

RESÍDUO AGROINDUSTRIAL E LODO DE ESGOTO COMO SUBSTRATO PARA A PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Eucalyptus urograndis*

AGROINDUSTRIAL WASTE AND SEWAGE SLUDGE AS SUBSTRATE FOR THE *Eucalyptus urograndis* SEEDLING PRODUCTIONS

Francisca Alcivania de Melo Silva¹ Giovanna Margheri Nunes² Jair Augusto Zanon³ Iraê Amaral Guerrini⁴ Reginaldo Barboza da Silva⁵

RESUMO

Os objetivos desse trabalho foram avaliar o uso de substratos à base de resíduos da agroindústria do palmito e lodo de esgoto compostados, na produção de mudas de *Eucalyptus urograndis*, com diferentes níveis de fertilizante, e compará-los a um substrato comercial. Foram utilizados 3 substratos à base de lodo de esgoto e casca de pupunha nas proporções: 50/50; 33/66 e 25/75 v:v, quatro doses de fertilizante granulado (0; 2,0; 4,0 e 6,0 g dm⁻³) e um substrato comercial. Foram avaliados o diâmetro de colo, altura das plantas, H/D, matéria seca da parte aérea e raiz e qualidade do torrão. O uso de lodo de esgoto e casca de pupunha tem viabilidade como substrato na produção de mudas de *Eucalyptus urograndis*, com desempenhos iguais ou superiores ao substrato comercial. O aumento das doses do fertilizante granulado proporcionou efeitos significativos na qualidade das mudas, sendo recomendado o uso de doses acima de 4,0 g dm⁻³.

Palavras-chave: biossólido; viveiros; substrato; eucalipto.

ABSTRACT

The objectives of this study were to evaluate the use of substrates based on residues from the peach palm and composted sewage sludge in the production of *Eucalyptus urograndis* seedlings with different levels of fertilizer and to compare them to a commercial substrate. Three substrates based on sewage sludge and peach palm were used in proportions: 50/50; 33/66 and 25/75 v: v, four levels of granular fertilizer (0, 2.0, 4.0 and 6.0 g dm⁻³) and a commercial substrate. The diameter of the colon, height of the plants, H/D, dry matter of shoot and root and quality of the log were evaluated. The sewage sludge use and peach palm has viability as a substrate in the production of *Eucalyptus urograndis* seedlings, with equal or superior performance to the commercial substrate. The level increase of the granulated fertilizer provided significant effects on the quality of the seedlings, being recommended the use of above 4.0 g dm⁻³.

Keywords: biosolids; nurseries; substrate; eucalyptus.

INTRODUÇÃO

A reciclagem do lodo de esgoto produzido nas estações de tratamento de efluentes na agricultura

- 1 Engenheira Agrônoma, Dr^a, Professora Assistente da Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Campus Experimental de Registro, Rua Nelson Brihi Badur, 430, Vila Tupy, CEP 11900-000, Registro (SP), Brasil. alcivania@registro.unesp.br
- 2 Engenheira Agrônoma, Coordenadoria de Assistência Técnica e Apoio Integral (CATI), Av. Wild José de Souza, 403, Vila Tupy, CEP 11900-000, Registro (SP), Brasil. giovanna.mnj@gmail.com
- 3 Engenheiro Agrônomo, Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná, Rua dos Funcionários, 1540, CEP 80035-050, Paraná (PR), Brasil. zanon.augusto@bol.com.br
- 4 Engenheiro Florestal, Dr., Professor Titular do Departamento de Recursos Naturais e Ciência do Solo, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agronômicas, Campus de Botucatu, Rua José Barbosa de Barros, 1780, CEP 18610-307, Botucatu (SP), Brasil. Bolsista do CNPq. iguerrini@fca.unesp.br
- 5 Engenheiro Agrônomo, Dr., Professor Adjunto da Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Campus Experimental de Registro, Rua Nelson Brihi Badur, 430, Vila Tupy, CEP 11900-000, Registro (SP), Brasil. rbsilva@registro.unesp.br

Recebido para publicação em 22/01/2015 e aceito em 8/03/2017

tem sido apontada como a solução mais viável para a disposição final desses resíduos. Esse material, gerado nas estações de tratamento é conhecido como lodo de esgoto ou biossólido e é rico em matéria orgânica e nutrientes, sendo utilizado para fins agrícola e florestal, pelas características de fertilizante (FERNANDES; SILVA, 1999; BETTIOL; CAMARGO, 2006).

As maiores restrições ao aproveitamento de lodos de esgoto na agricultura são as elevadas concentrações de metais pesados e a possibilidade de contaminação por agentes patogênicos. A compostagem pode ser utilizada como técnica de estabilização e higienização, apresentando elevada eficiência na eliminação de patógenos, resultando em produtos de alta qualidade agronômica (AISSE; FERNANDES; SILVA, 2001), atendendo assim às normas de utilização do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA (Resolução n.375/2006) (BRASIL, 2006).

A compostagem do lodo de esgoto é facilitada quando este é misturado com outro componente com características complementares para que a mistura tenha as condições ótimas para o desenvolvimento do processo. Os agentes estruturantes, ou resíduos estruturantes têm a função de conferir integridade estrutural à mistura a ser compostada, além de fornecer carbono para os microrganismos do processo de compostagem (FERNANDES; ANDRAUS; ANDREOLI, 1996).

O lodo de esgoto compostado com resíduos estruturantes tem potencial para uso como substrato para a produção de espécies florestais. Estudos demonstram que a adição de lodo de esgoto no substrato aumenta a capacidade de retenção hídrica, fornece macro e micronutrientes às mudas, o que resulta em economia da adubação, podendo substituir de modo parcial, ou integral o substrato comercial (TRIGUEIRO; GUERRINI, 2003; FAUSTINO et al., 2005; CUNHA et al., 2006; NOBREGA et al., 2007; SCHEER; CARNEIRO; SANTOS, 2010).

