

# REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:  
Investigación, desarrollo y práctica.

## UTILIZAÇÃO DE LODO ANAERÓBIO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE IPÊ ROXO (*Tabebuia avellanedae*)

Getúlio Paulino Alcântara Pereira <sup>1</sup>  
Marcos Henrique Gomes Ribeiro <sup>2</sup>  
Eden Cavalcanti de Albuquerque Júnior <sup>1</sup>  
Vicente de Paula Silva <sup>3</sup>  
\* Elizabeth Amaral Pastich Gonçalves <sup>5</sup>

## USING ANAEROBIC SLUDGE SEWAGE TREATMENT PLANT IN THE PRODUCTION OF IPÊ ROXO (*Tabebuia avellanedae*)

Recibido el 16 de septiembre de 2019; Aceptado el 6 de febrero 2020

### Abstract

*This work aimed to evaluate the potential use of anaerobic sludge from a sewage treatment plant as substrate for Ipê seedlings production. In this study was used 8 treatments with different proportions of sludge:soil:sand. The treatments were divided, respectively, as follows: T0 (0: 50:25, added 25% bovine manure), T1 (12.5:62.5:25%), T2 (25:50:25%), T3 (50:25:25%), T4 (75:0:25%), T5 (0:75:25%), T6 (0:100:0%), T7 (100:0:0%). The experimental design was completely randomized with three replicates for each treatment, performed in a greenhouse. The following aspects were evaluated for seed productivity after 120 days of sowing: height, stem diameter, shoot dry mass, root dry mass, total dry mass, number of leaves and Dickson Quality Index. The sludge characterization showed a satisfactory quantity of macro and micronutrients within the environmental legislation limits. On the other hand, for the pathogens (eggs of helminths and coliforms), the sludge was outside the legislation limits. So, it was necessary to sanitize it with 30% lime for 60 days. The study concluded that the sludge sanitation with 30% of lime damaged the seedlings growth. Because of that, the control treatment (T0) presented the best productivity results, since in this treatment the sanitized sludge was not added.*

**Keywords:** biosolid, Dickson Quality Index, reforestation seedlings, sludge, *Tabebuia avellanedae*.

<sup>1</sup> Instituto de Tecnologia de Pernambuco-ITEP-OS, Brasil.

<sup>2</sup> Laboratório de Saneamento Ambiental, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil.

<sup>3</sup> Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil.

<sup>4</sup> Laboratório de Engenharia Ambiental, Centro Acadêmico do Agreste, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil.

\* *Autor correspondente:* Laboratório de Engenharia Ambiental, Centro Acadêmico do Agreste, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil. Email: [bethpastich@yahoo.com.br](mailto:bethpastich@yahoo.com.br)

## Resumo

Este estudo teve como objetivo avaliar o potencial de utilização, como substrato, do lodo anaeróbio oriundo de estação de tratamento de esgotos para produção de mudas de Ipê roxo (*Tabebuia avellanedae*). Foram testados 8 tratamentos com diferentes proporções de lodo:solo:areia, divididos, respectivamente, da seguinte forma: T0 (0:50:25, adicionado 25% de esterco bovino), T1 (12.5:62.5:25%), T2 (25:50:25%), T3 (50:25:25%), T4 (75:0:25%), T5 (0:75:25%), T6 (0:100:0%), T7 (100:0:0%). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com três repetições para cada tratamento, executado em casa de vegetação. Para avaliação da produtividade das mudas, após 120 dias da semeadura, foram avaliados: altura, diâmetro do coleto, massa seca da parte aérea, massa seca da parte radicular, massa seca total, número de folhas e índice de qualidade de Dickson. A caracterização do lodo mostrou quantidade satisfatória e condizente com a legislação ambiental em relação aos macros e micronutrientes. Já em relação aos patógenos (ovos de helmintos e coliformes), o lodo não se enquadrava na legislação, de forma que foi necessária a higienização com cal virgem a 30% durante 60 dias. O estudo chegou à conclusão que a higienização do lodo com cal virgem a 30% prejudicou o crescimento das mudas, de forma que o tratamento testemunha (T0) apresentou os melhores resultados de produtividade, já que neste tratamento não foi adicionado o lodo higienizado.

**Palavras chave:** biossólido, Índice de Qualidade de Dickson, lodo, mudas de reflorestamento, *Tabebuia avellanedae*.

## Introdução

O crescimento populacional nos centros urbanos tem gerado maiores vazões de efluentes domésticos que precisam ser tratados antes do seu descarte, a fim de minimizar os impactos ambientais no corpo receptor. No entanto, as próprias estações de tratamento também geram subprodutos poluentes, o principal dele é o lodo. O lodo proveniente do tratamento de esgotos, mesmo após o processo de tratamento, quando disposto de forma inadequada, pode trazer danos ao meio ambiente e a saúde pública (Andreoli, Von Sperling e Fernandes, 2014). De acordo com Saito (2007), os Estados Unidos, Canadá e alguns países da União Europeia, já vêm incorporando o lodo de esgoto no solo há cerca de vinte anos, na perspectiva de aproveitamento dos nutrientes.

