

Article

# O Uso do Lodo de Esgoto Compostado como Adubo no Desenvolvimento Inicial de *Anadenanthera peregrina* em Plantios de Restauração Florestal

Vitor Paciello Yamashita <sup>1</sup>, Michele de Moraes Nascimento <sup>2</sup>, Guilherme Peroni <sup>3</sup>, Ricardo Gomes César <sup>4</sup>, Thomaz Figueiredo Lobo <sup>5</sup>, Gustavo Reis de Brito <sup>6</sup>, Marcos Vinicius Bohrer Monteiro Siqueira <sup>7</sup>

<sup>1</sup> Engenheiro Ambiental. Universidade do Sagrado Coração. ORCID: 0000-0002-2393-7803. E-mail: vitorpyamashita@gmail.com

<sup>2</sup> Bióloga. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. ORCID: 0009-0004-8340-2554. E-mail: michele.moraesnascimento@gmail.com

<sup>3</sup> Engenheiro. Ambiental. Universidade do Sagrado Coração. ORCID: 0000-0001-5652-3562. E-mail: g.speroni@hotmail.com

<sup>4</sup> Engenheiro Florestal. Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz”. ORCID: 0000-0002-3392-8089. E-mail: ricardogocce@yahoo.com.br

<sup>5</sup> Doutor. Universidade do Sagrado Coração. ORCID: 0000-0001-8070-7003. E-mail: thomazfigueiredolobo@gmail.com

<sup>6</sup> Doutor. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. ORCID: 0000-0002-5557-5501. E-mail: reis.brito@unesp.br

<sup>7</sup> Doutor. Universidade do Estado de Minas Gerais. ORCID: 0000-0002-6541-0903. E-mail: mvbsiqueira@gmail.com

## RESUMO

Vastas áreas naturais sofreram grandes impactos ambientais com o avanço da urbanização e expansão agrícola, comprometendo o solo e inviabilizando sua regeneração natural. A restauração ecológica tem-se usado de novas tecnologias e estratégias para sua melhor eficácia. O lodo de esgoto compostado (LEC) para o plantio de mudas nativas cultivadas em viveiros tem sido cada vez mais utilizado, entretanto, ainda são raros os projetos que fazem uso deste biofóssido na recuperação de ecossistemas. O experimento analisou a eficiência do LEC para o desenvolvimento de *Anadenanthera peregrina*. Foram selecionados 88 indivíduos distribuídos aleatoriamente em uma área de recuperação florestal e submetidos a quatro tratamentos: T1 – sem adubação (controle); T2 – 100% ureia; T3 – 50% LEC + 50% ureia; T4 – 100% LEC. Para a análise do desenvolvimento foram registrados os seguintes parâmetros biométricos: altura, espessura do caule à altura do solo e o diâmetro da copa. Houve um desenvolvimento superior para as mudas que receberam os tratamentos T4 e T3 em todos os parâmetros, comparadas aos grupos que receberam ureia ou controle. O LEC, aplicado em campo, acelerou o desenvolvimento de *A. peregrina* representando uma alternativa econômica e ecologicamente interessante para projetos de recuperação de áreas degradadas.

**Palavras-chave:** adubação orgânica, biofóssido, restauração ecológica.

## ABSTRACT

Vast natural areas have suffered high environmental impacts with the advancement of urbanization and agricultural expansion, compromising the soil nutrition and unfeasible natural recovery. The process of ecological restoration has improved in technologies and strategies for better effectiveness. Composting sewage sludge (LEC) for the planting of native seedlings grown in nurseries has been increasingly studied, however, has not yet been widely used in the recovery of ecosystems, mainly in the field. This experiment analyzed the efficiency of the LEC for the development of *Anadenanthera peregrina*. Were randomly selected 88 individuals in a forest recovery area and submitted to four treatments: T1 - without fertilization (control); T2 - 100% urea; T3 - 50% LEC + 50% urea; T4 - 100% LEC. For the analysis of the development of the plants the following biometric parameters were recorded: height, stem



Submissão: 10/10/2023



Aceite: 04/12/2023



Publicação: 02/04/2024



thickness at soil height and tree top diameter. There was a superior development for the seedlings that received the treatments T4 and T3 in all parameters, compared to the groups that received urea or control. The LEC, when applied in the field, accelerated the development of *A. peregrina* and could represent an economically interesting alternative and of less ecological impact for projects of recovery of degraded areas.

**Keywords:** organic fertilization, biossolids, ecological restoration.

## Introdução

O processo de ocupação de terras no Brasil foi marcado pela falta de planejamento quanto ao uso do espaço e dos recursos naturais disponíveis (Dean 1996). Considerando o desmatamento nos últimos séculos, principalmente nos *hotspots* criticamente ameaçados como o Cerrado e a Mata Atlântica, verificou-se a necessidade urgente de recuperação de solo e da cobertura vegetal em inúmeras áreas degradadas (Boit et al. 2016; Myers et al. 2000). Apesar do avanço nas políticas públicas, e conscientização ambiental, ainda hoje vemos atividades antrópicas alterando ecossistemas sem qualquer gestão ou planejamento prévio. Sendo assim, os mecanismos de restauração ecológica estão sendo considerados como prioridade em agendas nacionais e internacionais para recuperar a provisão de serviços ecossistêmicos e conservar a biodiversidade (Brancalion et al. 2010; Echeverría et al. 2015). A restauração ecológica pode ser definida como o processo de auxiliar o restabelecimento de um ecossistema que foi degradado, danificado ou destruído (Ser 2004). Essa definição engloba a restauração florestal, que objetiva recuperar processos ecológicos em uma comunidade florestal.

