

Lodo de esgoto e vermiculita na produção de mudas de eucalipto¹

Marcos Vinicius Caldeira², William Macedo Delarmelina²,
Leonardo Peroni², Elzimar de Oliveira Gonçalves², Aderbal Gomes da Silva²

ABSTRACT

Use of sewage sludge and vermiculite for producing *Eucalyptus* seedlings

The success concerning forest plantations is not only dependent on the species used, but is also directly related to the kind of container, seeds quality and substrate used. Thus, this study aimed at evaluating the use of sewage sludge, together with vermiculite, in the composition of substrates used for producing *Eucalyptus grandis* seedlings from seeds. A completely randomized design, with six treatments and six replications of four plants, was used. The treatments consisted of the following sewage sludge and vermiculite proportions (v:v): 100:0 (T1), 80:20 (T2), 60:40 (T3), 40:60 (T4), 20:80 (T5) and a commercial substrate (T6). The collar diameter, height, ratio between shoot height and collar diameter, shoot dry matter, root dry matter, total dry matter, ratio between shoot and root dry matter, ratio between height and shoot dry matter and Dickson Quality Index were evaluated. At 90 days after germination, it was observed that the use of different proportions of sewage sludge and vermiculite influenced positively the growth of *Eucalyptus* seedlings, with better results for higher proportions of vermiculite. The best substrate was the one with 20% of sewage sludge and 80% of vermiculite.

KEY-WORDS: *Eucalyptus grandis*; substrate composition; morphological parameters.

INTRODUÇÃO

Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) geram, ao final do processo, um subproduto denominado lodo de esgoto. Trata-se de um resíduo urbano, de caráter predominantemente orgânico, semisólido, com variáveis teores de componentes inorgânicos, obtido do tratamento de águas residuais (Cassini et al. 2003).

Dentre as diversas formas de disposição final desse resíduo no ambiente estão a incinera-

RESUMO

O êxito de plantios florestais não está ligado, unicamente, à espécie utilizada, mas depende, diretamente, do tipo de recipiente, da qualidade das sementes e do substrato utilizado. Assim, objetivou-se avaliar a utilização de lodo de esgoto, juntamente com vermiculita, na composição de substratos, para a produção de mudas de *Eucalyptus grandis* provenientes de sementes. Adotou-se o delineamento inteiramente casualizado, com seis tratamentos e seis repetições de quatro plantas. Os tratamentos foram compostos pelas seguintes proporções de lodo de esgoto e vermiculita (v:v): 100:0 (T1), 80:20 (T2), 60:40 (T3), 40:60 (T4), 20:80 (T5) e substrato comercial (T6). As características avaliadas foram o diâmetro do coleto, altura, relação entre a altura da parte aérea e diâmetro do coleto, massa seca da parte aérea, massa seca do sistema radicular, massa seca total, relação entre a massa seca da parte aérea e a massa seca do sistema radicular, relação entre a altura e a massa seca da parte aérea e Índice de Qualidade de Dickson. Aos 90 dias após a germinação, constatou-se que a utilização de diferentes proporções de lodo de esgoto e vermiculita influenciou, de maneira positiva, no crescimento das mudas de eucalipto, destacando-se as maiores proporções de vermiculita. O substrato que proporcionou os melhores resultados foi o composto por 20% de lodo de esgoto e 80% de vermiculita.

PALAVRAS-CHAVE: *Eucalyptus grandis*; composição de substrato; características morfológicas.

ção, disposição em oceanos, reutilização industrial, aterramento sanitário e, principalmente, a utilização no meio agrícola e florestal (Bettiol & Camargo 2006).

Por ser considerado excelente fornecedor de matéria orgânica, o lodo de esgoto é capaz de melhorar as propriedades físicas e químicas do substrato (Jorge et al. 1991). De acordo com estudos realizados por Trigueiro & Guerrini (2003), o uso do lodo de esgoto como componente de substratos representa uma alternativa viável para a sua disposição final,

1. Trabalho recebido em jun./2012 e aceito para publicação em maio/2013 (n° registro: PAT 18795).

2. Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Alegre, ES, Brasil. E-mails: mvwcaldeira@gmail.com, williamdm@hotmail.com, leonardo_peroni2007@hotmail.com, elzimarog@yahoo.com.br, aderbalsilva@yahoo.com.br.

refletindo em economia de fertilizantes e benefícios ambientais.

Maia (1999) relata, em experimento utilizando lodo de esgoto, solo e casca de pinus, como substrato, que o uso de solo no substrato é dispensável e que o lodo de esgoto, por sua vez, não deve ser utilizado na forma pura, provavelmente devido à falta de porosidade, sendo aconselhada a sua utilização juntamente com um material poroso.

De modo geral, não há um substrato isolado que satisfaça todas as condições necessárias e garanta o crescimento satisfatório de espécies florestais. Desta forma, é sempre aconselhável utilizar componentes de um substrato em forma de mistura, já que os mesmos podem apresentar características indesejáveis à planta, quando usados isoladamente (Caldeira et al. 2011a).