Dentro da perspectiva de infraestrutura de saneamento, vital aos grandes centros urbanos, está à necessidade de construção de barragens de regularização de vazão para suprir a demanda crescente de água. Na construção destas barragens, grandes áreas de matas nativas têm sido suprimidas para dar espaço aos reservatórios. Como forma de minimizar este impacto ambiental, a legislação impõe medidas de compensação ambiental, como o reflorestamento utilizando espécies nativas da própria região desmatada.

Dentro da ótica de garantia da sustentabilidade ambiental, unindo-se os dois contextos: geração de lodo das estações de tratamento de esgoto e necessidade de reflorestamento como medida de compensação ambiental, o uso do lodo como adubo orgânico pode se configurar como uma estratégia interessante para as companhias de saneamento. Diversos trabalhos no Brasil têm sido desenvolvidos buscando-se avaliar a viabilidade da aplicação de lodo, sobretudo na agricultura (Urban E Isaac, 2015; Silva *et al.*, 2012).

A viabilidade da utilização de lodo para produção de mudas de reflorestamento é amplamente apontada em pesquisas científicas (Faria *et al.*, 2013). Em relação aos parâmetros físico-químicos, a viabilidade está intimamente associada à dosagem que será aplicada. Andrade *et al.* (2016), constatou aumento da atividade microbiana do solo, através da adição de doses de lodo, proveniente de estação de tratamento para resíduos industriais, sendo o processo de mineralização do carbono crescente de forma proporcional às doses aplicadas. Já em relação à possibilidade de contaminação do solo por micro-organismos causadores de doenças, os ovos de helmintos representam um forte fator limitante, visto que eles podem permanecer latentes no solo durante vários anos (Correa *et al.*, 2007).

Diante do exposto, este trabalho objetivou avaliar os efeitos de diferentes concentrações de lodo de esgoto no desenvolvimento de mudas da espécie nativa da Mata Atlântica, *Tabebuia avellanedae*, comumente conhecida como Ipê roxo. O Ipê roxo possui um elevado valor comercial. A espécie é utilizada com frequência na medicina popular e também em programas de reflorestamentos e recuperação de áreas degradadas (Carvalho, 2003).

### **Materiais e métodos**

O experimento foi conduzido durante 5 meses em casa de vegetação na Universidade Federal Rural de Pernambuco (8° 1'1.70"S, 34°56'41.24"O).

O lodo foi coletado nos leitos de secagem da Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) de Rio Formoso-PE, que fica a 81 km da capital Recife. A ETE Rio Formoso foi projetada para o atendimento de uma população de 15.830 habitantes, e vazão média afluente de projeto de 40 L s<sup>-1</sup>. A ETE é composta por grade de barras, caixa de areia, três unidades de *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB), leito de secagem, uma lagoa de polimento e quatro filtros percoladores em pedra.

A coleta do lodo foi realizada no leito de secagem vinte dias após a descarga do lodo do reator UASB. Inicialmente, o lodo foi submetido à análise bacteriológica, com ênfase para coliformes totais e termotolerantes (APHA, 2012) e ovos de helmintos (Meyer, Miller e Kaneshiro, 1978).

Posteriormente, o lodo foi previamente higienizado pelo processo de caleação, adicionando-se cal virgem numa proporção de 30% de massa seca durante 60 dias, a fim de promover uma prévia desinfecção dos patógenos segundo Barros *et al.* (2011). As amostras de lodo bruto e lodo higienizado foram submetidas à análise e determinados os seguintes parâmetros: As, Ba, Cd, Pb, Cu, Cr, Fe, P, Mn, Hg, Mo, Ni, K, Se e Zn, utilizando os métodos preconizados no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012).

O solo utilizado na composição dos tratamentos foi classificado de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006) como sendo pertencente ao grupo de solos G3-Associação de gleissolo distrófico (65%) e solos aluviais distróficos e eutróficos (35%). As seguintes determinações foram realizadas no solo: pH, P, Ca, Mg, Na, K, Al, Cu, Fe, P, Mn, K, Zn, Capacidade de Troca de Cátions (CTC), densidade, granulometria, grau de floculação, classe textural e fertilidade de solo de acordo com metodologias preconizadas no Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes (EMBRAPA, 1999).

Devido às características físicas do lodo, assemelhando-se as de solos argilosos em termos de granulometria e densidade, resolveu-se aplicar para a maioria das misturas um percentual de 25% em massa seca de areia grossa comercial, visando facilitar a aeração da mistura dos substratos. Segundo Delarmelina *et al.* (2013), existe a necessidade dos substratos apresentarem boa aeração, favorecendo assim um maior crescimento das raízes e conseqüentemente um melhor desenvolvimento das mudas.

O delineamento experimental para análise do crescimento das mudas de Ipê roxo (*Tabebuia avellanedae*) foi do tipo inteiramente casualizado com 8 tratamentos e 3 repetições. Os tratamentos consistiram de 5 doses do lodo de esgoto incorporados ao solo e areia, 2 tratamentos com variação de solo e areia, além de 1 tratamento testemunha contendo solo, areia e esterco bovino, representando a composição usual de substrato utilizado na produção de mudas florestais nos viveiros da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA), conforme demonstrado na Tabela 1.

