

Substratos à base de lodo de esgoto compostado na
produção de mudas de *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan*Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan seedling production
using substrates based on composted sewage sludgeMaurício Bergamini Scheer¹, Charles Carneiro² e Kaline Gomes dos Santos³**Resumo**

Considerando o problema da destinação do lodo de esgoto de estações de tratamento e a crescente necessidade de produção de mudas florestais, este trabalho teve os seguintes objetivos: (1) avaliar o crescimento de *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan (gurucaia) em substratos de lodo de esgoto aeróbio compostado com restos de podas de árvores trituradas, com diferentes níveis de fertilizante e; (2) comparar o crescimento das mudas produzidas com os substratos à base de lodo de esgoto com o uso de substrato comercial, amplamente utilizado em viveiros florestais. O experimento foi conduzido em casa de vegetação entre junho e outubro de 2008 e em área de rustificação entre novembro de 2008 e janeiro de 2009, no viveiro florestal do Passaúna, pertencente à Campanha de Saneamento do Paraná - SANEPAR, localizado no município de Araucária, PR. Foram testados três níveis (0; 2,7 e 4,0 g dm⁻³) de fertilizante granulado de liberação lenta (N-P₂O₅-K₂O - 15-9-12) em três tipos de substratos: (1) substrato comercial de casca de *Pinus* (*Pinus* sp.) compostada e vermiculita; (2) substrato na proporção 3:1 (v:v), composto de resíduos de podas de árvores trituradas compostadas com lodo de esgoto aeróbio; e (3) substrato 2:1 (v:v), composto de resíduos de podas de árvores trituradas compostadas com lodo de esgoto aeróbio. As seguintes variáveis foram mensuradas: altura, diâmetro de colo, número de folhas, biomassa seca aérea (folhas e ramos) e de raízes. A qualidade das mudas foi avaliada pelo índice de Dickson. Os resultados de crescimento com o uso dos substratos à base de lodo de esgoto compostado foram maiores do que com o substrato comercial. Apesar de ambos compostos com lodo responderem bem a fertilização mineral, os nutrientes existentes neles foram suficientes para a formação de mudas saudáveis. Os melhores resultados foram obtidos utilizando o composto 3:1. Comparando todos os tratamentos com adubação intermediária (2,7 g de fertilizante por dm⁻³ de substrato), em relação ao substrato comercial, os valores obtidos com os compostos à base de lodo foram em torno de 47% mais altos para a variável altura, 23% para diâmetro de colo, 80% para a biomassa seca de ramos e 107% para a biomassa seca de folhas.

Palavras-chave: Angico, Biossólido, Crescimento, Fertilizante granulado, Viveiro florestal**Abstract**

The need for sewage sludge disposal and the need for forest seedling production led us to perform this work. The aims of this study were: (1) to evaluate the performance of *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan (gurucaia) grown on composted substrates prepared with aerobic sewage sludge and ground tree pruning under different levels of fertilization; and (2) to compare the performance of *P. rigida* seedlings grown on substrates based on sewage sludge to those grown on commercial substrate. The experiment was conducted in a shadehouse (from June/08 to Oct/08) and in an outdoor growing area (from Nov/08 to Jan/09) at SANEPAR's Passaúna Forest Nursery, Paraná state, Southern Brazil. Three different substrates were used: (1) commercial substrate based on composted pine bark (*Pinus* sp.) and vermiculite; (2) 3:1 (v:v) composted crushed tree pruning and aerobic sewage sludge, and (3) 2:1 (v:v) composted crushed tree pruning and aerobic sewage sludge. The following variables were measured: seedling height, diameter and number of leaves as well as leaf, branch and root biomass. The Dickson index was used to evaluate seedling quality. Higher growth rates were observed on seedlings grown on substrates containing sewage

¹Doutor, pesquisador da Assessoria de Pesquisa e Desenvolvimento - APD/DMA da Companhia de Saneamento do Paraná - SANEPAR. Rua Engenheiros Rebouças, 1376, Rebouças, CEP 80215-900, Curitiba, PR, Brasil. E-mail: mauriciobs@sanepar.com.br

²Doutor, pesquisador e gerente da Assessoria de Pesquisa e Desenvolvimento - APD/DMA da Companhia de Saneamento do Paraná - SANEPAR. Rua Engenheiros Rebouças, 1376, Rebouças, CEP 80215-900, Curitiba, PR, Brasil. E-mail: charlesc@sanepar.com.br

