favorecendo a interação solo-planta. O trabalho ainda buscou elaborar uma relação entre a redução do consumo de recursos naturais (solo) para composição do substrato, com o custo da destinação desse resíduo em aterros sanitários. Destaca-se que não foi objetivo do presente estudo a investigação da possibilidade de poluição difusa que acarretaria na contaminação do solo e das águas subterrâneas relacionada ao uso de lodos de ETE e ETA.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A ETA Porto das Caixas (operada pela CEDAE), cujo lodo é utilizado no experimento realizado, tem capacidade total de tratamento de

260 L.s⁻¹, é do tipo convencional de ciclo completo e conta com seis decantadores e quatorze filtros de areia. Nela, adota-se o sulfato de alumínio (Al₂(SO₄)₃) como coagulante e são produzidos cerca de 270 kg mensais de lodo, caracterizado pela ABNT - NBR 10.004/04 como um Resíduo Sólido Não Perigoso e Não Inerte – Classe IIA. A estação está localizada no município de Itaboraí, estado do Rio de Janeiro e abastece parte desse município, a localidade de Portos das Caixas e o Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro (COMPERJ).

O viveiro florestal utilizado no experimento foi um dos viveiros do programa Replantando Vida, localizado no município de Magé, a 25 km do município de Itaboraí no Estado do Rio de Janeiro. Esse viveiro florestal é o primeiro inserido dentro de uma unidade prisional, com mais de 30.000 m². O viveiro, que produz mais de 200 espécies da Mata Atlântica, possui capacidade de produção de 1,2 milhão de mudas anuais, figurando entre os maiores produtores de mudas florestais nativas do Estado. Para a produção das mudas, o viveiro utiliza em média 15.000 m³ de substrato ao ano, sendo 7.500 m³ de lodo de ETE e 7.500 m³ de solo comercial.

No experimento realizado na área do viveiro florestal foram utilizadas duas mudas de espécies nativas da Mata Atlântica conforme a descrição:

- *Schinus terebinthifolius* (Aroeira Pimenteira), de crescimento rápido e considerada planta de pequeno a médio porte. Sua altura varia entre 5 e 10 m e seu tronco apresenta diâmetro entre 30 e 60 cm (LORENZI, 2008);
- *Pterocarpus violaceus* (Aldrago), de crescimento moderado e considerada planta de médio porte. Sua altura varia entre 8 e 14 m e seu tronco apresenta diâmetro de 30 a 50 cm (LORENZI, 2008).

Na pesquisa foram realizados 6 traços, onde se alteraram os percentuais de lodo de ETA na composição do substrato. Atualmente o viveiro

florestal utiliza o lodo de ETE, como substrato adicionado a um solo comercial argiloso. Abreu (2014) comprovou que o lodo de ETE pode ser utilizado em substituição ao adubo comercial, para compor o substrato na produção de mudas de espécies da Mata Atlântica. Sendo assim, o potencial de incorporação do lodo de ETE não foi objetivo da avaliação deste estudo, bem como o solo comercial utilizado.

Uma amostra simples de cada material que compõe o substrato (lodo de ETA, lodo de ETE e solo) foi coletada e encaminhada para o Laboratório da CEDAE, para análise das características químicas: pH, nutrientes e metais. Ainda foram determinados os teores de: Potássio, Cálcio, Magnésio, Fósforo, Ferro, Boro, Manganês, Zinco, Cobre, todos de grande relevância para o desenvolvimento das plantas, além do teor de alumínio. As análises foram realizadas de acordo com *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012).

Na Tabela 1 pode ser observada a composição dos seis traços utilizados no experimento. O primeiro, adotado como testemunho (T1), correspondeu àquele que até o momento era utilizado no viveiro, composto por 50% de solo comercial e 50% lodo de ETE. Nos demais (T2, T3, T4 e T5), observa-se a não utilização do solo. Esses foram compostos somente com proporções de lodo de ETA e de ETE, visto que um dos objetivos do trabalho era exatamente a diminuição de extração de recursos naturais, substituindo o solo comercial pelo lodo de ETA. Por fim, o traço T6 foi adotado considerando-se 100% de lodo de ETE e, portanto, sem a presença de lodo de ETA, somente para efeitos de comparação.

Para o preparo das amostras foram utilizados recipientes de 14L para medir o volume dos substratos com umidade natural, em temperatura ambiente. Após a separação das quantidades de cada traço, eles foram misturados em uma beto-

neira com rotação de 30 RPM durante aproximadamente 60 minutos, para formar a massa. Logo após, foram encaminhados para bancada, onde foram colocados manualmente em sacos específicos para a repicagem das mudas. Não houve pesagem destas amostras.

Tabela 1 - Porcentagem de insumos utilizados em cada traço investigado

	Lodo ETA	Lodo ETE	Solo
T1	0%	50%	50%
T2	100%	0%	0%
T3	75%	25%	0%
T4	50%	50%	0%
T5	25%	75%	0%
T6	0%	100%	0%

Fonte: O autor, 2018.

Uma amostra de cada traço foi coletada para serem determinadas as seguintes características físicas: teor de umidade e granulometria, de acordo com NBR 6457/1986 e NBR 7181/1968.

A trabalhabilidade é uma etapa importante na operação de um viveiro florestal, pois a facilidade de enchimento dos recipientes onde as mudas são replicadas pode prejudicar o tempo de operação devido à demora na execução do trabalho. Em casos de amostras muito úmidas e mais “pastosas” (ou seja, com mais finos), a operação de enchimento dos recipientes será dificultada. Para avaliar a trabalhabilidade dos traços, foi realizada uma comparação do tempo de enchimento dos recipientes para todos os traços (T1 a T6), com o teor de umidade adotado e com a caracterização granulométrica do solo.

Para cada traço, foram realizadas quatro repetições com oito amostras de cada espécie (Aroeira Pimenteira e Aldrago), dando um total de 384 amostras. Os sacos com as misturas de cada traço foram transportados para um canteiro reservado para o experimento na área de sombra do viveiro. Furos manuais foram feitos nos sacos

para a colocação da raiz e, posteriormente foram tampados com o próprio substrato deixando o caule das mudas para fora.

De junho de 2017 a dezembro de 2017 foram realizadas seis medições das seguintes variáveis:

- Quantidade de mudas sobreviventes;
- Altura das mudas;
- Diâmetro dos coletores das mudas;
- Massa seca das raízes e dos caules das mudas.

