

Crescimento e nutrição de mudas de *Tectona grandis*
produzidas em substratos orgânicosGrowth and nutrition of *Tectona grandis*
seedlings produced in organic substratesPaulo André Trazzi¹, Marcos Vinicius Winckler Caldeira²,
Andrea Chizzotti Cusatis¹ e Antonio Rioyei Higa³**Resumo**

A variedade de substratos comerciais de uso florestal proporciona alternativa quanto a custo de produção, produtividade e sanidade das mudas. O objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento e os aspectos nutricionais de mudas de *Tectona grandis* (teca) produzidas em substratos formulados com lodo de esgoto (LET), casca de arroz carbonizada (CAC) e fibra de coco (FC). O experimento foi conduzido em casa de sombra em delineamento inteiramente casualizado com seis tratamentos e seis repetições com quatro plantas por parcela. Os tratamentos foram formulados nas seguintes proporções: T1 – 100% LET, T2 – 80% LET + 10% CAC + 10% FC, T3 – 60% LET + 20% CAC + 20% FC, T4 – 40% LET + 30% CAC + 30% FC, T5 – 20% LET + 40% CAC + 40% FC, T6 – Substrato de uso comercial. Os substratos foram caracterizados quanto às propriedades físico-químicas. Aos noventa dias as mudas foram avaliadas quanto às suas características biométricas: altura, diâmetro do coleto, massa seca radicular, massa seca da parte aérea e massa seca total. Também foram realizadas análises químicas da parte aérea e, assim, avaliada a qualidade nutricional das mudas, através dos teores totais e acúmulo de nutrientes. As mudas produzidas no tratamento T3 e T4 foram superiores quanto às variáveis biométricas avaliadas. A correlação dos teores totais de Mg, Zn, Cu e B e os teores totais dos mesmos nos substratos; e a correlação entre o acúmulo de K e Mg nas mudas e os teores totais destes nos substratos, indicam contribuição destes nutrientes na composição nutricional das mudas. O uso combinado de lodo de esgoto, casca de arroz carbonizada e fibra de coco contribuem positivamente para a qualidade das mudas de *T. grandis*.

Palavras-chave: Biossólido, teca, lodo de esgoto.

Abstract

Different commercial forest substrates provide alternatives in cost of production, productivity and seedlings sanity. The aim of this study was to evaluate the morphological and nutrition quality of *Tectona grandis* (teak) seedlings produced on substrates composed of treated sewage sludge (LET) associated with carbonized rice hulls (CAC) and coconut fiber. The experiment was conducted in a shade house in completely randomized design with six treatments and six replications and four plants per plot. The treatments were formulated in the following proportions: T1 – 100%LET, T2 – 80%LET + 10%CAC + 10%FC, T3 – 60%LET + 20%CAC + 20%FC, T4 – 40%LET + 30%CAC + 30%FC, T5 – 20%LET + 40%CAC + 40%FC, T6 – commercial used substrate. The substrates were characterized by their physicochemical properties. At ninety days the seedlings were evaluated for: height, collar diameter, root dry mass, shoot dry mass and total dry mass. Chemical analyses were done from the shoot and thus evaluated the nutritional quality of seedlings through the total levels and nutrients accumulation. The seedlings produced in T3 and T4 treatment were superior according to the biometric attributes. The correlation between of the total levels of Mg, Zn, Cu and B and the total level of these in the substrates; and the correlation between the accumulation of K and Mg in the seedlings and the total level of these in the substrates, indicate their contributions to the nutritional composition of the seedlings. The combined use of sewage sludge, carbonized rice hulls and coconut fiber is a positive contribution to the quality of *T. grandis* seedlings.

Keywords: Biosolids, teak, sewage sludge.

¹UFPR - Universidade Federal do Paraná – Pós Graduação em Engenharia Florestal. Rua Prof. Lothário Meissner, 900, Jardim Botânico, CEP 80210-170, Curitiba, PR. E-mail: patrazzi@hotmail.com; acusatis@hotmail.com.

²Professor Doutor. UFES - Universidade Federal do Espírito Santo, Departamento de Ciências Florestais e da Madeira. Alto Universitário s/n – Guararema, CP 16, CEP: 29500-00, Alegre, ES. Bolsista em produtividade científica do CNPq. E-mail: mvwcaldeira@gmail.com.