A casca de *Pinus* compostada é um dos componentes mais utilizados como substrato em viveiros florestais. Esses materiais normalmente têm baixa capacidade de retenção de água, necessitando de maior quantidade de nutrientes via adubações frequentes. Estudos que avaliem outros materiais na composição de substratos podem contribuir para a obtenção de mudas de qualidade com otimização de insumos. Scheer, Carneiro e Santos (2010), compararam o desempenho de substratos à base de lodo de esgoto e comercial no crescimento de mudas de *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan (gurucaia), atestando a superioridade dos substratos à base de lodo de esgoto. As vantagens do uso do biossólidos em substratos para a produção de mudas também foram comprovadas por Trigueiro e Guerrini (2003), observando que na proporção de 40 a 50% do biossólido em mistura com casca de arroz carbonizada, o desenvolvimento de mudas de eucalipto foi semelhante ao obtido com o uso do substrato comercial.

A viabilidade do uso de diferentes composições de substratos para a produção de mudas em viveiros tem sido objeto de várias pesquisas, sendo a riqueza do lodo em nutrientes frequentemente relatada. Porém, Trigueiro e Guerrini (2003) alertam que devem ser considerados os arranjos percentuais dos vários componentes das misturas, uma vez que podem resultar em diferentes quantidades de nutrientes, oxigênio e capacidades de retenção hídrica. 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., 2002). Pesquisas com produção de mudas em recipientes têm sido direcionadas com vistas no desenvolvimento do sistema radicular, que deve ter boa arquitetura e permitir também que a muda seja transplantada com um torrão sólido e bem agregado a todo o sistema radicular, provocando o mínimo de distúrbios e favorecendo a sobrevivência e o crescimento inicial em campo (GOMES et al., 2003).

Uma das principais espécies de eucalipto utilizadas nos reflorestamentos brasileiros é o *Eucalyptus urograndis*. Trata-se de um híbrido interespecífico proveniente do cruzamento do *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, que apresenta boas características quanto à adaptação aos diferentes sítios florestais e, além disso, é mais produtivo e/ou apresenta melhor característica da madeira (MONTANARI et al., 2007).

Baseado no exposto e na importância desses estudos para um destino ambientalmente seguro e economicamente viável desses resíduos, o objetivo desse trabalho foi avaliar o uso de compostos orgânicos produzidos a partir de resíduos da agroindústria do palmito e lodo de esgoto, com diferentes níveis de fertilizante granulado como substrato para produção de mudas de *Eucalyptus urograndis*.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no período de agosto a novembro de 2012, no viveiro de mudas da Universidade Estadual Paulista - UNESP - *Campus* Experimental de Registro – São Paulo – Brasil, localizado no município de Registro-SP (latitude 24°29'22" S, longitude 47°50'10" WE, altitude de 11,99 m). O clima da região é clima tropical úmido Af com transição para Cfa, sem estação seca definida.

Para obtenção dos substratos, foram misturados lodo de esgoto, doado pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP (ETE da Ilha Comprida-SP) e resíduos da industrialização do palmito (cascas de pupunha (*Bactris gasipae* Kunth) trituradas). No processo de compostagem, foram utilizadas as seguintes misturas: Lodo de esgoto + Casca de pupunha (1:1 v:v) (50BIO/50CP); Lodo de esgoto + Casca de pupunha (1:2 v:v) (33BIO/66CP); Lodo de esgoto + Casca de Pupunha (1:3 v:v) (25BIO/75CP). Esse processo teve a duração de 120 dias, após os quais os substratos produzidos foram denominados 50BIO/50CP, 33BIO/66CP e 25BIO/75CP, sendo feita então sua caracterização química, microbiológica e física, bem como do substrato comercial à base de casca de pinus e vermiculita. Para a caracterização física foi utilizada a metodologia proposta por Brasil (2007).

A caracterização dos elementos arsênio, cádmio, cromo, cobre, mercúrio, níquel, chumbo, selênio e zinco nas amostras foi feita pelos métodos 3050 e 3051, estabelecidos no U.S.EPA SW-846, versão "on line". A determinação de pH, umidade, teores totais de carbono (C), nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S) e sódio (Na) foi feita utilizando os procedimentos adotados pelo Manual de Métodos de Análises da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (1997), no Laboratório de Solos da Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista - UNESP.

O delineamento e arranjo experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial de 3 x 4, sendo três substratos à base de biossólido e casca de pupunha e quatro doses (0; 2,0; 4,0 e 6,0 g/dm³) de fertilizante granulado (N, P₂O₅, K₂O; 15-9-12), e uma testemunha (tratamento adicional) utilizando substrato comercial à base de casca de pinus e vermiculita e fertilizante granulado (2,0 g/L de substrato), totalizando 13 tratamentos. Cada tratamento possuía quatro repetições, cada uma representada por 20 unidades (mudas), sendo utilizadas para as avaliações morfológicas 10 mudas, contabilizando 40 unidades por tratamento.

As sementes de *Eucalyptus urograndis* utilizadas foram adquiridas do Instituto de Pesquisas Florestais - IPEF. Os recipientes usados para a produção das mudas foram tubetes cônicos de polipropileno com 110 cm³.

Na instalação do experimento, os substratos foram peneirados em malha 3 mm e em cada tubete foram colocadas duas sementes peletizadas, sendo estas cobertas pelo respectivo substrato e a irrigação feita diariamente até a germinação. Após a germinação foi feito o raleamento, deixando-se uma plântula por tubete, mantendo-se a mais vigorosa e centralizada. Durante a condução do experimento, mantiveram-se as irrigações diariamente, variando-se de duas a três vezes em um turno de rega de quatro minutos, dependendo das condições de temperatura e umidade do local. As mudas foram mantidas em viveiro com cobertura de sombrite com 50% de luminosidade.

