

Substratos à base de lodo de esgoto na produção de mudas de *Senna alata*

Júlio César Tannure Faria, Marcos Vinicius Winckler Caldeira*,
William Macedo Delarmelina, Leonardo Cassani Lacerda, Elzimar de Oliveira Gonçalves

Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, Brasil
*Autor correspondente, e-mail: mvwcaldeira@gmail.com

Resumo

O objetivo desse trabalho foi avaliar o crescimento de mudas de *Senna alata* com uso de diferentes combinações de resíduos, sendo eles: lodo de esgoto, fibra de coco, vermiculita, casca de arroz *in natura* e substrato comercial. O experimento foi conduzido no Viveiro Florestal do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, sendo montado em um delineamento inteiramente casualizado (DIC). Quando as mudas atingiram cinco meses de crescimento foram mensuradas às seguintes características: altura, diâmetro do coleto, relação entre altura e diâmetro do coleto, massa seca da parte aérea, massa seca do sistema radicular, massa seca total, relação entre massa seca da parte aérea e massa seca do sistema radicular, relação entre massa seca do sistema radicular e massa seca da parte aérea e índice de qualidade de Dickson (IQD). Constatou-se que para a produção de mudas de *S. alata* recomenda-se o uso de 80% de lodo de esgoto misturado com 20% fibra de coco.

Palavras-chave: leguminosas, produção de mudas florestais, resíduos orgânicos

Substrates of sewage sludge in the production of seedlings of *Senna alata*.

Abstract

The aim of this study was to evaluate the growth of seedlings of *Senna alata* using different combinations of residues, which are: sewage sludge, carbonized rice husk, straw coffee *in natura* and commercial substrate. The experiment was conducted in the Nursery Center for Agricultural Sciences, Federal University of Espírito Santo, and mounted in a completely randomized design. When the seedlings reached five months growth the following parameters were measured: stem diameter, plant height, ratio between plant height and stem diameter, shoot dry mass, dry mass of root system, total dry mass, ratio of dry mass shoot/root dry mass, ratio of root dry mass/dry mass of shoots and Dickson quality index (IQD). It was found that for the production of seedlings *S. alata* recommend the use of 80% of sewage sludge mixed with 20% coconut fiber.

Keywords: Legumes, forest seedling production, organic residues.

Introdução

O uso de espécies leguminosas na recuperação de áreas degradadas vem sendo cada vez mais utilizada devido a suas várias vantagens como rápido crescimento e recobrimento do solo e capacidade de fixação de nutrientes, principalmente o nitrogênio (Araújo Filho, 2007; Nogueira et al., 2012).

O gênero *Senna* (Leguminosae, Caesalpinioideae) é pantropical com 260 espécies, das quais 200 ocorrem no continente americano. A espécie florestal *Senna alata* é conhecida popularmente como “candelabro”, sendo pouco cultivada como ornamental no Estado do Rio Grande do Sul (Rodrigues et al., 2005). Segundo Dimitri & Alberti (1954), as folhas novas são purgantes, diuréticas, febrífugas e sudoríficas. Provavelmente nativa do Norte da América do Sul, é naturalizada e cultivada desde os Estados Unidos da América até a Argentina (Irwin & Barneby, 1982). Embora a espécie *Senna alata* não seja muito estudada, seu gênero é utilizado para estudos em recuperação de áreas degradadas como fixadoras de nitrogênio do solo (Alves & Sartori, 2009; Dantas & Silva, 2013).

A escolha do substrato adequado para produção de mudas é um dos principais objetivos da silvicultura e a busca por uma mistura de componentes a partir do uso de resíduos renováveis é ainda mais vantajoso, visto atualmente a crescente preocupação com as questões ambientais (Carneiro, 1995; Cunha et al., 2006; Caldeira et al., 2012a; 2012b).

A utilização de resíduos orgânicos urbanos na composição de substratos é uma alternativa que pode ser viável na produção de mudas, como é o caso do esgoto urbano, cujo material é composto basicamente de matéria orgânica (Santos et al., 2013). Este resíduo pode ser usado como condicionador das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, considerando seu teor de matéria orgânica e nutriente (Vanzo et al., 2001; Pedroza et al., 2010).

O lodo de esgoto é um material constituído da parte sólida do esgoto após sofrer um processo de estabilização. Sua destinação final nas estações de tratamento tem sido uma das maiores preocupações das empresas

geradoras deste resíduo dos órgãos de controle ambiental e da sociedade de uma forma geral (Tsutiya et al., 2002; Lemainski & Silva, 2006; Galbiatti et al., 2007).

No processo de produção de mudas de espécies florestais, o uso de lodo de esgoto tem sido uma alternativa viável como fonte de matéria orgânica e de nutrientes demonstrando resultados satisfatórios quando combinado como componente orgânico na formulação de substratos (Guerrini & Trigueiro, 2003; Trazzi, 2011; Caldeira et al., 2012a; 2012b; 2012c; Caldeira et al., 2013a; 2013b; Delarmelina et al. 2013).

O presente estudo teve por objetivo verificar o potencial do uso do lodo de esgoto, fibra de coco, vermiculita e casca de arroz *in natura* na formulação de substratos para a produção de mudas de *Senna alata*, bem como analisar as propriedades químicas e físicas dos tratamentos.

