

## II-220 – RECICLAGEM DE LODO DE ESGOTO NA PRODUÇÃO DE MUDAS FLORESTAIS DA MATA ATLÂNTICA

**Alan Henrique Marques de Abreu**<sup>(1)</sup>

Engenheiro Florestal da Companhia Estadual de Águas e Esgotos (CEDAE). Doutorando em Ciências

**Elton Luis da Silva Abel**<sup>(2)</sup>

Engenheiro Florestal da Companhia Estadual de Águas e Esgotos (CEDAE). Mestre em Ciências Ambientais e Florestais pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ);

**Adriano Gama Alves**<sup>(3)</sup>

Engenheiro Químico da Companhia Estadual de Águas e Esgotos (CEDAE);

**César Seleri B. Bittencourt**<sup>(4)</sup>

Biólogo da Companhia Estadual de Águas e Esgotos (CEDAE);

**Ricardo Rodrigues de Oliveira**<sup>(5)</sup>

Ambientais e Florestais pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ); Estudante de Engenharia Florestal na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ).

**Endereço**<sup>(1)</sup>: BR 465, Km 19,5 da Antiga Rio x São Paulo, ETA Guandu – Prados Verdes – Nova Iguaçu - RJ - CEP: 23040-160 - Brasil - Tel: (21) 98163-7079 - e-mail: [alan.abreu@cedae.com.br](mailto:alan.abreu@cedae.com.br)

### RESUMO

As estações de tratamento de esgoto (ETE) prestam um importante serviço ambiental, recolhendo e tratando diariamente grandes quantidades de cargas orgânicas, e após o devido tratamento devolve aos cursos hídricos água que auxilia na diluição das cargas não tratadas. Durante o processo de tratamento é gerado o resíduo sólido denominado lodo de esgoto, rico em matéria orgânica e nutrientes, mas que sem o devido tratamento pode ser prejudicial ao meio ambiente e à saúde humana. O objetivo desse trabalho foi verificar o potencial do bio-sólido na composição de substratos para produção de mudas florestais. Foram testadas diferentes proporções volumétricas de lodo de esgoto estabilizado, denominado bio-sólido (BIO) misturadas a um substrato comercial (SC), consistindo nas seguintes formulações: T1=0%BIO + 100% SC; T2= 25% de BIO + 75% SC; T3 = 50% de BIO + 50% SC; T4=100% de BIO + 0% SC. Apesar das espécies apresentarem respostas diferenciadas em função da composição do substrato e da sua auto ecologia, o bio-sólido apresentou elevado potencial na composição de substratos para produção de mudas. As mudas que continham bio-sólido na composição do substrato apresentaram os melhores resultados na fase de produção.

**PALAVRAS-CHAVE:** Bio-sólido, substrato comercial, qualidade de mudas.

### INTRODUÇÃO

A Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída sob a Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010, definiu como uma de suas principais diretrizes, o incentivo à não geração, à redução, à reutilização e ao tratamento dos resíduos sólidos, bem como à destinação adequada dos rejeitos. Segundo a legislação, são considerados rejeitos apenas as partes dos resíduos que não apresentam possibilidade de reutilização.

Essa legislação vai de encontro à atual tendência de reaproveitamento dos resíduos urbanos, pois, além de contribuir para minimizar o problema ambiental, geralmente são uma garantia de fornecimento de matéria-prima a longo prazo e baixo custo (ABREU, 2014). Neste contexto, o lodo de esgoto, que atualmente é tratado como um rejeito e corresponde a um passivo ambiental urbano, surge como um dos principais resíduos a serem reutilizados.

Há alguns anos já vem sendo estudadas formas mais sustentáveis de destinação final para o lodo de esgoto, focando-se principalmente na sua destinação agrícola como condicionador de solo e ou fertilizante em recuperação de áreas degradadas e plantações agrícolas e florestais (MODESTO et al., 2009; RICCI et al., 2010). Uma das alternativas viáveis para a disposição do lodo de esgoto devidamente tratado e estabilizado (bio-sólido) pode ser também o seu uso como componente de substratos destinados à produção de mudas florestais (SCHEER et al., 2012).

A Companhia Estadual de Águas e Esgotos (CEDAE), desde 2011, está realizando pesquisas em parceria com Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) para a reciclagem florestal do lodo de esgoto, buscando alternativas mais sustentáveis para a disposição deste resíduo. Atualmente, com base nas pesquisas desenvolvidas, mais de 150 espécies florestais nativas da Mata Atlântica são produzidas com substratos à base biossólido nos viveiros florestais da CEDAE.

O objetivo do trabalho foi verificar o potencial do lodo de esgoto estabilizado (biossólido) na composição de substratos, testando a proporção de mistura de biossólido e substrato comercial que proporcionem maior crescimento às mudas florestais no viveiro.

O desenvolvimento desse trabalho contou com o apoio e a participação da Companhia Estadual de Águas e Esgotos (CEDAE), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) e financiamento do Comitê Guandu - Associação de Pró – Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (AGEVAP).