A partir dessas variáveis foram calculadas as seguintes taxas:

- Taxa de sobrevivência a partir da contagem da quantidade de mudas sobreviventes no período analisado;
- Taxa de crescimento a partir da medição da altura das mudas e diâmetro do coletor;
- Índice de Qualidade Dickson a partir da pesagem de amostras da raiz e do caule das mudas;

Para a análise da taxa de sobrevivência foi verificada a quantidade de mudas sobreviventes no experimento em relação à quantidade total de mudas analisadas. Foram consideradas mudas mortas aquelas com ausência de folhas e aquelas com as folhas aparentemente secas.

Para medição da altura das mudas, utilizou-se uma régua graduada com precisão de 0,05 cm. A altura considerada foi o tamanho do caule entre o solo e a gema apical. O diâmetro do coletor foi medido tomando-se como referência a posição da planta rente ao solo. Foi utilizado um paquímetro manual com precisão de 0,05 cm. Como os diâmetros dos coletores nas duas primeiras medições ainda apresentavam dimensões bastante reduzidas, só foram coletados esses dados a partir da 3ª medição, ou seja, após 63 dias do início do experimento. Foram calculados valores médios entre as repetições de cada traço, tanto

para altura da muda como para o diâmetro do coleto. A taxa de crescimento foi calculada pela relação entre a altura ou o diâmetro e o tempo de medição.

O Índice de Qualidade de Dickson (IQD) é um índice que relaciona a altura da muda, o diâmetro do coleto e as massas secas das partes aérea e da raiz. A seleção das mudas para essa etapa foi baseada no cálculo da altura média das mudas na última medição. As quatro mudas de cada repetição que mais se aproximavam da altura média foram selecionadas para pesagem; foi utilizada balança Gehaka BK 5000, com precisão decimal. Para a pesagem da raiz das mudas selecionadas, houve a necessidade de retirada do solo acoplado a ela, e a raiz foi separada da parte aérea em todas as amostras. Tanto a parte aérea (folhas e caule) como a parte das raízes foram ensacadas, identificadas e encaminhadas para a secagem em estufa por 24 horas, em temperatura de 40°C. Posteriormente, as partes descritas foram pesadas e para elas foi realizado um cálculo médio para cada traço.

Ressalta-se que o cálculo do IQD só pôde ser realizado com a espécie *Schinus molle* (Aroeira Pimenteira), já que o experimento com a outra espécie foi acidentalmente desmontado antes da medição. A Eq. 1 apresenta o cálculo do Índice de Qualidade de Dickson. (Dickson et al., 1960).

$$IQD = \frac{PMST}{(H/Dc) + (PMSA/PMSR)} \quad (1)$$

onde:

IQD é o Índice de Qualidade de Dickson;

H é a altura das mudas (cm);

Dc é o diâmetro do coleto (cm);

MST é a massa seca total (g);

MSA é a massa seca da parte aérea (g);

MSR é a massa seca da raiz (g).

Para a avaliação dos benefícios da incorporação do lodo no substrato para produção de mudas florestais, foi considerado o traço que apresentou melhor desempenho nos experimentos, conforme resultados da aplicação do teste estatístico ANOVA. Desconsideraram-se os traços T1 (testemunho), e o T6 (100% lodo de ETA), já que o objetivo final foi a avaliação de destinação do lodo de ETA. Assim, no desenvolvimento dessa etapa do trabalho, foram calculadas variáveis relacionadas à substituição do solo por lodo de ETA. Neste caso, minimiza-se o impacto ambiental em função da não utilização do solo na composição do substrato e da não disposição do lodo de ETA no aterro sanitário, aumentando consequentemente a sua vida útil.

Dessa forma, as seguintes variáveis foram calculadas:

- Volume do solo não usado para composição do traço (Vs);
- Volume do lodo de ETA não disposto no aterro sanitário (Vd);
- Custo não contabilizado da aquisição do solo (Cs);
- Custo não contabilizado da disposição do lodo de ETA no aterro sanitário (Cd);
- Custo total não contabilizado para a companhia de saneamento (Ct).

Para os cálculos relacionados aos custos da disposição final do lodo de ETA, foi adotada a metodologia desenvolvida por Lima (2014), que considera a disposição do próprio lodo da ETA Porto das Caixas em aterro sanitário. Lima (2014) compôs um custo de disposição do lodo da ETA Porto das Caixas em aterro sanitário no valor aproximado de R\$ 180,00/t já considerando o transporte. Para o custo do solo comercial, foi adotado o valor apresentado no catálogo de preços da Empresa de Obras Públicas do Estado do Rio de Janeiro (EMOP), também referente ao

ano de 2014. O valor adotado foi de R\$ 48,00 (quarenta e oito reais) por metro cúbico (EMOP, 2014). Para atualização dos cálculos (novembro

de 2020) foi adotado IPCA acumulado de aproximadamente 38%.

A Fig. 1 apresenta o esquema geral do experimento.