Material e Métodos

A produção das mudas de *Senna alata* foi realizada no Viveiro Florestal do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, localizado na Rodovia Cachoeiro-Alegre, km 06 (Área Experimental I) no município de Alegre-ES, situado na latitude 20°45' S e longitude 41°31' W, com a altitude média de 120 m. O clima da região enquadra-se no tipo Cwa (inverno seco e verão chuvoso), de acordo com a classificação de Köppen, sendo a temperatura média anual de 24,1°C, com máximas diárias de 31°C e mínimas de 20,2°C e precipitação anual média de 1104 mm (Maia et al., 2007).

O lodo de esgoto utilizado foi procedente da Estação de Tratamento de Esgoto de Pacotuba-ES pertencente à Empresa de Saneamento Foz do Brasil, sediada em Cachoeiro do Itapemirim-ES. Antes de ser utilizado na formulação dos substratos, o mesmo foi peneirado sobre malha de 3 mm. Na Tabela 1, encontram-se os resultados da análise química lodo de esgoto. De acordo com a resolução CONAMA – 375/2006, esse material está apto para uso.

Foram utilizados quatro tipos de resíduos: lodo de esgoto (LE), fibra de coco (FC), vermiculita (VERM) e casca de arroz *in natura*

(CA *in natura*), além de substrato comercial (SC) formulando a partir destes materiais, quatorze (60% de composto de casca de pinus, 15% de vermiculita e 25% de húmus mais terra vegetal), composições de substratos apresentados na Tabela 2.

Tabela 1. Análise química do lodo de esgoto de filtro anaeróbico oriundo da estação de tratamento de esgoto de Cachoeiro de Itapemirim-ES.

Metais	Resultados Analíticos ¹	Resolução CONAMA 375/2006 ²
Arsênio	< 0,5 mg dm ⁻³	41 mg kg ⁻¹
Bário	156 mg dm ⁻³	1300 mg kg ⁻¹
Cádmio	< 0,053 mg dm ⁻³	39 mg kg ⁻¹
Chumbo	29 mg dm ⁻³	300 mg kg ⁻¹
Cobre	98 mg dm ⁻³	1500 mg kg ⁻¹
Cromo	26 mg dm ⁻³	1000 mg kg ⁻¹
Molibdênio	3,5 mg dm ⁻³	50 mg kg ⁻¹
Níquel	11 mg dm ⁻³	420 mg kg ⁻¹
Selênio	< 0,5 mg dm ⁻³	100 mg kg ⁻¹
Zinco	409 mg dm ⁻³	2800 mg kg ⁻¹
Fósforo Total	4128 mg dm ⁻³	-
pH (Suspensão a 5%)	5,2 mg dm ⁻³	-
Enxofre	1,3 %	-
Nitrogênio Total Kjeldahl	5646 mg dm ⁻³	-
Nitrogênio Amoniacal	60 mg dm ⁻³	-
Carbono Orgânico Total	16 %	-
Potássio	1623 mg dm ⁻³	-
Sódio	399 mg dm ⁻³	-

¹Resultados fornecidos pela Foz do Brasil S.A.; ²Limites máximos(base seca) de concentração exigido pelo CONAMA 375/2006 (BRASIL, 2006).

Tabela 2. Valores de pH, teores totais de macro e micronutrientes, matéria orgânica (MO) e carbono orgânico dos substratos formulados com lodo de esgoto, fibra de coco, vermiculita, casca de arroz *in natura* e substrato comercial.

Substrato	pH	N	P	K	Ca	Mg	S	MO	C	Zn	Fe	Mn	Cu	B
	H ₂ O	g kg ⁻¹												
FC	6,1	4,9	1,6	6,7	6,3	2,4	0,8	400	230	95	1860	42	21	46,3
VERM	6,5	0,4	0,4	10,9	4,0	40,8	0,5	1,4	80	145	37975	314	23	4,2
CA <i>in natura</i>	6,8	5,6	2,6	3,1	2,0	1,2	0,3	360	210	36	1335	332	2	2,5
T1 (80%LE+20%FC)	4,0	6,0	5,1	0,8	9,5	2,0	2,8	150	90	304	14525	119	56	9,1
T2 (60%LE+40%FC)	4,1	12,3	5,3	1,8	6,7	2,3	2,3	160	90	334	14550	121	62	10,7
T3 (40%LE+60%FC)	4,4	11,2	5,2	3,0	8,2	2,5	2,9	240	140	310	15450	126	59	16,6
T4 (20%LE+80%FC)	4,7	9,8	3,9	3,8	6,3	2,2	2,3	310	180	225	11675	91	45	17,7
T5 (80%LE+20%VERM)	4,0	11,6	4,1	1,0	5,4	3,0	2,7	150	90	239	14600	105	42	8,5
T6 (60%LE+40%VERM)	4,1	9,5	4,2	1,7	6,7	5,7	3,0	150	90	272	18475	131	46	8,3
T7 (40%LE+60%VERM)	4,0	9,8	3,9	2,5	6,4	11,6	3,7	120	70	227	21950	131	40	6,8
T8 (20%LE+80%VERM)	4,4	5,3	1,6	5,5	3,2	17,1	2,1	80	50	186	23650	156	23	6,4
T9 (80%LE+20%CA <i>in natura</i>)	4,3	15,8	6,9	1,3	8,4	2,2	2,6	240	140	411	21325	164	60	7,6
T10 (60%LE+40%CA <i>in natura</i>)	4,6	13,3	5,2	1,7	8,2	1,6	2,2	260	150	254	15925	181	37	5
T11 (40%LE+60%CA <i>in natura</i>)	4,9	10,2	4,5	1,8	5,5	1,5	1,7	300	170	228	13200	200	35	5,8
T12 (20%LE+80%CA <i>in natura</i>)	5,7	8,8	2,9	2,5	3,2	1,1	1	330	190	122	7050	237	17	5,2
T13 (100%LE)	4,0	11,9	5,7	0,7	6,0	2,2	3,4	140	80	350	18875	131	62	5,6
T14 (SC)	6,6	10,5	3,2	1,6	49,8	28,8	1,1	150	80	63	17575	238	14	16,4

fibra de coco (FC), vermiculita (VERM) e casca de arroz *in natura* (CA *in natura*), lodo de esgoto (LE), substrato comercial (SC).