No entanto, a restauração ecológica apresenta resultados particulares devido a fatores locais, regionais, o que pode torná-la custosa (Garcia et al. 2016; Stuble et al. 2017). Dessa forma, técnicas e tecnologias que aumentam a chance de sucesso e reduzem os custos da implementação e monitoramento das ações de restauração, são cruciais para o ganho de escala dessa atividade nos próximos anos (Rodrigues et al. 2009; Elliot 2016). Por exemplo, a suplementação nutricional com a utilização de substratos pode ser aplicada como uma forma de reduzir os custos da restauração e aumentar a chance de sobrevivência das mudas em campo (Benayas et al. 2009; Tabarelli et al. 2010).

A maior parte da população mundial reside em áreas urbanas, e diariamente enormes volumes de efluentes domésticos são gerados e tratados. Um importante resíduo desse tratamento é o lodo de esgoto, gerado pelas estações de tratamento. Esse material possui grande potencial contaminante, e normalmente é depositado em aterros sanitários. Porém, com o intuito de reduzir transtornos causados pela disposição incorreta desse resíduo, e na tentativa de reduzir o volume destes nos aterros sanitários, tem-se estudado alternativas para a reutilização e reciclagem desse material (Caldeira et al. 2012). A opção mais promissora é a compostagem do lodo, que o transforma em um substrato com alto teor de matéria orgânica e nutrientes, podendo ser aplicado diretamente no solo sem riscos para o ser humano ou animais (Mesquita et al. 2017). Um substrato que apresenta um bom índice de matéria orgânica permite melhor retenção de água do solo, e ainda beneficia o desenvolvimento de microrganismos que auxiliam no processo de absorção de nutrientes (Andreoli et al. 2007).

O lodo de esgoto compostado (LEC) é um substrato alternativo, economicamente viável e ambientalmente sustentável (Carlos et al. 2016). O composto pode ser utilizado tanto em projetos de reflorestamento como em culturas agrícolas (Andreoli et al. 2007; Bettiol & Camargo 2010). Realizado de forma eficiente, a compostagem do lodo de esgoto apresenta alta eficiência na eliminação de patógenos e gera resíduo de alta qualidade agrônômica (Aisse et al. 2000), que se enquadra nos parâmetros exigidos pela Resolução CONAMA nº 375/2006 (Brasil 2006), tornando o composto apto para o uso florestal. A prática do uso do LEC em suas várias aplicações demonstra benefícios sociais, ambientais e econômicos. Além de adubo vegetal, o LEC também tem potencial para recuperação do solo em áreas degradadas, melhorando suas propriedades físicas,



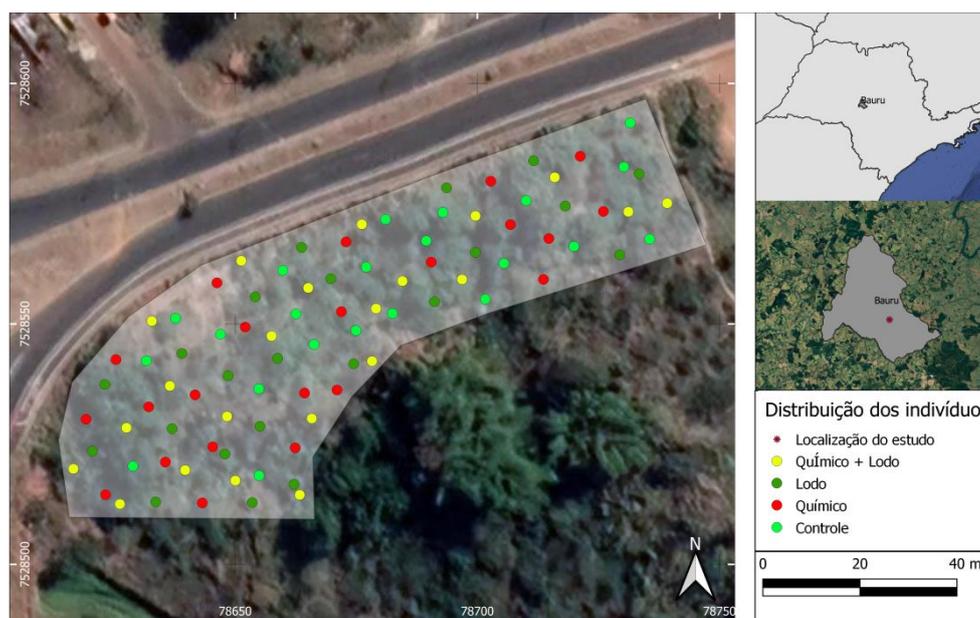
como aumento da porosidade e formação de agregados, permitindo assim maior retenção de água (Sampaio et al. 2012).

Apesar de haver muitas pesquisas com LEC na produção de mudas nativas em viveiro, observam-se poucos trabalhos abordando os resultados desse composto em campo. Nesse contexto, o objetivo da pesquisa foi avaliar o efeito de aplicação de LEC em comparação com ureia – um método comumente utilizado para adubação de mudas em projetos de restauração florestal - no desenvolvimento e mortalidade de mudas de *Anadenanthera peregrina* em uma área em processo de restauração.

## Material e métodos

### Área de estudo

O estudo foi realizado na Av. Coronel Alves Seabra, no bairro Vila Garcia, na cidade de Bauru – SP (Figura 1). A área está localizada nas coordenadas 22°17'50" S e 49°05'17" O, a 526 metros de altitude. O clima é Aw, segundo a classificação climática de Köppen, de clima tropical úmido com inverno seco e verão chuvoso. A precipitação média anual é de 1533,6 mm e temperaturas médias de 26,15 °C no verão e 19,43 °C no inverno (IPMET 2018).