## MATERIAIS E MÉTODOS

Foram testados diferentes proporções volumétricas de biossólido (BIO) misturadas à um substrato comercial à base de casca de pinus bioestabilizada (SC), consistindo nas seguintes formulações em bases volumétricas: T1 = 0% BIO + 100% SC; T2 = 25% de BIO + 75% SC; T3 = 50% de BIO + 50% SC e T4 = 100% de BIO + 0% SC. Para cada espécie, o delineamento adotado foi o inteiramente casualizado (DIC), com quatro tratamentos, quatro repetições, sendo cada parcela composta por dezoito mudas.

O experimento foi realizado entre setembro de 2012 e fevereiro de 2013, no viveiro florestal do Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), localizado no Município de Seropédica, RJ. As espécies utilizadas foram *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan (angico vermelho), *Schinus terebinthifolius* Raddi (aroeira pimenteira), *Pseudobombax grandiflorum* (Cav.) A. Robyns (embiruçu) e *Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Tol. (ipê roxo).

O biossólido utilizado no trabalho foi proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Alegria, localizada no bairro Caju, Rio de Janeiro - RJ. O material foi disponibilizado pela Companhia Estadual de Águas e Esgoto do Rio de Janeiro (CEDAE). O esgoto recebido pela ETE Alegria é derivado de áreas urbanas domiciliares e comerciais e tratado por processo de digestão anaeróbica.

O biossólido foi devidamente caracterizado de acordo exigências da resolução CONAMA n° 375/2006 (BRASIL, 2006) e, de acordo com os resultados das análises, atendeu aos parâmetros relativos à concentração dos agentes patogênicos e indicadores bacteriológicos (Tabela 1), sendo classificado como de classe A.

**Tabela 1: Concentração de microrganismos patogênicos no lodo de esgoto proveniente da ETE Alegria, Rio de Janeiro – RJ, em comparação ao estabelecido pela Resolução CONAMA n° 375/2006.**

Parâmetro	Unidade	CONAMA <sup>1</sup>	ETE Alegria <sup>2</sup>
Coliformes Termotolerantes	NMP g-1 ST	< 1000	< 0,04
Ovos Viáveis de Helmintos	Ovos g-1 ST	< 0,25	< 0,01
Salmonella sp.	Presente/ausente em 10g ST	Ausente	Ausente

<sup>1</sup>valores máximos permitidos pela resolução CONAMA n° 375/2006; <sup>2</sup>valores encontrados no biossólido da ETE Alegria. NMP: Número mais provável; ST: Sólidos totais.

O biossólido atendeu também aos parâmetros relativos à presença de compostos inorgânicos, apresentando valores inferiores aos máximos estipulados pela legislação vigente e, portanto, está apto para uso em ambientes agrícolas.

**Tabela 2: Concentração de metais pesados (mg/kg) potencialmente tóxicas no lodo de esgoto proveniente da ETE Alegria, Rio de Janeiro – RJ, em comparação ao estabelecido pela Resolução CONAMA nº 375/2006**

	As	Ba	Cd	Pb	Cu	Cr	Hg	Mo	Ni	Se	Zn
CONAMA <sup>1</sup>	41	1300	39	300	1500	1000	17	50	420	100	2800
ETE Alegria <sup>2</sup>	< 2,62	157	< 0,20	197	267	70	< 0,03	22,6	40,2	< 5,90	681

<sup>1</sup>valores máximos permitidos pela resolução CONAMA nº 375/2006; <sup>2</sup>valores encontrados no bioestabilizado da ETE Alegria.

Para a formulação dos substratos, o bioestabilizado da ETE Alegria, que primeiramente passou pela secagem natural como método de redução de patógenos, foi triturado com auxílio de um triturador orgânico Trapp® modelo Tr 200.

O substrato comercial utilizado na formulação dos tratamentos foi o Mecplant® Florestal 3, indicado para produção mudas de Pinus e espécies nativas propagadas por sementes. Este substrato é amplamente utilizado na produção de mudas florestais em tubetes, e de acordo com o fabricante, é um material produzido, integralmente, a partir da casca de Pinus bioestabilizada.

Seguindo os tratamentos estabelecidos, foram realizadas as misturas do bioestabilizado e substrato comercial e após a completa homogeneização foram retiradas amostras dos substratos para posterior análise química, realizada pelo Laboratório de Análises de Solos Viçosa Ltda.

Para a produção das mudas, foram utilizados tubetes de 280 cm<sup>3</sup>. A semeadura foi realizada diretamente nos recipientes. As bandejas foram alocadas em canteiros suspensos localizados a pleno sol. A irrigação do viveiro foi feita por sistema de microaspersão duas vezes ao dia, uma no início da manhã e outra ao final da tarde. Aos 70 dias após a semeadura foi realizado o reespaçamento dos tubetes, resultando numa densidade de 50%, a qual foi mantida até o final do experimento.