Outro material atualmente muito utilizado como constituinte do substrato, para produção de mudas, é a vermiculita. Este material é um mineral inerte, de baixa densidade e estrutura variável, constituído de lâminas ou camadas justapostas em tetraedros de sílica e octaedros de ferro (Fe) e magnésio (Mg). Por conter tais características, este material necessita de balanceamento de nutrientes essenciais (Gomes & Paiva 2006) e deve ser utilizado em conjunto com outro material, preferencialmente de origem orgânica, com a finalidade de promover maior aeração e porosidade a outros substratos menos porosos.

A necessidade de se obter uma formulação de substrato que promova produção em quantidade e qualidade, para mudas de eucalipto, deve-se, principalmente, à importância que este gênero possui na composição de povoamentos florestais. As principais características encontradas neste gênero são o rápido crescimento e a boa adaptabilidade às condições de solo e clima, que lhes propiciam ciclos de corte relativamente curtos e alta produtividade, quando comparado com espécies florestais nativas (Barretto et al. 2007). O *Eucalyptus grandis* apresenta qualidades superiores, em relação às demais espécies do gênero, como, por exemplo, a desrama espontânea, que origina fustes de aspecto colunar e liso (Mora & Garcia 2000).

Diversos estudos demonstram que a utilização do lodo de esgoto é uma alternativa viável para a produção de mudas, tanto nativas (Kratz 2011, Caldeira et al. 2013) quanto para espécies exóticas, como as do gênero *Eucalyptus* (Trigueiro & Guerrini 2003, Peroni 2012).

Considerando-se o potencial de utilização do lodo de esgoto para a produção de mudas, o presente estudo objetivou avaliar as características químicas e físicas de substratos formulados com diferentes proporções de lodo de esgoto e vermiculita, além de analisar os efeitos dos componentes do substrato no crescimento de mudas seminais de *Eucalyptus grandis*.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no Viveiro Florestal do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (20°45'S, 41°31'W e altitude média de 120 m), no município de Alegre, no sul do Estado do Espírito Santo, de setembro a dezembro de 2011. O clima é do 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 1.104 mm (Maia et al. 2007).

O lodo de esgoto utilizado na formulação dos substratos foi proveniente de filtro anaeróbico de fluxo ascendente, doado pela empresa Foz do Brasil S. A., tendo sido coletado na Estação de Tratamento de Esgoto da empresa, localizada no município de Cachoeiro de Itapemirim, região sul do Estado do Espírito Santo. Sua análise química (Tabela 1) demonstrou que o lodo possui aptidão para uso em ambientes agrícolas, exceto para culturas alimentícias (Brasil 2006). A vermiculita, por sua vez, foi doada pela empresa Fibria S. A. (Unidade Aracruz, ES).

O lodo de esgoto ficou exposto a pleno sol, em ambiente aberto, por 30 dias, e foi, posteriormente, passado por uma peneira de aço com malha de 2,0 mm, para homogeneização das partículas.

Os tratamentos com lodo de esgoto e vermiculita foram formulados misturando-se, manualmente, os dois componentes, nas seguintes proporções (v:v): 100:0 (T1), 80:20 (T2), 60:40 (T3), 40:60 (T4) e 20:80 (T5). Por sua vez, o substrato comercial composto por 60% de casca de pinus, 15% de vermiculita e 25% de húmus (T6) foi utilizado como testemunha. Adotou-se o delineamento inteiramente casualizado, com seis tratamentos e seis repetições, sendo cada parcela composta por quatro plantas.

Para medir os volumes necessários dos componentes a serem misturados, foi utilizada uma proveta graduada, com capacidade para 1.000,0 mL, e, após

Tabela 1. Teores de metais pesados no lodo de esgoto de filtro anaeróbico oriundo da Estação de Tratamento de Esgoto de Cachoeiro de Itapemirim (ES, 2011).

Parâmetros	Resultados analíticos*	Conama 375/2006**
Arsênio	< 0,5 mg dm ⁻³	41 mg dm ⁻³
Bário	156 mg dm ⁻³	1.300 mg dm ⁻³
Cádmio	< 0,053 mg dm ⁻³	39 mg dm ⁻³
Chumbo	29 mg dm ⁻³	300 mg dm ⁻³
Cobre	98 mg dm ⁻³	1.500 mg dm ⁻³
Cromo	26 mg dm ⁻³	1.000 mg dm ⁻³
Molibdênio	3,5 mg dm ⁻³	50 mg dm ⁻³
Níquel	11 mg dm ⁻³	420 mg dm ⁻³
Selênio	< 0,5 mg dm ⁻³	100 mg dm ⁻³
Zinco	409 mg dm ⁻³	2.800 mg dm ⁻³
Fósforo total	4.128 mg dm ⁻³	-
pH (suspensão a 5%)	5,2	-
Enxofre	1,30%	-
Nitrogênio total Kjeldahl	5.646 mg dm ⁻³	-
Nitrogênio amoniacal	60 mg dm ⁻³	-
Carbono orgânico total	16%	-
Potássio	1.623 mg dm ⁻³	-
Sódio	399 mg dm ⁻³	-

* Resultado fornecido pela empresa Foz do Brasil S. A.; ** (Brasil 2006).

a homogeneização dos mesmos, foram separadas amostras de cada tratamento, para a posterior realização das análises químicas e físicas.