³Acadêmica do Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná - UFPR. Av. Pref. Lothário Meissner, 900, Jardim Botânico, Campus III. CEP 80210-170, Curitiba, PR, Brasil. E-mail: kalinegs@hotmail.com

sludge than on those containing commercial substrate. The best results were obtained using the 3:1 substrate, but it was possible to obtain healthy seedlings using both proportions (3:1 or 2:1 v:v) of sewage sludge under intermediate fertilization level (2,7 g dm⁻³). Comparing the 3:1 (v:v) treatment and the commercial substrate, seedlings grown on the 3:1 (v:v) treatment were 47% taller, had larger (23%) diameter, had 107% more leaves and their branch biomass values were 80% higher. Even though the seedlings respond better to additional fertilizer, the sewage sludge-based substrates per se were enough for the growth of healthy seedlings irrespective of the proportion used.

Keywords: Angico, Biosolid, Growth, Granulated fertilizer, Forest nursery

INTRODUÇÃO

O angico-gurucaia, *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan, Mimosaceae, ocorre naturalmente na Floresta Decidual austral, na Floresta Estacional Semidecidual, avançando em menor escala, na Floresta Ombrófila Mista (CARVALHO, 1994). Tal espécie florestal tem relevante importância na restauração de florestas ciliares, sendo mais freqüente nas matas abertas e menos densas e, notadamente, nas associações secundárias mais evoluídas (LORENZI, 2002). A gurucaia é particularmente valiosa por sua adaptação a solos rasos, principalmente os derivados de basalto (CARVALHO, 1994). As árvores podem atingir até 35 m de altura e DAP de até 1,2 m. Sua madeira é de alta durabilidade, com excelentes características físicas e mecânicas, normalmente utilizada na construção civil, em pontes e como dormentes ferroviários. A lenha é considerada de muito boa qualidade e a casca possui reconhecida propriedade medicinal, além de ser rica em tanino, com ampla utilização na indústria de curtume (CARVALHO, 1994).

Como para a produção de inúmeras outras espécies florestais nativas, mudas de gurucaia atualmente são produzidas em substratos comerciais à base de casca de *Pinus* compostada, os quais dependem de fertilização para o desenvolvimento de mudas e apresentam baixa capacidade de retenção hídrica. Portanto, são desejáveis materiais alternativos para produção de substratos que não apresentem tais limitações.

Segundo Pegorini *et al.* (2002), a disposição final do lodo de esgoto vem se caracterizando como um dos problemas ambientais urbanos mais relevantes da atualidade, e que cresce diariamente tanto nos países desenvolvidos quanto naqueles em desenvolvimento, reflexo da ampliação das redes de coleta e incremento dos níveis de tratamento. A destinação do lodo que é gerado nas Estações de Tratamento de Esgoto - ETEs é um grande problema ambiental para as empresas de saneamento.

Os lodos gerados pelos processos físicos e biológicos das ETEs apresentam algumas características indesejáveis, tais como odores desagradáveis, presença de microrganismos patogênicos, elementos tóxicos e dificuldade de desidratação, que dificultam sua manipulação e processamento (AISSE *et al.*, 2001). Portanto, são necessários processos que promovam a higienização e acelerem sua estabilização, como a adição de cal ou a compostagem.

A estabilização e higienização do lodo através de compostagem bem conduzida pode apresentar alta eficiência na eliminação de micro patógenos e, com isso pode ser obtido um produto final de alta qualidade agrônômica (AISSE *et al.*, 2001), atendendo normas rigorosas de utilização segundo Resolução CONAMA n° 375/2006 (BRASIL, 2006).

Diversas pesquisas têm estudado diferentes composições de substratos para a produção de mudas em viveiros (BONNET *et al.*, 1999; TELES *et al.*, 1999; TRIGUEIRO; GUERRINI, 2003; CUNHA *et al.*, 2006; FAUSTINO *et al.*, 2005). Um dos aspectos mais promissores da utilização de lodo de esgoto como um dos componentes é como fonte de macro e micronutrientes (BONNET *et al.*, 1999; TELES *et al.*, 1999; TRIGUEIRO; GUERRINI, 2003; FAUSTINO *et al.*, 2005; CUNHA *et al.*, 2006). No entanto, deve-se considerar os arranjos percentuais destes componentes, já que resultam em diferentes quantidades de nutrientes, oxigênio e capacidades de retenção hídrica (TRIGUEIRO; GUERRINI, 2003). Além do benefício ambiental, o uso de lodo de esgoto na composição de substratos permite uma economia na adubação suplementar e melhorias no percentual de aproveitamento do viveiro (BONNET *et al.*, 1999). Trigueiro e Guerrini (2003), em pesquisa utilizando lodo de esgoto para a produção de mudas de eucalipto, obtiveram uma economia de fertilizante na ordem de 64%.