Aos 134 dias após a semeadura, foram conduzidas avaliações da altura da parte aérea (H), e do diâmetro do coleto (D). Com os dados desta avaliação, foram selecionadas as cinco mudas mais próximas da média de cada repetição, para obtenção da matéria seca da parte aérea (MSPA) e matéria seca do sistema radicular (MSR). As mudas selecionadas tiveram as raízes lavadas em água corrente para retirada do substrato. Em seguida, foram separadas a parte aérea do sistema radicular, e os mesmos foram devidamente identificados e acondicionados em sacos de papel e em seguida levados para uma estufa de circulação de ar forçada, onde permaneceram a 65°C, até a obtenção de peso constante. Após a secagem, as mesmas foram pesadas em balança de precisão para obtenção da matéria seca da parte aérea e do sistema radicular. Com as variáveis coletadas na última medição foram calculadas a relação entre altura da parte aérea e diâmetro de coleto (H/D), relação entre a matéria seca da parte aérea e matéria seca do sistema radicular (MSPA/MSR), bem como o índice de qualidade de Dickson (Dickson et al., 1960), por meio da fórmula (1):

$$IQD = \left( \frac{MST}{\frac{H}{D} + \frac{MSPA}{MSR}} \right) \quad (1)$$

Em que: MST é matéria seca total; H é a altura da parte aérea; D é o diâmetro do coleto; MSPA é matéria seca da parte aérea; e MSR é matéria seca radicular.

Todos os dados obtidos foram submetidos ao teste de Liliefors e de Cochran a Bartlett para testar respectivamente a normalidade e homogeneidade dos mesmos. Não houve necessidade de transformações, portanto foi realizada a análise de variância, e posteriormente o teste de Tukey ao nível de significância de 5%. As análises foram realizadas com auxílio do programa estatístico SAEG.

## RESULTADOS

Observa-se pela Tabela 3, que a alteração da proporção da mistura refletiu na composição química dos substratos, em que, a medida que aumentou-se a proporção volumétrica de biossólido no substrato, maior foi o teor de N, P, K e S. Já o Ca e o Mg não apresentaram este padrão definido. O nitrogênio é normalmente o nutriente encontrado em maior abundância no biossólido (CALDEIRA et al., 2012). É também um dos elementos minerais requeridos em maior quantidade pelas plantas e o que mais limita o crescimento quando em deficiência (SOUZA; FERNANDES, 2006). Resultado semelhante foi encontrado por Caldeira et al. (2012), que avaliando diferentes composições de biossólido e substrato comercial na produção de mudas de *Tectona grandis*, encontraram os maiores teores de macronutrientes no substrato constituído por biossólido.

**Tabela 3: Resultados da análise química dos substratos constituídos de diferentes proporções volumétricas de biossólido (BIO) e substrato comercial (SC).**

Trat.	Composição SC:BIO	N	P	K	Ca	Mg	S	CO	C/N	pH
		----- % -----							-	-
T1	100:0	0,49	0,17	0,16	1,49	0,58	0,31	11,85	24	4,2
T2	75:25	0,83	0,42	0,24	2,09	0,50	0,91	12,16	15	4,6
T3	50:50	0,92	0,35	0,32	1,62	0,49	0,91	11,23	12	4,7
T4	0:100	1,42	0,55	0,40	1,85	0,58	1,31	8,89	7	5,8

Teores totais determinados no extrato ácido (ácido nítrico com ácido perclórico); N – Método do Kjeldahl; Carbono orgânico – Método Walkley – Black (1932).

Segundo Carneiro (1995), as características químicas de um substrato são influenciadas pela disponibilidade de nutrientes minerais presentes, os quais influenciam diretamente no crescimento das mudas. Vários autores têm atribuído o maior crescimento das mudas produzidas em substratos contendo biossólido, aos teores de nutrientes encontrados neste resíduo, principalmente N e P (DELARMELINA et al., 2013; GOMES et al., 2013; ROCHA et al., 2013). Além dos nutrientes, estes autores ressaltam também o fornecimento de matéria orgânica advinda do biossólido.

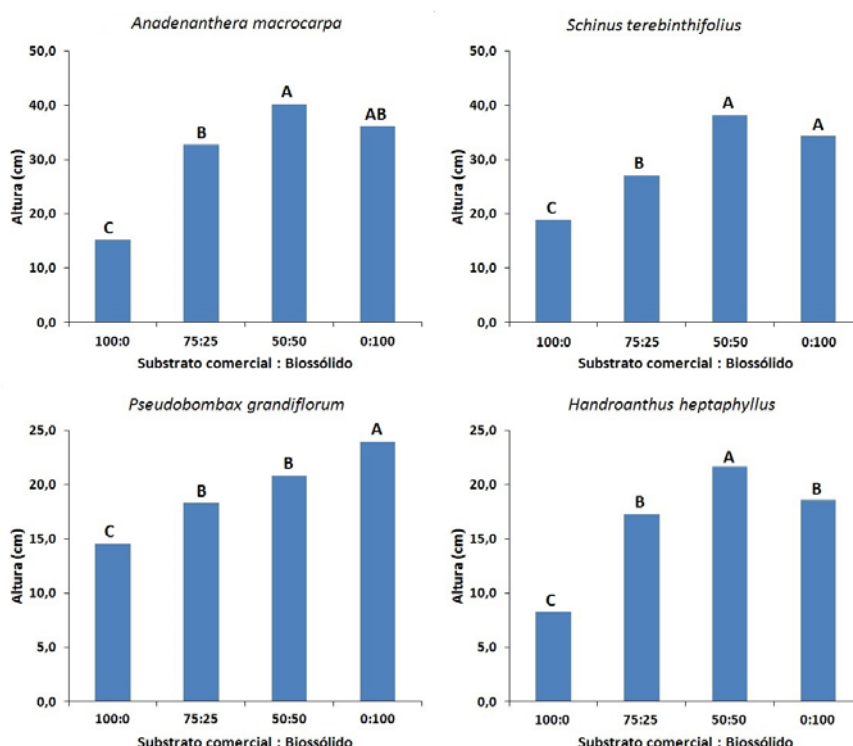
Segundo Guerrini; Trigueiro (2004), a matéria orgânica é um componente fundamental dos substratos, cuja finalidade básica é aumentar a capacidade de retenção de água e nutrientes para as mudas e está diretamente relacionada ao carbono orgânico. Observa-se pela Tabela 1 que o carbono orgânico (CO) diminuiu à medida em que aumentou-se a proporção de biossólido no substrato. No entanto, Caldeira et al. (2012 b) alertam para o fato do biossólido ser um excelente fornecedor de matéria orgânica, capaz de melhorar as características físicas do substrato, além disponibilizar N e P, o que provavelmente pode estar ligado mais a qualidade da matéria orgânica (relação C/N) presente no biossólido do que a quantidade da mesma. A relação C/N indica a estabilização do material orgânico e presença de material humificado. O húmus, principal componente da matéria orgânica do solo, possui relação C/N entre 8 a 10.