³UFPR - Universidade Federal do Paraná, Departamento de Engenharia Florestal. Rua Prof. Lothário Meissner, 900, Jardim Botânico, CEP 80210-170, Curitiba, PR. E-mail: higa@ufpr.br

INTRODUÇÃO

Tectona grandis L. F. (teca) é uma espécie tropical, arbórea, decídua, pertencente à família Lamiaceae (SOUZA; LORENZI, 2008). Sua madeira é de excepcional qualidade, e elevado valor econômico, representando uma combinação de beleza, estabilidade, durabilidade, resistência, além da fácil trabalhabilidade e alta demanda no mercado internacional (FIGUEIREDO et al., 2005). No Brasil, a área plantada vem crescendo nos últimos anos, sendo atualmente superior a 67 mil ha, localizada principalmente no Mato Grosso (ABRAF, 2013).

O substrato exerce uma influência marcante na arquitetura do sistema radicular e no estado nutricional das plantas, afetando a qualidade das mudas. Por esta razão, são incorporados aos substratos, materiais que melhoram as suas características físico-químicas tornando-os mais apropriados que os materiais individuais (CALDEIRA et al., 2011).

O lodo de esgoto, após sua estabilização biológica, pode ser considerado um produto de alto valor agrônomico. O composto produzido aumenta os teores de matéria orgânica, a capacidade de troca catiônica e os teores macro e micronutrientes, e por isso, vem sendo avaliado como alternativa na formulação de substrato para produção de mudas em viveiros florestais (FAUSTINO et al., 2005; MAÑAS et al., 2010; TRAZZI et al., 2012; CALDEIRA et al. 2012b). Outros resíduos também têm sido utilizados como componente de substrato. A casca de arroz carbonizada é extremamente leve, estéril, de fácil manuseio, de alta porosidade, boa aeração e baixa capacidade de retenção de água (GUERRINI; TRIGUEIRO, 2004). A fibra de coco também surge como alternativa para a formulação de substratos, pois é de fácil obtenção, baixo custo, e possui características que conferem ao substrato boa porosidade, capacidade de retenção de água e estabilidade física (CARRIJO et al., 2002).

Este trabalho avaliou o crescimento e os aspectos nutricionais de mudas *Tectona grandis* produzidas em substratos compostos por lodo de esgoto tratado, casca de arroz carbonizada e fibra de coco.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido, durante o período de 90 dias, no viveiro florestal do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do

Espírito Santo, localizado na área experimental I no Município de Alegre - ES. O clima enquadrar-se no tipo Cwa (inverno seco e verão chuvoso), de acordo com a classificação de Köppen, sendo a precipitação anual média de 1200 mm e temperatura média anual de 23°C (ESPÍRITO SANTO, 1994).

Os tratamentos foram formulados com base em lodo de esgoto (LET) de filtro anaeróbico, casca de arroz carbonizada (CAC) e fibra de coco (FC). Utilizou-se como tratamento testemunha substrato de uso comercial à base de casca de *Pinus* spp. bioestabilizada (Tabela 1).

Tabela 1. Tratamentos formulados (v:v:v) com lodo de esgoto tratado(LET), casca de arroz carbonizada (CAC), fibra de coco (FC) e substrato de uso comercial.

Table 1. Formulated treatments (v:v:v) with treated sewage sludge (LET), carbonized rice hulls (CAC), coconut fiber (FC) and commercial used substrates.

Tratamentos	Resíduos (%)		
	LET	CAC	FC
T1	100		
T2	80	10	10
T3	60	20	20
T4	40	30	30
T5	20	40	40
T6	100% Substrato de uso comercial		

O lodo de esgoto utilizado, cuja análise é apresentada na Tabela 2, foi produzido na Estação de Tratamento de Esgoto de Pacotuba/ES pertencente à Empresa de Saneamento Foz do Brasil localizada em Cachoeiro de Itapemirim/ES. Antes de ser utilizado na formulação dos substratos, o lodo foi peneirado (3 mm de malha) depois de permanecer por cerca de 30 dias em ambiente aberto.