Bonnet *et al.* (1999) ressaltaram que são raras as experiências documentadas na literatura

nacional e internacional sobre o uso de lodos de esgotos na produção de mudas florestais.

Considerando o problema da destinação do lodo e a falta de informações sobre a produção de mudas nativas (SCHUMACHER *et al.*, 2004), este trabalho teve os seguintes objetivos: (1) avaliar o crescimento de *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan (gurucaia) em substratos de lodo de esgoto aeróbio compostado com restos de podas de árvores trituradas, com diferentes níveis de fertilizante e; (2) comparar o crescimento das mudas produzidas com os substratos à base de lodo de esgoto com o uso de substrato comercial, amplamente utilizado em viveiros florestais.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, entre junho de 2008 e outubro de 2008, e em área de rustificação, entre novembro de 2008 e janeiro de 2009, no viveiro florestal do Passaúna, pertencente à Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR), no município de Araucária, Paraná. O viveiro localiza-se nas coordenadas 25°32'03" S e 49°23'15" O, em altitude de 900 m. O clima da região segundo Köppen é Cfb, com temperatura média anual entre 16 e 18 °C e com precipitação média anual entre 1400 e 1600 mm (CAVIGLIONE *et al.*, 2000).

Três tipos de substratos foram testados: (1) substrato comercial de casca de *Pinus* composta e vermiculita; (2) substrato à base de resíduos de podas de árvores trituradas compostadas com lodo de esgoto aeróbio da ETE Belém/Curitiba/SANEPAR, na proporção 3:1 (v:v); e (3) substrato à base de resíduos de podas de árvores trituradas compostadas com lodo de esgoto aeróbio - proporção 2:1 (v:v). Considerando as concentrações totais de metais pesados (análises realizadas no Laboratório de Pesquisas Hidrogeológicas da Universidade Federal do Paraná - UFPR, segundo metodologia da APHA, 1998; Tabela 1) e parâmetros parasitológicos (análises realizadas no Laboratório de Parasitologia Molecular - UFPR, segundo metodologia de TOMAZ SOCCOL *et al.*, 2000; Tabela 2), os substratos higienizados através da compostagem estão aptos para a utilização agrícola, atendendo as Resoluções CONAMA n° 375/2006 (BRASIL, 2006) e SEMA/PR n° 021/2009 (PARANÁ, 2009). Cada substrato foi submetido a três níveis de fertilização: (1) sem fertilizante; (2) com 2,7 g de fertilizante granulado (N-P₂O₅-K₂O - 15-9-12) de

liberação lenta (5-6 meses) por dm³ e (3) com 4,0 g do mesmo fertilizante por dm³, totalizando nove tratamentos (análises de teores totais de macro e micronutrientes realizadas no Laboratório de Nutrição de Plantas - UFPR, segundo MARTINS; REISSMANN, 2007; Tabela 3), com 4 repetições cada. A produção padrão de mudas nos viveiros florestais SANEPAR utiliza a dose de 2,7 g do fertilizante granulado citado acima em conjunto com o substrato comercial de casca de *Pinus* composta e vermiculita. A dose de 4,0 g (50% maior) foi escolhida para verificar se maiores níveis de fertilizante resultam em maior crescimento das mudas.

As sementes de *P. rigida* foram obtidas com o Instituto Ambiental do Paraná (IAP), coletadas no município de Rio Branco do Sul, Paraná. A semeadura foi realizada manualmente a 0,5 cm de profundidade, diretamente em tubetes plásticos com formato cônico e capacidade de 110 cm³, encaixados em bandejas. Foram colocadas duas sementes por tubete. Diariamente foram realizadas duas regas, tanto no período na casa de vegetação quanto na área de rustificação, sendo uma pela manhã e outra à tarde, por microaspersores.

Tabela 1. Concentrações totais de metais pesados em amostra composta pelos dois substratos à base de lodo de esgoto e de podas de árvores trituradas utilizados como substratos.

Table 1. Total concentration of heavy metals in a sample combining two substrates based on sewage sludge and crushed tree pruning.

Al	Cd	Pb	Na	Cr
%				
0,86	<0,001	<0,005	<0,01	<0,005

Tabela 2. Parâmetros parasitológicos (ovos viáveis por grama de sólidos totais) dos compostos a base de lodo de esgoto e de resíduos de podas de árvores trituradas utilizados como substratos

Table 2. Parasitological results (viable eggs per gram of total solids) of the composted substrates.