Essa eficiência da matéria orgânica do biossólido em fornecer nutrientes possivelmente está relacionada à baixa relação C/N encontrada neste material. Por outro lado, o substrato comercial apresentou relação C/N de 24:1, considerada alta pela classificação de Gonçalves; Poggiani (1996). Segundo estes autores, materiais com altas relações C/N (> 18:1), normalmente apresentam alta atividade de microrganismos, que passam a competir com as mudas por nutrientes, principalmente N e S. Os autores alertam ainda que, como consequência, as mudas poderão sofrer com a deficiência destes nutrientes, a não ser que a adubação, principalmente a de cobertura, seja feita de forma bastante criteriosa, o que devido a finalidade do experimento, não foi realizado.

Quanto ao pH, observa-se que segundo a recomendação de Gonçalves; Poggiani (1996), apenas o substrato formado por apenas biossólido, que apresentou pH de 5,8, enquadrou-se na faixa adequada de pH adequada para substratos (5,5 – 6,5). No entanto, segundo Kratz; Wendling (2013), quando se utilizam substratos orgânicos, sem a adição de solo na composição, a recomendação é trabalhar em um intervalo de pH entre 4,4 a 6,2.

Observa-se pela Figura 1, que para todas as espécies, as mudas produzidas apenas com substrato comercial apresentaram as menores médias de altura da parte aérea. De forma geral, os melhores resultados são encontrados nos tratamentos cuja a proporção de biofóssido foi 50 ou 100% do volume do substrato.

As espécies *Anadenanthera macrocarpa* e *Schinus terebinthifolius* apresentaram comportamento similar, em que, para ambas as espécies não foram encontradas diferenças significativas em altura da parte aérea entre as médias dos tratamentos com 50 e 100% biofóssido. Para as mudas de *Pseudobombax grandiflorum*, o maior valor médio em altura foi obtido no tratamento com 100% de biofóssido, enquanto que para o *Handroanthus heptaphyllus* o melhor resultado foi alcançado pelas mudas do tratamento com 50% de biofóssido na composição do substrato. Este comportamento pode ser explicado pela interação das características físicas e químicas do substrato com a ecofisiologia das espécies.



**Figura 1: Valores médios de altura da parte aérea de mudas de quatro espécies florestais, produzidas em diferentes proporções de substrato comercial e de biofóssido, aos 134 dias após a semeadura. Para cada espécie, colunas seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).**

Vale ressaltar ainda, que apesar de apresentarem padrões de crescimento diferentes, o que é normal se tratando de espécies florestais diferentes, de forma geral, todas as espécies responderam positivamente à presença do biofóssido na composição do substrato.

O biofóssido apresenta maior proporção de microporos, e consequentemente maior capacidade de retenção de água e menor aeração do substrato. Com base nessas características, pode-se inferir que espécies como *Anadenanthera macrocarpa*, *Schinus terebinthifolius* e *Pseudobombax grandiflorum*, adaptadas a solos com pouca aeração, geralmente locais susceptíveis a períodos de encharcamento ou alagamento (MARTINS, 2001; DURIGAN, 2002; CARVALHO, 2006; GONÇALVES et al. 2008), conseguem se adaptar às condições de maior umidade oferecida pelo substrato com 100% de biofóssido.