A casca de arroz carbonizada, a fibra de coco e o substrato de uso comercial à base de casca de *Pinus* spp. bioestabilizada foram doados pela empresa Fibria Celulose S.A. (Unidade Aracruz - ES). Estes são utilizados na produção de mudas da empresa e por isso não houve qualquer beneficiamento.

Os substratos foram caracterizados físico-quimicamente no Laboratório de Recursos Hídricos do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira/CCA-UFES. As análises físico-químicas dos substratos, e químicas da parte aérea das mudas, foram determinadas conforme metodologia da EMBRAPA (1997, 2009). Na análise química dos substratos foram determinados os teores totais de nutrientes (Tabela 3).

Tabela 2. Análise química do biossólido de filtro anaeróbico oriundo da estação de tratamento de esgoto de Cachoeiro de Itapemirim, ES, 2011.

Table 2. Chemical analysis of anaerobic filter biossólids from treatment plant sewage of Cachoeiro de Itapemirim, ES, 2011.

Parâmetros	Resultados Analíticos	CONAMA 375/20061
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	-

*Valores em base seca e resultados fornecidos pela Foz do Brasil S.A.;

¹Limites máximos de concentração exigidos pelo CONAMA 375/2006.

Para as análises físicas foram amostrados três tubetes com as respectivas formulações de cada tratamento. Esses substratos permaneceram na casa de sombra durante 90 dias, submetido às mesmas condições de desenvolvimento das mudas. Em seguida, os tubetes foram serrados com serra de arco, formando anéis com altura de cerca de 5 cm e envolvidos com tecido tipo "filó" de malha fina enlaçados com elástico de borracha. No laboratório, os anéis foram saturados, colocados em placas de cerâmica e submetidos à pressão de -6kPa no extrator de Richards, até atingir a drenagem máxima da água retida por esta pressão. Com isso, foi possível estimar o volume total de

poros, a macro e microporosidade e a densidade dos substratos de cada tratamento (Tabela 4).

Tabela 4. Volume total dos poros (VTP), macroporosidade (Macrop), microporosidade (Microp) e densidade (Dens) de substratos formulados com lodo de esgoto, casca de arroz carbonizada e fibra de coco.

Table 4. Total pore volume (VTP), macroporosity (Macrop), microporosity (Microp) and density (Dens) of substrates formulated with sewage sludge, carbonized rice hulls and coconut fiber.

Tratamento ¹	VTP	Macrop	Microp	Dens
		m ³ m ⁻³		Mg m ⁻³
T1	0,64	0,23	0,42	0,58
T2	0,67	0,33	0,34	0,52
T3	0,74	0,35	0,39	0,44
T4	0,77	0,37	0,40	0,34
T5	0,83	0,40	0,43	0,27
T6	0,75	0,30	0,46	0,32

¹ LET (lodo de esgoto), CAC (casca de arroz carbonizada), FC (fibra de coco): T1 – 100%LET, T2 – 80%LET + 10%CAC + 10%FC, T3 – 60%LET + 20%CAC + 20%FC, T4 – 40%LET + 30%CAC + 30%FC, T5 – 20%LET + 40%CAC + 40%FC, T6 – Substrato de uso comercial.

A produção das mudas foi obtida a partir frutos doados pela empresa Floresteca S.A. Para quebra de dormência, estes frutos foram colocados imersos em água por três noites e postos em pleno sol durante três dias (FIGUEIREDO et al., 2005). Em seguida, os frutos foram colocados para germinação em sementeira de areia lavada.

Os substratos foram homogêneos e os tubetes, com capacidade volumétrica de 280 cm³, foram preenchidos, levemente e compactados. Após atingirem altura de cinco a sete centímetros na sementeira, as plântulas foram repicadas para os tubetes preenchidos com os respectivos tratamentos. Os tubetes foram acondicionados em bandejas de polipropileno com capacidade para 54 tubetes, sendo estas bandejas dispostas em canteiro suspensos a 80 cm do solo, em casa de sombra.

Tabela 3. Teores totais de macronutrientes e micronutrientes, pH, matéria orgânica (MO) e relação Carbono/Nitrogênio (C/N) nos substratos formulados com lodo de esgoto tratado, casca de arroz carbonizada e fibra de coco.

Table 3. Total levels of macronutrients and micronutrients, pH, organic matter (MO) and carbon/nitrogen ratio (C/N) in substrates formulated with sewage sludge, carbonized rice hulls and coconut fiber.