**Tabela 1.** Descrição das proporções de Lodo, solo, areia e esterco bovino em cada tratamento.

Tratamento	Quantidade em massa seca (%)			
	Lodo ETE	Solo	Areia	Esterco
T0	0	50	25	25
T1	12.5	62.5	25	0
T2	25	50	25	0
T3	50	25	25	0
T4	75	0	25	0
T5	0	75	25	0
T6	0	100	0	0
T7	100	0	0	0

As sementes utilizadas na pesquisa foram obtidas do viveiro florestal de Pirapama na cidade de Cabo de Santo Agostinho-PE, pertencente à COMPESA, responsável pela produção de mudas da Mata Atlântica para reposição florestal e projetos de educação ambiental.

Procedeu-se então com a semeadura direta em vasos plásticos de polietileno com capacidade de 4.0 dm<sup>3</sup>. Foram colocadas três sementes por vaso e cobertas com uma camada fina de aproximadamente 1 cm do próprio substrato. A rega foi realizada diariamente com uso de regador manual, com capacidade de 8 litros, fornecendo um volume de 0.33 litros por vaso.

Quando as mudas atingiram entre 7 e 10 cm de altura e apresentaram no mínimo um par de folhas, foi realizado o desbaste de duas mudas, deixando no vaso apenas a muda mais centralizada e que obteve melhor crescimento. Após 120 dias de experimento, as mudas foram avaliadas e o Índice de Dickson foi obtido através da seguinte equação:

$$IQD = \frac{MST \text{ (g)}}{\frac{H \text{ (cm)}}{DC \text{ (mm)}} + \frac{MSPA \text{ (g)}}{MSR \text{ (g)}}$$

Onde:

IQD = índice de qualidade de Dickson

MST = massa seca total

H = altura da parte aérea

DC = diâmetro do coleto

MSPA = massa seca da parte aérea

MSR = massa seca do sistema radicular

Para a determinação da massa seca, as mudas foram cortadas na base do caule, as raízes lavadas para retirada do substrato. Em seguida, as partes aéreas e radiculares foram colocadas em envelopes de papel, separadas, identificadas e submetidas à secagem em estufa (marca: FANEM, modelo 515 A), a 60°C durante três dias, quando então foram pesadas em balança analítica (marca: GEHARA, modelo AG 200). Os resultados obtidos foram submetidos a uma análise de variância (ANOVA) e as médias, comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância utilizando o Software estatístico PAST, versão 2.17 C (2013).

## Resultados e discussão

Os resultados da análise quali-quantitativa de micro-organismos patogênicos estão apresentados na Tabela 2. No lodo bruto (sem tratamento com a cal virgem) foi verificada a presença de ovos de helmintos, em sua maioria do gênero *Ascaris* sp. Foi observada ainda, densidade elevada de coliformes termotolerantes que ultrapassou o valor máximo permitido na Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente, Nº 375, que define os critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário (Brasil, 2006). Segundo Correa *et al.* (2007), um fator limitante para a utilização de lodo de esgoto é a qualidade microbiológica, principalmente no tocante à presença de ovos de helmintos e cistos de protozoários. Diante destes resultados, ficou evidente a necessidade da higienização do lodo, antes de seu uso como adubo orgânico.

**Tabela 2.** Identificação e quantificação dos patógenos presentes no lodo de esgoto bruto.

Parâmetro	Resultados	Limite Máximo Permitido para Lodo classe A (CONAMA 375/06)	Limite Máximo Permitido para Lodo classe B (CONAMA 375/06)
Ovos viáveis de helmintos	52.20 ovos/g de ST	< 0.25 ovos/g de ST	< 10 ovos/g de ST
Coliformes totais	$1.6 \times 10^7$ NMP <sup>2</sup> /100 g de ST	-	-
Coliformes Termotolerantes	$1.6 \times 10^6$ NMP/100 g de ST	< $10^3$ NMP/100 g de ST	< $10^6$ NMP/100 g de ST

Nota: NPM=Número mais provável de colônias, ST= Sólidos Totais.

A Tabela 3 apresenta a determinação físico-química do lodo bruto e o do lodo higienizado. Vários autores na literatura alertam para o cuidado que se deve ter na reciclagem do lodo de esgoto no tocante à presença de metais pesados. Bettiol e Camargo (2006) explicam que os elementos Zn, Cu, Mn, Fe, Mo e Ni são micronutrientes essenciais para as plantas, mas em altas concentrações podem ser tóxicos. Já os metais pesados Cd, Hg e Pb podem aparecer em quantidades consideráveis, especialmente se o lodo provém de regiões industrializadas. Os resultados encontrados no presente estudo estiveram abaixo dos valores máximos permitidos pela legislação, demonstrando a característica de um esgoto tipicamente doméstico e não industrial. O material, mesmo antes da higienização, já se enquadrava como apto ao uso, o objetivo da adição de cal, como já citado, foi apenas para eliminação de patógenos.