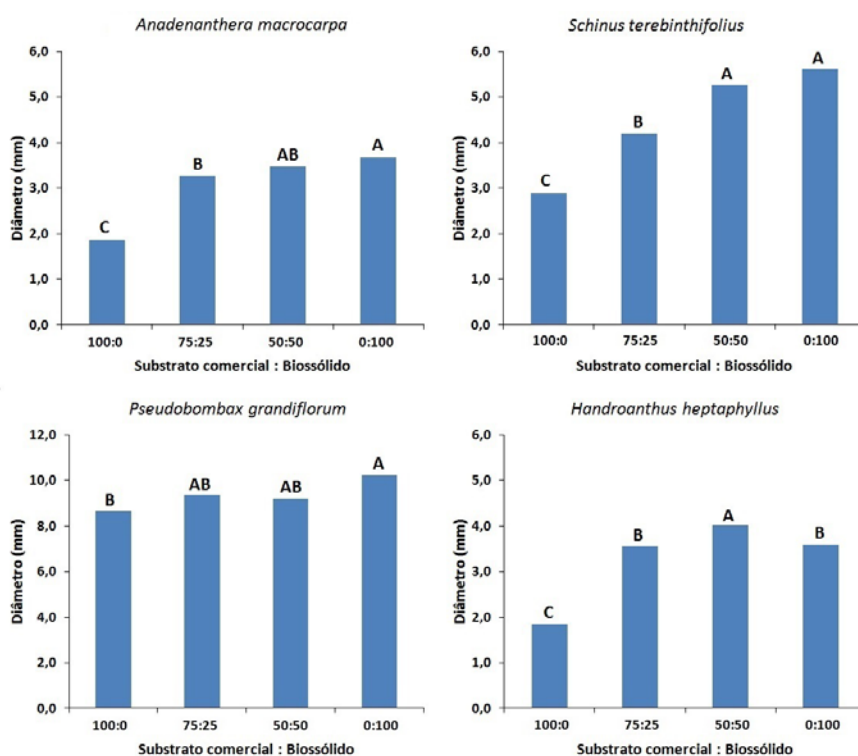
Já *Handroanthus heptaphyllus*, uma espécie adaptada a locais secos e bem drenados, não suporta condições de elevada umidade (CARVALHO, 2006; GREGÓRIO et al., 2008). Esse fato pode explicar seu máximo crescimento em altura no substrato com proporção 50:50 de biofóssido e substrato comercial. A mistura entre estes dois componentes, aumentou a drenagem do substrato, devido à maior macroporosidade, característica



marcante dos substratos comerciais (FERRAZ et al. 2005). O aumento da macroporosidade pelo substrato comercial aliada ao potencial químico do bio sólido favoreceu o crescimento em altura neste tratamento.

Observa-se pela Figura 2 que o crescimento em diâmetro do *Handroanthus heptaphyllus* também foi maior no tratamento com apenas 50% de bio sólido. As mudas *Anadenanthera macrocarpa* e *Schinus terebinthifolius* apresentaram um padrão de crescimento em diâmetro semelhante ao encontrado para altura da parte aérea, com os tratamentos que continham 50 e 100% de bio sólido em sua composição apresentando maiores médias. Já as mudas de *Pseudobombax grandiflorum* não apresentaram diferenças significativas em diâmetro entre os tratamentos que continham bio sólido na sua composição. Para todas as espécies, o tratamento com 100% substrato comercial apresentou as menores médias de diâmetro do coleto.

O menor crescimento em diâmetro e altura das mudas produzidas no substrato comercial está relacionado menor concentração de nutrientes neste substrato (Tabela 3). Como os tratamentos não receberam nenhuma adubação mineral complementar, os nutrientes contidos no substrato comercial não foram suficientes para manter o adequado crescimento das mudas em altura e diâmetro.



**Figura 2:** Valores médios de diâmetro do coleto de mudas de quatro espécies florestais, produzidas em diferentes proporções de substrato comercial e de bio sólido, aos 134 dias após a semeadura. Para cada espécie, colunas seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

Os nutrientes contidos no bio sólido encontram-se em grande parte na forma orgânica, e tendem a serem liberados gradativamente no substrato por meio da mineralização, aumentando assim a absorção de nutrientes pelas plantas e diminuindo os riscos de perda por lixiviação (MELO; MARQUES, 2000), apresentando assim, mudas com maior crescimento onde haviam maiores proporções de bio sólido.

Nos processos de avaliação das mudas, a altura e o diâmetro são considerados um dos parâmetros mais antigos na classificação e seleção de mudas e continuam apresentando contribuição importante, os mesmos não devem ser analisados separadamente. Quanto mais parâmetros forem analisados conjuntamente, maior será a certeza de qualidade da muda produzida.

Na Tabela 5 são apresentados outros parâmetros analisados para avaliação da qualidade das mudas das quatro espécies florestais. Observa-se, que de maneira geral, as mudas produzidas com 50 ou 100% de bio sólido

apresentaram melhor qualidade. Segundo Rocha et al. (2013), a relação altura/diâmetro (H/D) constitui um dos parâmetros mais usados para avaliar a qualidade de mudas florestais, pois, além de refletir o acúmulo de reservas, assegura maior resistência e melhor fixação no solo após o plantio. Com exceção das mudas de *Anadenanthera macrocarpa* do tratamento T3, que apresentaram média 12,27 de relação H/D, o restante das mudas obtiveram valores abaixo de 10, padrão considerado bom e recomendado por Birchler et al. (1998). Mudas com alta relação H/D podem apresentar estiolamento e menor índice de sobrevivência no campo, devido ao tombamento decorrente dessa característica, podendo resultar em morte ou deformações das plantas no campo.