**Figura 1.** Mapa de localização do município de Bauru no estado de São Paulo bem como a distribuição dos indivíduos de *Anadenanthera peregrina* nos diferentes tratamentos na área de estudo. Fonte: Autores, 2023.

Em 2016, com o intuito de recuperar uma área às margens de uma importante avenida da cidade (Figura 1), foram plantadas, a partir de um projeto de extensão, 1200 mudas arbóreas nativas, contendo 66 espécies (Olher et al. 2018). Dentre estas, *A. peregrina* foi a que demonstrou maior taxa de sucesso em diferentes tratamentos, com poucos indivíduos mortos. As covas foram abertas em um espaçamento de 2 x 3 metros em uma área de aproximadamente 3000 m<sup>2</sup>, tendo recebido uma estaca de bambu e uma etiqueta de identificação.

### *Anadenanthera peregrina*

A espécie escolhida para o experimento foi a *A. peregrina*, leguminosa do gênero *Anadenanthera*, pertencente à família Fabaceae e conhecida popularmente como angico do morro, angico branco, angico-do-campo, entre



outros. Esta pode variar de 14 a 22 metros de altura e apresentar tronco curto, de formato cilíndrico de 40 a 80 centímetros de diâmetro. Ocorre em grande parte do território brasileiro, se estendendo em toda região de Cerrado e em suas áreas de transição. Sua madeira é utilizada na construção civil, fabricação de móveis, podendo ser usado na produção de lenha e carvão devido ao alto teor de lignina. A espécie ainda possui condições para extração e produção de taninos, que possuem utilidades nos setores alimentícios, de tratamento de águas e fármaco e medicinal (Lorenzi 1998; Mori et al. 2003; Andrade et al. 2013).

### ***Delimitação experimental***

Dentro da área do experimento foram selecionados 88 indivíduos de *A. peregrina* distribuídos aleatoriamente. Foram discriminados quatro grupos de 22 indivíduos para receber quatro tratamentos: O grupo T1 não recebeu nenhum tratamento (controle); T2 recebeu adubação com ureia; T3 recebeu uma mistura de ureia com LEC, nas mesmas proporções e o grupo T4 recebeu somente o LEC. O composto orgânico Terafertil, identificado como LEC, foi fornecido pela empresa Tera Ambiental do município de Jundiá-SP. Em sua composição, o LEC apresenta normalmente 40% de matéria orgânica, 4% de nitrogênio e 2% de fósforo ( $P_2O_5$ ), além de outros macros e micronutrientes em concentrações variadas. Essas propriedades são suficientes para a nutrição vegetal de espécies florestais nativas (Colodro et al. 2007; Andreoli et al. 2007; Bettiol & Camargo 2010).

### ***Análise de solo e aplicação da adubação***

A área do experimento foi dividida em duas seções, cada uma com aproximadamente o mesmo número de mudas de *A. peregrina*. As seções foram criadas pela diferença de solo, onde: área X predomina solo arenoso e área Y um solo argiloso. Foram retiradas duas amostras compostas de solo, para cada seção, uma da superfície até 20 cm de profundidade, a outra a partir dos 20 cm até 40 cm de profundidade. Cada amostra foi composta de 9 sub-amostras. As amostras de solo foram secas à sombra por um dia, depois devidamente embaladas e identificadas. Seguidamente, estas foram enviadas para o Laboratório de Fertilidade de Solo da Unesp de Botucatu – SP. Determinaram-se os seguintes parâmetros químicos: pH, M.O,  $P_{resina}$ , H+Al, K, Ca, Mg, SB, CTC, V% e S. Para as análises foi utilizada a metodologia proposta por Raij (2001).

A dose dos substratos para cada tratamento foi baseada na resolução CONAMA n. 375 (2006) e no boletim técnico de Raij et al. (1997) que recomendam uma quantidade de nitrogênio de  $55\text{kg ha}^{-1}$  para espécies nativas florestais, considerando uma fração de mineralização de 20% ao ano. O experimento teve duas aplicações de substrato baseada nos atributos dos solos das duas seções. A primeira adubação ocorreu em fevereiro de 2017, e após sete meses foi realizada uma segunda adubação, exatamente igual a primeira. O grupo T2 recebeu o tratamento composto de 100% ureia (70 g por indivíduo). O grupo T4 recebeu apenas LEC (8 kg por indivíduo). O grupo T3 recebeu as proporções de 50% de ureia e 50% do LEC dos tratamentos descritos anteriormente. Abaixo a Tabela 1 apresenta detalhes da composição do LEC utilizado no experimento.

Os valores determinados do substrato lodo de esgoto compostado usado no presente estudo vão de encontro a valores de outras formulações usadas na literatura (Schmitz et al. 2002; Kämpf 2005). Porém, segundo Santos et al. (2014) as características e os componentes dos substratos são muito variáveis. Dentre as características químicas aquelas que têm destaque são o potencial hidrogênioônico (pH), a capacidade de troca de cátions (CTC), a salinidade e o teor de matéria orgânica. Para maior entendimento onde a espécie foi plantada, realizou-se uma análise de macronutrientes do solo. Os resultados da amostragem de solos estão representados na Tabela 2.

**Tabela 1.** Caracterização do substrato lodo de esgoto compostado usado em campo para o desenvolvimento de *Anadenanthera peregrina* em Bauru/SP.

| Determinação                       | Base úmida |
|------------------------------------|------------|
| pH (CaCl <sub>2</sub> 0,01 M)      | 8,0        |
| Matéria Orgânica Total (Combustão) | 22,45%     |
| Carbono Orgânico                   | 11,14%     |
| N                                  | 0,76%      |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>      | 1,26%      |
| K <sub>2</sub> O                   | 0,60%      |
| Ca                                 | 2,22%      |
| Mg                                 | 0,61%      |
| S                                  | 0,54%      |
| Relação C/N                        | 15         |

Fonte: Autores, 2023.