Helminto	Composto	
	3:1	2:1
<i>Ascaris</i> sp.	0	0,05
<i>Toxocara</i> sp.	0	0,01
<i>Trichuris trichiura</i>	0	0,00
<i>Trichuris vulpis</i>	0	0,01
Trichuroidea	0	0,01
<i>Hymenolepis diminuta</i>	0	0,01
<i>Taenia</i> sp.	0	0,00
Total Geral	0	0,10
Protozoários	0,28	0,38

*análises realizadas em triplicatas

*all in triplicates

Tabela 3. Concentrações totais de macro e micronutrientes nos tratamentos testados.
Table 3. Total macro and micronutrient concentrations of the substrates.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
Substrato / Fertilizante (g dm ⁻³)	(g kg ⁻¹)					(mg kg ⁻¹)			
Comercial / 0	5,8	2,6	2,1	12,9	9,23	5780	78	12	9
Comercial / 2,7	5,0	2,2	2,8	11,5	9,86	7475	117	18	13
Comercial / 4,0	5,7	2,5	3,5	6,5	5,63	6266	105	27	16
Composto 3:1 / 0	19,6	8,0	2,7	17,1	4,49	10793	371	66	103
Composto 3:1 / 2,7	20,6	8,2	4,9	19,4	5,27	9233	378	72	100
Composto 3:1 / 4,0	20,9	8,3	6,2	18,2	4,98	8887	367	86	105
Composto 2:1 / 0	19,3	8,4	2,9	16,0	4,17	10388	395	73	117
Composto 2:1 / 2,7	20,1	8,5	4,6	16,8	4,40	9873	406	86	117
Composto 2:1 / 4,0	22,0	8,3	5,4	16,0	4,47	10456	385	38	118

Nos tubetes em que as duas plantas germinaram procedeu-se o raleamento pelo corte da muda menos desenvolvida. Adiante, foi avaliado um número mínimo de 10 plantas úteis, descartando-se as plantas das bordaduras. Quando as mudas atingiram sete meses de idade, foram mensuradas as seguintes variáveis: altura, diâmetro de colo, número de folhas e, biomassa seca aérea (folhas e ramos) e de raízes. A altura foi medida com régua graduada e o diâmetro médio com um paquímetro digital (0,01 mm). Para obtenção dos dados de biomassa, foram cortadas na base do caule três plantas por repetição e em seguida dispostas em embalagens de papel e submetidas à secagem em estufa a 60 °C por 72 horas. O material vegetal seco foi separado em folhas e ramos, e estes foram pesados em balança analítica (precisão 0,001 g) e em seguida descartados. O mesmo procedimento foi realizado para biomassa das raízes, porém após lavagem com água para retirar o substrato aderido. Para avaliar a qualidade das mudas, foi calculado o índice de qualidade de Dickson - IQD, conforme Marana *et al.* (2008), sendo:

$$IQD = \text{matéria seca total} / (\text{RAD} + \text{RBAR})$$

onde:

RBAR: relação da biomassa seca aérea com a biomassa seca de raízes (em g);

RAD: relação da altura (em cm) com o diâmetro de colo (em mm);

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado em arranjo fatorial 3 x 3 (três tipos de substrato x três níveis de fertilização). Após o teste de Bartlett para a verificação da homogeneidade das variâncias e outras condicionantes, foram realizadas análises de variância e testes de Tukey (5% de probabilidade) para a comparação das médias.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme esperado, os compostos à base de lodo de esgoto são suficientes para produção de mudas de *Parapiptadenia rigida* com qualidade, sem necessariamente, usar fertilização mineral, apresentando vantagens em relação ao substrato comercial (Tabelas 4, 5, 6 e 7). Para todas as variáveis medidas, os valores utilizando os substratos 3:1 e 2:1 sem fertilização mineral foram similares ou maiores aos valores obtidos pelo composto comercial com a adição de 2,7 g dm⁻³ de fertilizante (Tabelas 4, 5 e 6). Teles *et al.* (1999) estudaram a utilização de substratos preparados a partir de misturas de diferentes concentrações de lodos higienizados com material de subsolo nas proporções 0, 25, 50, 75 e 100% para a produção de mudas de Tamboril (*Enterolobium contortisiliquum* Vell. Morong.). No trabalho realizado por estes autores, os tratamentos utilizando lodo caledado prejudicaram o crescimento das mudas devido ao seu alto pH. No entanto, todos os tratamentos com lodo higienizado pela pasteurização apresentaram um desenvolvimento maior do que o apresentado pela testemunha (subsolo). Resultados similares foram obtidos por Faustino *et al.* (2005) e por Cunha *et al.* (2006), em que doses maiores de lodo de esgoto resultaram em maior crescimento das mudas florestais testadas. Paiva *et al.* (2009), testando lodo de esgoto como fertilizante, também verificaram que a maior dose testada levou a resultados similares aos do tratamento com fertilização mineral, com tendência de resultados ainda maiores com doses mais elevadas. Tais informações concordam com o presente estudo, indicando um maior crescimento das mudas com a utilização de lodo de esgoto.