**Tabela 5: Características de qualidade de mudas de quatro espécies florestais produzidas em substrato comercial com proporções crescentes de bio-sólidos em sua composição, aos 134 dias após a semeadura.**

Trat.	Composição SC: BIO	H/D ---	MSPA (g planta <sup>-1</sup> )	MSR (g planta <sup>-1</sup> )	MSPA/MSR ---	IQD ---
<i>Angico vermelho (Anadenanthera macrocarpa)</i>						
T1	100:0	8,20 c	0,44 b	0,79 b	0,55 c	0,14 b
T2	75:25	9,45 bc	2,03 a	2,02 a	1,01 b	0,38 a
T3	50:50	12,27 a	2,15 a	1,44 ab	1,50 a	0,26 ab
T4	0:100	9,86 b	2,29 a	1,75 a	1,36 a	0,36 a
<i>Aroeira vermelha (Schinus terebinthifolius)</i>						
T1	100:0	6,59 ab	2,12 c	2,59 c	0,82 a	0,63 d
T2	75:25	6,47 ab	2,77 b	3,60 b	0,77 a	0,88 c
T3	50:50	7,25 a	3,75 a	5,82 a	0,65 b	1,21 b
T4	0:100	6,12 b	4,10 a	5,68 a	0,72 ab	1,43 a
<i>Embiruçu (Pseudobombax grandiflorum)</i>						
T1	100:0	1,68 c	4,18 b	4,18 b	1,00 b	3,12 a
T2	75:25	1,96 bc	4,65 ab	4,19 b	1,11 b	3,09 a
T3	50:50	2,26 ab	5,30 ab	4,60 a	1,15 b	3,18 a
T4	0:100	2,35 a	6,46 a	4,77 a	1,35 a	3,62 a
<i>Ipê roxo (Handroanthus heptaphyllus)</i>						
T1	100:0	4,76 a	2,13 c	2,49 c	0,85 bc	0,82 b
T2	75:25	5,41 a	2,92 b	4,04 a	0,72 c	1,13 a
T3	50:50	4,86 a	3,71 a	3,54 ab	1,06 b	1,24 a
T4	0:100	5,18 a	3,90 a	2,84 bc	1,37 a	1,03 ab

Para cada espécie, médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

Delarmelina et al. (2013) alertam que este índice é altamente variável de acordo com a espécie, necessitando de maiores estudos para determinação de classes de valores ótimos para espécies da flora brasileira. Esta variabilidade pode ser observada no presente trabalho, visto a heterogeneidade dos valores encontrados para as diferentes espécies. Provavelmente o principal fator atuante na relação H/D seja a estratégia de crescimento da espécie. Por exemplo, foi observado que as mudas de embiruçu primeiramente priorizam a acumulação de reservas no coleto para depois investir em crescimento em altura e, portanto, apresentaram os baixos valores de relação H/D até a idade avaliada. Já angico vermelho que, normalmente, na fase de viveiro tende a crescer mais em altura, e consequentemente apresentar maiores valores de H/D.

Em relação a matéria seca da parte aérea (MSPA), observa-se pela Tabela 5 que para as espécies *Schinus terebinthifolius* e *Handroanthus heptaphyllus* as maiores médias foram alcançadas pelas mudas dos tratamentos T3 e T4. Já para as espécies *Anadenanthera macrocarpa* e *Pseudobombax grandiflorum* não houve diferenças

estatísticas entre os tratamentos que continham biossólido em sua composição. Estes resultados corroboram os obtidos por Rocha et al. (2013) para *Eucalyptus* sp. e Padovani (2006) para *Inga uruguensis* e *Lafoensia glyptocarpa*, que constataram que o biossólido influenciou positivamente no incremento em MSPA. Os autores atribuem o maior incremento em MSPA à maior disponibilidade de nutrientes no biossólido, principalmente N e P, conforme também evidenciado neste trabalho (Tabela 3). Segundo Marschner (1997), o N é requerido em grande quantidade para produção de novos tecidos e junto ao P são considerados os nutrientes que mais limitam o crescimento e desenvolvimento das plantas.

Para a matéria seca radicular (MSR), as espécies *Schinus terebinthifolius* e *Pseudobombax grandiflorum* apresentaram as maiores médias nos tratamentos T3 e T4. A espécie *Anadenanthera macrocarpa* obteve os maiores valores nos tratamentos que continham biossólido (T2, T3 e T4), não diferindo estatisticamente entre si. Desta forma, pode-se inferir que assim como para a MSPA, o maior incremento em MSR está possivelmente relacionado a maior concentração de nutrientes no biossólido.

Já para o *Handroanthus heptaphyllus* as menores médias de MSR foram obtidas nos tratamentos T1 e T4, que não diferiram estatisticamente entre si. Ratificando assim a importância da interação positiva entre as características físicas e químicas dos dois substratos dependendo da ecofisiologia da espécie. Embora o substrato comercial possua um adequado balanço entre macro e microporos, aliado a uma menor densidade (Tabela 4), o que seria favorável ao crescimento radicular, o mesmo não possui características químicas adequadas, o que pode ter prejudicado o crescimento do sistema radícula das mudas do tratamento T1 (substrato comercial). Já no tratamento T4 (biossólido), que apresenta maior disponibilidade de nutrientes, as características físicas não permitiram pleno crescimento das raízes da espécie. Segundo Gonçalves; Poggiani (1996) a formação do sistema radicular está associado, entre outros fatores, com a capacidade de aeração, drenagem, retenção de água e disponibilidade balanceada de nutrientes do substrato.