Aos 110 dias após a semeadura foi medida a altura da parte aérea (distância entre o colo e a inserção do último par de folhas no ápice das plantas), utilizando uma régua graduada em cm. O diâmetro do colo foi medido utilizando um paquímetro digital de precisão. Em seguida, as plantas foram cortadas na base do caule, sendo separadas em parte aérea e raiz, lavadas, colocadas em embalagens de papel, submetidas à secagem em estufa a 60°C por 72 horas e, posteriormente pesadas, compondo a matéria seca da parte aérea (MSPA) e a matéria seca de raiz (MSR). A MSPA foi enviada para análise química (N, P, K, Ca, Mg e S) segundo metodologia proposta por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). Posteriormente, foram realizadas análises de variância e testes de Tukey (5% de probabilidade) utilizando o programa estatístico Sisvar (FERREIRA, 2003). Para todas as variáveis, em que se detectou interação entre os fatores, foram comparados os níveis de um fator dentro do outro. Regressões polinomiais foram realizadas com o intuito de analisar o efeito dos diferentes níveis de fertilizante sobre o crescimento das variáveis medidas.

Para a avaliação da qualidade do torrão foram avaliadas 10 plantas por tratamento e observados dois aspectos: extração do tubete, definido como a facilidade de retirada da muda de seu respectivo tubete e

firmeza do torrão, definido como a capacidade de permanecer intacto nas operações de transporte e plantio com atribuição de notas (ruim igual a 1,0, médio igual a 3,0 e bom igual a 5,0). Os resultados foram submetidos à estatística não paramétrica, conforme critérios de Kruskal Wallis e a comparação entre médias foi feita pelo teste de Mann Whitney.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização dos substratos

Comparando as concentrações totais de metais pesados encontradas nos quatro substratos avaliados (Tabela 1), com os limites máximos estabelecidos pela Resolução CONAMA n. 375/2006 (BRASIL, 2006), considera-se que esses materiais estão aptos para a utilização agrícola na produção de mudas florestais.

TABELA 1: Caracterização química dos substratos utilizados no experimento (SILVA et al (2015).

TABLE 1: Chemical characterization of substrates used in the experiment.

Determinações	50BIO/50CP	33BIO/66CP	25BIO/75CP	S Comercial	Limites Máximos ¹
pH	5,8	6,0	6,1	5,2	-
CE	1,0	1,0	1,2	0,9	-
Relação C/N	11/1	10/1	11/1	42/1	-
Nitrogênio (%)	1,16	1,25	1,33	0,82	-
Fósforo (%)	1,01	1,01	0,9	1,3	-
Potássio (%)	0,24	0,34	0,58	0,21	-
Cálcio (%)	0,75	0,84	0,51	0,35	-
Magnésio (%)	0,75	0,84	0,52	0,32	-
Enxofre (%)	0,19	0,2	0,26	0,12	-
CTC (mmol.kg ⁻¹)	405	430	480	175	-
Sódio (mg kg ⁻¹)	285	280	307	-	-
Cobre (mg kg ⁻¹)	31	34	31	0,8	-
Ferro (mg kg ⁻¹)	61275	63560	57568	87,0	-
Manganês (mg kg ⁻¹)	2166	2324	1799	4,7	-
Zinco (mg kg ⁻¹)	164	134	118	30,0	-
Arsênio (mg kg ⁻¹)	12,6	13,4	9,6	ND	41
Cádmio (mg kg ⁻¹)	15,19	13,25	ND	ND	39
Chumbo (mg kg ⁻¹)	16,05	12,65	12,7	ND	300
Cromo (mg kg ⁻¹)	16,5	12,6	12,3	ND	-
Mercúrio (mg kg ⁻¹)	0,22	0,24	0,12	ND	17
Níquel (mg kg ⁻¹)	ND	ND	ND	ND	420
Selênio (mg kg ⁻¹)	ND	ND	ND	ND	100

Em que: ND = Não detectado; 1 = Limites máximos permitidos pelo CONAMA n.75/2006 (BRASIL, 2006). 50BIO/50CP: Biossólido + Casca de pupunha (1:1 v:v) - 33BIO/66CP: Biossólido + Casca de pupunha (1:2 v:v) – 25BIO/75CP: Biossólido + Casca de Pupunha (1:3 v:v).

Na Tabela 2 observa-se que à medida que diminui a dose do lodo de esgoto na mistura, ocorre uma redução da sua densidade e, conseqüentemente, aumento da macroporosidade. Devido ao fato da casca de pupunha ser um material leve, obteve-se um acréscimo na porosidade do substrato à medida que se elevou a dosagem deste componente na mistura, principalmente pela elevação no percentual de macroporos. Gonçalves e Poggiani (1996) apontam que normalmente substratos mais leves, de baixa densidade como a vermiculita, elevam a macroporosidade das misturas e reduzem a capacidade de retenção de água do substrato.

TABELA 2: Atributos físicos dos substratos utilizados no experimento.

TABLE 2: Physical properties of substrates used in the experiment.

Tratamentos	Macroporos	Microporos	Poros. Total	CRA	Dens. Aparente	Dens. de Part.
	(%)	(%)	(%)	ml 50cm ⁻³	g cm ⁻³	g cm ⁻³
50BIO/50CP	22,5	46,7	69,2	51,4	0,25	1,81
33BIO/66CP	26,9	43,4	70,3	47,7	0,21	1,75
25BIO/75CP	25,8	46,6	72,5	51,3	0,19	1,74
S.Com.	12,6	51,3	63,9	55,3	0,26	1,68

Em que: 50BIO/50CP: Biossólido + Casca de pupunha (1:1 v:v) - 33BIO/66CP: Biossólido + Casca de pupunha (1:2 v:v) - 25BIO/75CP: Biossólido + Casca de Pupunha (1:3 v:v). CRA = Capacidade de retenção de água; S.Com = Substrato comercial.