**Tabela 3.** Análise química do lodo anaeróbio bruto e higienizado da ETE de Rio Formoso.

Parâmetros	Resultados analíticos			
	CONAMA 375/2006 <sup>1</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	Lodo bruto (mg kg <sup>-1</sup> )	Lodo higienizado (mg kg <sup>-1</sup> )	Alteração percentual após a caleação (%)
Arsênio	41	< 1	< 1	-
Bário	1300	147.0	108.0	- 26.5
Cádmio	39	1.5	1.0	- 33.3
Chumbo	300	56.7	38.2	- 32.6
Cobre	1500	67.0	35.5	- 47.0
Cromo	1000	17.9	12.0	- 33.0
Ferro	-	25363.0	16234.0	- 36.0
Fósforo	-	3383.0	2040.0	- 39.7
Manganês	-	22.4	31.3	+39.7
Mercúrio	17	0.6	0.3	- 50.0
Molibdênio	50	2.2	0.8	- 63.6
Níquel	420	11.6	6.6	- 43.1
Nitrogênio Total	-	5400.0	3600.0	- 33.3
Potássio	-	550.0	473.0	- 14.0
Selênio	100	3.2	1.6	- 50.0
Zinco	2800	264.0	148.0	- 43.9

<sup>1</sup>Limites máximos de concentração exigido pelo CONAMA Nº 375/2006 (BRASIL, 2006).

Após processo de caleação, ocorreu uma mudança na disponibilidade de macro e micronutrientes, grande parte dos elementos sofreram redução na concentração. Isto corrobora com o trabalho de Barros *et al.* (2011), os autores relataram que a adição de cal virgem na proporção de 30% ao lodo promoveu uma forte alcalinidade e reduziu os teores de nutrientes. Na presente pesquisa, esta redução não foi um aspecto negativo uma vez que a concentração de macro e micronutrientes do lodo pós-caleação, ainda permaneceu excessiva.

A Tabela 4 apresenta a caracterização química do solo utilizado nos tratamentos. Como esperado, em relação aos macronutrientes N e P, e aos micronutrientes Zn, Cu e Fe a amostra de solo apresentou valores inferiores àqueles obtidos nas amostras de lodo bruto e lodo higienizado.

**Tabela 4.** Análise química do solo utilizado na mistura dos tratamentos.

Parâmetros	Concentração	Unidade
Cobre	9.3	mg.kg <sup>-1</sup>
Ferro	12833.0	mg.kg <sup>-1</sup>
Fósforo	396.0	mg.kg <sup>-1</sup>
Manganês	61.9	mg kg <sup>-1</sup>
Potássio	757.0	mg kg <sup>-1</sup>
Zinco	26.2	mg kg <sup>-1</sup>
Nitrogênio Total	1800.0	mg kg <sup>-1</sup>
Cálcio	801.6	mg kg <sup>-1</sup>
Magnésio	127.5	mg kg <sup>-1</sup>
Sódio	20.0	mg kg <sup>-1</sup>
Alumínio	0.0	mg kg <sup>-1</sup>
pH	5.9	-
CTC	420.0	Cmolc dm <sup>-3</sup>

Em relação ao fósforo, Freire *et al.* (2013) afirmam que valores de P acima de 30 mg.kg<sup>-1</sup> já devem ser considerados muito elevados. Dessa forma, o solo antes da adição do lodo já possuía concentração bem elevada (396 mg.kg<sup>-1</sup>), o lodo apresentou concentração ainda mais elevada (2.040 mg.kg<sup>-1</sup>). Segundo Klein e Agne (2012), a concentração de fósforo a partir de certas dosagens não resulta num incremento à produtividade, podendo ainda provocar impactos negativos ao meio ambiente, como a eutrofização de mananciais.

O N é o macronutriente exigido em maior quantidade pelas plantas e é absorvido, principalmente, as formas iônicas de nitrato (NO<sub>3</sub>) e amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>). É o elemento que mais limita o crescimento vegetal e a sua baixa disponibilidade está associada à redução da divisão celular e da fotossíntese (Chapin, 1980). Por outro lado, quando em excesso, especialmente sob a forma de amônio, induz a distúrbios fisiológicos irreversíveis nas plantas (SILVA, 2015). Pode provocar o abortamento de flores e atraso na maturação, debilitando a planta e a deixando mais susceptível a doenças

(Campos, 2008). Antes da adição do lodo caleado, o solo já apresentava quantidade elevada de nitrogênio ( $1.800 \text{ mg.kg}^{-1}$ ). Após a adição do lodo caleado, que apresentou quantidade de nitrogênio de  $3.600 \text{ mg kg}^{-1}$ , as condições experimentais de todos os tratamentos passaram a apresentar excesso de N, que pode ter atuado de forma prejudicial às plantas.