Desta forma, o experimento foi instalado em um delineamento inteiramente casualizado constituindo quatorze tratamentos, com seis repetições e quatro plantas por parcela. Os tratamentos foram compostos por diferentes proporções desses resíduos, sendo eles, tratamento 1: 80% LE + 20% FC; tratamento 2: 60% LE + 40% FC; tratamento 3: 40% LE + 60% FC; tratamento 4: 20% LE + 80% FC; tratamento 5: 80% LE + 20% VERM; tratamento 6: 60% LE + 40% VERM; tratamento 7: 40% LE + 60% VERM; tratamento 8: 20% LE + 80% VERM; tratamento 9: 80% LE + 20% CA *in natura*; tratamento 10: 60% LE + 40% CA *in natura*; tratamento 11: 40% LE + 60% CA *in natura*; tratamento 12: 20% LE + 80% CA *in natura*; tratamento 13: 100% LE; e tratamento 14: 100% SC.

A fibra de coco, o substrato comercial e a vermiculita foram doados pela empresa Fibria Celulose S.A. (Unidade Aracruz-ES). A casca de arroz *in natura* foi adquirida por doações de produtores agrícolas do município de Muniz Freire - ES.

Ossubstratos que compõem os tratamentos foram analisados quimicamente e fisicamente antes da montagem do experimento.

A análise química foi realizada no Laboratório de Pesquisa e Rotina em Solos e Nutrição de Plantas do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper; CRDR – Centro Serrano), localizado

em Venda Nova do Imigrante-ES, segundo a metodologia descrita por Tedesco et al. (1995). Foram analisados o pH, teores totais de macro e micronutrientes, matéria orgânica e carbono orgânico de cada substrato formulado.

A análise física foi realizada no Laboratório de Substratos do Departamento de Horticultura e Silvicultura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), conforme metodologia da Instrução Normativa nº 17 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2007). As análises realizadas foram densidade aparente (DENS), macroporosidade (MACROP), microporosidade (MICROP) e volume total de poros (VTP), apresentadas na Tabela 3. As sementes de *Senna alata* foram doadas pela Reserva Natural Vale e, antes da semeadura, passaram por um processo de quebra de dormência com auxílio de uma tesoura, realizando um corte na parte alada da semente. As mudas foram produzidas em tubetes com capacidade para 120 cm³ de substrato. A semeadura foi realizada diretamente, sendo semeadas três sementes por recipiente. Após a germinação (\pm 20 dias) foi realizado o desbaste, deixando uma muda por recipiente. As mudas permaneceram na casa de sombra durante 120 dias e mais 30 dias na área de rustificação, sendo irrigadas quatro vezes ao dia por sistema de irrigação automático. Em dias chuvosos, a irrigação foi cessada.

Tabela 3. Valores médios de volume total de poros (VTP), macroporosidade (MACROP) e microporosidade (MICROP) e densidade aparente (DENS) dos substratos formulados.

Tratamento	VTP	MACROP	MICROP	DENS
		%		g cm ⁻³
T1 (80%LE+20%FC)	76	22	54	0,22
T2 (60%LE+40%FC)	72	20	52	0,17
T3 (40%LE+60%FC)	65	19	46	0,10
T4 (20%LE+80%FC)	47	17	30	0,07
T5 (80%LE+20%VERM)	79	27	52	0,27
T6 (60%LE+40%VERM)	81	32	49	0,19
T7 (40%LE+60%VERM)	82	38	44	0,11
T8 (20%LE+80%VERM)	81	40	41	0,05
T9 (80%LE+20%CA <i>in natura</i>)	73	20	53	0,17
T10 (60%LE+40%CA <i>in natura</i>)	65	17	48	0,12
T11 (40%LE+60%CA <i>in natura</i>)	69	16	53	0,11
T12 (20%LE+80%CA <i>in natura</i>)	63	15	48	0,04
T13 (100%LE)	75	23	52	0,21
T14 (Substrato comercial)	85	33	52	0,32

fibra de coco (FC), vermiculita (VERM) e casca de arroz *in natura* (CA *in natura*), lodo de esgoto (LE), substrato comercial (SC)

Quando as mudas atingiram cinco meses de crescimento foram mensuradas: diâmetro do coleto (DC), altura da parte aérea (H), relação entre altura e o diâmetro do coleto (RHDC), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca do sistema radicular (MSR), massa seca total (MST), relação entre massa seca da parte aérea e massa seca do sistema radicular (RMSPAR), relação entre massa seca da raiz e massa seca da parte aérea (RMSRPA) e índice de qualidade de Dickson (IQD).