No momento da mistura dos materiais, foi adicionado fertilizante, conforme recomendação proposta por Gonçalves et al. (2000), para *Eucalyptus sp.* Utilizou-se 750,0 g de sulfato de amônio (20% N), 1.667,0 g de superfosfato simples (18% P₂O₅) e 172,0 g de cloreto de potássio (60% K₂O) por m³ de substrato. Optou-se por utilizar fertilizantes em pó, pela facilidade de homogeneização no substrato. A calagem, adubação com micronutrientes e adubação de cobertura não foram realizadas.

Para a análise química, utilizou-se o método da Embrapa (2009), para a determinação dos teores disponíveis de macronutrientes, pH, alumínio trocável (Al), acidez titulável (H + Al), capacidade de troca de cátions a pH 7 (CTC), soma de bases (SB), saturação por bases (V) e saturação por alumínio (m), nos substratos utilizados.

A caracterização física dos substratos foi realizada no Laboratório de Substratos do Departamento de Horticultura e Silvicultura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, conforme metodologia proposta pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Brasil 2007). Foram determinados a densidade aparente, porosidade total, espaço de

aeração (EA), microporosidade, macroporosidade, água facilmente disponível (AFD), água tamponante (AT) e água disponível (AD).

Para a produção das mudas, foram utilizados tubetes cilindro-cônicos, com capacidade volumétrica de 280,0 cm³ e dimensões de 19,0 cm de comprimento, 5,2 cm de diâmetro de abertura superior e 1,3 cm de diâmetro de abertura inferior, com oito estrias internas salientes. Realizou-se a semeadura direta nos tubetes, de forma manual, com cada tubete recebendo uma quantidade de sementes tomada com as pontas dos dedos, contendo, aproximadamente, 0,0139 g (33 sementes), as quais foram cobertas por uma fina camada de substrato.

Após a semeadura, quando as mudas atingiram altura de 7,0-10,0 cm e, no mínimo, um par de folhas, realizou-se um desbaste, por meio de corte com tesoura, das mudas excedentes. Deixou-se, como remanescente, a planta mais centralizada no tubete e com melhor crescimento da parte aérea. Após 60 dias da semeadura, as mudas seguiram para a área de rustificação, onde ficaram expostas a pleno sol, por 30 dias, sob sistema de irrigação automático, com duas irrigações, no período da manhã, e duas à tarde.

Aos 90 dias após a semeadura, foram mensuradas as seguintes características das mudas: diâmetro do coleto (DC), altura (H), relação entre a altura da parte aérea e o diâmetro do coleto (H/DC), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca do sistema radicular (MSR), massa seca total (MST), relação entre a massa seca da parte aérea e a massa seca do sistema radicular (MSPA/MSR), relação entre a altura e a massa seca da parte aérea (H/MSPA) 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). A quantificação da massa seca da parte aérea e do sistema radicular foi efetuada por meio da pesagem das respectivas partes vegetais, após a secagem em estufa de circulação forçada de ar, a 70°C, por um período de, aproximadamente, 72 horas. O Índice de Qualidade de Dickson foi obtido pela fórmula de Dickson et al. (1960):

$$IQD = \frac{MST}{H/D + MSPA/MSR}$$

em que MST(g) = massa seca total; H(cm) = altura; D(mm) = diâmetro do coleto; MSPA(g) =

massa seca da parte aérea; e MSR(g) = massa seca da raiz.

As características analisadas foram submetidas à análise estatística, por meio de comparação de médias pelo teste Scott-Knott, a 5%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No presente estudo, de um modo geral, ficou evidente a melhoria nas propriedades químicas, em razão da adição do lodo de esgoto na composição do substrato (Tabela 2), com aumento nas médias encontradas para a quantidade de fósforo, potássio, cálcio e, principalmente, melhoria na capacidade de troca catiônica, a qual resulta no aumento da fertilidade do substrato.

As maiores médias de P foram encontradas nos tratamentos com lodo de esgoto, sendo o tratamento composto apenas por este resíduo o maior fornecedor de P. Poggiani et al. (2000) avaliaram que o teor de P presente nas folhas foi significativamente superior no tratamento com adubação mineral, em relação aos adubados com lodo de esgoto, em experimento de campo com *E. grandis*, e sugeriram, diferentemente do presente estudo, baixa disponibilidade de P no lodo de esgoto.

A alteração na proporção da mistura refletiu, significativamente, na composição química dos tratamentos. Desta forma, à medida em que se reduziu a quantidade de biossólido no substrato, houve redução dos nutrientes P, Ca e Mg. Por outro lado, o teor de K foi estatisticamente maior no tratamento T6 (substrato comercial), que contém maior quantidade deste nutriente, quando comparado ao lodo de esgoto.