Observou-se que os compostos produzidos a partir de lodo de esgoto e casca de pupunha tiveram maior macroporosidade que o substrato comercial (Tabela 2). De acordo Gonçalves e Poggiani (1996) e Kämpf e Fermino (2000), a percentagem de macroporos, microporos e porosidade total considerada adequada para substratos utilizados na produção de mudas são de 35-45; 45-55 e 75-85%, respectivamente. Nesse estudo, os compostos produzidos, excetuando-se o 33BIO/66CP, encontram-se na faixa considerada adequada para microporos e abaixo para porosidade total e macroporosidade. Bezerra et al. (2001) destacam a importância do microporos, uma vez que estes conferem ao substrato maior capacidade de retenção de umidade, o que também contribui para o desenvolvimento das raízes. Para a produção de mudas de eucalipto, o maior volume de microporos pode influenciar positivamente, já que é uma espécie com maior exigência hídrica. A comparação com as faixas consideradas na literatura é base importante, porém, Boene et al. (2013) afirmam, a partir de dados compilados de outros trabalhos, que não existe um substrato padrão para todas as espécies.

Sabendo-se que a faixa considerada adequada para a capacidade de retenção de água (CRA), determinada por Gonçalves e Poggiani (1996) em substratos utilizados para a produção de mudas florestais é de 20-30%, observa-se que os compostos produzidos atingiram valores acima dessa faixa, o que também foi verificado para o substrato comercial (Tabela 2).

Pela comparação dos resultados obtidos com as faixas consideradas adequadas por Gonçalves e Poggiani (1996), que estabelecem valores para interpretação de características físicas de substratos, embora não tendo valores ideais para algumas variáveis, considera-se que os materiais produzidos, representados pelas misturas de lodo de esgoto e casca de pupunha em diferentes proporções, tem potencial para uso como substratos, devendo ser testados com mudas de várias espécies.

Avaliações biométricas

Aos 110 dias após a semeadura, as mudas de eucalipto produzidas nos diferentes substratos e doses de fertilizante já se encontravam no padrão recomendado para expedição e plantio campo (15 a 40 cm de altura) de acordo com Xavier, Wendling e Silva (2009) (Tabela 3). Na dose 0 de fertilizante granulado, usada para verificar se o composto tem condição de atender às necessidades da muda sem a necessidade de adubação, observaram-se os maiores valores para os substratos 50BIO/50CP e 25BIO/75CP, quando comparados com o substrato 33BIO/66CP. Uma das possíveis causas para esse resultado é a menor Capacidade de Retenção de Água (CRA) do substrato 33BIO/66CP quando comparado aos outros utilizados nesse estudo (Tabela 2). Para todos os substratos testados ocorreu um aumento progressivo da altura das plantas, acompanhando o aumento das doses do fertilizante aplicado. O aumento nas doses do fertilizante granulado resultou em incrementos lineares na altura de plantas para os três substratos (Tabela 3). Pela comparação entre os substratos 50BIO/50CP e o comercial, não foi verificada diferença estatística entre estes a partir da dose 2,0 g.dm⁻³ do fertilizante granulado, o que é interessante sob o ponto de vista da qualidade desse material. Para o substrato 25BIO/75CP, as doses de 4,0 e 6,0 g.dm⁻³ proporcionaram alturas superiores àquelas obtidas quando do uso do substrato comercial.

TABELA 3: Altura (H) diâmetro (D) e razão altura diâmetro (H/D) de mudas de *Eucalyptus urograndis* aos 110 dias após a semeadura.TABLE 3: Height (cm) of *Eucalyptus urograndis* seedlings at 110 days after sowing.

	H (cm)			D (mm)			H/D		
Fertiliz. (g.dm ⁻³)	50BIO/50CP	33BIO/66CP	25BIO/75CP	50BIO/50CP	33BIO/66CP	25BIO/75CP	50BIO/50CP	33BIO/66CP	25BIO/75CP
0	26,6b	19,3b	25,0b	2,7a	2,5a	2,8a	7,4b	8,7b	7,4b
2	31,4a	24,3b	28,5b	2,7a	2,5a	2,8a	9,3c	9,9b	9,3c
4	32,2a	32,4a	34,5a	2,9a	2,1a	2,9a	11,1a	11,6a	11,1a
6	34,8a	33,4a	36,3a	3,0a	2,8a	3,0a	11,8a	11,9a	11,8a
S.Com.	30,5a	30,5a	30,5b	2,8a	2,8a	2,8a	11,2a	11,2a	11,2a
Reg.	L*	L*	L*	ns	ns	ns	L*	L*	L*
CV%		10,85			0,35			9,5	
F		*			ns			*	

Em que: 50BIO/50CP: Biossólido + Casca de pupunha (1:1 v:v); 33BIO/66CP: Biossólido + Casca de pupunha (1:2 v:v); 25BIO/75CP: Biossólido + Casca de Pupunha (1:3 v:v). Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade, dentro de uma mesma variável. ns = não significativo; * = significativo (P<0,05); L = Regressão linear; S.Com. = Substrato comercial; Reg. = Regressão.

O diâmetro do colo é, em geral, a variável mais observada para indicar a capacidade de sobrevivência da muda no campo e, Xavier, Wendling e Silva (2009) recomendam diâmetros do coleto acima de 2,0 mm para expedição. Aos 110 dias após a semeadura, as mudas cultivadas em todos os substratos, incluindo aqueles em que não houve adição de fertilizantes, encontravam-se no padrão recomendado para expedição, não havendo diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 3).