O diâmetro do coleto foi obtido com paquímetro digital e a altura com régua milimetrada, tomando-se como padrão a gema terminal (meristema apical). Para a obtenção da massa seca da parte aérea e da massa seca do sistema radicular foi realizada a pesagem das partes vegetais em separado após a secagem destas em estufa de circulação de ar forçada a 70°C, por um período de aproximadamente 72 h. O Índice de Qualidade de Dickson foi obtido pela fórmula de Dickson et al. (1960):

$$IQD = \frac{MST_{(g)}}{H_{(cm)}/DC_{(mm)} + MSPA_{(g)}/MSR_{(g)}}$$

Em que: $MST_{(g)}$ = Massa seca total; $H_{(cm)}$ = Altura da parte aérea; $DC_{(mm)}$ = Diâmetro do

coleto; $MSPA_{(g)}$ = Massa seca da parte aérea; $MSR_{(g)}$ = Massa seca do sistema radicular

As características morfológicas analisadas foram submetidos à análise estatística através de comparação de médias pelo teste Scott-Knott a nível de 5% de probabilidade, por meio do software SISVAR 4.1.

Resultados e Discussão

A característica morfológica altura da parte aérea para as mudas de *S. alata* apresentaram as maiores médias nos tratamentos T1 (80%LE+20%FC) e T5 (80%LE+20%VERM), ambos estatisticamente iguais. O tratamento T12 (20%LE+80%CA *in natura*) apresentou a menor média, obtendo assim o pior crescimento em altura da parte aérea em relação aos demais (Tabela 4).

Mudas de espécies leguminosas com o objetivo de recuperação de áreas degradadas como a *S. alata*, referente ao presente estudo, tem por meta o recobrimento do solo em um menor intervalo de tempo, não obtendo uma classificação de qual altura da parte aérea e diâmetro do coleto são considerados ideais para o plantio em campo.

Tabela 4. Médias, significância (F) e coeficiente de variação (CV%) da altura (H), diâmetro do coleto (DC), relação altura/diâmetro do coleto (RHDC), Índice de Qualidade de Dickson (IQD), massa seca parte aérea (MSPA), massa seca radicular (MSR), massa seca total (MST), relação massa seca da parte aérea/raiz (RMSPAR) e relação massa seca da raiz/parte aérea (RMSRPA) de mudas de *Senna alata* aos 150 dias de idade.

Tratamento	H (cm)	DC (mm)	RHDC	IQD	MSPA (g)	MSR (g)	MST (g)	RMSPAR	RMSRPA
T1 (80%LE+20%FC)	26,47 a	3,60 a	7,38 a	0,27 a	1,772 a	0,849 a	2,621 a	2,19 b	0,49 d
T2 (60%LE+40%FC)	19,83 c	3,22 b	6,18 b	0,20 b	1,058 c	0,555 b	1,613 c	1,92 b	0,54 d
T3 (40%LE+60%FC)	16,95 d	2,66 d	6,44 b	0,11 d	0,655 d	0,334 c	0,977 e	2,01 b	0,53 d
T4 (20%LE+80%FC)	13,02 e	2,37 e	5,49 b	0,10 d	0,525 d	0,246 c	0,771 e	2,25 b	0,47 d
T5 (80%LE+20%VERM)	26,45 a	3,37 b	7,86 a	0,21 b	1,487 b	0,686 a	2,173 b	2,30 b	0,47 d
T6 (60%LE+40%VERM)	20,58 c	2,92 c	7,08 a	0,18 c	0,940 c	0,619 b	1,559 c	1,63 c	0,72 c
T7 (40%LE+60%VERM)	15,15 d	2,56 d	5,89 b	0,17 c	0,646 d	0,579 b	1,225 d	1,22 c	1,00 c
T8 (20%LE+80%VERM)	20,64 c	2,89 c	7,22 a	0,16 c	0,982 c	0,533 b	1,502 c	2,06 b	0,54 d
T9 (80%LE+20%CA <i>in natura</i>)	19,02 c	2,82 c	6,86 a	0,21 b	0,968 c	0,712 a	1,680 c	1,40 c	0,78 c
T10 (60%LE+40%CA <i>in natura</i>)	16,47 d	2,68 d	6,17 b	0,21 b	0,809 c	0,747 a	1,557 c	1,22 c	1,07 b
T11 (40%LE+60%CA <i>in natura</i>)	16,07 d	2,35 e	6,88 a	0,11 d	0,636 d	0,346 c	0,982 e	1,98 b	0,56 d
T12 (20%LE+80%CA <i>in natura</i>)	9,64 f	1,81 f	5,36 b	0,15 c	0,260 f	0,630 b	0,878 e	0,45 d	2,79 a
T13 (100%LE)	23,09 b	2,96 c	8,00 a	0,15 c	1,399 b	0,422 c	1,821 c	3,76 a	0,32 d
T14 (Substrato comercial)	16,43 d	2,32 e	7,55 a	0,16 c	0,458 e	0,790 a	1,221 d	0,58 d	2,02 b
F	*	*	*	*	*	*	*	*	*
CV (%)	12,44	12,61	19,19	27,83	27,54	29,83	21,76	41,24	61,25

ns = não significativo (P>0,05); *significativo (P<0,01). Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-Knott (P>0,05).

As mudas de *S. alata* do tratamento T1 (80%LE+20%FC) obteve a maior média de diâmetro de coleto, obtendo valor de 3,60 mm, porém não diferiu estatisticamente de T6 (60%LE+40%VERM). Em seguida os tratamentos T2 (60%LE+40%FC) e T5 (80%LE+20%VERM) sendo estatisticamente iguais, inferiores ao T1 e superiores aos demais tratamentos.