Todos os tratamentos formulados apresentaram valores de pH fora da faixa considerada adequada

para o desenvolvimento de mudas, ou seja, de 5,5 a 6,5, segundo Gonçalves & Poggiani (1996) e Valeri & Corradini (2005).

Observou-se que a utilização de maiores proporções de lodo de esgoto resultou em maiores médias de densidade aparente (D_a), o que acarretou menores teores totais de poros, nos tratamentos T1 e T2, com 100% e 80% de lodo de esgoto, respectivamente (Tabela 3).

A macroporosidade, de acordo com a classificação de Gonçalves & Poggiani (1996), possui teor adequado para o tratamento T5 (20% de lodo de esgoto + 80% de vermiculita), mostrando que o aumento da proporção de vermiculita no substrato provoca o acréscimo da macroporosidade, o que tende a facilitar o crescimento do sistema radicular (Fermino & Kämpf 2006).

Para a microporosidade, as maiores médias foram evidenciadas nos tratamentos com maiores proporções de lodo de esgoto (T1, T2 e T3), aumentando, conseqüentemente, a capacidade de o substrato reter água, fato, este, que pode ser verificado quando se analisa a água disponível nos substratos com maiores proporções de lodo.

Vale ressaltar que as características físicas do substrato apenas foram o diferencial nos resultados deste trabalho porque foi realizada adubação de base conforme Gonçalves et al. (2000), deixando os substratos com características químicas satisfatórias para o crescimento das mudas.

Considerando-se as características de crescimento, as mudas produzidas com maiores proporções de vermiculita, em relação ao lodo de esgoto, apresentaram resultados estatisticamente superiores, quando comparadas ao tratamento testemunha formulado apenas com substrato comercial (Tabela 4).

Tabela 2. Teores disponíveis de macro e micronutrientes e características químicas dos substratos formulados com lodo de esgoto e vermiculita, na produção de mudas de *E. grandis* com adição de fertilizantes (Alegre, ES, 2011).

Lodo de esgoto	Vermiculita	pH	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H + Al	CTC	SB	V	m
— % —	— % —	H ₂ O	— mg dm ⁻³ —			— cmol _c dm ⁻³ —				— % —			
100	0	4,0 b	204 a	144 b	71 e	12,5 b	4,8 c	0,9 a	23 a	41,0 a	18,0 c	44,0 d	4,8 b
80	20	4,0 b	154 c	132 c	87 d	17,7 a	5,8 b	0,9 a	19,3 a	43,6 a	24,2 b	55,6 b	3,6 c
60	40	4,1 b	132 d	125 c	133 c	12,5 b	4,7 c	0,9 a	19,7 a	37,8 b	18,2 c	48,0 c	4,7 b
40	60	4,0 b	123 d	92 d	151 b	10,0 c	4,6 c	0,7 a	15,2 b	30,6 c	15,5 c	50,5 c	4,3 b
20	80	4,4 b	62 e	72 e	191 a	5,7 d	4,3 c	0,7 a	11,3 c	22,4 d	11,0 d	49,4 c	6,0 a
Substrato comercial		6,6 a	189 b	470 a	20 f	13,1 b	13,9 a	0,0 b	7,0 d	35,3 b	28,3 a	80,2 a	0,0 d
F		**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
CV (%)		6,6	4,2	3,5	5,5	16,8	4,7	26,7	12,6	5,7	10,4	3,6	7,0

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

Tabela 3. Densidade aparente (Da), porosidade total (PT), macroporosidade (MAC), microporosidade (MIC), espaço de aeração (EA), água facilmente disponível (AFD), água tamponante (AT) e água disponível (AD) dos substratos formulados com lodo de esgoto e vermiculita, na produção de mudas de *E. grandis* (Alegre, ES, 2011).

Lodo de esgoto	Vermiculita	Da	PT	MAC	MIC	EA	AFD	AT	AD
%		g cm ⁻³	%						
0	0	0,21 c	75 c	23 d	52 a	17 b	25 a	5 a	30 a
80	20	0,26 b	79 b	27 c	52 a	21 b	20 b	5 a	26 b
60	40	0,19 c	81 a	32 b	49 a	22 b	17 b	6 a	22 c
40	60	0,11 d	82 a	38 a	44 b	21 b	12 c	6 a	17 d
20	80	0,05 e	81 a	40 a	41 b	19 b	11 c	5 a	16 d
Substrato comercial		0,32 a	85 a	33 b	52 a	26 a	19 b	3 a	23 c
F		**	**	**	**	**	**	ns	**
CV (%)		10,5	2,5	6,2	4,1	9,5	11,5	40,0	8,96

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

Tabela 4. Médias e erro padrão da altura, diâmetro do coleto, massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca de raízes (MSR) e massa seca total (MST) de mudas de *E. grandis*, em função de substratos formulados com lodo de esgoto e vermiculita (Alegre, ES, 2011).