**Tabela 2.** Análise básica da fertilidade do solo utilizada na instalação do experimento em Bauru/SP.

| Amostras           | pH                | M.O.               | P <sub>resina</sub> | H+Al                               | K   | Ca | Mg | SB | CTC | V% |
|--------------------|-------------------|--------------------|---------------------|------------------------------------|-----|----|----|----|-----|----|
| Áreas-<br>Profund. | CaCl <sub>2</sub> | g dm <sup>-3</sup> | Mg dm <sup>-3</sup> | mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> |     |    |    |    |     |    |
| 01 0-20            | 5,4               | 7                  | 6                   | 9                                  | 1,7 | 16 | 4  | 22 | 31  | 70 |
| 01 20-40           | 5,1               | 5                  | 5                   | 10                                 | 1,3 | 14 | 3  | 19 | 29  | 66 |
| 02 0-20            | 5,1               | 15                 | 13                  | 15                                 | 3,7 | 20 | 5  | 28 | 43  | 66 |
| 02 20-40           | 4,0               | 10                 | 7                   | 18                                 | 1,4 | 9  | 2  | 13 | 31  | 41 |

SB – Soma de bases, CTC – Capacidade de troca catiônica, V%-Saturação de base. Fonte: Autores, 2023.

Os dados da análise mostraram que não houve necessidade de realizar a calagem, devido a saturação de base do solo ter apresentado 70 e 66% na profundidade de 0-20 cm nas áreas 1 e 2, respectivamente. Nesse caso, a próxima etapa do experimento foi a aplicação dos substratos.

### Coleta e análise

Os parâmetros biométricos mensurados em cada indivíduo foram altura (cm), o diâmetro do caule na altura do solo (mm) e a projeção da copa (cm). Para o caule e a copa foram realizadas duas medições perpendiculares e calculada uma média entre elas. Como ferramentas foram utilizadas trena e paquímetro. As medições tiveram periodicidade mensal, sendo a última medição equivalente ao 15º mês do experimento.

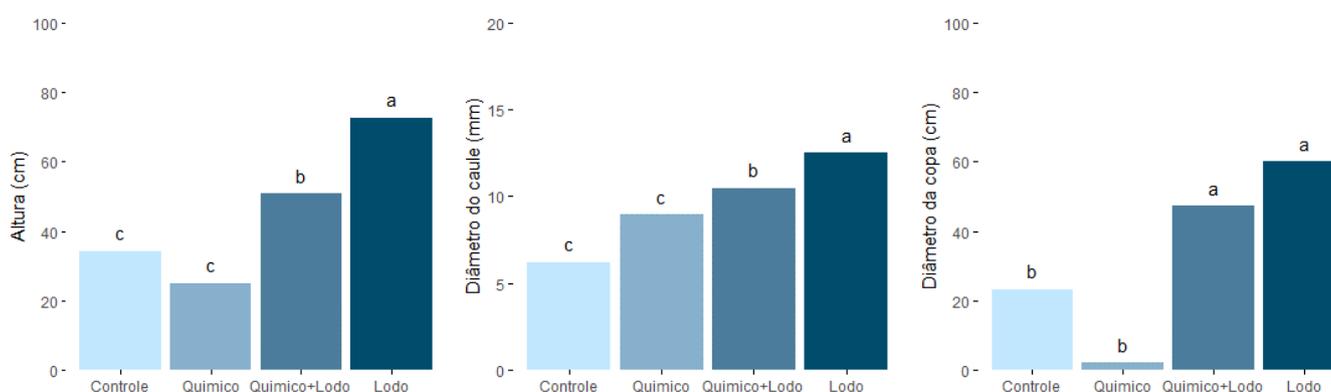
Os valores registrados foram processados de modo que demonstrassem o crescimento acumulado para cada parcela do experimento, uma vez que os indivíduos possuíam tamanhos diferentes no início do estudo. Para análise estatística realizou-se o teste de variância ANOVA de medidas repetidas e as médias comparadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) utilizando o software R 4.1.3 (R Core Team 2022).



## Resultados

Os tratamentos com LEC favoreceram o crescimento dos indivíduos de *A. peregrina*. De forma geral, T4 se destacou nos três parâmetros biométricos avaliados (Figura 2). A aplicação direta de LEC possui propriedades nutricionais suficientes para o desenvolvimento de *A. peregrina* em campo. O grupo T1 (controle) manifestou menor crescimento em relação aos demais grupos, considerando os três parâmetros avaliados.

Em relação à altura das mudas, o tratamento que registrou maiores valores foi o T4, com uma média de 72,62<sup>a</sup> cm de ganho acumulado em altura durante o experimento. Seguidamente observou-se o T3, com 50,8<sup>b</sup> cm, que apesar de ter recebido metade do volume do LEC em sua composição (4kg de LEC/indivíduo), apresentou resultados expressivos e se destacou dos demais tratamentos. T1 e T2, grupo controle e ureia, respectivamente, mostraram valores de 34,14<sup>c</sup> cm e 25<sup>c</sup> cm para o parâmetro altura (Figura 2).



**Figura 2.** Desenvolvimento de *Anadenanthera peregrina* nos três parâmetros avaliados em quinze meses de experimento em Bauru/SP. Fonte: Autores, 2023.