O valor resultante da divisão da altura da parte aérea pelo seu respectivo diâmetro do coleto exprime o equilíbrio de crescimento, relacionando esses dois importantes parâmetros morfológicos em apenas um índice (CARNEIRO, 1995), também denominado de quociente de robustez, sendo considerado um dos mais precisos, porque fornece informações de quanto robusta está a muda (JOHNSON; CLINE, 1991). De modo geral, é esperado que mudas de eucalipto tenham maiores incrementos no desenvolvimento em altura do que em diâmetro. Carneiro (1995) recomenda valores da relação altura/diâmetro (H/D) entre 5,4 a 8,1 em qualquer fase do desenvolvimento das mudas. No entanto, Caldeira et al. (2013) afirmam que os índices de H/D recomendados para as outras espécies podem não ser adequados para o eucalipto, uma vez que, neste estudo, mudas com maior H/D foram as que possuíam as melhores condições de serem levadas ao campo. Mais recentemente, Toledo et al. (2015), recalculando esses índices para mudas de eucalipto, recomendaram como adequados valores de H/D entre H/D 10 e 15.

Os resultados da relação entre os valores de H/D e as doses de fertilizante granulado ajustaram-se às equações lineares, influenciados pelos comportamentos da altura de plantas. A partir da dose 4,0 g.dm⁻³, todos os substratos avaliados alcançaram valores de H/D dentro da faixa considerada adequada por Toledo et al. (2015), tendo esses, inclusive desempenho igual ao da testemunha (Tabela 3).

Os valores de matéria seca da parte aérea (MSPA) para os substratos 50BIO/50CP e 25BIO/75CP, em função das doses de fertilizante granulado ajustaram-se às equações lineares. Para o substrato 33BIO/66CP, a MSPA se ajustou ao quadrático, com ponto de mínimo. Quando comparados ao substrato comercial, os valores de MSPA obtidos utilizando-se os substratos 33BIO/66CP e 25BIO/75CP foram superiores estatisticamente a partir da dose 4,0 g.dm⁻³. Rocha et al. (2013), avaliando diferentes proporções de lodo de esgoto e casca de arroz carbonizada como substrato para produção de mudas de eucalipto, obtiveram melhores resultados quando foram utilizadas proporções de lodo acima de 40%. Outros trabalhos com mudas de *Acacia* sp. (CUNHA et al., 2006) e aroeira-pimenteira (*Schinus terebinthifolius* Raddi) (NÓBREGA et al., 2007) obtiveram resultados positivos utilizando proporções de lodo de esgoto acima de 40% do total das misturas. Cabe ressaltar que os substratos utilizados no presente estudo foram previamente compostados e, embora não apresentassem concentrações de nutrientes altas no momento da semeadura, esses podem ter sido liberados ao longo do tempo.

Para o substrato 50BIO/50CP, apesar dos incrementos na MSPA, resultantes do aumento das doses do fertilizante granulado, só foi superior estatisticamente o valor obtido para a maior dose do fertilizante. Nos outros substratos avaliados essa superioridade ocorreu a partir da dose 4,0 g/dm³ do fertilizante granulado. No entanto, nas menores doses do fertilizante, incluindo o tratamento em que os compostos foram utilizados puros, a MSPA não diferiu estatisticamente daqueles nos quais foi utilizado o substrato comercial (também fertilizado), tais resultados sugerem perspectivas de uso desses novos substratos com resultados satisfatórios e economia de fertilizantes.

Com relação ao desenvolvimento do sistema radicular, o incremento da matéria seca das raízes (MSR) para substratos 33BIO/66CP e 25BIO/75CP ocorreu conforme o aumento das doses do fertilizante granulado (Tabela 4). Para o substrato 50BIO/50CP, os valores de MSR ajustaram-se ao modelo quadrático com produção máxima para a dose 3,27 g/dm³ do fertilizante granulado. Não foi observada diferença significativa entre os substratos nas diferentes doses de fertilizante avaliadas, à exceção da dose 6,0 g/dm³ do fertilizante granulado, utilizando o substrato 25BIO/75CP. Comparando-se a produção de MSR para os substratos avaliados nas diferentes doses do fertilizante granulado, observou-se diferença estatística apenas na maior dose avaliada. Trigueiro e Guerrini (2003) e Caldeira et al. (2013) observaram reduções na MSR de mudas de eucalipto à medida que se aumentava a proporção de biossólido em misturas com casca de arroz carbonizada e vermiculita utilizadas como substrato, havendo superioridade estatística dos tratamentos em que as proporções de lodo de esgoto foram de 20% em relação ao total das misturas.

TABELA 4: Matéria seca da parte aérea (MSPA) e matéria seca de raiz (MSR) de mudas de *Eucalyptus urograndis* aos 110 dias após a semeadura.

TABLE 4: Dry matter and root dry matter of *Eucalyptus urograndis* seedlings at 110 days after sowing.

Fertilizante (g.dm ⁻³)	50BIO/50CP	33BIO/66CP	25BIO/75CP	50BIO/50CP	33BIO/66CP	25BIO/75CP
	MSPA (g)			MSR (g)		
0	0,68b	0,63b	0,63b	0,30a	0,30a	0,27b
2	0,77b	0,58b	0,64b	0,33a	0,33a	0,33b
4	0,79b	0,72a	0,72a	0,35a	0,32a	0,37b
6	0,97a	0,81a	0,89a	0,31a	0,36a	0,48a
S.Com.	0,66b	0,66b	0,66b	0,30a	0,30a	0,30b
Reg.	L*	Q*	L*	Q*	L*	L*
CV%	13,02			13,05		
F	*			*		

Em que: 50BIO/50CP: Biossólido + Casca de pupunha (1:1 v:v); 33BIO/66CP: Biossólido + Casca de pupunha (1:2 v:v); 25BIO/75CP: Biossólido + Casca de Pupunha (1:3 v:v). Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade, dentro de uma mesma variável. Q = Regressão quadrática; * = significativo (P<0,05); L = Regressão linear; S.Com. = Substrato comercial; Reg. = Regressão.