Lodo de esgoto	Vermiculita	Altura	Diâmetro coleto	MSPA	MSR	MST
%		cm	mm	g		
100	0	25,6 b ± 0,65	2,6 a ± 0,11	0,94 b ± 0,03	0,26 c ± 0,02	1,20 b ± 0,04
80	20	22,8 b ± 2,63	2,6 a ± 0,18	1,31 a ± 0,24	0,43 c ± 0,07	1,74 b ± 0,31
60	40	32,4 a ± 3,74	3,1 a ± 0,33	2,00 a ± 0,44	0,82 b ± 0,08	2,83 a ± 0,52
40	60	34,0 a ± 3,65	3,2 a ± 0,25	1,79 a ± 0,18	0,62 c ± 0,07	2,42 a ± 0,23
20	80	35,6 a ± 1,32	2,9 a ± 0,12	2,29 a ± 0,08	1,15 a ± 0,04	3,44 a ± 0,10
Substrato comercial		9,7 c ± 0,53	1,3 b ± 0,05	0,14 c ± 0,03	0,02 d ± 0,00	0,16 c ± 0,03
F		**	**	**	**	**
CV (%)		23,42	20,14	39,45	26,11	34,32

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

Observou-se que, 90 dias após a semeadura, a altura das mudas apresentou amplitude que variou de 9,7 cm, para o tratamento testemunha (T6), a 35,6 cm, para o tratamento com 20% de lodo de esgoto + 80% de vermiculita (T5). Os resultados obtidos para esta característica (Tabela 4) mostram que o crescimento em altura foi maior nos substratos com lodo de esgoto e vermiculita.

As maiores médias de altura foram obtidas nos tratamentos com 60%, 40% e 20% de lodo de esgoto associado à vermiculita (T3, T4 e T5, respectivamente), não diferindo, estatisticamente, entre si. Resultados semelhantes aos do presente estudo foram encontrados por Caldeira et al. (2012), testando o uso de lodo de esgoto juntamente com substrato comercial, nas seguintes proporções (v:v): 20:80 (T1); 40:60 (T2); 60:40 (T3); 80:20 (T4); 100:0 (T5); e 0:100 (T6), os quais observaram que todos os substratos com lodo de esgoto proporcionaram melhores médias de altura que o tratamento T6 (substrato comercial), para mudas de *Tectona grandis*, aos 120 dias de idade.

Para o diâmetro do coleto, Wendling & Dutra (2010) consideram que mudas de eucalipto com adequado padrão de qualidade devem possuir um valor mínimo de 2,0 mm, confrontando Lopes et al. (2007), que defendem média de 2,5 mm, para o plantio de *Eucalyptus grandis* no campo. Com isto, pôde-se concluir que apenas o tratamento testemunha (T6) não se enquadrava no diâmetro mínimo considerado adequado pelos autores supracitados, para ser levado ao campo aos 90 dias de crescimento das mudas, apresentando média de 1,26 mm de diâmetro do coleto.

No mesmo sentido, Simões et al. (2012), testando a produção de mudas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden × *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake, por meio de propagação sexuada, utilizando 12 composições de substrato, observaram que houve variação de 2,45 mm a 3,48 mm, para o diâmetro das mudas. Os autores também concluíram que os melhores resultados foram obtidos nos substratos com mistura 1:1 de casca de arroz carbonizada e fibra de coco e 1:1 de vermiculita e fibra de coco.

Para a massa seca da parte aérea, verificou-se que a utilização de 20%, 40%, 60% e 80% de lodo de esgoto, respectivamente com 80%, 60%, 40% e 20% de vermiculita, proporcionou maiores médias desta característica para mudas de *E. grandis* (Tabela 4). Resultados contrários aos do presente estudo foram verificados por Trigueiro & Guerrini (2003), os quais concluíram que a massa seca da parte aérea de mudas de *Eucalyptus grandis* foi superior com substrato comercial apresentando a mesma constituição utilizada neste estudo.

Para a produção de massa seca da raiz, apenas a utilização de 20% de lodo de esgoto (T5) no substrato fez com que as mudas apresentassem a maior média para esta característica, comprovando, assim, que o tratamento T5, com 80% de lodo de esgoto e 20% de vermiculita, apresentou a maior média, sendo estatisticamente diferente dos demais tratamentos.

Trigueiro & Guerrini (2003) observaram que, à medida em que se diminuiu a proporção de lodo de esgoto no substrato, produziu-se um efeito positivo no acúmulo de massa seca da raiz até a proporção 50:50 (lodo de esgoto:casca de arroz carbonizada), em mudas de *Pinus taeda*. Tendência semelhante foi evidenciada no presente estudo, no qual a maior MSR foi obtida na menor proporção de lodo de esgoto:vermiculita (20:80).

Esse resultado também foi notado por Nóbrega et al. (2007), avaliando a mistura de lodo de esgoto com solo de horizontes subsuperficiais (Latossolo Vermelho-Amarelo e Neossolo Quartzarênico), como substrato, no crescimento inicial de mudas de aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi), sendo verificadas melhorias na fertilidade dos substratos, com o aumento nos teores de P, K, Ca, Mg,

soma de bases, CTC, matéria orgânica e teores de micronutrientes.