Tratamento ¹	pH	N	P	K	Ca	Mg	S	MO	B	Cu	Fe	Mn	Zn	C/N
	H ₂ O	g kg ⁻¹							mg kg ⁻¹					
T1	5,0	13,3	2,5	0,8	8,9	2,4	1,4	65,5	6	53	17480	157	231	2,9
T2	4,8	13	2,5	1,1	5,5	1,6	1,4	124,8	6	45	16600	162	223	5,6
T3	4,9	10,9	2,5	1,7	5,8	1,3	1,4	153,8	7	47	15200	175	214	8,1
T4	5,1	10,5	2,2	2,6	4,5	3,5	1,1	151,9	11	37	11160	210	194	8,3
T5	5,6	7,7	1,8	4,3	2,9	2,8	1	80,4	14	29	8400	268	151	13,3
T6	4,6	8,8	1,6	1,2	8,3	4,1	0,6	145,9	14	10	9200	199	44	9,4
CAC	7,2	4,6	1,1	6,5	2,1	1	0,6	15,4	6	8	506	492	44	40,4
FC	5,4	13,3	2,5	0,8	8,9	2,4	1,4	213,3	50	50	1130	78	87	24,4

¹ LET (lodo de esgoto), CAC (casca de arroz carbonizada), FC (fibra de coco): T1 – 100%LET, T2 – 80%LET + 10%CAC + 10%FC, T3 – 60%LET + 20%CAC + 20%FC, T4 – 40%LET + 30%CAC + 30%FC, T5 – 20%LET + 40%CAC + 40%FC, T6 – Substrato de uso comercial.

No viveiro, foi utilizado delineamento inteiramente casualizado, com seis repetições por tratamento e quatro plantas por parcela. As mudas permaneceram na casa de sombra durante 90 dias, irrigadas quatro vezes ao dia, por sistema automático de microaspersão. A lâmina de irrigação diária foi de 12 milímetros. Em dias de chuva a irrigação foi interrompida. Durante esse período não foi realizado qualquer tipo de adubação.

As mudas foram avaliadas quanto às características biométricas 90 dias após a repicagem: a) diâmetro do coleto (DC), medido com auxílio de um paquímetro digital; b) altura da parte aérea (H) determinada a partir do nível do substrato até a inserção da última folha, com auxílio de uma régua graduada em milímetros; c) massa seca radicular (MSR); e d) massa seca da parte aérea (MSPA). Para determinação da massa seca radicular e da parte aérea, as raízes foram separadas e acondicionadas em sacos de papel e colocadas para secar em estufa com circulação forçada de ar, a 70 °C até a obtenção de massa constante.

Para análise do teor de nutrientes da parte aérea das mudas (EMBRAPA, 2009), foram sorteadas três plantas por tratamento do experimento. Foi calculado o acúmulo de macronutrientes (mg kg⁻¹) e micronutrientes (µg kg⁻¹) por meio das expressões:

$$A_{\text{macronutrientes}} = \frac{\text{MSPA(g)} \times \text{Teor do nutriente (g} \cdot \text{kg}^{-1})}{1000}$$

$$A_{\text{micronutrientes}} = \frac{\text{MSPA(g)} \times \text{Teor do nutriente (mg} \cdot \text{kg}^{-1})}{1000}$$

As características biométricas e nutricionais foram submetidas à análise de variância e após significância do teste F (p<0,05) as médias foram comparadas pelo teste Tukey, utilizando-se o software SPSS Statistics 19*. As correlações de Pearson foram calculadas entre o teor de nu-

trientes do substrato e o teor de nutrientes da parte aérea, e o teor de nutrientes dos substratos e o acúmulo de nutrientes da parte aérea.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A utilização de lodo de esgoto tratado associado à casca de arroz carbonizada e fibra de coco influenciou positivamente o crescimento em altura das mudas de *T. grandis* (Tabela 5). Os teores de nutrientes e matéria na composição destes resíduos (Tabela 3) podem ter contribuído para tanto. A matéria orgânica presente no lodo de esgoto tratado é fonte de nutrientes para as plantas, principalmente de nitrogênio, enxofre e fósforo (LIMA et al., 2011), atuando no arranque inicial do crescimento da parte aérea (FAUSTINO et al., 2005). Os resultados encontrados confirmam que o lodo de esgoto pode contribuir para o crescimento da parte aérea das mudas, no entanto, este, quando combinado com casca de arroz carbonizada ou fibra de coco, levou a resultados mais expressivos, principalmente nos tratamentos T3 (60%LET + 20%CAC + 20%FC) e T4 (40%LET + 30%CAC + 30%FC).