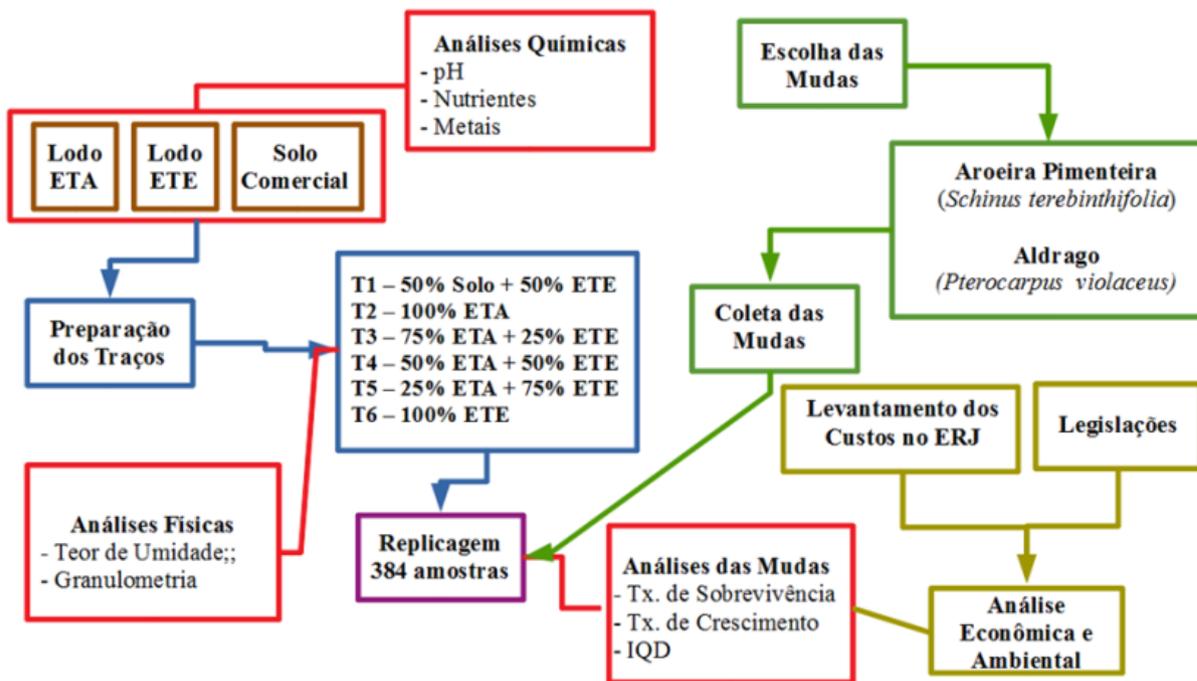


Figura 1 - Esquema Geral do experimento
Fonte: o autor, 2018.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 são apresentados os resultados da única análise química dos insumos (lodo de ETE, lodo de ETA e solo comercial). Não é conhecida a procedência do solo comercial

adotado no presente estudo. Portanto, não foi possível comparar as características do lodo da ETA em relação às do solo, já que não é possível afirmar que sejam provenientes da mesma bacia hidrográfica.

Tabela 2 - Resultados das análises químicas dos insumos e nutrientes

Parâmetro	LODO ETE mg/kg (base seca)	LODO ETA mg/kg (base seca)	SOLO COMERCIAL mg/kg (base seca)
Potássio (K)	1.065	2.921	278
Cálcio (Ca)	6.333	734	541
Magnésio (Mg)	2.090	2.402	<2,5
Ferro (Fe)	6.091	49.247	7.763
Alumínio (Al)	6.799	69.976	10.091
Boro (B)	<0,395	<0,395	<0,395
Zinco (Zn)	173	84,1	48,2
Manganês (Mn)	65,2	2.570	28,8
Cobre (Cu)	56,0	18,4	14,7
Fósforo (P)	2.201	1.304	438
pH	5,1	5	3,6

Fonte: O autor, 2018.

Inicialmente, é possível observar que o elemento alumínio, que é considerado um dos mais abundantes na crosta terrestre, encontra-se em maior concentração em todos os insumos analisados. No entanto, no lodo da ETA, essa concentração é cerca de 10 vezes maior do que nos demais. Esse resultado já era de se esperar, já que o coagulante usado no processo de tratamento da água foi o sulfato de alumínio. Lodos de outras ETAs indicam variação de 386 a 89.700 mg/kg (ARAÚJO et al., 2015; CARNEIRO et al., 2013; BABATUNDE E ZHAO, 2007; Neto, 2011). Em certas regiões, a composição do lodo chega a ser mais de 90% proveniente do coagulante (DEMATTOS, et al., 2001).

Ramalho (2015) ressalta que o desenvolvimento da planta pode ficar prejudicado em função da tendência de reação entre os metais presentes no lodo e o fósforo, tornando-o indisponível no meio. Já em relação à planta, Neto (2011) afirma que em seu trabalho experimental com lodo de ETA para produção de mudas florestais, o lodo diminuiu a concentração de alguns elementos na parte aérea das plantas (nitrogênio, potássio, cálcio e magnésio) e aumentou o acúmulo de metais nas mesmas (cobre e enxofre).

Na avaliação do pH, a sua redução no meio em função da utilização do sulfato de alumínio como coagulante pode ser claramente observada na Tabela 2, onde o valor apresentado para o lodo da ETA é de 5,1, muito próximo àquele apresentado por Neto (2011), de 5,8. No entanto, tanto para o lodo de ETE como para o solo comercial, os valores também indicam um meio ácido. Solos tropicais em geral têm pH mais ácido (MELFI E PEDRO, 1978). Essa afirmação foi confirmada por Ramalho 2015 em relação ao solo do bioma cerrado no Brasil.

A presença do lodo de ETA no solo pode apresentar toxicidade à planta. A significativa presença de alumínio pode evidenciar um efeito fitotóxico. Porém não foram realizadas análises químicas

nos traços experimentados. Estudos realizados por Bugbee e Frink (1985) com aplicação de lodo de ETA no solo demonstraram que, embora a presença do lodo tenha resultado em redução dos teores de fósforo no solo, não houve toxicidade. Como forma de minimizar esse impacto, Haynes e Mokolobate (2001) sugerem que a adição de resíduos orgânicos (como o lodo de ETE) em solos ácidos pode reduzir a toxicidade de alumínio e melhorar a disponibilidade de fósforo.

O ferro apresentou concentração de 49.246 mg/g no lodo da ETA, cerca de 7 vezes maior do que no lodo da ETE e no solo. Pavanelli (2001); Rosalino (2011) e Goula et al. (2008) indicam forte presença de ferro nos coagulantes em geral. Ressalta-se que, por informação fornecida pelo operador da ETA, não foi adicionado coagulante de sais de ferro no tratamento da ETA em estudo. Lodos de outras ETAs apresentam valores variando de 212,47 a 29.000 mg/kg para o ferro (NETO, 2011; ARAÚJO et al., 2015; CARNEIRO et al., 2013; BABATUNDE E ZHAO, 2007).

Dos elementos mencionados como principais para crescimento de plantas (MOREIRA et al., 2013), destacam-se Ca, P, Zn, Cu, que apresentaram valores superiores no lodo da ETE em relação ao lodo de ETA e ao solo comercial. Somente os parâmetros K, Mg e Mn apresentaram valores superiores no lodo de ETA. No caso do solo comercial, é possível observar que somente a concentração de ferro foi superior à do lodo da ETE. Dessa forma, percebe-se claramente a importância da incorporação do lodo de ETE na composição do traço para melhor desenvolvimento das mudas.

Neste mesmo contexto, Neto (2011) ressalta a principal desvantagem associada à aplicação de lodos em solo. Trata-se da possibilidade do aumento da concentração de metais no solo que podem acarretar poluição difusa das águas subterrâneas, pela lixiviação desses elementos. Entretanto, conforme

já comentado, os metais podem se acumular nas plantas, minimizando esse impacto.