Para um melhor entendimento da MSPA e da MSR, é interessante avaliar a relação entre estas variáveis (ROCHA et al., 2013). Caldeira et al. (2008) defendem que a relação MSPA/MSR deve ser de 2:1 para demonstrar adequado equilíbrio entre parte aérea e sistema radicular. Já José et al. (2009) acreditam que esse balanço deve ser menor que 2,0 para que o sistema radicular tenha um tamanho suficiente para permitir o suprimento adequado de água para parte aérea.

Levando-se em consideração os valores referenciais encontrados na literatura, pode-se afirmar que as mudas das diferentes espécies apresentaram valores aceitáveis para este índice de qualidade. Nota-se ainda, que com exceção da espécie *Schinus terebinthifolius*, os menores valores deste índice foram encontrados no tratamento só com o substrato comercial. Segundo Caldeira et al. (2013), a relação MSPA/MSR é menor em ambientes de menor fertilidade, podendo ser considerada estratégia da planta para retirar o máximo de nutrientes naquela condição.

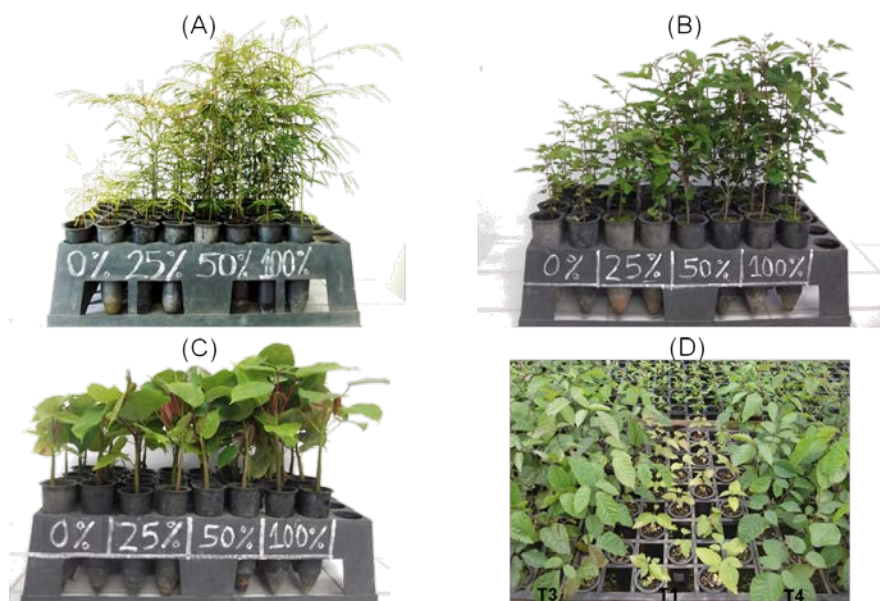
Ainda tratando dos parâmetros de qualidade, o índice de qualidade de Dickson (IQD) é um dos mais completos para avaliação da qualidade de mudas florestais, pois em seu cálculo são considerados a robustez (relação H/D) e o equilíbrio da distribuição da biomassa na muda (massa seca total e relação MSPA/MSR), ponderando os resultados de vários parâmetros importantes empregados para avaliação da qualidade (CALDEIRA et al., 2008). Quanto maior o valor do IQD, melhor é a qualidade das mudas dentro daquele lote. Altos valores de IQD são alcançados quando as mudas possuem baixo valor de relação H/D (mudas sem estiolamento), baixo valor de relação MSPA/MSR (mudas com sistema radicular capaz de suprir a parte aérea), e um alto valor de matéria seca total.

Para as espécies *Anadenanthera macrocarpa* e *Handroanthus heptaphyllus*, os tratamentos que continham biossólido em sua composição (T1, T2 e T3) apresentaram as maiores médias de IQD e não diferiram estatisticamente entre si. Para a espécie *Pseudobombax grandiflorum* não houve diferenças estatísticas de IQD entre os tratamentos, mostrando que apesar das mudas produzidas com biossólido apresentarem maiores médias de crescimento, todas apresentaram o mesmo padrão de crescimento, ou seja, as mudas cresceram balanceadamente em todos os tratamentos. Já a espécie *Schinus terebinthifolius* mostrou-se altamente responsiva à presença de biossólido no substrato, apresentando diferenças estatísticas de IQD entre todos os tratamentos, com as maiores médias no tratamento com 100% de biossólido e as menores no tratamento apenas com substrato comercial.



Acredita-se que quando as mudas de diferentes tratamentos apresentam o mesmo índice de qualidade, deve-se escolher aquelas que sobressaíram em relação as variáveis mais atrativas para seu estabelecimento e crescimento em campo, podendo ser altura, diâmetro ou sistema radicular.

De maneira geral, pode-se inferir que o biossólido contribuiu positivamente para o crescimento das mudas, independentemente da espécie. Pode-se observar ainda pela Figura 3, que as mudas que receberam biossólido em sua composição, apresentaram qualidade visivelmente superior aquelas do tratamento apenas com substrato comercial.