O tratamento T3 (60%LET + 20%CAC + 20%FC) apresentou a maior crescimento em altura, diferenciando-se estatisticamente dos demais, com exceção do tratamento T4 (40%LET + 30%CAC + 30%FC). O tratamento testemunha (T6 - substrato comercial), apresentou as menores médias para todas as variáveis estudadas.

Não houve diferença estatística para as médias de diâmetro do coleto entre os cinco tratamentos que combinaram lodo de esgoto, casca de arroz carbonizada e fibra de coco. Entretanto, o tratamento testemunha foi estatisticamente inferior aos demais tratamentos (Tabela 5).

Tabela 5. Altura da parte aérea (H), diâmetro do coleto (DC), massa seca radicular (MSR), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca total (MST) de mudas de *Tectona grandis* em substratos formulados com lodo de esgoto, casca de arroz carbonizada e fibra de coco.

Table 5. Shoot height (H), collar diameter (DC), root system dry matter (MSR), aerial part dry matter (MSPA) and total dry matter (MST) of *Tectona grandis* seedlings grown on substrates formulated with sewage sludge, carbonized rice hulls and coconut fiber.

Tratamentos ¹	H	D	MSR	MSPA	MST
	cm	mm		g planta ⁻¹	
T1	23,0 c ²	7,3 a	1,94 b	4,75 b	6,69 b
T2	28,1 b	7,0 a	1,88 b	5,29 b	7,17 b
T3	33,4 a	7,1 a	2,35 ab	6,19 ab	8,54 ab
T4	30,8 ab	7,5 a	3,15 a	7,13 a	10,28 a
T5	22,2 c	6,8 a	3,02 a	5,18 b	8,20 ab
T6	9,3 d	3,0 b	0,49 c	0,65 c	1,14 c
F(5,25)	114,4**	51,3**	26,9**	32,6**	32,1**

¹ LET (lodo de esgoto), CAC (casca de arroz carbonizada), FC (fibra de coco): T1 – 100%LET, T2 – 80%LET + 10%CAC + 10%FC, T3 – 60%LET + 20%CAC + 20%FC, T4 – 40%LET + 30%CAC + 30%FC, T5 – 20%LET + 40%CAC + 40%FC, T6 – Substrato de uso comercial.
² Médias seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente entre si, segundo o teste de Tukey, com 5% probabilidade. **Teste F significativo ao nível de 1% de probabilidade.

A fibra de coco e a casca de arroz carbonizada contribuíram para o aumento dos teores de potássio (Tabela 3) nos tratamentos em que estavam presentes. Havendo assim, maior disponibilidade e contribuição para o aumento do diâmetro das mudas produzidas nestes tratamentos. Uma vez que, de acordo com Valeri e Corradini (2000), o potássio, promove o espessamento do coleto das mudas na fase de produção (Tabela 5).

Um estudo realizado por Abod e Siddiqui (2002) constatou que o diâmetro de *T. grandis* respondeu positivamente a fertilizantes contendo potássio e nitrogênio, contudo, tal comportamento não foi observado em composição fosfatada.

A massa seca radicular das mudas produzidas nos tratamentos com lodo de esgoto, casca de arroz carbonizada e fibra de coco foram estatisticamente superiores ao tratamento testemunha. No caso da massa seca radicular, o tratamento T4 (40%LET + 30%CAC + 30%FC) e o tratamento T5 (20%LET + 40%CAC + 40%FC) apresentaram médias superiores ao tratamento T1 (100%LET) e tratamento T2 (80%LET + 10%CAC + 10%FC), indicando que maiores proporções de casca de arroz e fibra de coco beneficiaram o crescimento radicular das mudas.

Na Tabela 4 observa-se uma maior porosidade total e menor densidade do substrato à medida que se aumenta a proporção de casca de arroz carbonizada e fibra de coco. Tal combinação pode ter contribuído para o maior crescimento radicular do tratamento T4 (40%LET + 30%CAC + 30%FC) e tratamento T5 (20%LET + 40%CAC + 40%FC).