Os teores de nitrogênio encontrados nas folhas de eucalipto foram estatisticamente diferentes, variando entre as doses de fertilizantes e os substratos avaliados (Tabela 5). Dell, Malajczuk e Grove (1995) consideram adequados teores de nitrogênio entre 25 e 38 g kg⁻¹ para mudas de eucalipto. Os valores encontrados nesse estudo, incluindo os teores foliares de mudas produzidas com substrato comercial estão abaixo do recomendado. Na ausência de fertilizante, os substratos 33BIO/66CP e 25BIO/75CP proporcionaram os maiores teores de N na parte aérea, sendo esses, significativamente inferiores aos encontrados em mudas produzidas usando substrato comercial. Nesse estudo verificou-se que os substratos utilizados não foram capazes de fornecer o nitrogênio necessário ao desenvolvimento das mudas. Mesmo com a reconhecida riqueza dos lodos nesse elemento, não se assegura uma maior disponibilidade para as mudas nos primeiros estágios de crescimento, uma vez que esse elemento pode ser mineralizado ao longo do tempo, o que para espécies de rápido crescimento e elevada exigência nutricional como o eucalipto pode representar

deficiências nutricionais. Scheer, Carneiro e Santos (2010), Rocha et al. (2013) atestaram a capacidade dos compostos obtidos a partir de lodo de esgoto e resíduos como casca de arroz e poda de árvores, utilizados puros (sem adição de fertilizantes) de suprirem as necessidades nutricionais de mudas de *Parapiptadenia rigida* (Benth.) e eucalipto.

TABELA 5: Concentração de N, P e K na parte aérea mudas de *Eucalyptus urograndis* aos 110 dias após a semeadura.
TABLE 5: Concentration of N, P and K in *Eucalyptus urograndis* shoots at 110 days after sowing.

Fertil. (g.dm ⁻³)	Substratos								
	50BIO/ 50CP	33BIO/ 66CP	25BIO/ 75CP	50BIO/ 50CP	33BIO/ 66CP	25BIO/ 75CP	50BIO/ 50CP	33BIO/ 66CP	25BIO/ 75CP
	N			P			K		
	(g.kg ⁻¹)								
0	9,4c	11,3b	10,8c	1,9a	2,1a	2,3b	10,3b	10,8b	14,9a
2	11,7b	11,7b	14,1b	1,8a	2,1a	2,8a	12,6ab	12,3a	13,4b
4	13,7b	16,4a	13,4b	2,1a	2,1a	2,6b	13,8a	12,8a	14,6a
6	21,3a	15,1a	17,5a	2,0a	2,1a	2,2b	14,8a	12,1a	12,9b
S.Com.	15,9b	15,9a	15,91a	2,0a	2,0a	2,0b	12,5ab	12,5a	12,5b
Reg.	L*	Q*	L*	ns			L*	L*	ns
CV%		13,95		10,38				9,42	
F		*		*				*	

Em que: 50BIO/50CP: Biossólido + Casca de pupunha (1:1 v:v); 33BIO/66CP: Biossólido + Casca de pupunha (1:2 v:v); 25BIO/75CP: Biossólido + Casca de Pupunha (1:3 v:v). Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade, dentro de uma mesma variável. Q = Regressão quadrática; * = significativo (P<0,05); L = Regressão linear; S.Com. = Substrato comercial, ns = não significativo; Reg. = Regressão.

Dell, Malajczuk e Grove (1995) consideram adequados teores de fósforo variando entre 1,5 a 2,0 g kg para a parte aérea de plantas de eucalipto, estando todos os resultados obtidos nesse estudo próximos desse intervalo (Tabela 5). Os resultados obtidos para os teores de fósforo na parte aérea das mudas mostraram não haver diferença significativa entre as doses do fertilizante granulado utilizadas para os substratos 50BIO/50CP e 33BIO/66CP, nem entre essas e o substrato comercial, o que indica que estas misturas testadas nesse trabalho são capazes de suprir as necessidades da muda em relação ao fósforo. Scheer, Carneiro e Santos (2010), avaliando substratos produzidos a partir de diferentes proporções de lodo de esgoto e resíduos de poda de árvores e doses de fertilizante granulado na produção de mudas de *Lafoensia pacari* encontraram a mesma tendência. Apenas para os substratos 25BIO/75CP foram observadas diferenças significativas entre as doses do fertilizante aplicada e o substrato comercial, sobressaindo-se a dose 2,0 g dm⁻³.

O aumento na proporção de cascas de pupunha nas misturas resultou em acréscimos nos teores de potássio nos substratos (Tabela 1), bem como na parte aérea do *Eucalyptus urograndis* (Tabela 5). Na ausência do fertilizante granulado (dose 0), para o 25BIO/75CP, os teores de K foliares foram inclusive, superiores aos verificados para as mudas produzidas em substrato comercial. Resultados semelhantes foram verificados por Trigueiro e Guerrini (2003) e Rocha et al. (2013) utilizando proporções crescentes de casca de arroz carbonizada em substratos produzidos com lodo de esgoto. A adição de componentes ricos em potássio às misturas com lodo de esgoto (reconhecidamente pobres nesse elemento) abrem perspectivas para estudos sobre enriquecimento de compostos a partir de outros resíduos ocasionando economia desse fertilizante nos viveiros.

Os teores de cálcio, magnésio e enxofre na parte aérea das mudas de eucalipto (Tabela 6) seguiram comportamento semelhante aos observados para potássio e fósforo. Os teores de cálcio na parte aérea para o substrato 50BIO/50CP só foram estatisticamente diferentes do substrato comercial nas doses 2,0 e 4,0 g dm⁻³. Os resultados obtidos para esses elementos assemelham-se aos encontrados por Trigueiro e Guerrini (2003), que avaliaram substratos produzidos a partir de lodo de esgoto e casca de arroz carbonizada em diferentes proporções.