A concentração de Fe observada no solo também foi elevada ( $12.833 \text{ mg.kg}^{-1}$ ). No lodo, mesmo após redução de 36% após caleação, a concentração foi  $16.234 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Desta forma, os tratamentos que foram constituídos de lodo caleado, estiveram sob condição de excesso de Ferro. O excesso de Fe pode ter atuado de forma negativa no desenvolvimento das mudas, já que Segundo Fageria (1990), o estresse causado pelo ferro, sendo ele deficiência ou toxicidade, induz sérias restrições no rendimento da cultura. Quando em excesso no meio, o ferro apresenta toxicidade, inibindo a absorção, o transporte e a utilização de outros nutrientes pelas plantas, o que implica num desbalanceamento nutricional, podendo tornar-se letal às células.

O solo apresentou valor de pH de 5.9 antes da adição de lodo, o que o classificava como “moderadamente ácido”, segundo Freire et al. (2013). A adição do lodo caleado, em muitos estudos serviu como um ajuste do pH do solo. De acordo com Salvador (2011), entre os principais fatores que afetam a disponibilidade e absorção de nutrientes está o pH. Solos com acidez elevada geralmente apresentam: pobreza em bases (principalmente cálcio e magnésio), altos teores de alumínio tóxico, excesso de manganês e carência de determinados micronutrientes (RONQUIM, 2010). Segundo Almuktar (2016), a habilidade das plantas em utilizar elementos traço diminui com o aumento do pH. O aumento do pH também ocasiona aumento da fixação de potássio no solo e diminuição do alumínio trocável.

A Tabela 5 apresenta as características físicas do solo utilizado nos tratamentos, em que foi possível verificar que o solo era bastante arenoso, com apenas 9% de argila, tendo sido classificado quanto a sua classe textural como sendo Areia Franca (AF). O Ipê roxo adapta-se bem a solos com textura arenosa, úmidos e com boa drenagem. Já os solos com baixos teores de nutrientes são limitantes ao seu crescimento (Schneider et al., 2000).

**Tabela 5.** Análise física do solo utilizado na mistura dos tratamentos.

Amostra	Densidade ( $\text{g/cm}^3$ )		Composição granulométrica (%)				Grau de floculação (%)	Classe textural
	DAP <sup>1</sup>	DR <sup>2</sup>	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila		
Solo G3	1.36	2.61	66	15	10	9	100	AF <sup>3</sup>

Em que: AF = Areia franca; DAP = Densidade aparente; DR = Densidade relativa.

A Tabela 6 apresenta as características morfológicas das mudas nos diferentes tratamentos e os resultados do Índice de Qualidade de Dickson ao longo de 120 dias, bem como a análise

estatística. A análise da variância realizada demonstrou que existiu diferença significativa na maioria dos tratamentos, exceto para a relação entre massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca do sistema radicular (MSR), que apresentaram semelhança.

**Tabela 6.** Características morfológicas e índices de qualidade na produção de mudas de *Tabebuia avellanedae* aos 120 dias.

Trat.	H (cm)	DC (mm)	MSPA (g)	MSR (g)	MST (g)	H/DC	MSPA/MSR	IQD	FOL
T0	40.667 a	13.800 a	10.807 a	3.377 a	14.183 a	2.949 a	3.211 a	8.029 a	49.667 a
T1	27.967 b	8.467 b	7.220 b	2.373 b	9.593 b	3.303 a	3.148 a	6.065 b	20.333 b
T2	12.067 c	1.200 c	3.183 c	1.053 c	4.237 c	10.052 b	3.021 a	3.443 c	9.667 c
T3	7.300 d	1.060 c	1.927 d	0.647 c	2.573 d	6.881 c	2.979 a	3.353 c	6.333 c
T4	6.100 d	0.963 c	1.627 d	0.523 c	2.150 d	6.343 c	3.113 a	3.452 c	5.333 c
T5	32.000 e	9.100 d	7.598 e	2.222 c	9.820 e	3.552 e	3.394 a	6.265 b	25.667 d
T6	29.567 e	10.333 d	7.852 e	2.818 c	10.670 e	2.935 d	2.890 a	6.712 b	20.000 d
T7	3.533 f	0.750 e	0.947 f	0.410 c	1.357 f	4.674 e	2.453 a	2.746 e	4.667 e
F	**	**	**	**	**	**	ns	**	**
CV%	5.08	1.26	2.56	0.87	4.78	0.19	0.19	0.98	26.92

Nota: SN = solo natural; AR = areia; EB = esterco bovino; LE = lodo de esgoto; H = altura; DC = diâmetro do coleto; MSPA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca do sistema radicular; MST = massa seca total; H/DC = relação entre altura e o diâmetro do coleto; MSPA/MSR = relação entre massa seca da parte aérea e massa seca do sistema radicular; IQD = Índice de qualidade de Dickson; FOL = número de folhas; ns = não significativo ( $P > 0,05$ ); \*\*É significativo ( $P < 0,01$ ). Observação: Médias seguidas da mesma letra, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Em relação ao aspecto altura das mudas, verificou-se que o tratamento testemunha T0 (50% solo + 25% areia + 25% esterco) apresentou valores maiores e distintos que todos os outros tratamentos. Os tratamentos T5 e T6 estiveram em segundo lugar no quesito altura, foram semelhantes estatisticamente entre si e não continham lodo ou esterco em sua composição. Em terceiro lugar, o T1 em que foi adicionado a menor quantidade de lodo (12.5%).