A MSPA/MSR (Tabela 5) é um índice de qualidade considerado importante na avaliação de mudas que irão a campo, pois a massa aérea das mudas não deve ser muito superior à massa seca de raízes, já que pode ocasionar possíveis problemas na sustentação das plantas e/ou na absorção de água pela raiz. Caldeira et al. (2008a) defendem que a relação MSPA/MSR deve ser de 2:1, para demonstrar o bom equilíbrio de crescimento entre a parte aérea e a raiz. Neste sentido, pôde-se inferir que as mudas dos tratamentos com lodo de esgoto (T1, T2, T3, T4, T5) apresentaram maior probabilidade de sobrevivência, quando levadas a campo.

Relacionando-se as características morfológicas altura e diâmetro do coleto, obtém-se um importante índice, que avalia o equilíbrio de crescimento das mudas (Carneiro 1995), denominado índice de robustez. Sua avaliação é de grande importância para determinar o quão delgada é a muda produzida. Os resultados obtidos para o índice de robustez (H/DC) variaram entre 7,63 e 12,46, sendo próximos aos obtidos por Trigueiro & Guerrini (2003) e Peroni (2012) e superiores aos observados por Caldeira et al. (2012).

Conforme recomendação de Carneiro (1995), a relação H/DC deve situar-se entre 5,4 e 8,1, para demonstrar equilíbrio de crescimento entre a altura e o diâmetro das mudas. Desta forma, apenas o tratamento com o substrato comercial (T6) enquadra-se na faixa considerada adequada. Entretanto, o tratamento T6 não obteve bons resultados nas demais características avaliadas, sugerindo que a faixa recomendada por Carneiro (1995) pode não ser a mais adequada,

Tabela 5. Relações massa seca da parte aérea/raiz (MSPA/MSR), altura/diâmetro do coleto (H/DC), altura/massa seca da parte aérea (H/MSPA) e Índice de Qualidade de Dickson (IQD) de mudas de *E. grandis*, em função dos substratos formulados com lodo de esgoto e vermiculita (Alegre, ES, 2011).

Lodo de esgoto %	Vermiculita %	MSPA/MSR	H/DC	H/MSPA	IQD
100	0	3,75 b ± 0,34	9,99 b ± 0,19	27,70 b ± 0,43	0,09 c ± 0,01
80	20	3,00 b ± 0,15	8,63 c ± 0,48	17,48 b ± 0,80	0,15 b ± 0,02
60	40	2,25 b ± 0,30	10,46 b ± 0,28	19,65 b ± 1,13	0,21 a ± 0,04
40	60	2,93 b ± 0,23	10,51 b ± 0,55	18,36 b ± 1,06	0,18 b ± 0,01
20	80	2,00 b ± 0,11	12,46 a ± 0,39	16,04 b ± 0,50	0,24 a ± 0,01
Substrato Comercial		6,67 a ± 1,23	7,63 c ± 0,14	67,83 a ± 28,39	0,01 d ± 0,00
F		**	**	**	**
CV (%)		42,73	9,01	51,42	32,56

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

já que as mudas de *E. grandis* produzidas nos substratos com maior relação H/DC são, também, as que possuem melhores condições de serem levadas ao campo.

A relação altura/massa seca da parte aérea deve ser considerada para se avaliar o padrão de qualidade das mudas (Gomes et al. 2002, Caldeira et al. 2011a e 2011b). Gomes et al. (2002) enfatizaram que mudas que apresentam menores médias para a relação H/MSPA possuem maiores chances de sobrevivência em campo, por serem consideradas mais lignificadas. Com base nisto, pôde-se inferir que as mudas de todos os tratamentos com lodo de esgoto, em especial o T5, possuem maior capacidade de sobrevivência em campo, e que as mudas do tratamento T6 possuem qualidade inferior à dos demais tratamentos e, portanto, menor capacidade de permanência, quando plantadas.

Peroni (2012), trabalhando com lodo de esgoto e diversos resíduos orgânicos, observou amplitude para H/MSPA variando entre 14,81 e 89,96, para *E. grandis*, semelhantemente ao que ocorreu neste estudo, no qual foram observados índices variando de 16,04 a 67,83.

Para o IQD, assim como para outras características, os melhores tratamentos foram aqueles com 60% de lodo de esgoto + 40% de vermiculita (T3) e 20% de lodo de esgoto + 80% de vermiculita (T5), diferenciando-se, estatisticamente, dos demais e situando-os acima do mínimo recomendado por Gomes & Paiva (2006), que defendem IQD superior a 0,2, para mudas de *Pseudotsu gamenziesii* e *Picea abies*. Complementado esta avaliação, Gomes et al. (2002) defendem que quanto maior o valor do quociente, melhor o padrão de qualidade das mudas.

Trabalhando com *Eucalyptus urophylla*, Oliveira Júnior et al. (2011) verificaram maiores valores de IQD nos tratamentos que continham esterco bovino, pó de casca de coco e vermiculita, como componentes. Steffen et al. (2011) encontraram valores de IQD variando entre 0,12 e 0,21, para mudas de *Eucalyptus grandis*, e entre 0,05 e 0,20, para mudas de *Corymbia citriodora* produzidas em substratos compostos por diferentes proporções de vermicomposto e turfa.