Médias seguidas de mesma letra não possuem diferença estatística significativa pelo teste de Tukey no nível de 5% de significância.

*A. peregrina* apresentou crescimento médio anual de 34,14 cm ano<sup>-1</sup> (T1), 25 cm ano<sup>-1</sup> (T2), 53,1 cm ano<sup>-1</sup> (T3) e 70,19 cm ano<sup>-1</sup> (T4). Pode-se considerar então que a utilização de LEC supera a expectativa de crescimento médio para a espécie, aumentando seu potencial para a recuperação de áreas degradadas.

Para o parâmetro diâmetro do caule foram registrados valores superiores em T4 com média de 12,5<sup>a</sup> mm em 15 meses. Para os outros tratamentos, os resultados foram 10,45<sup>b</sup> mm para T3, 8,95<sup>c</sup> mm para T2 e por último T1, com 6,21<sup>c</sup> mm.

Para o diâmetro da copa, T4 e T3 apresentaram maior crescimento, registrando-se os valores de 59,97<sup>a</sup> cm e 47,15<sup>a</sup> cm, respectivamente. Porém, o grupo que recebeu somente LEC na composição de substrato apresentou valores superiores para esse parâmetro.

## Discussão

De forma geral, os tratamentos compostos com 50% de LEC e 100% de LEC proporcionaram maior crescimento nas mudas de *A. peregrina* na fase de campo. Os resultados observados corroboram com estudo de Silva et al. (2010), que demonstrou que a adubação em cobertura com LEC, em espécies nativas florestais, permitiu desenvolvimento silvicultural superior aos de plantas que receberam adubação convencional. Semelhantemente aos resultados aqui obtidos, Silva et al. (2010) e Cabreira et al. (2017), fortalecem a hipótese de que uma intervenção nutricional de compostos orgânicos pode acelerar projetos de reflorestamento.



## Altura

O parâmetro altura teve seu desenvolvimento afetado de forma significativa nos tratamentos que continham LEC na sua composição, evidenciando aceleração no desenvolvimento das mudas em campo, comparado a tratamento com fertilizantes químicos ou sem nenhuma fertilização. Em relação à altura das mudas, Silva et al. (2010) apresentou resultados onde as espécies florestais araucária (*Araucaria angustifolia* Kuntze), mochoqueiro (*Erythrina falcata* Benth.) e taiuveira (*Maclura tinctorias* (L.) D. Don. ex Steud) também responderam positivamente sobre efeito de adubação com LEC em comparação aos tratamentos sem nenhuma adubação (controle). Lima et al. (2016) analisaram 13 espécies nativas de Cerrado e constataram que o crescimento médio em altura foi de 50,39 cm ano<sup>-1</sup>. Dentro desse grupo, oito espécies apresentam crescimento acima de 40 cm ano<sup>-1</sup>.

## Diâmetro do caule

O parâmetro diâmetro do caule apresentou resultados semelhantes entre T4 e T3. O aumento da dose de substrato acrescentado não foi diretamente proporcional ao desenvolvimento vegetal observado no experimento. Isso demonstrou que existe um teor máximo ideal para o fertilizante a ser aplicado em mudas de *A. peregrina*. De acordo com Scheer et al. (2012), os autores demonstraram melhores respostas para o desenvolvimento do diâmetro do caule em mudas de angico branco (*Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan) adubadas a níveis intermediários de LEC comparadas a substrato comercial. Mudas que receberam uma proporção de 3:1 de LEC e podas de árvores, resultaram em 4,0 mm, 4,9 mm e 5,3 mm de diâmetro de coleto, ao longo de oito meses após germinação, para aplicação de fertilizante de 0, 2,7 e 4 g dm<sup>-3</sup>, respectivamente. Mudas que receberam a proporção de 2:1 resultaram em 4,7 mm, 5,1 mm e 5,2 mm de diâmetro. De acordo com Lobo et al. (2018) este parâmetro representa boa qualidade de mudas para reflorestamento, implicando em um maior desenvolvimento radicular, melhor fixação no solo e melhor sustentação da parte aérea. Os resultados implicam que a aplicação de LEC aumentam as chances de sucesso em projetos de recuperação de áreas degradadas.

## Diâmetro da copa

As mudas que receberam substratos a base de LEC desenvolveram maior área foliar em relação aos demais tratamentos, refletindo a maior concentração de nutrientes e melhor capacidade de retenção de água propiciado por esses substratos. Uma constatação semelhante foi observada por Cabreira et al. (2017) para as espécies farinha seca (*Peltophorum dubim* (Spreng.) Taub.), dedaleiro (*Lafoensia pacari* A. St.-Hil) e paineira (*Ceiba speciosa* A. St.-Hil.), onde um tratamento composto por 80% de LEC apresentou os maiores valores de área foliar para todas as espécies. Ainda sobre a copa, um estudo desenvolvido por Corcioli et al. (2014) com mudas de mogno africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.) demonstrou que a ausência de nutrientes comprometeu o desenvolvimento das folhas. Esse parâmetro é fundamental para a avaliação da qualidade de muda, visto que a quantidade de fotoassimilados é proporcional a sua área foliar (Cavalcante et al. 2016). T1 e T2 demonstraram insuficientes para a formação de uma copa volumosa.