Tabela 4. Médias de altura e diâmetro de colo das mudas de *Parapiptadenia rigida*, em três tipos de substratos e fertilizantes.

Table 4. Mean height and stem diameter of *Parapiptadenia rigida* grown on in three types of substrates and fertilizers.

Substrato	Altura (cm)			Diâmetro (mm)		
	Fertilizante (g dm ⁻³)					
	0	2,7	4,0	0	2,7	4,0
Comercial	9,2 cC	29,3 cB	33,7 cA	1,6 cC	3,8 bB	4,1 cA
Composto 3:1	30,4 bC	41,6 bB	52,4 aA	3,7 bC	4,6 aB	5,2 aA
Composto 2:1	36,1 aB	45,2 aA	42,8 bA	4,2 aB	4,7 aA	4,5 bA

As médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e da mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, estatisticamente, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 5. Médias de biomassa dos ramos e biomassa das folhas das mudas de *Parapiptadenia rigida*, em três tipos de substratos e fertilizantes.

Table 5. Branch and leaf biomass of *Parapiptadenia rigida* seedlings grown on three types of substrates and fertilizers.

Substrato	Biomassa - Ramos (g)			Biomassa - Folhas (g)		
	Fertilizante (g dm ⁻³)					
	0	2,7	4,0	0	2,7	4,0
Comercial	0,04 cB	0,77 bA	0,90 bA	0,12 bB	0,74 bA	0,83 cA
Composto 3:1	0,75 bC	1,31 aB	1,67 aA	0,83 aB	1,52 aA	1,89 aA
Composto 2:1	1,07 aB	1,47 aA	1,44 aA	1,20 aA	1,54 aA	1,30 bA

As médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e da mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, estatisticamente, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 6. Médias da biomassa aérea (folhas + ramos) e número de folhas das mudas de *Parapiptadenia rigida*, em três tipos de substratos e níveis de fertilização.

Table 6. Mean aboveground biomass (leaves + branches) and number of leaves of *Parapiptadenia rigida* seedlings grown on three types of substrates and fertilization levels.

Tratamentos	Fertilizante (g dm ⁻³)	Biomassa aérea (g)	Número de folhas
Substrato		Médias e desvios-padrão	Médias e desvios-padrão
Comercial	0	0,18 ± 0,02 f	4,88 ± 0,43 b
Comercial	2,7	2,50 ± 0,35 e	10,02 ± 0,38 a b
Comercial	4,0	3,55 ± 0,56 d e	10,00 ± 0,95 a b
Composto 3:1	0	3,06 ± 0,34 d e	10,80 ± 0,74 a
Composto 3:1	2,7	5,16 ± 0,36 c d	15,05 ± 6,31 a
Composto 3:1	4,0	6,89 ± 0,39 a b c	12,67 ± 0,22 a
Composto 2:1	0	6,28 ± 1,32 b c	11,68 ± 0,45 a
Composto 2:1	2,7	9,02 ± 1,35 a	11,78 ± 0,41 a
Composto 2:1	4,0	8,20 ± 1,99 a b	12,50 ± 0,69 a

As médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si, estatisticamente, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 7. Médias do índice de Qualidade de Dickson das mudas de *Parapiptadenia rigida*, em três tipos de substratos em três níveis de fertilização.

Table 7. Dickson Quality Indexes of *Parapiptadenia rigida* seedlings grown on three types of substrates in three fertilization levels.

Substrato	Índice de qualidade de Dickson		
	Fertilizante (g dm ⁻³)		
	0	2,7	4,0
Comercial	0,28 bB	0,30 cB	0,36 bA
Composto 3:1	0,35 aA	0,36 bA	0,36 bA
Composto 2:1	0,37 aB	0,49 aA	0,49 aA

As médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e da mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, estatisticamente, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Em relação ao substrato comercial, usando o nível intermediário de fertilização mineral (2,7 g dm⁻³), foi possível obter valores 42 e 52% maiores para a altura nos substratos 3:1 e 2:1, respectivamente. Valores 21 e 24% maiores foram obtidos para o diâmetro de colo 70 e 90%

para biomassa de ramos 105 e 108% maiores para a biomassa de folhas. Os IQD's das mudas neste nível de fertilização também apontam melhores resultados (maiores valores) para os compostos à base de lodo de esgoto (Tabela 7). Tais resultados, aliados a uma boa qualidade (firmeza e agregação) dos torrões e a facilidade de liberação da muda (constatação no viveiro durante a medição), indicam o alto potencial da utilização do lodo de esgoto aeróbio compostado. O melhor desenvolvimento das mudas, por si só, indica que os compostos à base de lodo compostado apresentam boas qualidades físico-hídricas e nutricionais.