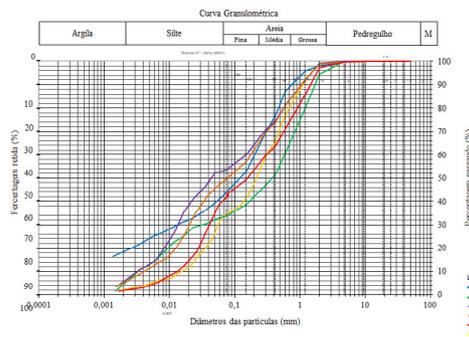
Na Tabela 3 observam-se os valores dos teores de umidade para os traços. Verifica-se que o teor de umidade do T1 (50% de solo e 50% lodo de ETE), que é aquele que vem sendo utilizado no viveiro como substrato, foi de 28%. Por outro lado, o T2, que contém 100% de lodo da ETA, apresentou o maior valor, de 69% e o T6, com 100% de lodo de ETE, apresentou um teor de umidade de 50%. Assim, foi possível verificar que o teor de umidade aumentou à medida em que se elevou também a porcentagem de lodo de ETA na proporção do substrato. Porém, como o objetivo é analisar a viabilidade da incorporação do lodo de ETA, o traço contendo esse insumo que obteve menor teor de umidade foi o traço T5 com 55% e o que obteve maior teor de umidade foi traço T2 com 69%.

Tabela 3 - Teor de Umidade.

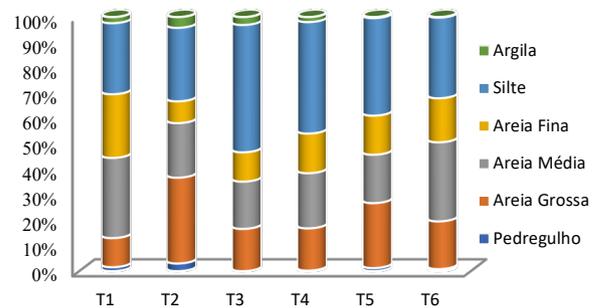
Traço	W [%]
T1	28,00
T2	69,14
T3	62,02
T4	60,15
T5	55,03
T6	50,48

Fonte: O autor, 2018.

Nas Fig. 3a e 3b apresentam-se, respectivamente, os gráficos contendo as curvas granulométricas de todos os traços e a porcentagem de material (argila, silte, areia ou pedregulho) presente em cada traço, baseado nas curvas granulométricas. O resultado das curvas granulométricas indica o tamanho da partícula, conforme a classificação da ABNT para solos. Isso pode vir a auxiliar no entendimento do comportamento dos lodos, porém não necessariamente pode-se comparar a teoria clássica da Mecânica dos Solos.



(a) gráfico contendo as curvas granulométricas de todos os traços



(b) gráfico com a porcentagem de material presente em cada traço.

Figura 2 - Curvas Granulométricas e porcentagem de material presente em cada traço

Fonte: O autor, 2018.

Pode-se verificar que o traço T1 (lodo de ETE + solo) apresenta 23% de silte, 2% de argila e 56% de areia, enquanto o traço T2 (100% lodo de ETA), apresenta 28% de silte, 4% de argila, 64% de areia e 3% de pedregulho. A presença menor de argila e silte (32%) e a presença de pedregulho no traço T2 chamam atenção; possivelmente isso se deve ao não destorroamento dos finos.

Dados da literatura (SCALIZE, 1997; CORNWELL et al., 1992; TEIXEIRA et al., 2006; RODRIGUES E HOLANDA, 2013; ARAUJO et al., 2015; AHAMAD et al., 2016) indicam percentuais de argila variando de 16% a 89% e de silte de 11% a 62%. O lodo da ETE, traço T6, apresenta 31% de silte, somente 0,2% de argila e 66% de areia, com granulometria semelhante ao lodo da ETA. No entanto,

as umidades dos dois materiais são diferentes. A alta umidade do lodo de ETA possivelmente está ligada a presença das altas concentrações de alumínio e ferro (Tabela 2). Estes ficam adsorvidos às partículas, gerando uma estrutura floculada, com um alto índice de vazios. Isso acaba por permitir a entrada de água, tornando o material extremamente plástico. Portanto, mesmo com uma porcentagem de argila pequena, o lodo da ETA tem um comportamento de argila, visto que seco dificulta o seu destorroamento.

Pode-se verificar que os traços T3 (75% ETA e 25% ETE) a T5 (25% ETE e 75% ETE) apresentam quantidades de silte variando de 37% a 48% e de areia de 45% a quase 60%. As umidades variaram de 55% a 62% indicando a diminuição da umidade à medida que a fração de areia aumenta e mostrando a proximidade com a umidade do lodo da ETE.

Em relação à granulometria (Fig. 2), não se observou homogeneidade nos traços nem uma variação gradual de T2 a T6 conforme esperado. Solos homogêneos são benéficos para o desenvolvimento de mudas, já que a característica de adsorção dos minerais pode influenciar na absorção ou não de nutrientes pelas plantas.

Solos muito arenosos tendem a lixiviar facilmente os nutrientes, pois têm uma adsorção reduzida. Solos mais argilosos tendem a adsorver os nutrientes e não os liberam facilmente para a planta. Assim, solos contendo areia fina e silte em proporções razoáveis são aqueles onde a planta melhor se adapta. Dessa forma, os traços T1, T5 e T6 são os que mais se aproximam dessa característica. Sabendo-se que T1 tem em sua composição somente solo e lodo de ETE, e que T6 representa somente lodo de

ETE, o traço T5 destaca-se como um bom ambiente para o crescimento da planta em se tratando de granulometria.

A trabalhabilidade é um parâmetro importante na operação de um viveiro florestal, pois dependendo da consistência do substrato pode dificultar o enchimento dos recipientes utilizados para repicagem das mudas. Como os traços analisados possuem percentuais granulométricos próximos, a trabalhabilidade foi avaliada comparando-se somente o tempo médio de enchimento do saco e o teor de umidade de cada traço. A Tabela 4 apresenta o tempo de enchimento e o teor de umidade para cada traço. Assim, verifica-se que quanto maior o teor de umidade mais tempo se levou para encher os recipientes.

Tabela 4 - Relação entre o tempo de enchimento do recipiente o teor de umidade dos traços

Traço	Tempo Médio Enchimento [seg]	Teor de Umidade [%]
T1	9	28,00
T2	62	69,14
T3	41	62,02
T4	30	60,15
T5	17	55,03
T6	13	50,48

Fonte: O autor, 2018.

T5 é o traço que apresenta menor teor de umidade com um tempo de enchimento compatível. Nesta análise pode-se constatar que devido ao alto teor de umidade do lodo da ETA, porcentagens elevadas de lodo de ETA dificultam o ensacamento para a logística dos viveiros.

A taxa de sobrevivência das mudas (Fig. 3) depende de variáveis como: luz solar, água, nutrientes e alguma toxicidade que porventura venha a ocorrer.