## Alteração nos atributos físicos do solo

Os resultados obtidos para *A. peregrina* com os tratamentos que continham LEC em sua composição, além de estarem relacionados com os nutrientes e matéria orgânica, tem relação com as condições de solo. A aplicação de LEC pode influenciar diretamente as propriedades físicas do solo, aumentando a quantidade de agregados com tamanho entre 4 e 2 mm, e macro e microporosidade, proporcionalmente ao aumento de



concentrações de LEC e no decorrer dos meses após a aplicação. A incorporação de matéria orgânica no solo restabelece sua estrutura, permite uma maior retenção e circulação de água e ar o que favorece a microbiologia do solo e desenvolvimento vegetal. A melhor agregação de partículas do solo auxilia o desenvolvimento radicular e a infiltração de água, acelerando o crescimento da planta (Andreoli et al. 2001; Sampaio et al. 2012).

### Sobrevivência das mudas

Alguns indivíduos de *A. peregrina* morreram no decorrer do experimento, principalmente no tratamento com ureia. Foram registradas a morte de 10 indivíduos na terceira medição, que ocorreu em maio de 2017 (Tabela 3).

**Tabela 3.** Índice de sobrevivência das mudas de *Anadenanthera peregrina* no decorrer de quinze meses de experimento em Bauru/SP.

| Tratamento    | N  | Mortalidade Observada | Taxa de Sobrevivência (%) |
|---------------|----|-----------------------|---------------------------|
| Controle      | 22 | 1                     | 95,45                     |
| Químico       | 22 | 12                    | 45,45                     |
| Químico + LEC | 22 | 2                     | 90,90                     |
| LEC           | 22 | 1                     | 95,45                     |

Fonte: Autores, 2023.

Esse resultado pode ser explicado pela alta precipitação pluviométrica. Em maio de 2017 foi registrado 218,7 mm de precipitação acumulada na região, concentrada nos dias 4 e 5, e entre os dias 18 e 21 (IPMET, 2018). Água em abundância, em solo argiloso, que apresenta alta carga negativa, favorece a adsorção da amônia (NH<sub>4</sub>). Os indivíduos que não sobreviveram estavam, em sua maioria, localizados nesse tipo de solo. A infiltração lenta e o acúmulo de altos volumes de água na camada superficial do solo resultaram em uma maior disponibilidade de nitrogênio provocando uma intoxicação por nitrogênio na planta. As mudas de *A. peregrina* que morreram possuíam uma altura de 0,80 a 1,00 m, e menos de 10 mm de diâmetro de caule. No presente estudo, acreditamos que a mortalidade das mudas foi causada por intoxicação por nitrogênio. Mazuchowski et al. (2007), em seu experimento, aplicou diferentes doses de nitrogênio em quatro blocos de mudas de erva mate (*Ilex paraguariensis* A. St. Hil), dois desses blocos foram perdidos e as análises estatísticas e o monitoramento foi comprometido. Os autores observaram que a adubação nitrogenada na fase inicial de mudas, foi prejudicial ao desenvolvimento. O nitrogênio em excesso geralmente acarreta desfolhação e compromete o crescimento apical. Os autores vão além, e apontam que essa prática agrícola não é justificada por conta do alto risco de mortalidade.

Os resultados do presente estudo estão em consonância com pesquisas anteriores, como as realizadas por Silva et al. (2010), Cabreira et al. (2017), Morgado et al. (2020), Lanzeti et al. (2021), Pacheco et al. (2021), e Peroni et al. (2022), entre outros, que destacaram os benefícios da adubação com LEC em espécies nativas florestais. Além disso, a análise da área foliar e do diâmetro do caule em *A. peregrina* revelou melhorias significativas nos tratamentos que incorporaram o LEC em sua composição, evidenciando seu papel na promoção do desenvolvimento vegetal.

No entanto, é importante ressaltar que a dosagem e a combinação de LEC e ureia devem ser cuidadosamente avaliadas para evitar possíveis efeitos adversos, como os observados nos casos de mortalidade das mudas em solos com alta carga de nitrogênio. Portanto, a aplicação de LEC deve ser considerada uma prática promissora, mas que demanda monitoramento e ajustes adequados.



## Considerações finais

O uso do Lodo de Estação de Tratamento de Esgoto Compostado (LEC) demonstrou ser uma ferramenta eficaz no aceleramento do desenvolvimento de mudas de *A. peregrina* em condições de campo. Os tratamentos que incluíram o LEC, seja aplicado de forma isolada ou em combinação com ureia, apresentaram notável aumento no crescimento das mudas em comparação com os tratamentos que não receberam essa adubação especializada.

Em última análise, este estudo reforça a viabilidade do uso do Lodo de Estação de Tratamento de Esgoto Compostado como uma alternativa econômica e sustentável para impulsionar projetos de recuperação de áreas degradadas e contribuir para a restauração ecológica. Os resultados obtidos aqui incentivam a continuação da pesquisa e a exploração de suas aplicações em outros contextos de restauração ambiental.

## Agradecimentos

À Prefeitura Municipal de Bauru/Secretaria de Meio Ambiente, ao Viveiro Aciflora, à Tera Ambiental, e aos revisores pelas importantes contribuições ao manuscrito.

## Referências

Aisse M, Lobato MB, Civil E, Bona, A, Engenharia, ÀD, Garbossa, LHP. Estudo comparativo do reator UASB e do reator anaeróbio compartimentado sequencial no tratamento de esgoto sanitário. In: Congreso Interamericano de Ingenieria Sanitaria y Ambiental, 27., 2000, Porto Alegre. Anais Rio de Janeiro: ABES, 2000. p.1-9.

Andrade BG, Carneiro A de CO, Vital BR, Souza AL de, Coelho DJS. Determinação do potencial tanífero em povoamento de Angico. Ciência da Madeira, v.4, n.2, p.139-151, 2013. <https://doi.org/10.12953/2177-6830.v04n02a02>.