Os tratamentos T2 (25% de lodo), T3 (50% de lodo), T4 (75% de lodo) e T7 (100% de lodo) apresentaram resultados considerados baixos em relação à altura. Segundo Gomes e Paiva (2004), para a obtenção de mudas de espécies florestais de boa qualidade para plantio em campo são recomendadas alturas entre 15 e 30 cm. Partindo-se desta premissa, os melhores tratamentos foram T0 (altura de 40.6 cm), T5 (altura de 32.0 cm), T6 (altura de 29.57 cm) e T1 (27.97 cm).

Em relação a massa seca da parte aérea e massa seca do sistema radicular, os piores resultados foram apresentados pelos tratamentos T2 (25%), T3 (50%), T4 (75%) e T7 (100%), respectivamente, seguindo a mesma dinâmica do parâmetro altura.

Segundo Gonçalves *et al.* (2000), o diâmetro do coleto (DC) considerado ideal para sobrevivência da muda em campo deve situar-se entre 5 e 10 mm. Tendo como base o exposto, considerou-se como resultados satisfatórios para este estudo, apenas os tratamentos T0 (0% de lodo), T1 (12.5% de lodo), T5 (0% de lodo) e T6 (0% de lodo), sendo novamente o melhor desenvolvimento apresentado pelo tratamento testemunha T0.

Em relação à massa seca total (MST), os melhores resultados foram encontrados no tratamento testemunha (T0) e nos tratamentos com uso preponderante de solo natural (T5 e T6) semelhantes entre si estatisticamente. Também em relação à massa seca total, os tratamentos com lodo apresentaram piores resultados. O único parâmetro que se comportou de forma inversa foi a relação ao parâmetro altura/diâmetro (H/DC) do coleto, o tratamento que apresentou melhores resultados foram os tratamentos T2, T3 e T4, que foram semelhantes entre si estatisticamente.

O IQD leva em consideração todos os parâmetros supracitados, portanto, é considerado um importante indicador de qualidade de mudas. Quanto maior o índice encontrado, melhor o padrão de qualidade das mudas. Com base neste critério, o tratamento que apresentou melhor resultado foi o T0, seguido pelos tratamentos T6, T5 e T1 que não diferiram de si estatisticamente. Os tratamentos que apresentaram os piores resultados de IQD foram os tratamentos T2, T3 e T4 que não diferem estatisticamente entre si, seguido do tratamento T7. Os resultados mostraram que quanto maior a quantidade de lodo higienizado aplicado ao substrato, menor foi o valor do IQD obtido.

A necessidade de higienização do lodo, antes de sua aplicação no solo, sobretudo se a forma de desinfecção for por meio da adição de cal, pode impor algumas limitações ao seu uso. Diversas pesquisas relatam resultados positivos do uso de lodo como adubo, sem adição de cal.

Caldeira *et al.* (2013) utilizaram biossólido como substrato para produção de mudas de Cedro-australiano (*Toona ciliata*) e o parâmetro altura apresentou melhores resultados quando foi utilizado de 70 a 100% de biossólido na mistura com terra de subsolo. Já Costa Silva *et al.* (2011) utilizaram lodo de curtume como substrato para cultivo de pimenta ornamental. Os autores observaram maiores valores de massa seca e fresca da parte aérea para mudas cultivadas com lodo do que em mudas cultivadas com substrato a base de turfa. Em relação à altura das plântulas e ao número das folhas, também foram observados maiores valores quando o substrato foi à base de composto de lodo de curtume. Silva (2017), que avaliou os impactos do uso de lodo de esgoto no crescimento de mudas de eucalipto, observou aumento de 11% na altura das plantas tratadas com lodo e adição de fertilizantes NPK em comparação com as plantas tratadas apenas com NPK após 30 dias de cultivo.

Uma primeira hipótese a ser levantada é que com a adição do lodo, alguns elementos que já estavam presentes em excesso no solo tornaram-se ainda maiores. Tanto o nitrogênio (Silva,

2015) quanto o elemento ferro (Fageria, 1990), quando estão presentes em excesso no solo induzem sérias restrições no rendimento da cultura, inibindo a absorção, o transporte e a utilização de outros nutrientes pelas plantas, o que implica num desbalanceamento nutricional.

Outro aspecto da adição de lodo no solo é a questão da compactação. Gomes *et al.* (2013), ao avaliarem a utilização de lodo de esgoto para produção de mudas de Teca (*Tectona grandis* L.), observaram que no tratamento com a maior quantidade de lodo de esgoto, o desenvolvimento foi considerado menor. O fato foi explicado pela baixa porosidade que ocasionou a compactação do substrato. No presente estudo, o solo utilizado possuiu uma elevada proporção de areia, além disso, a adição de areia aos experimentos com lodo objetivou reduzir essa possibilidade.