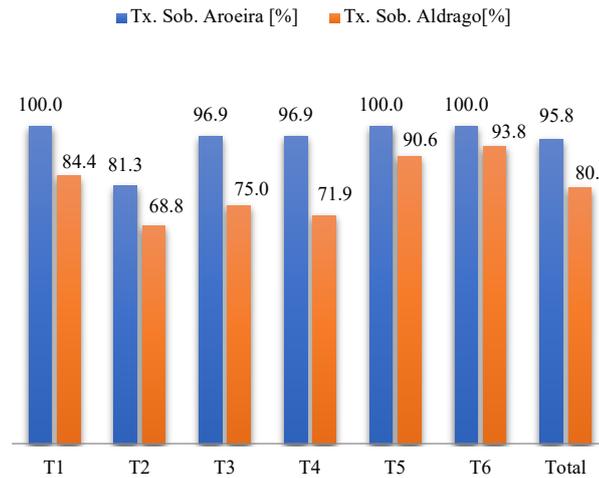


Figura 3 - Taxa de Sobrevivências das Mudanças de Aroeira e de Aldrago para cada Traço
Fonte: O autor, 2018.

Observa-se que a taxa de sobrevivência das mudas em ambas as espécies é alta, já que, na média total, todas se apresentaram acima de 80%. Verifica-se que o traço T2, com lodo de ETA em sua totalidade foi o que apresentou maior mortalidade para as mudas, tanto para a Aroeira (81,3%) como para o Aldrago (68,8%). Isso pode ser resultado de fatores: i) o lodo de ETA apresentar menor quantidade de nutrientes essenciais para o crescimento das mudas em relação ao lodo de ETE presente nos outros traços; e ii) possível toxicidade acarretada pela forte presença do elemento alumínio, conforme sugerido por Bugbee e Frink (1985).

Dentre os substratos que contêm lodo de ETA, o que obteve melhor resultado foi o traço

T5, onde 100% e 90,6% das mudas de Aroeira Pimenteira e de Aldrago, respectivamente, sobreviveram. Esse resultado reforça o entendimento inicial de que a espécie Aroeira Pimenteira se desenvolve bem, mesmo em situações não convencionais.

A altura e o diâmetro do coleto são fatores importantes na sobrevivência e no desenvolvimento das plantas após o plantio em campo, e as suas taxas de crescimento podem variar conforme a espécie (ABREU, 2019). Os gráficos das Fig. 4 e 5 apresentam a altura e o diâmetro dos coletores das mudas de Aroeira Pimenteira e Aldrago ao longo das medições para cada traço.

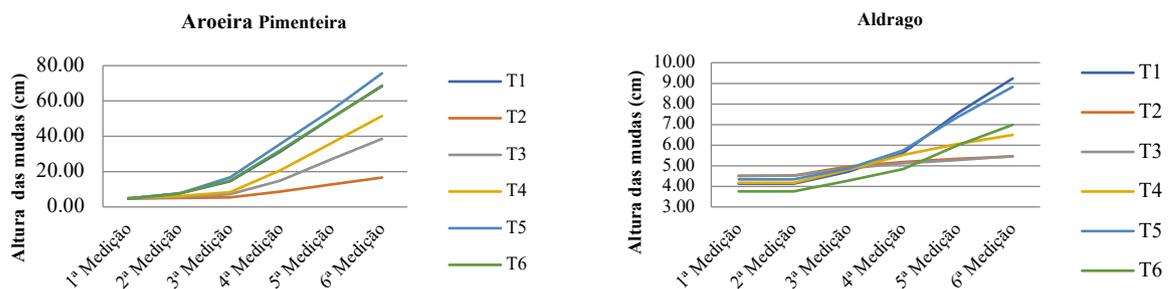


Figura 4 - Crescimento das mudas ao longo das medições em relação à altura
Fonte: O autor, 2018.

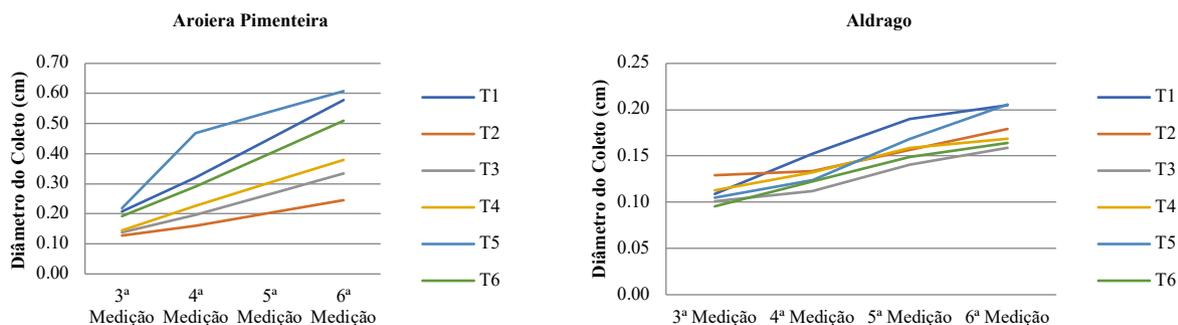


Figura 5 - Crescimento das mudas ao longo das medições em relação ao diâmetro
Fonte: O autor, 2018.

Como já era de se esperar, a taxa de crescimento tanto em relação à altura como em relação ao diâmetro do coleto foi superior para a Aroeira em comparação com o Aldrago. Verifica-se que, em relação à altura, para ambas as espécies, a taxa de crescimento aumentou gradativamente ao longo das medições, e em cada medição a taxa se elevou. Já em relação ao diâmetro do coleto não se observaram taxas mais elevadas entre as medições, apesar de se observar o crescimento também gradativo.

Os traços que possuem quantidade maior de lodo de ETA (T2, T3 e T4) tiveram uma taxa de crescimento menor do que as que possuem quantidade menor de lodo de ETA (T1, T5e T6). Possivelmente, o lodo de ETA pode ter apresentado quantidade insuficiente de nutrientes ou pode ter ocorrido alguma toxicidade causada por

um maior teor de fósforo, conforme já destacado anteriormente. O traço T5 apresentou um crescimento maior em relação à altura da Aroeira. Já em relação à altura do Aldrago, T5 apresentou um crescimento levemente inferior à T1. Em relação ao diâmetro do coleto, T5 apresentou um crescimento maior em ambas as espécies. Assim, aparentemente, o traço T5, dentre os que contém lodo de ETA em sua composição, foi o que apresentou melhor taxa de crescimento, tanto para altura, quanto para o diâmetro do coleto nas duas espécies analisadas.