Avaliando o uso de bissólidos na produção de mudas de eucalipto, Trigueiro e Guerrini (2003) verificaram que os tratamentos com 50 e 60% de lodo de esgoto tratado, e 50 e 40% de casca de arroz carbonizada, respectivamente, resultaram em maiores ganhos de massa radicular. No entanto, tais tratamentos não apresentaram diferença estatística quando comparado às mudas produzidas em substrato comercial.

As menores médias de massa seca da parte aérea e massa seca radicular foram obtidas no tratamento T6 (substrato comercial) que se diferenciou estatisticamente dos demais. O maior valor de massa seca da parte aérea foi o tratamento T4 (40%LET + 30%CAC + 30%FC) sendo significativamente diferente do tratamentos T1 (100%LET), T2 (80%LET + 10%CAC + 10%FC), tratamento T5 (20%LET + 40%CAC + 40%FC) e tratamento T6 (substrato de uso comercial).

Scheer et al. (2012) estudaram o crescimento de mudas de *Lafoensia pacari*, produzidas em substrato à base de resíduos de podas de árvores compostadas e lodo de esgoto tratado na proporção 2:1. A média da massa seca total das mudas produzidas nesta composição foi de 3,7 g, sendo estatisticamente superior à encontrada no substrato de uso comercial à base de casca de pinus (1,53 g).

A massa seca total obtida nos tratamentos com lodo de esgoto tratado foram superiores estatisticamente ao tratamento testemunha (T6). O tratamento T4 (40%LET + 30%CAC + 30%FC) apresentou a maior média, sendo 895% superior ao tratamento testemunha (T6).

Caldeira et al. (2012a) também constataram que o lodo de esgoto tratado contribuiu para o crescimento de mudas de *Tectona grandis*. Os autores, trabalhando com diferentes proporções de lodo de esgoto tratado associado com substrato de uso comercial, obtiveram as maiores médias de massa seca total em mudas de *T. grandis* utilizando proporções de 40 a 100% de lodo de esgoto tratado como componente de substrato. Em contrapartida, o melhor resultado encontrado no presente trabalho não foi com 100% deste substrato, e sim nos tratamentos T3 (60%LET + 20%CAC + 20%FC), T4 (40%LET + 30%CAC + 30%FC) e T5 (20%LET + 40%CAC + 40%FC), indicando assim, a contribuição da casca de arroz carbonizada e fibra de coco para o crescimento das mudas.

De maneira geral, os resultados indicam que o tratamento T3 (60%LET + 20%CAC + 20%FC), tratamento T4 (40%LET + 30%CAC + 30%FC) e o tratamento T5 (20%LET + 40%CAC + 40%FC) apresentaram os maiores valores para as características biométricas, sugerindo que sendo tais formulações as mais eficientes. Pois, a combinação destes materiais indicou melhoria nas características químicas (Tabela 3) e físicas (Tabela 4) do substrato e resultaram em maior crescimento das mudas.

Zhou et al. (2012) avaliaram o efeito da fertilização com cálcio, nitrogênio e boro para o crescimento inicial (90 dias) de mudas de *T. grandis*. Os autores concluíram que o crescimento das mudas é influenciado por cálcio e nitrogênio, indicando que o tratamento utilizando a fertilização com cálcio proporcionou aumento do pH e da disponibilidade deste nutriente, diminuindo assim a acidez trocável, atributos estes correlacionados positivamente com o crescimento das mudas.

BARROSO et al., (2005), compararam a produção de mudas de *T. grandis* em solução nutritiva completa e com omissão alternada de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre. Os pesquisadores concluíram que o crescimento inicial das mudas foi afetado pela omissão de todos os macronutrientes, sendo os danos mais intensos e imediatos observados na ausência de nitrogênio e cálcio. Outro estudo com sete espécies arbóreas nativas (SANTOS et al., 2008), verificaram que, o aumento das concentrações de fósforo foram diretamente proporcionais à produção de massa seca da parte aérea das espécies.