TABELA 6: Concentração de Ca, Mg e S na parte aérea de mudas de *Eucalyptus urograndis* aos 110 dias após a semeadura.TABLE 6: Concentration of Ca, Mg and S in *Eucalyptus urograndis* shoots of at 110 days after sowing.

Fertil. (g.dm ⁻³)	50BIO/ 50CP	33BIO/ 66CP	25BIO/ 75CP	50BIO/ 50CP	33BIO/ 66CP	25BIO/ 75CP	50BIO/ 50CP	33BIO/ 66CP	25BIO/ 75CP
	Ca			Mg (g.kg ⁻¹)			S		
0	10,5b	10,4a	10,1b	3,1b	3,2b	3,6b	1,7b	1,8a	1,7b
2	12,0a	11,2a	10,9b	3,4b	3,6b	3,9b	1,7b	1,8a	1,9a
4	12,7a	11,2a	10,5b	3,4b	3,8b	3,9b	1,8b	1,9a	1,9a
6	10,7b	10,8a	11,5a	3,1b	3,4b	3,9b	2,0a	1,9a	2,0a
S.Com.	10,0b	10,0a	10,0b	5,0a	5,0a	5,0a	1,9a	1,9a	1,9a
Reg.	Q*	Q*	L*	Q*	L*	ns	ns	ns	ns
CV%	2,3			4,31			3,62		
F	*			*			*		

Em que: 50BIO/50CP: Biossólido + Casca de pupunha (1:1 v:v); 33BIO/66CP: Biossólido + Casca de pupunha (1:2 v:v); 25BIO/75CP: Biossólido + Casca de Pupunha (1:3 v:v). Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade, dentro de uma mesma variável. Q = Regressão quadrática; * = significativo (P<0,05); L = Regressão linear; S.Com. = Substrato comercial, ns = não significativo; Reg. = Regressão.

Avaliando os substratos obtidos à base de lodo de esgoto e cascas de pupunha, infere-se que, do ponto de vista da capacidade de fornecimento de nutrientes às mudas eucalipto, esses foram capazes de fornecer potássio, fósforo, cálcio, magnésio e enxofre em quantidades necessárias ao crescimento inicial dessa espécie. Atenção especial deve ser dada à adubação nitrogenada, que poderia ser suplementada via foliar.

Não foram verificados, durante a fase de viveiro sintomas de toxidez ou deficiência de quaisquer nutrientes, bem como incidência de doenças ou pragas.

Embora variáveis como altura, diâmetro do colo, MSPA, MSR e as relações entre estes sejam os mais utilizados para a avaliação da qualidade da muda e desenvolvimento no campo, quando se utilizam recipientes (tubete), a avaliação da qualidade do torrão, por fornecer indícios sobre a qualidade do sistema radicular assume grande importância. A qualidade do torrão (Tabela 7) foi afetada pela composição dos substratos (proporções de lodo de esgoto e casca de pupunha).

TABELA 7: Qualidade do torrão de mudas de *Eucalyptus urograndis* aos 110 dias após a semeadura.TABLE 7: Clod quality of *Eucalyptus urograndis* at 110 days after sowing.

Fertil. (g.dm ⁻³)	50BIO/50CP	33BIO/66CP	25BIO/75CP	50BIO/50CP	33BIO/66CP	25BIO/75CP
	Extração			Estabilidade (Firmeza)		
0	5,0A	3,0B	1,0C	3,0A	3,0A	1,0B
2	5,0A	3,0B	5,0A	3,0A	3,0A	3,0A
4	3,0A	3,0A	3,0A	3,0A	3,0A	3,0A
6	5,0A	5,0A	5,0A	5,0A	5,0A	3,0B
S.Com.	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
CV%	4,6			5,8		

Em que: 50BIO/50CP: Biossólido + Casca de pupunha (1:1 v:v); 33BIO/66CP: Biossólido + Casca de pupunha (1:2 v:v); 25BIO/75CP: Biossólido + Casca de Pupunha (1:3 v:v). Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Mann Whitney a 5 % de probabilidade dentro de uma mesma variável. S.Com. = Substrato comercial.

Quando comparados os valores de facilidade de extração e firmeza dos torrões com os de MSR das mudas (Tabela 4), observou-se um comportamento semelhante. Para Freitas et al. (2010), quanto maior o desenvolvimento do sistema radicular, maior será o entrelaçamento das raízes, então isso dará suporte ao substrato, formando o torrão. Entre os substratos utilizados sem a adição de fertilizantes, os melhores resultados de extração do tubete foram obtidos com o 50BIO/50CP, sendo este igual ou superior aos demais

quando comparado dentro de cada dose do fertilizante. Parâmetros como a facilidade de retirada do tubete e agregação das raízes ao substrato vêm sendo utilizados a fim de se avaliar a eficiência dos fatores testados no momento de expedição das mudas. A facilidade de retirada da muda do tubete está relacionada à agilidade no momento da expedição, aliada ao fato de que mudas produzidas em substratos difíceis de serem retirados podem ocasionar a desintegração do torrão (WENDLING; GUASTALA; DEDECEK, 2007). Ao se referir à agregação, deve-se optar por torrões com alta agregação, a fim de evitar o seu rompimento, ocasionando exposição das raízes, causando ressecamento e dificultando a sobrevivência das mudas (WENDLING; DELGADO, 2008).

A facilidade de extração do torrão foi afetada pela quantidade de casca de pupunha presente no substrato, esses resultados diferem dos encontrados por Trigueiro e Guerrini (2003), nos quais foram comparados substratos compostos por biossólidos e casca de arroz carbonizada e foi observado que o aumento na concentração de biossólido prejudicou o enraizamento das mudas de *Eucalyptus urograndis*.