Andreoli CV, Von Sperling M, Fernandes F. Land application on sewage sludge In: Andreoli CV, Von Sperling M, Fernandes F. Sludge treatment and disposal. 1st ed. London: IWA Publishing, 2007. p.162-206. <https://doi.org/10.2166/9781780402130>.

Andreoli CV, Fernandes F, Von Sperling M. Lodos de esgoto: tratamento e disposição final. Belo Horizonte, MG: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 2001. 484p.

Benayas JMR, Newton AC, Diaz A, Bullock JM. Enhancement of biodiversity and ecosystem services by ecological restoration: a meta-analysis. Science, v.325, n. 5944, p.1121-1124, 2009. <https://doi.org/10.1126/science.1172460>

Bettioli W, Camargo OA. De resíduo a fertilizante: uma análise prospectiva do meio ambiente. In: Coscione ARC, Nogueira TAN, Pires AMM. Uso agrícola de lodo de esgoto: avaliação após a resolução n° 375 do CONAMA. Botucatu: FEPAF, 2010. p.13-25.



Boit A, Sakschewski B, Boysen L, Cano-Crespo A, Clement J, Garcia-Alaniz N, Kok K, Kolb M, Langerwisch F, Rammig A, Sachse R, Van Eupen M, Von Bloh W, Zemp, DC, Thonicke K. Large scale impact of climate change vs. land-use change on future biome shifts in Latin America. *Global Change Biology*, v.22, n.11, p.3689-3701, 2016. <https://doi.org/10.1111/gcb.13355>.

Brancalion PHS, Rodrigues RR, Gandolfi S, Kageyama, PY, Nave AG, Gandara FB, Barbosa LM, Tabarelli M. Instrumentos legais podem contribuir para a restauração de florestas tropicais biodiversas. *Revista Árvore*, v.34, n.3, p.455-470, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622010000300010>.

Brasil. Resolução CONAMA nº 375, de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Disponível em: Acesso em: 05 jun. 2020.

Cabreira GV, Leles PS, Alonso JM, Abreu AHM, Lopes NF Santos GR dos. Biossólido como componente de substrato para produção de mudas florestais. *Floresta*, v.47, n.2, p.165-176, 2017. <https://doi.org/10.5380/rf.v47i2.44291>.

Caldeira MVW, Delarmelina WM, Lübe SG, Gomes DR, Gonçalves EO, Alves AF. Biossólido na composição de substrato para a produção de mudas de *Tectona grandis*. *Floresta*, v.42, n.1, p.77-84, 2012. <https://doi.org/10.5380/rf.v42i1.26302>.

Carlos R, Jacinto J.A, Freitas AG. Avaliação da viabilidade financeira de utilização do lodo de esgoto como fertilizante na região metropolitana de Belo Horizonte – MG. *NBC - Periódico científico no núcleo de biociências*, v.5, n.10, p.25-31, 2015. <https://doi.org/10.15601/2238-1945/pcnb.v5n10p25-31>.

Cavalcante ALG, Oliveira F, Pereira KTO, Dantas RP, Oliveira MKT, Cunha RC, Souza MW. Desenvolvimento de mudas de mulungu fertirrigadas com diferentes soluções nutritivas. *Floresta*, v.46, n.1, p.47-55, 2016. <https://doi.org/10.5380/rf.v46i1.34888>.

Colodro G, Espíndola CR, Cassiolato AM, Alves MC. Atividade microbiana em um Latossolo degradado tratado com lodo de esgoto. *Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental*, v.11, n.2, p.195-198, 2007. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662007000200010>.

Conama - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n. 375, de 29 agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodo de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. *Diário oficial da união: seção 1, Brasília, DF*, p.141-146, 29 ago. 2006.

Corcioli G, Borges JD, Jesus RP. Sintomas de deficiência nutricional de macronutrientes em mudas de *Khaya ivorensis* cultivadas em solução nutritiva. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v.34, n.78, p.159-164, 2014. <https://doi.org/10.4336/2014.pfb.34.78.641>.

Dean, W. A ferro e fogo: a história e a devastação da Mata Atlântica brasileira. Tradução: Moreira, C. K. São Paulo: Companhia das Letras, 1996. 87p.



Echeverría C, Smith-Ramírez C, Aronson J, Barrera-Cataño JI. Good news from Latin America and the Caribbean: national and international restoration networks are moving ahead. *Restoration Ecology*, v.23, n.1, p.1-3, 2015. <https://doi.org/10.1111/rec.12174>.

Elliot S. The potential of automating assisted natural regeneration of tropical forest ecosystems. *Biotropica*, v.48, n.6, p.825-833, 2016. <https://doi.org/10.1111/btp.12387>

Garcia LC, Hobbs RJ, Ribeiro DB, Tamashiro JY, Santos FAM, Rodrigues RR. Restoration over time: is it possible to restore trees and non-trees in high-diversity forest? *Applied Vegetation Science*, v.19, n.4, p.655-666, 2016. <https://doi.org/10.1111/avsc.12264>.

Ipmet. Centro de Meteorologia da Faculdade de Ciências/UNESP. Banco de dados de desastres naturais. Disponível em: <https://www.ipmetradar.com.br/2desastres.php>. Acesso em: 10 nov. 2018.

Kämpf AN. Produção comercial de plantas ornamentais. Guaíba: Agrolivros, 2.ed., 2005. 254p.

Lanzeti NGAA, Chimini AC, Stancare Neto M, Paz MF, Siqueira, MVBM. Lodo de esgoto compostado e diferentes lâminas de irrigações no desenvolvimento de *Acacia polyphylla*. *Journal of Biotechnology Biodiversity*, v.9, n.2, p.201 - 211, 2021. <http://dx.doi.org/10.20873/jbb.uft.cemaf.v9n2.lanzeti>

Lima PAF, Gatto A, Albuquerque LB, Malaquias JV, Aquino FG. Crescimento de mudas de espécies nativas na restauração ecológica de matas ripárias. *Neotropical Biology and Conservation*, v.11, n.2, p.72-79, 2016. <https://doi.org/10.4013/nbc.2016.112.03>.