Na Tabela 6 são apresentados os efeitos dos substratos formulados com lodo de esgoto tratado, casca de arroz carbonizada e fibra de coco nos teores totais e no acúmulo de nutrientes da parte aérea das mudas de *T. grandis*.

Em geral, o tratamento com substrato de uso comercial apresentou as maiores médias para os teores totais de nutrientes. Entretanto, o acúmulo foi estatisticamente inferior para todos os nutrientes deste tratamento. Assim, ressalta-se que, ao analisar a concentração de nutrientes das mudas é importante considerar o efeito de diluição promovido pelo crescimento das mudas.

Para todos os nutrientes o tratamento com substrato de uso comercial apresentou o menor

acúmulo devido à baixa produção de matéria seca. Resultados contrários obtiveram Trigueiro e Guerrini (2003), que testando o efeito do lodo de esgoto e o substrato comercial em mudas de eucalipto, encontraram o maior acúmulo de nutrientes e produção de massa seca no substrato comercial.

Comparando os teores totais de zinco, manganês e cobre, observa-se que estes nutrientes não seguiram o mesmo comportamento dos demais. Acredita-se que as altas concentrações de zinco e cobre presentes no lodo de esgoto tratado e de manganês na casca de arroz carbonizada (Tabela 3) contribuíram para que os tratamentos com estes materiais apresentassem as maiores médias de teores totais para estes nutrientes. Entretanto, a correlação de Pearson (R) entre o teor do nutriente do substrato e o teor de nutriente na mudas, mostrou valores significativos apenas para Zn (R = 0,83**) e Cu (R = 0,77*), e não para Mn (R = 0,06^{ns}).

O maior acúmulo médio entre os macronutrientes foi obtido no tratamento T4 (40%LET + 30%CAC + 30%FC), com exceção do potássio, onde a maior média foi alcançada pelo tratamento T5 (20%LET + 40%CAC + 40%FC). Possivelmente, a maior quantidade acumulada deste elemento seja justificada pela composição da casca de arroz carbonizada (R = 0,91**).

Tabela 6. Teores totais e acúmulo de macronutrientes e micronutrientes na parte aérea de mudas de *Tectona grandis* produzidas em substratos formulados com lodo de esgoto, casca de arroz carbonizada e fibra de coco.

Trat.1	Teores totais						Acúmulo				
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹				
T1	12,0 b2	2,9 b	3,2 c	17,4 a	3,4 bc	1,2 a	23 bc	11 a	167ab	85 a	211 a
T2	13,5 a	2,7 b	4,3 bc	14,4 ab	2,9 c	1,3 a	22 bc	11 a	127 b	79 ab	162 b
T3	13,8 a	2,4 b	3,6 c	11,6 b	2,9 c	1,1 a	21 c	10 a	70 c	58 b	136 bc
T4	12,0 b	2,6 b	3,8 c	14,6 ab	3,4 bc	1,0 a	24 bc	10 a	126 b	74 ab	118 bc
T5	10,5 c	3,0 b	5,9 ab	14,3 ab	4,2 b	1,1 a	26 b	11 a	138 b	83 a	112 c
T6	14,0 a	7,8 a	7,6 a	13,9 ab	6,7 a	1,1 a	40 a	4 b	196 a	59 b	40 d
F (5,10)	43,0**	132,8**	20,8**	4,7*	52,3**	1,3ns	63,5**	16,3**	15,7**	6,8**	32,1**
	mg (parte aérea ⁻¹)						µg (parte aérea ⁻¹)				
T1	57,1 c	13,6 b	15,4 b	82,8 ab	16,1 bc	5,5 a	110 c	50 a	793 a	406 ab	1115 a
T2	71,6 b	14,4 ab	22,8 ab	76,2 b	15,3 c	6,7 a	117 bc	60 a	672 ab	418 ab	1001 a
T3	85,2 a	14,8 ab	22,1 ab	71,7 b	17,6 bc	6,7 a	127 bc	60 a	433 b	361 b	968 a
T4	85,7 a	18,4 a	26,8 a	104,0 a	24,6 a	6,8 a	169 a	71 a	896 a	524 a	559 b
T5	54,4 c	15,3 ab	30,6 a	74,3 b	21,7 ab	5,5 a	133 b	59 a	717 ab	429 ab	579 b
T6	9,1 d	5,1 c	4,9 c	9,0 c	4,4 d	0,7 b	26 d	2 b	127 c	38 c	26 c
F (5,10)	691,2**	20,5**	19,3**	37,5**	31,6**	16,8**	99,4**	32,6**	19,3**	35,9**	44,1**