Faustino et al. (2005) testaram diferentes combinações de lodo de esgoto e solo, lodo de esgoto com fibra de coco e solo puro como substrato para produção de mudas de *Senna siamea* e encontraram como melhor resultado em crescimento em altura e diâmetro a combinação de 50% de lodo de esgoto com 50% de fibra de coco, seguido do tratamento composto de 25% de lodo de esgoto, 25% de pó de coco e 50 % de solo. No presente estudo com mudas de *S. alata* a melhor formulação apresentada, para essas duas características, foi com 80% de lodo de esgoto mais 20% fibra de coco.

Em todos os tratamentos em que o lodo de esgoto se encontrava na proporção de 80%, seja na mistura com fibra de coco, vermiculita e casca de arroz *in natura* (T1, T5 e T9), o mesmo mostrou se um excelente resíduo, como combinação de substrato, para o crescimento das duas principais características morfológicas das mudas de *S. alata* analisadas inicialmente.

O aumento do crescimento das características morfológicas altura da parte aérea e diâmetro de coleto, entre essas combinações de substratos, pode ser explicado devido aos teores de N e P (Tabela 2) que são altamente requeridos nos estádios iniciais de crescimento das mudas (Neves et al., 1990), atuando principalmente no arranque inicial do crescimento da parte aérea. Alguns autores ressaltam que o K ajuda no crescimento do diâmetro do coleto proporcionando o engrossamento do caule das mudas (Valeri & Corradini, 2005; Trazzi, 2011). Nesse estudo, nos tratamentos T1 (80%LE+20%FC), T5 (80%LE+20%VERM) e T9 (80%LE+20%CA *in natura*), o teor de K não afetou no crescimento em diâmetro.

A relação altura/diâmetro (RHDC) das mudas de *S. alata* variou entre 8,00 e 5,36 (Tabela

4), estando a grande maioria das médias dentro do valor de faixa considerada ideal por Carneiro (1995), que considera valores entre 8,1 e 5,4 como intervalo de balanceamento entre ambas as características, estando assim, apenas o tratamento T12 (20%LE+80%CA *in natura*) abaixo desse valor, fato explicado devido seus piores crescimentos em altura e diâmetro.

A combinação estrutural dos dois resíduos do tratamento T1 (lodo de esgoto e fibra de coco) proporcionou uma excelente formulação de substrato para o crescimento em altura e diâmetro das mudas de *S. alata*. De acordo com Wendling & Gatto (2002), a fibra de coco apresenta ótima aeração aliada a uma boa capacidade de retenção de água, alta estabilidade física, decomposição lenta e alta molhabilidade, o que traz vantagens para o produtor no manejo da irrigação, e sendo um excelente resíduo na formulação de substrato juntamente com o lodo de esgoto. O material apresenta, além das características citadas, propriedades estimulantes do enraizamento e é biodegradável, constituindo-se num meio de cultivo 100% natural e recomendado para a germinação de sementes, propagação de plantas em viveiros e no cultivo de flores e hortaliças (Correia et al., 2003).

O lodo de esgoto apresenta ótimos resultados em diferentes pesquisas com mudas de espécies florestais, mostrando efeitos benéficos em seu uso como parte da composição de substrato, apontado amplamente na literatura (Faustino et al., 2005; Caldeira et al., 2012a; Delarmelina et al., 2013)

Em seu estudo, Delarmelina et al. (2013) afirma dizendo que o lodo de esgoto apesar de apresentar boa fertilidade, necessita da mistura com outros componentes a fim de dar equilíbrio entre o fornecimento de nutrientes e condições físicas, como aeração e retenção de água.

Segundo Guerrini & Trigueiro (2004), analisando os atributos físicos e químicos de substratos com diferentes proporções de lodo de esgoto e casca de arroz carbonizada, concluíram que o aumento na proporção de lodo de esgoto proporciona o aumento da densidade e do percentual de microporos e, conseqüentemente, da capacidade de

retenção de água. Alguns substratos leves, de baixa densidade, como a fibra de coco, vermiculita e casca de arroz, elevam a macroporosidade das misturas reduzindo a capacidade de retenção de água do substrato (Gonçalves et al., 2000).

No tratamento T5, composto por 80% de lodo de esgoto com 20% de vermiculita, as mudas de *S. alata* também apresentaram boa média nessa relação (RHDC). O resíduo inorgânico vermiculita é de fácil manuseio, neutra, leve e com boa capacidade de absorção e retenção de água, razão pela qual vem sendo bastante utilizado para testes com espécies florestais (Alvino & Rayol, 2007).

Em relação aos valores médios de IQD, o tratamento T1 (80%LE+20%FC) apresentou a maior média tornando-se estatisticamente superior aos demais tratamentos (Tabela 4). Segundo Fonseca et al. (2002) o IQD trata-se de um bom indicador de qualidade, por considerar a robustez e o equilíbrio da distribuição da biomassa na muda, ponderando os resultados de várias características importantes empregados para avaliação da qualidade. Gomes et al. (2003) argumenta que quanto maior for o valor de IQD, melhor será a qualidade da muda.

Em seu estudo, analisando o crescimento de mudas de *Picea glauca* e *Pinus monficola*, Gomes & Paiva (2006) argumentam um valor mínimo de IQD de 0,20 para definir a qualidade dessas mudas. No presente estudo com mudas de *S. alata*, apenas alguns tratamentos conseguiram atingir esse valor, estando dentro dele T1 (80%LE+20%FC), T2 (60%LE+40%FC), T5 (80%LE+20%VERM), T9 (80%LE+20%CA *in natura*) e T10 (60%LE+40%CA *in natura*).

Na produção de mudas de *S. alata*, os maiores valores de massa seca da parte aérea foram obtidos no tratamento T1 com 1,772 g. A menor média foi obtida no tratamento em que foi utilizado o substrato comercial (T14) (Tabela 4).