O Índice da Qualidade de Dickson (IQD) é um bom indicador da qualidade das mudas, pois os cálculos consideram a robustez e o equilíbrio da distribuição de suas biomassas. Assim, para a Aroeira Pimenteira, o IQD de cada traço está representado no gráfico da Fig. 6.

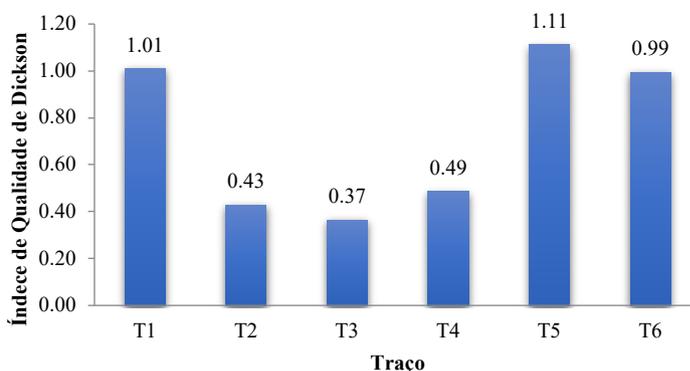


Figura 6 - Índice de Qualidade de Dickson dos Traços para Aroeira Pimenteira
Fonte: O autor, 2018.

Os traços T1, T5 e T6 foram os que apresentaram maiores valores para IQD, sendo o T5 com melhor resultado (1,11). A Fig. 7 apresenta a qualidade das raízes dos traços T5 e T3, onde se pode observar a diferença entre elas. A raiz

de T5 é superior, mais robusta e mais ramificada. Raízes assim absorvem melhor os nutrientes do solo. Dessa forma, na análise da variável IQD, também o traço T5, aparentemente, apresentou melhor resultado.



(a) parte da raiz T5



(b) parte da raiz T3

Figura 7 - Qualidade das raízes

Fonte: O autor, 2017.

Todas as análises realizadas nos experimentos indicaram que o traço contendo lodo de ETA que melhor apresentou resultado geral foi o traço T5, contendo 25% de lodo de ETA e 75% de lodo de ETE. Esse resultado foi confirmado pelo teste ANOVA, conforme pode ser observado na Tabela 5. Para as

variáveis de análise, adotadas no estudo (taxa de sobrevivência, taxa de crescimento em relação à altura do caule, taxa de crescimento em relação ao diâmetro do coleto) foi realizado um teste ANOVA, com 95% de confiança, com resultados de Fator F, F-crítico e P-Valor apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Resultados da aplicação do teste ANOVA (Fator F, F-Crítico, P-Valor) para traços T1, T2, T3, T4 e T5

Variáveis de estudo	Fator F	F-Crítico	P-Valor
Taxa de sobrevivência (Aroeira)	592,49	3,09	$1,07 \times 10^{-19}$
Taxa de sobrevivência (Aldrigo)	186,62	3,09	$8,68 \times 10^{-15}$
Taxa de crescimento – altura (Aroeira)	14,96	2,53	$2,18 \times 10^{-7}$
Taxa de crescimento – altura (Aldrigo)	9,28	2,62	$5,06 \times 10^{-5}$
Taxa de crescimento – diâmetro (Aroeira)	6,38	3,09	$3,29 \times 10^{-3}$
Taxa de crescimento – diâmetro (Aldrigo)	23,35	3,09	$9,64 \times 10^{-7}$
Índice de Qualidade de Dickson (Aroeira)	31,05	3,09	$1,01 \times 10^{-7}$

Fonte: O autor, 2018.

A partir da confirmação da melhor qualidade do traço T5 para o desenvolvimento das mudas, este foi adotado nos cálculos dos benefícios da incorporação de lodo de ETA para produção de mudas florestais de espécies da Mata Atlântica. Para análise dos benefícios, foram

verificadas as seguintes variáveis: Volume e custo evitado de recursos naturais que seriam utilizados caso não houvesse a incorporação do lodo de ETA (Tabela 6); e Volume e custo evitado da disposição do lodo de ETA em aterro sanitário (Tabela 7).

Tabela 6 - Volume e Custo evitado de recursos naturais

Variáveis	Valores	Unidade
Substrato utilizado no viveiro	15.000	m³/ano
Lodo ETE utilizado atualmente	50	%
Solo utilizado atualmente	50	%
Solo utilizado no viveiro	7.500	m³/ano
Custo praticado no ERJ (EMOP, 2014)	48,00	R\$/m³
Índice de Reajuste pelo (IPCA, 2014)	1,38	-
Custo evitado de recursos naturais	496.800	R\$/ano

Fonte: O autor, 2018.

Tabela 7 - Volume e Custo evitado de disposição em aterro

Variáveis	Valores	Unidade
Substrato utilizado no viveiro	15.000	m³/ano
Lodo de ETE no traço T5	75	%
Lodo de ETA no traço T5	25	%
Lodo de ETA destinado ao viveiro	3.750	m³/ano
Peso específico do lodo de ETA	0,36	ton/m³
Peso de Lodo de ETA	1.350	ton/ano
Custo de disposição adotado	180	R\$/ton
Índice de Reajuste (IPCA, 2014)	1,38	-
Custo evitado da disposição final	335.340	R\$/ano

Fonte: O autor, 2018.

O volume anual de solo que deixaria de ser extraído das jazidas naturais seria equivalente a 7.500m³ e o custo anual evitado da aquisição deste solo seria de R\$ 496.800 (quatrocentos e noventa e seis mil e oitocentos reais). Ainda, o volume anual de lodo de ETA que seria aproveitado e não destinado ao aterro é de 3.750 m³ e o custo evitado desta destinação seria de R\$ 335.340,00 (trezentos e trinta e cinco mil, trezentos e quarenta reais) ao ano. Por fim, para a companhia, o custo direto evitado pela substituição do solo comercial pelo lodo de ETA seria de R\$ 832.140,00 (oitocentos e trinta e dois mil, cento quarenta reais) por ano.

Para este cálculo levou-se em consideração a produção de somente um viveiro. Porém, atualmente, a CEDAE possui mais de seis viveiros em operação que poderiam utilizar esse substrato. Considerando somente o viveiro de Magé, verifica-se que ele absorve toda a produção de lodo da ETA Porto das Caixas (180 m³ ao ano) e ainda faltaria. Cerca de 95% do consumo de lodo de

ETA pelo viveiro de Magé poderia ser absorvido de outras ETAs operadas pela companhia.