Substrato como fator principal

Entre os substratos avaliados sem a adição de fertilizante, o substrato 2:1 promoveu o maior crescimento em altura, em diâmetro de colo,

biomassa de ramos e biomassa aérea ($P < 0,05$, Tabelas 4, 5 e 6). Considerando a adição de $2,7 \text{ g dm}^{-3}$ de fertilizante, os valores para os compostos com lodo de esgoto foram estatisticamente maiores ($P < 0,05$) ao substrato comercial com a mesma dose de fertilizante, para todas as variáveis mensuradas, exceto o número de folhas (Tabelas 4, 5 e 6). Entre os dois compostos à base de lodo de esgoto com $2,7 \text{ g dm}^{-3}$ de fertilizante, somente a média das alturas e das biomassas aéreas do composto 2:1 apresentaram valores estatisticamente maiores do que a composição 3:1. Tais resultados indicam que, nas condições do presente estudo, os dois substratos, 3:1 e 2:1, se aproximam da ideal para o crescimento das mudas. Silva *et al.* (2004) avaliaram o desenvolvimento de mudas de *Eucalyptus grandis* W. Hill em diferentes composições de substratos produzidos a partir de lodo e material vegetal (podas de árvores). Os melhores resultados foram com 15 e 30% de composto a base de lodo de esgoto em solo. Proporções similares a do presente estudo e com bons resultados, porém de lodo não compostado ou de composto de lodo misturado a outros substratos, foram observadas por diversos autores (BONNET *et al.*, 1999; TRIGUEIRO; GUERRINI, 2003; NÓBREGA *et al.*, 2007). Trigueiro e Guerrini (2003) verificaram que 50% de lodo de esgoto anaeróbico com casca de arroz carbonizada resultaram em crescimentos de mudas de *Eucalyptus grandis* similares aos da testemunha, quanto aos parâmetros analisados. Bonnet *et al.* (1999) obtiveram ótimos resultados com composto a base de lodo de esgoto anaeróbico em misturas de 30 e 60% com substrato comercial a base de casca de *Pinus* e vermiculita. Nóbrega *et al.* (2007) constataram que a melhor proporção de lodo de esgoto misturada em amostras de solos foi de 37% para a produção de *Schinus terebinthifolius* Raddi, proporção próxima das utilizadas no presente estudo, embora sem compostagem com podas de árvores trituradas.

Comparando os substratos com a dosagem $4,0 \text{ g dm}^{-3}$ de fertilizante, ambos os compostos com lodo apresentaram resultados estatisticamente maiores ao substrato comercial para todas as variáveis mensuradas, exceto o número de folhas (Tabelas 4, 5 e 6). No entanto, estes substratos (3:1 e 2:1) com a dosagem de $4,0 \text{ g dm}^{-3}$, os maiores valores se inverteram para a maioria das variáveis, sendo que para o composto 3:1 (menor proporção de lodo na mistura) promoveu maiores alturas, diâmetros e

biomassa de folhas do que o 2:1. Embora não avaliado, isto pode estar relacionado às características físicas do substrato com menor proporção de lodo (3:1), tais como maior aeração e maior macroporosidade. Trigueiro e Guerrini (2003) verificaram que doses superiores a 50% de lodo em substrato podem influir negativamente no crescimento de mudas, ocorrendo um menor desenvolvimento radicial devido à menor quantidade de macroporos e pela maior densidade aparente quando comparado aos substratos com doses menores de lodo de esgoto. Os IQD's das mudas desenvolvidas no substrato 2:1 foram maiores aos demais substratos com adubação intermediária e alta (Tabela 7).

Fertilizante como fator principal

Para o substrato comercial e para o composto 3:1, o aumento das doses de fertilizante utilizadas (de 0; $2,7$ e $4,0 \text{ g dm}^{-3}$) significou estatisticamente ($P < 0,05$) maiores alturas e diâmetros de colo (Tabela 4). Para o composto 2:1, apesar da dose de $2,7 \text{ g dm}^{-3}$ de fertilizante promover resultados mais altos comparados com a não utilização de fertilização complementar, a maior dose ($4,0 \text{ g dm}^{-3}$) não resultou em valores estatisticamente maiores para as alturas e diâmetros. Isto indica que neste tratamento provavelmente houve consumo de luxo, resultando em desperdício de fertilizante.