A literatura evidencia que o IQD é um índice variável (Caldeira et al. 2000a, Caldeira et al. 2000b, Caldeira et al. 2005, Caldeira et al. 2007, Caldeira et al. 2008a, Caldeira et al. 2008b, Saidelles et al. 2009, Trazzi et al. 2010, Kratz 2011, Trazzi 2011).

Neste sentido, pôde-se inferir que o IQD pode variar em função da espécie, manejo das mudas no viveiro, tipo e proporção do substrato, volume do recipiente e, principalmente, da idade em que a muda foi avaliada.

As características morfológicas, quando relacionadas aos resultados das análises químicas e físicas dos substratos, mostraram que menores teores disponíveis de nutrientes, aliados à baixa densidade dos substratos fornecida pela vermiculita e níveis adequados de porosidade, proporcionam melhores resultados para as características de crescimento (H, DC, MSPA, MSR e MST) e índices de qualidade (H/DC e IQD) de mudas de *E. grandis*.

CONCLUSÕES

1. O aumento na percentagem de lodo de esgoto e a diminuição na percentagem de vermiculita promoveram aumento na densidade aparente, aumentando a microporosidade dos substratos e, conseqüentemente, a água disponível.
2. Em geral, a quantidade de nutrientes no substrato foi aumentada com a utilização do lodo de esgoto, exceto para K e Mg.
3. A utilização de proporções menores de lodo de esgoto e maiores de vermiculita, nos substratos, alterou, positivamente, as características morfológicas das mudas de *Eucalyptus grandis*.
4. O melhor substrato testado para a produção de mudas de *Eucalyptus grandis* foi o que apresentou 20% de lodo de esgoto associado a 80% de vermiculita.

REFERÊNCIAS

- BARRETTO, V. C. de M. et al. Eficiência de uso de boro no crescimento de clones de eucalipto em vasos. *Revista Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 76, n. 1, p. 21-33, 2007.
- BETTIOL, W.; CAMARGO, O. de. *Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura*. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa nº 17, de 21 de maio de 2007. Métodos analíticos oficiais para análise de substratos para plantas e condicionadores de solo. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 24 maio 2007. Seção 1, p. 8.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. *Resolução nº 375/2006, de 30 de agosto de 2006*. 2006. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em: 20 mar. 2013.

- 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.
- CALDEIRA, M. V. W. et al. Composto orgânico na produção de mudas de aroeira-vermelha. *Scientia Agraria*, Curitiba, v. 9, n. 1, p. 27-33, 2008b.
- CALDEIRA, M. V. W. et al. Crescimento de mudas de *Eucalyptus saligna* Smith em função de diferentes doses de vermicomposto. *Revista Floresta*, Curitiba, v. 28, n. 1/2, p. 19-30, 2000a.
- CALDEIRA, M. V. W. et al. Effect of different doses of vermicompost on the growth of *Apuleia leiocarpa* (Vog) Macbr. seedlings. *Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais*, São José dos Pinhais, v. 3, n. 1, p. 11-17, 2005.
- CALDEIRA, M. V. W. et al. Influência do resíduo da indústria do algodão na formulação de substrato para produção de mudas de *Schinus terebinthifolius* Raddi, *Archontophoenix alexandrae* Wendl. et Drude e *Archontophoenix cunninghamiana* Wendl. et Drude. *Ambiência*, Guarapuava, v. 3, n. 3, p. 311-323, 2007.
- CALDEIRA, M. V. W. et al. Principais tipos e componentes de substratos para produção de mudas de espécies florestais. In: CALDEIRA, M. V. W. et al. (Eds.). *Contexto e perspectivas da área florestal no Brasil*. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2011a. p. 51-100.
- CALDEIRA, M. V. W. et al. Propriedades de substratos para produção de mudas florestais. In: CALDEIRA, M. V. W. et al. (Eds.). *Contexto e perspectivas da área florestal no Brasil*. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2011b. p. 142-160.
- CALDEIRA, M. V. W. et al. Substratos alternativos na produção de mudas de *Chamaecrista desvauxii*. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 37, n. 1, p. 31-39, 2013.
- CALDEIRA, M. V. W. et al. Uso do resíduo do algodão no substrato para produção de mudas florestais. *Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais*, São José dos Pinhais, v. 6, n. 2, p. 191-202, 2008a.
- CALDEIRA, M. V. W.; SCHUMACHER, M. V.; TEDESCO, N. Crescimento de mudas de *Acacia mearnsii* em função de diferentes doses de vermicomposto. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, n. 57, p. 161-170, 2000b.
- CARNEIRO, J. G. A. *Produção e controle de qualidade de mudas florestais*. Curitiba: UFPR/Fupec, 1995.
- CASSINI, S. T.; VAZOLLER, R. F.; PINTO, M. T. Introdução. In: CASSINI, S. T. (Coord.). *Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás*. Rio de Janeiro: Prosab, 2003. p. 1-9.
- DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *Forestry Chronicle*, Mattawa, v. 36, n. 1, p. 11-13, 1960.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.
- FERMINO, M. H.; KÄMPF, A. N. Impedância mecânica de substratos para plantas submetidas a diferentes tensões hídricas. *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, Porto Alegre, v. 12, n. 1, p. 25-30, 2006.
- GOMES, J. M.; PAIVA, H. N. de. *Viveiros florestais (propagação assexuada)*. 3. ed. Viçosa: UFV, 2006.
- GOMES, J. M. et al. Parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 26, n. 6, p. 655-664, 2002.
- GONÇALVES, J. L. M.; POGGIANI, F. Substratos para produção de mudas florestais. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., 1996, Águas de Lindóia. *Anais...* Piracicaba: Sociedade Latinoamericana de Ciência do Solo, 1996. 1 CD-ROM.
- GONÇALVES, J. L. M. et al. Produção de mudas de espécies nativas: substrato, nutrição, sombreamento e fertilização. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Eds.). *Nutrição e fertilização florestal*. Piracicaba: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 2000. p. 309-350.
- JORGE, J. A.; CAMARGO, O. A.; VALADARES, J. M. A. S. Condições físicas de um Latossolo Vermelho-escuro quatro anos após aplicação de lodo de esgoto e calcário. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 15, n. 3, p. 237-240, 1991.
- KRATZ, D. *Substratos renováveis na produção de mudas de Eucalyptus benthamii Maiden et Cambage e Mimosa scabrella Benth.* 2011. 121 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.
- LOPES, J. L. W.; GUERRINI, I. A.; SAAD, J. C. C. Qualidade de mudas de eucalipto produzidas sob diferentes lâminas de irrigação e dois tipos de substrato. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 845-853, 2007.
- MAIA, A. R.; LOPES, J. C.; TEIXEIRA, C. O. Efeito do envelhecimento acelerado na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de trigo. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 31, n. 3, p. 678-684, 2007.
- MAIA, C. M. B. F. Uso da casca de pinus e lodo biológico como substrato para a produção de mudas de *Pinus taeda*. *Boletim de Pesquisa Florestal*, Colombo, v. 39, n.1, p. 81-92, 1999.