De acordo com Gomes & Paiva (2006), quanto maior a massa seca da parte aérea, maior será a rusticidade da muda, sendo assim o substrato formulado com 80% de lodo de esgoto mais 20% fibra de coco apresentará maior resistência às adversidades quando plantadas

em local definitivo.

A massa seca radicular das mudas de *S. alata* apresentou as maiores médias e estatisticamente iguais nos tratamentos T1 (80%LE+20%FC), T5 (80%LE+20%VERM), T9 (80%LE+20%CA *in natura*), T10 (60%LE+40%CA *in natura*) e T14 (Substrato comercial). A massa seca radicular é considerada uma característica importante a ser avaliada para analisar a sobrevivência e crescimento inicial das mudas em campo (Gomes & Paiva, 2006). Os autores afirmam ainda que, a sobrevivência será tanto maior quanto mais abundante for o sistema radicular, havendo uma correlação entre a massa seca das raízes e a altura da parte aérea. Novamente o tratamento T1 (80%LE+20%FC) apresentou características as quais garante uma maior resistência às mudas quando levadas para o campo.

Trazzi (2011), estudando crescimento das diferentes características morfológicas de mudas de *Tectona grandis* com uso de diferentes resíduos orgânicos, obteve o maior incremento em massa seca radicular no tratamento formulado com 60% lodo de esgoto mais 40% de fibra de coco. Com mudas de *S. alata* no presente estudo, a melhor formulação foi 80% de lodo de esgoto com 20% de fibra de coco.

O fato do tratamento formulado com substrato comercial (T14) ter apresentado elevada massa seca radicular (Tabela 5) pode ser explicado pela análise química dos tratamentos (Tabela 2) avaliando seu teor de Ca, elemento o qual proporciona maior crescimento do sistema radicular, e pelas suas propriedades físicas (Tabela 3), apresentando nível médio em densidade e nível adequado de porosidade, segundo a escala de valores proposta nos estudos de Gonçalves et al. (2000), proporcionando excelente equilíbrio entre macro e microporosidade.

Ao avaliar os teores adequados de cálcio no crescimento radicular de mudas, Prado & Natale (2004) mostraram em seu estudo com a espécie goiabeira (*Psidium guajava*) que teores próximos de 7,5 g kg⁻¹ de Ca estiveram associadas ao maior crescimento radicular da goiabeira. Para a espécie em estudo, através da análise química dos substratos, as melhores

respostas no crescimento radicular foram obtidas nos tratamentos com teores de Ca próximas de 8,7 g kg⁻¹ (Tabela 2).

De forma geral, tomando como base a característica morfológica massa seca total, o tratamento que apresentou o melhor desempenho foi novamente T1, sendo seu valor médio 2,621 gramas (Tabela 4).

Na relação massa seca da parte aérea/radicular (RMSPAR) o tratamento T13 (100%LE) foi superior aos demais (Tabela 4). A menor média foi apresentada no tratamento T14 (100% substrato comercial). Invertendo-se a relação, ou seja, efetuando-se o quociente entre massa seca radicular e massa seca da parte aérea, verifica-se que apenas T12 (20%LE+80%CA *in natura*) foi superior os demais tratamentos.

Segundo Clarkson (1985), a Razão (RMSRPA) é comumente maior em ambiente de baixa fertilidade, podendo ser considerada uma estratégia da planta para retirar o máximo de nutrientes naquela condição. Neste sentido, a Razão é em função da espécie, do tipo do substrato a ser utilizado na produção de mudas, bem como da fertilidade do mesmo (Daniel et al., 1997; Caldeira et al. 2008, Caldeira et al., 2012a; 2012b). No presente estudo com o uso da espécie *S. alata* ocorreu o declínio da fertilidade dos substratos em relação ao aumento da RMSRPA.

Daniel et al. (1997) em mudas de *Acacia mangium* concluíram que a razão MSR/MSPA deve ser de aproximadamente 0,5 pressupondo uma maior e estável alocação de matéria seca para a parte aérea das mudas. No presente estudo os tratamentos que apresentaram melhor equilíbrio obtiveram valores próximos a 0,426.

É possível inferir que o melhor tratamento, o qual obteve as maiores médias das diversas características morfológicas em geral, utilizando 80% de lodo de esgoto mais 20% fibra de coco (T1), apresenta características físicas (Tabela 3) consideradas adequados para microporosidade (45 a 55%) e volume total de poros (75 a 85 %), níveis médios de macroporosidade (20 a 40%) e níveis baixos quando observa a densidade (<0,25 g cm⁻³) (Gonçalves et al., 2000).

Alguns autores, entre eles, Fermino & Kämpf (2012) comenta que quanto menor o

recipiente menor deve ser a densidade do substrato nele utilizado. O decréscimo da densidade e aumento da porosidade total e o aumento da capacidade de adsorção do substrato é um dos principais efeitos da matéria orgânica na mudança das características de retenção de água para o substrato (Fageria et al., 1999).

Conclusão

Para a produção de mudas de *Senna alata* recomenda-se a composição do substrato em 80% de lodo de esgoto com 20% de fibra de coco.

O lodo de esgoto apresenta boa fertilidade na análise química necessitando apenas da mistura com outros componentes para equilibrar nutrientes e características físicas. Para as condições em que esse trabalho foi realizado, recomenda-se a adição de fibra de coco ao lodo de esgoto.