O aumento da fertilização parece ter melhorado a qualidade das mudas (IQA's) para o substrato comercial no nível de $4,0 \text{ g dm}^{-3}$ e para o substrato 2:1 a partir de $2,7 \text{ g dm}^{-3}$ (Tabela 7).

Os resultados positivos dos substratos à base de lodo de esgoto compostado usados, foram similares aos observados em outros trabalhos envolvendo a utilização de lodo de esgoto como fonte de matéria orgânica e nutrientes para a composição de substratos de mudas (CUNHA *et al.*, 2006; MORAIS *et al.* 1996; BONNET *et al.*, 1999; NÓBREGA *et al.*, 2007; TELES *et al.*, 1999; TRIGUEIRO; GUERRINI, 2003; FAUSTINO *et al.* 2005; PAIVA *et al.* 2009). Portanto, a utilização de lodo de esgoto em viveiros florestais pode ser considerado uma boa alternativa, desde que devidamente higienizado e que se conheça as melhores dosagens para cada espécie, de forma a racionalizar outras operações do viveiro, como a adubação complementar, viabilizando a economia de recursos e o melhor atendimento de outras demandas do viveiro (BONNET *et al.*, 1999; PADOVANI, 2006).

CONCLUSÕES

As proporções de lodo de esgoto utilizadas na compostagem com podas de árvores trituradas resultaram em substratos bastante promissores. Para a *Parapiptadenia rigida* (gurucaia) os resultados de crescimento (altura, diâmetro de colo, biomassa de ramos e de folhas) foram maiores do que os obtidos pelos tratamentos utilizando substrato comercial à base de casca de *Pinus* compostada e vermiculita, indicando provavelmente, boas características físico-hídricas e nutricionais.

Apesar das mudas nos compostos à base de lodo de esgoto responderem bem à fertilização complementar, os nutrientes já existentes nelas são suficientes para a formação de plantas com boa qualidade.

O substrato 3:1 (v:v), composto de resíduos de podas de árvores trituradas compostadas com lodo de esgoto aeróbio, com 4,0 g dm⁻³ de fertilizante, proporcionou o maior crescimento das mudas, principalmente em altura e diâmetro de colo.

Apesar de valores um pouco inferiores à composição acima, ambos os substratos com lodo, mesmo com dose aproximadamente 50% menor de fertilizante (2,7 g dm⁻³), resultaram em resultados satisfatórios com economia deste insumo e maiores do que os obtidos com o substrato comercial com o mesmo nível de fertilizante.

Deve-se ressaltar que cuidados devem ser tomados para a utilização de lodo de esgoto, considerando o atendimento à legislação quanto ao aspecto sanitário (higienização ou esterilização) e ao teor de metais pesados.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR pelo apoio a essa pesquisa, em especial ao Cleverson Andreoli no auxílio de campo. Somos gratos ao auxílio de Kelly Gutseit, Laercio Chemim, Márcia de Lima, Gessuelyton de Lima, Juliana Wojciechowski e a empresa Reciclon.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 20ed. Washington: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, 1998.

AISSE, M.M.; FERNANDES, F.; SILVA, S.M.C.P.; Aspectos tecnológicos e de Processos. In: ANDREOLI, C.V.; LARA, A.I.; FERNANDES, F. **Reciclagem de Biossólidos: transformando problemas em soluções**. Curitiba: SANEPAR, Finep, 2001. cap. 2.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº375, 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: < http://www.mp.sp.gov.br/portal/page/portal/cao_urbanismo_e_meio_ambiente/legislacao/leg_federal/leg_fed_resolucoes/leg_fed_res_conama/res37506.pdf >.

BONNET, B.R.P.; WISNIEWSKI, C.; REISSMANN, C.B.; NOGUEIRA, A.C.; ANDREOLI, C.V.; BARBIERI, S. J. Effects of substrates composed of biosolids on the production of *Eucalyptus viminalis*, *Schinus terebinthifolius* and *Mimosa scabrella* seedlings and on the nutritional status of *Schinus terebinthifolius* seedlings. **Water Science and Technology**, New York, v.46, n.10, p.239-246, 2002.

CARVALHO, P.E.R. **Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e usos da madeira**. Colombo: EMBRAPA-CNPQ/SPI, 1994. 640p.