**Figura 3:** Mudanças de A - *Anadenanthera macrocarpa* (angico vermelho); B - *Schinus terebinthifolius* (aroeira pimenteira); C - *Pseudobombax grandiflorum* (embiruçu); e D - *Handroanthus heptaphyllus* (ipê roxo) sob diferentes concentrações de biossólido (percentagem em sequência crescente) e substrato comercial, aos 134 dias após a semeadura.

É possível observar também para todas as espécies, gradual diferença de coloração na folhagem das mudas na medida em que aumentou-se a proporção de biossólido no substrato. As mudas produzidas exclusivamente com biossólido (100%) apresentaram coloração verde escura, típica de mudas bem nutridas, e as produzidas apenas com substrato comercial (0%), folhas amareladas, indicando haver sintomas de deficiência de nutrientes. Aliado às demais características, este fato pode credenciar o biossólido como um material com reais potenciais para aumento da qualidade, crescimento e nutrição de mudas florestais.

## CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

O biossólido da ETE Alegria apresentou elevado potencial para composição de substratos na produção de mudas florestais, podendo inclusive ser utilizado na proporção de 100%.

Este tipo de disposição final pode trazer benefícios tanto para os geradores de lodo, que dispõem um resíduo de forma mais sustentável, como para os empreendedores florestais, que recebem um material de excelente qualidade, capaz de diminuir custos de produção e aumentar a produtividade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABREU, A. H. M. Biossólido na produção de mudas florestais da Mata Atlântica. 2014. 76 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.
2. CALDEIRA, M. V. W. et al. Biossólido na composição de substrato para a produção de mudas de *Tectona grandis*. Floresta, Curitiba, v. 42, n. 1, p. 77-84, 2012.
3. CALDEIRA, M. V. W. et al. Composto orgânico na produção de mudas de aroeira-vermelha. Scientia Agraria, Piracicaba, v. 9, n. 1, p. 27-33, 2008.
4. CARVALHO, P. E. R. Espécies arbóreas brasileiras. Brasília, DF: Embrapa. Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 2006.
5. DELARMELINA, W. M. et al. Uso de lodo de esgoto e resíduos orgânicos no crescimento de mudas de *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. Agroambiente on-line, Dourados, v.7, n.2, p.184 – 192, 2013.
6. DURIGAN, G. et al. Sementes e mudas de árvores tropicais. 2<sup>o</sup> Edição. São Paulo: Páginas & letras editora e gráfica. 2002. 65p.
7. FERRAZ, M. V.; CANTURION, J. F.; BEUTLER, A. N. Caracterização física e química de alguns substratos comerciais. Acta Scientiarum Agronomy, Maringá, v. 27, n. 2, p. 209-214, 2005.
8. GONÇALVES, J. L. M.; POGGIANI, F. Substrato para produção de mudas florestais. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13. 1996, Águas de Lindóia. Resumos expandidos... Campinas: SBSC, 1996. p. 133 - 180.
9. GUERRINI, I. A.; TRIGUEIRO, R. M. Atributos físicos e químicos de substratos compostos por biossólidos e casca de arroz carbonizada. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 1069-1076, 2004.
10. JOSÉ, A. C.; DAVIDE, A. C.; OLIVEIRA, S. L. de. Efeito do volume do tubete, tipo e dosagem de adubo na produção de mudas de aroeira (*Schinus terebinthifolia* Raddi). Agrarian, Dourados, v. 2, n. 3, p. 73-86, 2009.
11. KRATZ, D.; WENDLING, I. Produção de mudas de *Eucalyptus dunnii* em substratos renováveis. Floresta, Curitiba, v. 43, n.1, p. 125 – 136, 2013.
12. MARSCHNER, H. Mineral Nutrition of higher plants. 2. ed. San Diego: Academic Press, 1997. 889 p.
13. MARTINS, S. V. Recuperação de matas ciliares. Viçosa: Ed. Aprenda fácil, 2001. 75 p.
14. MELO, W. J.; MARQUES, M. O. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. Impacto ambiental do uso do lodo de esgoto. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000.
15. MODESTO, P. T. et al. Alterações em algumas propriedades de um latossolo degradado com uso de lodo de esgoto e resíduos orgânicos. Revista brasileira de ciência do solo, Viçosa, v.33, n.1, p.1489-1498, 2009.
16. PADOVANI, V. C. R. Composto de lodo de esgoto como substrato para produção de mudas de árvores nativas e exóticas. 2006. 136p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
17. RICCI, A. B. et al. Uso de lodo de esgoto estabilizado em um solo decapitado: atributos físicos e revegetação. Revista Brasileira de Ciência do solo, Viçosa, v.34, n.1, p.535-542.2010.
18. ROCHA, J. H. T. et al. Composto de lodo de esgoto como substrato para mudas de eucalipto. Pesquisa Florestal Brasileira, Colombo, v.33, n.73, p. 27 – 36, 2013.
19. SCHEER, M. B.; CARNEIRO, C.; SANTOS, K. G. Substratos à base de lodo de esgoto compostado na produção de mudas de *Parapiptadenia rígida* (Benth.) Brenan. Scientia Forestalis, Piracicaba, v. 38, n. 88, p. 637-644, 2010.
20. SOUZA, S. R; FERNANDES, M. S. Nitrogênio. In: FERNANDES, M. S. Nutrição mineral de plantas. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 432 p. 2006.