- MORA, A. L.; GARCIA, C. H. *A cultura do eucalipto no Brasil*. São Paulo: Verso e Reverso Comunicações, 2000.
- NÓBREGA, R. S. A. et al. Utilização de biossólido no crescimento inicial de mudas de aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi). *Revista Árvore*, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 239-246, 2007.
- OLIVEIRA JÚNIOR, O. A. de; CAIRO, P. A. R.; NOVAES, A. B. de. Características morfofisiológicas associadas à qualidade de mudas de *Eucalyptus urophylla* produzidas em diferentes substratos. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 35, n. 6, p. 1173-1180, 2011.
- PERONI, L. *Substratos renováveis na produção de mudas de Eucalyptus grandis*. 2012. 82 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2012.
- POGGIANI, F.; GUEDES, M. C.; BENEDETTI, V. Aplicabilidade de biossólido em plantações florestais: I. reflexo no ciclo dos nutrientes. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Eds.). *Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto*. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. p. 163-177.
- SAIDELLES, F. L. F. et al. Casca de arroz carbonizada como substrato para produção de mudas de tamboril-da-mata e garapeira. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 30, supl., p. 1173-1186, 2009.
- SIMÕES, D.; SILVA, R. B. G.; SILVA, M. R. Composição do substrato sobre o desenvolvimento, qualidade e custo de produção de mudas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 22, n. 1, p. 91-100, 2012.
- STEFFEN, G. P. K. et al. Utilização de vermicomposto como substrato na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* e *Corymbia citriodora*. *Pesquisa Florestal Brasileira*, Colombo, v. 31, n. 66, p. 75-82, 2011.
- TRAZZI, P. A. *Substratos renováveis na produção de mudas de Tectona grandis Linn F*. 2011. 84 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2011.
- TRAZZI, P. A.; CALDEIRA, M. V. W.; COLOMBI, R. Avaliação de mudas de *Tecoma stans* utilizando biossólido e resíduo orgânico. *Revista de Agricultura*, Piracicaba, v. 85, n. 3, p. 218-226, 2010.
- TRIGUEIRO, R. de M.; GUERRINI, I. A. Uso de biossólido como substrato para produção de mudas de eucalipto. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, n. 64, p. 150-162, 2003.
- VALERI, S. V.; CORRADINI, L. Fertilização em viveiros para a produção de mudas de *Eucalyptus* e *Pinus*. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Eds.). *Nutrição e fertilização florestal*. Piracicaba: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 2005. p. 167-190.
- WENDLING, I.; DUTRA, L. F. Produção de mudas de eucalipto por sementes. In: WENDLING, I.; DUTRA, L. F. *Produção de mudas de eucalipto*. Colombo: Embrapa Florestas, 2010. p. 13-47.