4 CONCLUSÕES

O trabalho avaliou o potencial da incorporação do lodo gerado em estação de tratamento de água em substrato para a produção de mudas de espécies nativas da mata atlântica. O substrato adotado na pesquisa já era composto por lodo gerado em ETE e solo comercial, em proporções iguais, denominado neste trabalho de Traço Testemunho (T1). Para substituir o solo por lodo de ETA, foram produzidos diferentes traços entre o lodo de ETE e o lodo de ETA (Traços T3, T4 e T5), além dos traços contendo somente lodo de ETA (Traço T2) ou lodo de ETE (Traço T6).

Inicialmente, em relação à avaliação da trabalhabilidade dos traços, foi possível concluir que elevadas proporções de lodo de ETA levam a um maior teor de umidade no traço e consequentemente a um maior tempo de enchimento dos sacos. Assim, essa proporção de lodo de ETA no substrato se torna um fator limitante para a produção de mudas em escala.

De maneira geral, o experimento demonstrou que, para todos os traços, a taxa de sobrevivência da Aroeira Pimenteira foi bastante elevada. Destaque deve ser dado ao traço T5 (25% de lodo de ETA), que dentre aqueles que apresentam lodo de ETA em sua composição foi o único que alcançou 100% de sobrevivência, melhor crescimento e o maior Índice de Qualidade de Dickson. Apesar de no caso do Aldrago este traço não ter alcançado 100% de sobrevivência, ele foi também o responsável por apresentar a maior taxa de sobrevivência dessa espécie nos traços com lodo de ETA em sua composição.

O traço T5 se destacou em praticamente todas as avaliações apresentadas, mostrando-se um bom substrato para o crescimento das mudas

estudadas. Essa informação foi comprovada com a realização do teste ANOVA, com 95% de confiança e dessa forma, metade do volume de solo (7.500 m³) usado na operação atual do viveiro poderia ser substituída pelo lodo de ETA e a outra metade pelo lodo de ETE, gerando uma economia de compra desse material de quase R\$ 497.000 mil reais. Considerando o volume de lodo de ETA que deixaria de ser disposto em aterro sanitário, seria possível obter uma economia anual acima de R\$ 335 mil. Assim, de maneira global, considerando-se tanto o custo do solo como o custo da disposição no aterro sanitário, a economia anual para a produção de mudas atualmente poderia ser superior a R\$ 830 mil reais.

O trabalho contribui com uma importante ferramenta de gestão do lodo gerado em estações de tratamento de água, que até os dias atuais ainda apresenta deficiência. O estudo reporta garantia de bom desenvolvimento das espécies analisadas e uma boa trabalhabilidade do substrato composto por 25% de lodo de ETA e 75% de lodo de ETE.

5 CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Conceitualização: Cruz CLBM e Ritter E; **Metodologia:** Cruz CLBM e Santos ASP; **Investigação,** Cruz CLBM; **Redação – Primeira versão:** Cruz CLBM, Santos ASP e Ritter E; **Redação – Revisão & Edição:** Santos ASP e Ritter E.; **Supervisão:** Ritter E.

6 REFERÊNCIAS

ABREU, A.H.M. **Biossólidos na produção de mudas florestais da mata atlântica.** 2014. 78 f. Dissertação (Mestrado) -Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2014.

ABREU, A.H.M.; ALONSO, J.M.; MELO, L.A.; LELES, P.S.S.; SANTOS, G.R. Caracterização de biossólidos e potencial de uso na produção de mudas de *Schinus terebinthifolia*. **Engenharia Sanitária e Ambiental.** Jun/2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522019108265>.

AHMAD, T.; AHMAD, K.; ALAM, M. Characterization of water treatment plant's sludge and its safe disposal options. **Procedia Environmental Sciences.** v. 35. p. 950-955. 2016.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standard methods for the examination of water and wastewater.** 23 ed. 2012.

ANDREOLI, C.V. (Coord.). **Uso e manejo do lodo na agricultura.** Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB). Curitiba/PR. 1999.

ANDREOLI, C.V. (Coord.). **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e Disposição Final.** Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB). Curitiba/PR. 2001.

ANDREOLI, C.V. (Coord.). **Alternativas de uso de resíduos do saneamento.** Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB). Curitiba/PR. 2006. Disponível em:

ANDREOLI, C.V. (Coord.). **Lodo de fossa séptica: caracterização, tecnologias de tratamento, gerenciamento e destino final.** Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB). Curitiba/PR. 2009.

ANDREOLI, C.V.; FERNANDES, F. SPERLING, M. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final.** Ed. UFMG, 2ª edição, Belo Horizonte, 444p, 2014.

ARAÚJO, F.C.; SACLIZE, P.S.; ALBUQUERQUE, A.; ANGELIM, R.R. Caracterização física do resíduo de uma estação de tratamento de água para sua utilização em materiais de construção. **Cerâmica.** v. 61, n. 360, p.450-456, dez. 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0366-69132015613601931>

AREIAS, O.R.; VIEIRA, C.M.F.; MANHÃES, R.S.T.; INTORNE. A.C. Incorporação do lodo de estação de tratamento de esgoto (ete) em cerâmica vermelha. **Cerâmica.** v. 63. n° 367. São Paulo. July/Sept. 2017. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S036669132017000300343&lang=pt

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10004: Resíduos sólidos – classificação.** 2ª ed. 2004. 71 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6457: Amostras de solo – preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização.** 2ª ed., 1986. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7181: Solo – análise granulométrica.** 2ª ed., 1968. 12 p.

BABATUNDE, A. O.; ZHAO, Y. Q. Constructive approaches toward water treatment works sludge management: an international review of beneficial reuses. **Critical Reviews In Environmental Science And Technology.** v. 37, n. 2, p.129-164, jan. 2007. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/10643380600776239>.

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. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 17, n. 3. 2012.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 375, de 29 de agosto de 2006. **Critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências**. Brasília, DF, 2006.

BRASIL. Lei nº 12305, de 02 de agosto de 2010. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília, DF, 2010.

BUGBEE, G. J.; FRINK, C. R. Alum sludge as a soil amendment: Effects on soil properties and plant growth. **Bulletin-Connecticut Agricultural Experiment Station**, New Haven (USA), 1985.

CECCON, E.; PÉREZ, D.R. (Org.). **Más allá de la ecología de la restauración: perspectivas sociales en américa latina y el caribe**. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Vázquez Mazzini Editore, 2016. 384 p.