Referências

- Alves, F.M., Sartori, A.L.B. 2009. Caesalpinioideae (Leguminosae) de um remanescente de Chaco em Porto Murtinho, Mato Grosso do Sul, Brasil. *Rodriguésia* 60: 531-550.
- Alvino, F. O., Rayol, B.P. 2007. Efeito de diferentes substratos na germinação de *Ochroma pyramidale* (cav. ex lam.) urb. (bombacaceae). *Ciência Florestal* 17: 71-75.
- Araújo Filho, J.A. de. 2007. Avaliação de leguminosas arbóreas, para recuperação de solos e repovoamento em áreas degradadas, Quixeramobim-CE. *Revista Brasileira de Agroecologia*, 2: 1592-1594.
- Caldeira, M.V.W., Delarmelina, W.M., Peroni, L., Gonçalves, E.O., Silva, A.G. 2013a. Lodo de esgoto e vermiculita na produção de mudas de eucalipto. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 43: 155-163.
- Caldeira, M.V.W., Delarmelina, W.M., Faria, J.C.T., Juvanhol, R.S. 2013b. Substratos alternativos na produção de mudas de *Chamaecrista desvauxii*. *Revista Árvore*, 37: 31-39.
- Caldeira, M.V.W., Peroni, L., Gomes, D.R., Delarmelina, W.M., Trazzi, P.A. 2012a. Diferentes proporções de biossólido na composição de substratos para a produção de mudas de timbó (*Ateleia glazioveana* Baill). *Scientia Forestalis* 40: 15-22.
- Caldeira, M.V.W., Delarmelina, W.M., Lübe, S.G.

- Gomes, D.R., Gonçalves, E.O., Alves, A.F. 2012b. Biossólido na composição de substrato para a produção de mudas de *Tectona grandis*. *Revista Floresta* 42: 77-84.
- Caldeira, M.V.W., Gomes, D.R., Gonçalves, E.O., Delarmelina, W.M., Sperandio, H.V., Truzzi, P.A. 2012c. Biossólido como substrato para produção de mudas de *Toona ciliata* var. *australis*. *Revista Árvore*, 36: 1009-1017.
- Caldeira, M.V.W., Rosa, G.N., Fenilli, T. A. B., Harbs, R.M.P. 2008. Composto orgânico na produção de mudas de aroeira-vermelha. *Revista Scientia Agraria*, 9: 27-33.
- Clarkson, D.T. 1985. Adaptação morfológica e fisiológica das plantas a ambientes de baixa fertilidade. In: simpósio sobre reciclagem de nutrientes e agricultura de baixos insumos nos trópicos, Ilhéus. Anais... Ilhéus: CEPLAC/SBSC, p. 45-75, 1985.
- Carneiro, J.G.A. 1995. *Produção e controle de qualidade de mudas florestais*. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil. p. 41-65.
- Correia, D., Rosa, M.F., Norões, E.R.V., Araujo, F.B.S. 2003. Uso do pó da casca de coco na formulação de substratos para formação de mudas enxertadas de cajueiro anão precoce. *Revista Brasileira de Fruticultura* 25: 557-558.
- Cunha, A.M., Cunha, G.M., Samento, R.A., Cunha, G.M., Amaral, J.F.T. 2006. Efeito de diferentes substratos sobre o desenvolvimento de mudas de *Acacia* sp. *Revista Árvore* 20: 207-214.
- Daniel, O., Vitorino, A.C.T., Aloisi, A.A., Mazzochin, L., Tokura, A.M., Pinheiro, E.R., Souza, E.F. 1997. Aplicação de fósforo em mudas de *Acacia mangium*. *Revista Árvore* 21: 163-168.
- Dantas, M.M., Silva, M.J. 2013. O gênero *Senna* Mill. (Leguminosae, Caesalpinioideae, Cassieae) no Parque Estadual da Serra Dourada, GO, Brasil. *Hoehnea* 40: 99-113.
- Delarmelina, W.M., Caldeira, M.V.W., Faria, J.C.T., Gonçalves, E.O. 2013. Uso de lodo de esgoto e resíduos orgânicos no crescimento de mudas de *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. *Revista Agroambiente* 7: 184-192.
- Dickson, A., Leaf, A.L., Hosner, J.F. 1960. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *Forestry Chronicle* 36: 11-13.
- Dimitri, M.J., Alberti, F.R. 1954. Las especies del género *Cassia* cultivadas en la Argentina. *Revista Investigaciones Agrícolas* 7: 5-34.
- Fageria, N.K., Stone, L.F., Santos, A.B. 1999. *Maximização da eficiência de produção das culturas*. Embrapa Arroz e Feijão, Brasília, Brasil. 294 p.
- Faustino, R., Kato, M.T., Florêncio, L., Gavazza, S. 2005. Lodo de esgoto como substrato na produção de *Senna siamea* Lam. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 9: 278-282.
- Fermino, M.H., Kämpf, A.N. 2012. Densidade de substratos dependendo dos métodos de análise e níveis de umidade. *Horticultura Brasileira* 30: 75-79.
- Fonseca, E.P., Valéri, S.V., Miglioranza, E., Fonseca, N.A.N., Couto, L. 2002. Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blume, produzidas sob diferentes períodos de sombreamento. *Revista Árvore* 26: 515-523.
- Galbiatti, J.A., Lui, J.J., Sabonaro, D.Z., Bueno, L.F., Silva, V.L. 2007. Formação de mudas de eucalipto com utilização de lixo orgânico e níveis de irrigação calculados por dois métodos. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, 27: 445-455.
- Gomes, J.M., Couto, L., Leite, G.H., Xavier, A., Garcia, S.L.R. 2003. Crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis* em diferentes tamanhos de tubetes e fertilização N-P-K. *Revista Árvore* 27: 113-127.
- Gomes, J.M., Paiva, H.N. 2006. *Viveiros florestais (propagação sexuada)*. Editora UFV, Viçosa, Brasil. 116 p.
- Gonçalves, J.L.M., Santerelli, E.G., Neto, S.P.M., Manara, M.P. 2000. Produção de mudas de espécies nativas: substrato, nutrição, sombreamento e fertilização. In: Gonçalves, J.L.M., Benedetti, V. *Nutrição e fertilização florestal*. ESALQ/USP, Piracicaba, Brasil. p. 309-350.
- Guerrini, I.A., Trigueiro, R.M. 2003. Uso de biossólido como substrato para produção de mudas de eucalipto. *Revista Scientia Forestalis* 64: 150-162.
- Guerrini, I.A., Trigueiro, R.M. 2004. Atributos físicos e químicos de substratos compostos por biossólidos e casca de arroz carbonizada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 28: 1069-1076.
- Irwin, H.S., Barneby, R.C. 1982. The American Cassinae, a synoptical revision of Leguminosae, Tribe Cassieae, subtribe Cassinae in the New World. *Memoires of the New York Botanical Garden* 35: 1-918.
- Lemainski, J., Silva, J.E. 2006. Avaliação agrônômica e econômica da aplicação de biossólido na produção de soja. *Revista agropecuária brasileira*, 41: 1477-1484.
- Maia, A.R., Lopes, J.C., Teixeira, C.O. 2007. Efeito do envelhecimento acelerado na avaliação