Lobo TF, Oliveira FC, Morgado BT, Siqueira MVBM. Diferentes misturas com lodo de esgoto compostado enriquecido e substrato comercial em quaresmeira. *Fronteiras*, v.7, n.1, p.326-340, 2018. <https://doi.org/10.21664/2238-8869.2018v7i1.p326-340>.

Lorenzi H. Árvores brasileiras: Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 2 ed. Nova Odessa: Plantarum, 1998. 160p.

Mazuchowski JZ, Silva ETD, Maccari Junior A. Efeito da luminosidade e adição de nitrogênio no crescimento de plantas de *Ilex paraguariensis* St. Hil. *Revista Árvore*, v.31, n.4, p.619-627, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622007000400006>

Mesquita GRA, Von Randow JR, Oliveira RL, Gonçalves MVVA. Viabilidade do lodo de esgoto na agricultura. *Exatas & Engenharias*, v.7, n.17, p.80-87, 2017. <https://doi.org/10.25242/885X7172017898>.

Morgado BT, Olher I, Rossi M, Timo T, Lobo T, Siqueira MVBM. Growth of *Cecropia hololeuca* in water blades and substrates formulated with sewage sludge. *Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, v.63, p.1 - 10, 2020. <https://doi.org/10.22491/rca.2020.3174>

Myers N, Mittermeier RA, Mittermeier CG, Fonseca GA, Kent J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, v.403, n.6772, p.823-858, 2000. <https://doi.org/10.1038/35002501>.



Olher I, Siqueira MVBM, Antoniassi B. Plantando sorrisos momento IV: uma prática ambiental e social com as Amigas do Peito de Bauru/SP. *Experiência - Revista Científica de Extensão*. v. 4, p. 69 - 79, 2018. <https://doi.org/10.5902/2447115138127>

Pacheco AR, Stancare Neto M, Costa GHG, Paz MF, Siqueira MVBM. Desenvolvimento do amendoim-bravo (*Pterogyne nitens* Tul.) sob lâminas de água e composições de substratos *Journal of Biotechnology Biodiversity*, v.9, n. 4, p.359 - 368, 2021. <https://doi.org/10.20873/jbb.uft.cemaf.v9n4.pacheco>

Peroni GS, Machado G, Yamashita VP, Paz MF, Lobo TF, Siqueira MVBM. Crescimento de mudas de tamboril sob lâminas de água e substratos formulados com lodo de esgoto compostado. *Revista Forestal Mesoamerica Kuru-Rfmk*, v.19, n. 44, p.1 - 11, 2022. <http://dx.doi.org/10.18845/rfmk.v19i44.6095>

Raij BV, Andrade JC, Cantarella H, Quaggio JA. *Análise química para avaliação e fertilidade de solos tropicais*. 1 ed. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. 285p.

Raij BV, Cantarella H, Quaggio JA, Furlani AMC. *Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo*. 2 ed. Campinas: Instituto Agrônômico, 1997. 285p.

Rodrigues RR, Lima RAF, Gandolfi S, Nave AG. On the restoration of high diversity forest: 30 years of experience in the Brazillian Atlantic Forest. *Biological conservation*, v.142, n.6, p.1242-1251, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.12.008>

Sampaio TF, Guerrini IA, Backes C, Heliodoro JCA, Ronchi HS, Tanganelli KM, Carvalho NC, Oliveira FC. Lodo de esgoto na recuperação de áreas degradadas: efeito nas características físicas do solo. *Revista brasileira de ciência do solo*, v.36, n.5, p.1637-1645, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000500028>

Santos FEV, Kunz SH, Caldeira MVW, Azevedo CHS, Rangel OJP. Características químicas de substratos formulados com lodo de esgoto para produção de mudas florestais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, n.9, p.971-979, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18n09p971-979>

Scheer MB, Carneiro C, Bressan AO, Santos KG. Composto de lodo de esgoto para produção de mudas de *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan. *Cerne*, v.18, n.4, p.623-621, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0104-77602012000400011>.

Schmitz JAK, Souza PVD, Kämpf AN. Propriedades químicas e físicas de substratos de origem mineral e orgânica para o cultivo de mudas em recipientes. *Ciência Rural*, v.32, p.937-944, 2002. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782002000600005>

Ser - Society For Ecological Restoration International. *Princípios da SER International sobre a restauração ecológica*. Grupo de Trabalho sobre Ciência e Política - versão 2. Tucson: SER, 2004. Disponível em: [www.ser.org](http://www.ser.org).

Silva BVN, Pinto LVA. Potencial do uso do lodo de esgoto como adubo orgânico em cobertura de espécies florestais nativas plantadas em área degradada por pastagem. *Revista Agrogeoambiental*, v.2, n.1, p.50-56, 2010. <https://doi.org/10.18406/2316-1817v2n12010251>.



Stuble KL, Fick SE, Young TP. Every restoration is unique: testing year effects and site effects as drivers of initial restoration trajectories. *Journal of Applied Ecology*, v.54, n.4, p.1051-1057, 2017. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12861>.

Tabarelli M, Aguiar AV, Ribeiro MC, Metzger JP, Peres CA. Prospects for biodiversity conservation in the Atlantic Forest: lessons from aging human-modified landscapes. *Biological Conservation*. v.143, n.10, p.2328-2340, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.02.005>.