CAVIGLIONE, J.H.; KIIHL, L.R.B.; CARAMORI, P.H.; OLIVEIRA, D. **Cartas climáticas do Paraná**. Londrina: IAPAR – Instituto Agrônomico do Paraná, 2000 (CDROM).

CUNHA, A.M.; CUNHA, G.M.; SARMENTO, R.A.; CUNHA, G.M.; AMARAL, J.F.T.; Efeito de diferentes substratos sobre o desenvolvimento de mudas de *Acacia* sp. **Revista Árvore**, Viçosa, v.30, n.2, p.207-214, 2006.

FAUSTINO, R.; KATO, M.T.; FLORÊNCIO, L.; GAVAZZA, S. Lodo de esgoto como substrato na produção de *Senna siamea*. Lam. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, Supl., p.278-282, 2005.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil**. 4ed. Nova Odessa: Editora Plantarum, 2002. v.1, 368p.

- MARANA, J.P.; MIGLIORANZA, E.; FONSECA, E.P.; KAINUMA, R.H.; Índices de qualidade e crescimento em mudas de café, produzidas em tubetes. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.38, n.1, p.39-45, 2008.
- MARTINS, A.P.L.; REISSMANN, C.B. Material vegetal e as rotinas laboratoriais nos procedimentos químico-analíticos. *Scientia Agraria*, Curitiba, v.8, n.1, p.1-17, 2007.
- MORAIS, S.M.J.; ATAIDES, P.R.V.; GARCIA, D.C.; KURTZ, F.C.; OLIVEIRA, O.S.; WATZLAWICK, L.F. Uso do lodo de esgoto da Corsan - Santa Maria (RS), comparada com outros substratos orgânicos. *Sanare*, Curitiba, v.6, n.6, p.44-49, 1996.
- NOBREGA, R.S.A.; VILAS BOAS, R.C.; NÓBREGA, J.C.A.; PAULA, A.M.; MOREIRA, F.M.S. Utilização de biossólido no crescimento inicial de mudas de aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi). *Revista Árvore*, Viçosa, v.31, n.2, p.239-246, 2007.
- PADOVANI, V.C.R. **Composto de lodo de esgoto como substrato para produção de mudas de árvores nativas e exóticas.** 81p. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.
- PAIVA, A.V.; POGGIANI, F.; GONÇALVES, J.L.M.; FERRAZ, A.V. Crescimento de mudas de espécies arbóreas nativas, adubadas com diferentes doses de lodo de esgoto seco e com fertilização mineral. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v.37, n.84, p.499-511, 2009.
- PARANÁ. Secretaria do Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Resolução nº21/2009, de 22 de abril de 2009.** Dispõe sobre licenciamento ambiental, estabelece condições e padrões ambientais e dá outras providências, para empreendimentos de saneamento. Disponível em: < http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Legislacao_ambiental/Legislacao_estadual/RESOLUCOES/RESOLUCAO_SEMA_21_2009_LICENCIAMENTO_PADROES_AMBIENTAIS_SANEAMENTO.pdf >.
- PEGORINI, E.S. **Avaliação de impactos ambientais do programa de reciclagem agrícola de lodo de esgoto na região metropolitana de Curitiba.** 217p. 2002. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.
- SCHUMACHER, M.V.; CECONI, D.E.; SANTANA, C.A. Influência de diferentes doses de fósforo no crescimento de mudas de angico-vermelho - *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan. *Revista Árvore*, Viçosa, v.28, n.1, p.149-155, 2004.
- SILVA, W.T.L.; SALLES, L.C.; NOVAES, A.P.; MARTIN NETO, L.; MILORI, D. M. B.P.; SIMÕES, M.L.; HANEDA, R.N.; FIALHO, L.L. **Potencialidade do uso de composto produzido a partir de lodo de esgoto urbano e poda verde de árvore.** São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2004. 5p. (Circular técnica 25).
- TELES, C.R.; COSTA, A.N.; GONCALVES, R.F.; Produção de lodo em lagoas de estabilização e o seu uso no cultivo de espécies florestais na região Sudoeste do Brasil. *Sanare*, Curitiba, v.12 n.12 1999.
- THOMAZ SOCCOL, V.; PAULINO, R.C.; CASTRO, E.A.; In: SANEPAR. **Manual de métodos para análises microbiológicas e parasitológicas em reciclagem agrícola de lodo de esgoto.** Curitiba: Sanepar. p.27-41, 2000.
- TRIGUEIRO, R.M.; GUERRINI, L.A. Uso de biossólidos como substratos para produção de mudas de eucalipto. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, n.64, p.150-162, 2003.

Recebido em 11/05/2010
Aceito para publicação em 25/10/2010