CARNEIRO, C.; WEBER, P. S.; ROSS, B. Z. L.; GERVASONI, R.; SIMON, P. L.; MORO, B.G.; MOTTA, A.C.V. **Caracterização do Lodo de ETA gerado no Estado do Paraná**. In: CARNEIRO, C.; ANDREOLI, C. V. (Coord.). Lodo de Estações de Tratamento de Água – Gestão e Perspectivas Tecnológicas. Curitiba: SANEPAR, 2013. p.131-178.

CORNWELL, D. A. **Landfilling of water treatment plant coagulant sludges: Water treatment and operations**. USA: Awwa, 1992.

DEMATOS, M.; COSTA, G.J.; FONSECA, D.A.; BRAGA, J.P.C.; JANZEN, W. **Redução do volume de lodo gerados em etas: a proposta de recuperação do coagulante pelo processo de acidificação no sistema rio manso**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, João Pessoa/PB. Abes, 2001. Disponível em: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/caliagua/brazil/i-047.pdf>

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A.B.; VOLTAN, P.E.N. **Métodos e técnicas de tratamento e disposição dos resíduos gerados em estações de tratamento de água**. São Carlos. Ldibe, 2012. 540 p.

DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forestry Chronicle**, v. 36, p. 10-13, 1960.

FERNANDES, F. (Coord.). **Manual prático de compostagem de biossólidos**. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB). Londrina/PR. 2000.

FERRAZ, A.V.; POGGIANI, P. Biomassa, nutrientes e metais pesados em raízes de eucaliptos adubados com diferentes lodos de esgoto. **Cerne**. v. 20. n° 2. Apr/June 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/01047760.201420021491>.

FINANCIADORA DE INOVAÇÃO E PESQUISA (FINEP). Programa de Pesquisa em Saneamento Básico – PROSAB. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/apoio-e-financiamento-externa/>

historico-de-programa/prosab/produtos. Acessado em 22 de agosto de 2019.

GOMES, D.R.; CALDEIRA, M.V.W.; DELARMELENA, W.M.; GONÇALVES, E.O.; TRAZZI, P.A. Lodo de esgoto como substrato para produção de mudas de *Tectona grandis* L. **Cerne**. v. 19. n° 1. Jan/Mar 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/01047760.201420021491>.

GONÇALVES, R.F. (Coord.). **Gerenciamento do lodo de lagoas de estabilização não mecanizadas**. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB). Vitória/ES. 1999.

GOULA, A.M.; KOSTOGLU, M.; KARAPANTSIOS, T.D.; ZOUBOULIS, A.I. A CFD methodology for the design of sedimentation tanks in potable water treatment: Case study: The influence of a feed flow control baffle. **Chemical Engineering Journal**. v. 140. p. 110-121. 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894707006250>

HAYNES, R. J.; MOKOLOBATE, M. S. Amelioration of Al toxicity and P deficiency in acid soils by additions of organic residues: a critical review of the phenomenon and the mechanisms involved. **Nutrient cycling in agroecosystems**, v. 59, n. 1, p. 47-63, 2001.

LIMA, J. V. **Incorporação de lodo de decantador na fabricação de blocos cerâmicos**. In: Encontro Técnico de Empregados de Nível Universitário da CEDAE - UNICEDAE, 2014, Rio de Janeiro, 2014.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil**. 2. ed. São Paulo: Editora Plantarum, 2008. 384p.

MAGALHÃES, T.B. **Uso agrícola de biossólidos: análise crítica da resolução CONAMA 375/2006 na perspectiva da metodologia de avaliação de risco microbiológico**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa/MG. 2012. Disponível em: <https://locus.ufv.br//handle/123456789/3782>

MELFI, A.J.; PEDRO, G. Estudo geoquímico dos solos e formações superficiais do Brasil. Parte 2: Considerações sobre os mecanismos geoquímicos envolvidos na alteração superficial e sua repartição no Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 8, p. 11-22. 1978.

NETO, A.F. **Utilização de lodo de estação de tratamento de água na produção de mudas de árvores com ocorrência no cerrado**. Dissertação de Mestrado aprovada no Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente (PPGEMA) da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Goiás. 2011.

OLIVEIRA, A.P.S.; SILVA, J.B.G.; PEREIRA, R.O.; SANTOS, A.S.P. Avaliação dos atributos de um latossolo adubado com lodo de estação de tratamento de água. **Revista Internacional de Ciências**. V. 5. N° 2. jul/dez. 2015.

OWEN, P. Water treatment works' sludge management. **Journal of the Chartered Institution of Water and Environmental**

Management, v. 16, n. 14, p. 282-285. 2002. Disponível em DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.2002.tb00417.x>.

PAVANELLI, G. Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos. 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/D.18.2001.tde-21012003-084719>

RAMALHO, R.P.R.S. **Avaliação do uso do resíduo de estação de tratamento de água na produção de espécies vegetais com ocorrência no cerrado**. Dissertação de Mestrado aprovada no Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente (PPGEMA) da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Goiás. 2015.

REALI, M.A.P. (Coord.). **Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água**. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB). São Carlos/SP. 1999.

RODRIGUES, L. P.; HOLANDA, J. N. F. Influência da incorporação de lodo de estação de tratamento de água (ETA) nas propriedades tecnológicas de tijolos solo-cimento. **Cerâmica**. v. 59, n. 352, p.551-556, dez. 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0366-69132013000400010>.

ROSALINO, M. R. R. **Potenciais efeitos da presença de alumínio na água de consumo humano**. Dissertação de Mestrado. Universidade Nova de Lisboa. 2011.

SACLIZE, P.S.; DI BERNARDO, L.; SOARES, L.A.; BAUMANN, L.R.F. Disposição de resíduo de eta em sistema de tratamento aeróbio de esgoto seguido de lagoa de sedimentação. **Revista DAE**. v. 62. n° 197. P. 72-86. 2014. Disponível em: DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/dae.2014.130>.

SPERLING, M; ANDREOLI, C.V.; FERNANDES, F. Sludge, treatment and disposal. **IWA Publishing**, Londres, 244p, 2007.

TEIXEIRA, S.R.; SOUZA, S.A.; SOUZA, N.R.; ALÉSSIO, P.; SANTOS, G.T.A. Efeito da adição de lodo de estação de tratamento de água (ETA) nas propriedades de material cerâmico estrutural. **Cerâmica**. v. 52, n. 323, p. 215-220. Set. 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ce/v52n323/32092.pdf>.

URBAN, R.C.; ISAAC, R.L. Ferramenta espacial para gerenciamento de resíduos: elaboração de uma metodologia qualitativa para identificar áreas de destinação final de lodos de ETA e ETE. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica**, v. 12, n. 1, p. 52-64. 2019. Disponível em DOI: <http://dx.doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2019.12.1.61160>.