Finalmente, outro fator que pode ter sido o mais preponderante na baixa produtividade das mudas com a adição de lodo, pode ter sido a forma de higienização escolhida. A adição de cal virgem, apesar de ter proporcionado um ambiente extremamente alcalino e com elevada temperatura eliminando assim os patógenos, levaram aos tratamentos com lodo os menores valores de IQD. Alguns autores na literatura associaram a adição de cal ao baixo desenvolvimento de culturas.

No trabalho realizado por Teles *et al.* (1999) foi avaliada a utilização de diferentes concentrações de lodos higienizados com cal na produção de mudas de Tamboril (*Enterolobium contortisiliquum*). Os autores concluíram que a alcalinidade do substrato favoreceu a perda, por volatilização, do nitrogênio, bem como a lixiviação de micronutrientes, tornando-os indisponíveis às plantas, reduzindo, conseqüentemente, seu desenvolvimento. O resultado também corrobora com Barbosa *et al.* (2007), que relataram aumento na produção de matéria seca de milho em função da aplicação de lodo de esgoto, todavia, no tratamento com cal o resultado foi negativo.

Barros *et al.* (2011), ao cultivarem milho, verificaram que a menor produtividade encontrada foi àquela ao qual o lodo fora higienizado com cal. Já o tratamento com ácido paracético apresentou o melhor efeito de redução de patógenos, entre os tratamentos alternativos sem afetar a produtividade.

O processo de caleação do lodo é importante para eliminação dos patógenos, mas em contrapartida, o pH do solo restringe a dose de lodo a ser usado em áreas agrícolas em decorrência do alto poder corretivo, pois a cal contida no lodo promove uma mudança drástica no pH do solo (Andreoli, 2014). Desta forma, em solos com valores de pH mais ácidos, o lodo caleado poderá ter uma importante função corretiva (Fia et al, 2005). Por outro lado, em pH básicos ou dentro da faixa adequada, a adição de cal imporá um efeito negativo (Nascimento et al, 2014). Desta forma, fica evidente que a caleação limita a dosagem de lodo que pode ser adicionada às culturas. O método de higienização do lodo é extremamente importante para seu uso como adubo orgânico influenciando sobremaneira à produtividade das culturas.

## Conclusões

A utilização de lodo anaeróbio proveniente de estações de tratamento de esgotos, como componente de substrato para produção de mudas de Ipê roxo (*Tabebuia avellanadae*), apresenta-se como uma possível alternativa para disposição final deste resíduo, em função dos baixos teores de metais, elevados teores de nutrientes e atendimento à legislação.

O lodo anaeróbio de esgoto apresentou boa fertilidade em termos de nutrientes, de acordo com a análise química apresentada, no entanto, para melhores resultados no desenvolvimento de mudas, recomenda-se verificação da utilização de outras técnicas de higienização que não a calagem ou dosagens menores de lodo calcado do que as testadas no estudo.

## Agradecimentos

Agradecemos a Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA), a Associação Instituto de Tecnologia de Pernambuco (ITEP), a Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio à pesquisa por meio do edital Universal/2014 (Processo: 457158/2014-0).

## Referências bibliográficas

- APHA (2012). American Public Health Association. *Standard methods for the examination of water and wastewater*, Washington, 1496 pp.
- Almuktar, S., Scholz, M. (2016). Mineral and biological contamination of soil and *Capsicum annuum* irrigated with recycled domestic wastewater. *Agricultural Water Management*, **167**, 95-109.
- Andrade, F. C., Andrezza, R., Camargo, F. A. O. (2016). Atividade microbiana em solos sob doses de lodo de estação de tratamento de efluentes de um aterro industrial. *Ciência Rural*, **46**(2), 267-272.
- Andreoli, C. V., Von Sperling, M., Fernandes, F. (2014) *Lodo de esgotos: tratamento e disposição final*, Editora UFMG, 444 .
- Barbosa, G. M. C. et al. (2007). Equilíbrio de bases no solo e produção de matéria seca de milho (*Zea mays* L.) em solos tratados com lodo de esgoto, carbonato de cálcio e cal virgem. *Acta Scientiarum Agronomia*, **29**, 709-714.
- Barros, I. T. et al. (2011). Avaliação agrônômica de bio-sólidos tratados por diferentes métodos químicos para aplicação na cultura do milho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, **15**(6), 630-638.
- Bettiol, W., Camargo, O. A. (2006) A disposição de lodo de esgoto em solo agrícola. In: Bettiol, W., Camargo, O. A. (Eds.), *Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura*, Embrapa Meio Ambiente, 25-36.
- Brasil, Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente (2006) *Resolução N° 375* de 29 de agosto de 2006.
- Caldeira, M. V. et al. (2013). Lodo de esgoto e vermiculita na produção de mudas de eucalipto, *Pesquisa Agropecuária Tropical*, **43**, 155-163.
- Campos, V. B., Oliveira A. P., Cavalcante, L. F., Prazeres, S.S. (2008). Rendimento do pimentão submetido ao nitrogênio aplicado via água de irrigação em ambiente protegido. *Revista de biologia e ciências da terra*. **8**(2).72-79.