- da qualidade fisiológica de sementes de trigo. *Revista Ciência e Agrotecnologia*, 31: 678-684.
- MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2007. Instrução Normativa SDA Nº 17. Diário Oficial da União- Seção 1, nº 99, 24 de maio de 2007. Métodos Analíticos Oficiais para Análise de Substratos para Plantas e Condicionadores de Solo. Brasília.
- Neves, J.C.L., Gomes, J.M., Novais, R.F.de. 1990. Fertilização mineral de mudas de eucalipto. In: Barros, N.F., Novais, R.F. (Ed.). *Relação solo-eucalipto*, Folha de Viçosa, Viçosa, Brasil. p. 99-126.
- Nogueira, N.O., Oliveira, O.M., Martins, C.A.S., Bernardes, C.O. 2012. Utilização de leguminosas para recuperação de áreas degradadas. *Enciclopédia biosfera, Centro Científico Conhecer*, 8: 2121-2131.
- Nobrega, R.S.A., Vilas Boas, R.C., Nobrega, J.C.A., Paula, A.M., Moreira, F.M.S. 2007. Utilização de lodo de esgoto no crescimento inicial de mudas de aroeira (*Schinus terebinthifolius*/Raddi). *Revista Árvore* 31: 239-246.
- Pedroza, M.M., Vieira, G.E.F, Sousa, J.F., Pickler, A.C., Leal, E.R.M., Milhomen, C.C. 2010. Produção e tratamento de lodo de esgoto – uma revisão. *Revista Liberato*, 11: 89-188.
- Prado, R.M., Natale, W. 2004. Calagem na nutrição de cálcio e no desenvolvimento do sistema radicular da goiabeira. *Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira* 39: 1007-1012.
- Rodrigues, S.R., Flores, A.S., Miotto, S.T.S., Baptista, L.R.M. 2005. O gênero *Senna* (Leguminosae, Caesalpinioideae) no Rio Grande do Sul, Brasil. *Acta Botânica Brasílica* 19: 1-16.
- Santos, F.E.V., Araújo, J.M., Andrade, W.C., Costa, C.C., Silva, A.G. 2013. Formação de mudas de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake com utilização de resíduo sólido orgânico urbano. *Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer*, 9: 1203-1214.
- Tedesco, M.J., Gianello, C., Bissani, C.A., Bohnen, H., Volkweiss, S.J. 1995. Análise de solos, plantas e outros materiais. Porto Alegre UFRG 174 p: Boletim Técnico 5.
- Trazzi, P.A. *Substratos renováveis na produção de mudas de Tectona grandis* Linn F. 74p. (Dissertação de Mestrado) - Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2011.
- Trigueiro, R.M., Guerrini, I.A. 2003. Uso de lodo de esgoto como substrato para produção de mudas de eucalipto. *Scientia Forestalis* 64: 150-162.
- Tsutiya, M.T., Sobrinho, P.A, Hespanhol, I. 2002. *Biossólidos na Agricultura*. São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES, v. 1. 468p.
- Wendling, I., Gatto, A. 2002. *Substratos, adubação e irrigação na produção de mudas*. Aprenda Fácil, Viçosa, Brasil. 165 p.
- Valeri, S.V., Corradini, L. 2005. Fertilização em viveiros para a produção de mudas de *Eucalyptus* e *Pinus*. In: Gonçalves, J. L. M., Benedetti, V. *Nutrição e fertilização florestal*. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, Piracicaba, Brasil. p.167-190.
- Vanzo, J.E., Macedo, L.S., Tsutiya, M.T. 2001. Registros da produção de biossólidos. O caso da ETE de Franca. In: Tsutiya, M.T, Comparini, J.B., Alem Sobrinho, P., Hespanhol, I., Carvalho, P.C.T., Melfi, A.J., Melo., W.J., Marques, M.O., eds. *Biossólidos na agricultura*. São Paulo, SABESP, p. 227-242.