CONCLUSÕES

O uso de biossólido e casca de pupunha tem viabilidade como substrato na produção de mudas de *Eucalyptus urograndis*, com desempenho igual ou superior ao substrato comercial.

O aumento das doses do fertilizante granulado proporcionou efeitos significativos na qualidade das mudas, sendo recomendado o uso de doses acima de 4,0 g L.

AGRADECIMENTOS

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP (PROC: 2011/01581-1), a SABESP e a APTA (Agência Paulista de Tecnologia do Agronegócio).

REFERÊNCIAS

- 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. p. 59-69.
- BETTIOL, W.; CAMARGO, O. **Lodo de esgoto**: impactos ambientais na agricultura. Jaguariúna: EMBRAPA, 2006. 347 p.
- BEZERRA, F. C. et al. Utilização de pó de coco como substrato de enraizamento para estaca de crizântemo. **Revista Brasileira de Horticultura Ornamental**, Jundiaí, v. 7, n. 2, p. 129-134, 2001.
- BOENE, H. C. A. M. et al. Efeitos de diferentes substratos na produção de mudas de *Sebastiania commersoniana*. **Floresta**, Curitiba, v. 43, n. 3, p. 407-420, set. 2013.
- BONNET, B. R. P. et al. 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.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Instrução Normativa SDA Nº 17 de 21 de maio de 2007. Métodos analíticos oficiais para análise de substratos e condicionadores de solos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 24 maio 2007.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução n. 375, de 29 de agosto de 2006**. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>>. Acesso em: 25 mar. 2013.
- CALDEIRA, M. V. et al. Lodo de esgoto e vermiculita na produção de mudas de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 43, n. 2, p. 155-163, 2013.
- CARNEIRO, J. G. A. **Métodos de produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba: UFPR; FUPEF; Campos dos Goytacazes: UENF, 1995. 451 p.
- CUNHA, A. M. et al. Efeito de diferentes substratos sobre o desenvolvimento de mudas de *Acacia* sp. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 2, p. 207-214, 2006.

- DELL, B.; MALAJCZUK, N.; GROVE, T. S. **Nutrient disorders in plantation eucalypts**. Canberra: Australian Centre For International Agricultural Research, 1995. 104 p.
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa; CNPS, 1997. p. 27-32.
- FAUSTINO, R. et al. 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.
- FERNANDES, S.A.P.; SILVA, S.M.C.P. da. **Manual Prático para a Compostagem de Biossólidos**. Londrina: PROSAB, Finep, 1999. 84p.
- FERNANDES, F.; ANDRAUS, S.; ANDREOLI, C. V. Eficiência dos processos de desinfecção do lodo da ETE Belém com vista a seu uso agrícola. **SANARE**, Curitiba, v. 5, n. 5, p. 46-58, 1996.
- FERREIRA, D. F. **SISVAR 4.6 Sistema de Análises Estatísticas**. Lavras: UFLA, 2003.
- FREITAS, T. A. S. et al. Produção de Mudanças de eucalipto com substratos para sistema em blocos. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 34, n. 5, p. 761-770, 2010.
- GOMES, J. M. et al. Crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis* em diferentes tamanhos de tubetes e fertilização N-P-K. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 2, p. 113-127, 2003.
- GONÇALVES, J. L. M.; POGGIANI, F. Substratos para produção de mudas florestais. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 1996, Águas de Lindóia. **Anais... Águas de Lindóia: Sociedade Latino Americana de Ciência do Solo**, 1996. CD-ROM.
- JOHNSON, J. D.; CLINE, P. M. Seedling quality of southern pines. In: DUREYA, M. L.; DOUGHERTY, P. M. (Ed.). **Forest regeneration manual**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1991. p. 143-162.
- KÄMPF, A. N.; FIRMINO, M. H. **Substratos para plantas: a base da produção vegetal em recipientes**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 139-146.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319 p.
- MONTANARI, R. et al. Níveis de resíduos de metalurgia e substratos na formação de mudas de eucalipto (*Eucalyptus urograndis*). **Revista de Biologia e Ciência da Terra**, Aracaju, v. 7, n. 1, p. 59-66, 2007.
- NOBREGA, R. S. A. et al. Utilização de biossólido no crescimento inicial de mudas de aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi). **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 31, n. 2, p. 239-246, 2007.
- ROCHA, J. H. T. et al. Composto de lodo de esgoto como substrato para mudas de eucalipto. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 33, n. 73, p. 27-35, 2013.
- SCHEER, M. B.; CARNEIRO, C.; SANTOS, K. G. Substratos à base de lodo de esgoto compostado na produção de mudas de *Paraptadenia rigida* (Benth.) Brenan. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 88, p. 637-644, 2010.
- SILVA, F.A.M. et al. Produção de mudas de juçara com resíduos agroindustriais e lodo de esgoto compostados. **Revista Brasileira de Engenharia de Biossistemas**, Tupã, v. 9, p. 109-121, 2015.
- TOLEDO, H. S. F. et al. Composto de resíduos da fabricação de papel e celulose na produção de mudas de eucalipto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 7, p. 711-716, 2015.
- 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.
- WENDLING, I.; GUASTALA, D.; DEDECEK, R. Características físicas e químicas de substratos para produção de mudas de *Ilex paraguariensis* St.-Hil. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 31, n. 2, p. 209-220, 2007.
- WENDLING, I.; DELGADO, M. E. **Produção de mudas de araucária em tubetes**. Colombo: Embrapa Florestas, 2008. 8 p. (Comunicado técnico, 201).
- XAVIER, A.; WENDLING, I.; SILVA, R. L. **Silvicultura clonal: princípios e técnicas**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2009. 272 p.