- Carvalho, P. E. R. et al. (2003) *Espécies arbóreas brasileiras*, Embrapa Informação Tecnológica, Brasília.
- Chapin III, F. S. (1980). The mineral nutrition of wild plants. Annual review of ecology and systematics, **11**(1), 233-260.
- Correa, R. S., Fonseca, Y. M. F., Correa, A. S. (2007). Produção de biossólido agrícola por meio da compostagem e vermicompostagem de lodo de esgoto, Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, **11**(4), 420-426.
- Costa Silva, J. D. D., Barbosa Leal, T. T., Matos Araújo, R., Ferreira Gomes, R. L., Ferreira De Araújo, A. S., Melo, W. J. D. (2011). Emergência e crescimento inicial de plântulas de pimenta ornamental e celosia em substrato à base de composto de lodo de curtume, Ciência Rural, **41**(3).
- Delarmelina, W. M. et al. (2013). Uso de lodo de esgoto e resíduos orgânicos no crescimento de mudas de *Sesbania virgata* (Cav.) Pers, Revista Agro@mbiente On-line, **7**, 184-192.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (1999) *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*, Embrapa Solos, Brasília, 370 pp.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2006) *Sistema brasileiro de classificação de solos*, Embrapa Solos, Brasília, 306 pp.
- Fageria, N. K., Baligar, V. C., Wright, R. J. (1990). Nutrição de ferro das plantas: química e fisiologia da sua deficiência e toxicidade. Pesquisa Agropecuária Brasileira, **25**(4), 553-570.
- Faria, J. C. T. et al. (2013). Substrato à base de lodo de esgoto na produção de mudas de *Senna alata*, Comunicata Scientiae, **4**(4), 342-351.
- Fia, R.; Matos, A. T.; Aguirre, C. I. (2005). Características químicas de solo adubado com doses crescentes de lodo de esgoto caleado, Engenharia na Agricultura, **13**(4), 287-299.
- Freire, Luiz Rodrigues; et. al. (2013). Manual de calagem e adubação do Estado do Rio de Janeiro, Embrapa, Brasília.
- Gomes, D. R. et al. (2013). Lodo de esgoto como substrato para produção de mudas de *Tectona grandis* L. Cerne, **19**(1), 123-131.
- Gomes, J. M., Paiva, H. N. (2004) *Viveiros florestais (propagação sexuada)*, Editora Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- Gonçalves, J. L. M. et al. (2000) Produção de mudas de espécies nativas: substrato, nutrição, sombreamento e fertilização. In Gonçalves J. L. M.; Benedetti, V. (Eds.), *Nutrição e fertilização florestal*, IPEF, Piracicaba, 309-350.
- Klein, Claudia; Agne, Sandra Aparecida Antonini. (2012). Fósforo de nutriente à poluente, Rev. Elet. em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, **8**(8), 1713-1721.
- Meyer, K. B., Miller, K. D. E., Kaneshiro, E. S. (1978). Recovery of Ascaris eggs from sludge, Journal Parasitology, **64**(2), 380-383.
- Nascimento, Altina Lacerda et al. (2014). Atributos químicos do solo adubado com lodo de esgoto estabilizado por diferentes processos e cultivado com girassol, Bioscience Journal, **30**(1).
- Ronquin, Carlos Cesar. (2010). Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais, Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas.
- Saito, M. L. (2007) *O Uso do Lodo de Esgoto na Agricultura: precauções com os contaminantes orgânicos*, EMBRAPA Meio Ambiente, Jaguariúna.
- Salvador, J. T., Carvalho, T. C., Lucchesi, L. A. C. (2011). Relações cálcio e magnésio presentes no solo e teores foliares de macronutrientes. Revista Acadêmica: Ciência Animal, **9**(1), 27-32.
- Schneider, P. S. P., Schneider, P. R., Finger, C. A. G. (2000). Crescimento do ipê-roxo, *Tabebuia impetiginosa* Martius ex AP de Candolle, na Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul. Ciência Florestal, **10**(2), 91-100.
- Silva, H.M. et al. (2012). Balanço nutricional, produção de óleo essencial e madeira de *Corymbia citriodora* Hill & Johnson com aplicação de lodo de esgoto e fertilizante mineral, Ciência Florestal, **22**(4), 821-831.
- Silva, M. L. S., Trevizam A. R. (2015). Interações iônicas e seus efeitos na nutrição das plantas. Informações agronômicas **49**.16.



- Silva, M. I., Mackowiak, C., Minogue, P., Reis, A. F., Moline, E. F. D. V. (2017). Potential impacts of using sewage sludge biochar on the growth of plant forest seedlings, *Ciência Rural*, **47**(1).
- Teles, C. R., Costa, A. N., Gonçalves, R. F. (1999). Produção de lodo de esgoto em lagoas de estabilização e o seu uso no cultivo de espécies florestais na região sudoeste do Brasil, *Revista Técnica da Sanepar*, **12**(12), 53-60.
- Urban R.C., Isaac R.L. (2016). Mapa de aptidão do solo para a aplicação de lodo de esgoto: Bacia dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá, *Revista Ambiente & Água, Taubaté*, **11**.