¹ Tratamentos: LET (lodo de esgoto), CAC (casca de arroz carbonizada), FC (fibra de coco): T1 – 100%LET, T2 – 80%LET + 10%CAC + 10%FC, T3 – 60%LET + 20%CAC + 20%FC, T4 – 40%LET + 30%CAC + 30%FC, T5 – 20%LET + 40%CAC + 40%FC, T6 – Substrato de uso comercial. 2 Médias seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente entre si, segundo o teste de Tukey, com 5% probabilidade. *Teste F significativo ao nível de 5% de probabilidade. **Teste F significativo ao nível de 1% de probabilidade. nsTeste F não-significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Resultado semelhante ocorreu para o acúmulo dos micronutrientes na parte aérea das mudas. O tratamento T4 (40%LET + 30%CAC + 30%FC) também apresentou as maiores médias, a exceção do zinco, cuja maior média foi observada no tratamento T1 (100%LET). O lodo de esgoto tratado puro contém maior quantidade de zinco comparado aos demais tratamentos (Tabela 3), que pode ter influenciado no acúmulo do nutriente das mudas produzidas neste tratamento.

Sujatha (2008) avaliou os sintomas de deficiência de micronutrientes nas folhas das mudas de *Tectona grandis* cultivadas em substrato de areia aos seis meses de idade. O autor encontrou teores de zinco, ferro, manganês e cobre, respectivamente 65, 417, 185 e 18 mg kg⁻¹. Os teores de ferro, manganês e cobre encontrados foram maiores que os teores obtidos nos tratamentos deste estudo. Apenas os teores de zinco dos tratamentos com lodo de esgoto tratado foram superiores aos de Sujatha (2008). O autor ainda afirma que a deficiência de cobre causou considerável redução no crescimento em altura das plantas.

Considerando o presente estudo, todos os tratamentos com lodo de esgoto tratado apresentaram médias de teor e acúmulo de cobre estatisticamente superiores ao tratamento com substrato comercial (Tabela 6). Analisando as correlações de Pearson entre o teor do nutriente do substrato e na parte aérea, os resultados foram significativos para magnésio (R = 0,81**), zinco (R = 0,83**), cobre (R = 0,77*) e boro (R = 0,73*).

Para os teores de nutrientes no substrato e o acúmulo de nutriente na planta, a correlação de Pearson foi significativa apenas potássio (R = 0,91**) e magnésio (R = 0,83**). Tal resultado pode ser explicado pelos quatro fatores descritos por Gonçalves et al. (2000) que influenciam no teor e acúmulo de nutrientes absorvidos pelas espécies, sendo eles: a necessidade total de nutrientes, a velocidade de desenvolvimento e crescimento, a eficiência de uso dos nutrientes nos processos metabólicos e capacidade de absorção de nutrientes do substrato.

CONCLUSÕES

Os substratos que combinam lodo de esgoto tratado, casca de arroz carbonizada e fibra de coco são estatisticamente superiores para as características biométricas avaliadas em relação ao substrato de uso comercial.

O tratamento combinando 40% de lodo de esgoto, 30% casca de arroz carbonizada e 30%

de fibra de coco, apresenta melhores características biométricas, maior acúmulo de nitrogênio, fósforo, cálcio, magnésio e enxofre.

A correlação entre o teor total de magnésio, zinco, cobre e boro nas mudas e no substrato, bem a correlação do acúmulo de potássio e magnésio nas plantas e os teores totais de potássio e magnésio no substrato, comprovam a contribuição destes substratos orgânicos na qualidade nutricional das mudas de *T. grandis*.

O uso de resíduos orgânicos mostra-se promissor para qualidade de mudas de *T. grandis* uma vez que apresenta superioridade no crescimento e nos aspectos nutricionais das mesmas se comparado ao substrato de comercial.

AGRADECIMENTOS

À CAPES pela concessão de bolsas de doutorado e ao CNPq pela bolsa de produtividade científica. À Fibria, Floresteca e Foz do Brasil pelos materiais que contribuíram para viabilizar este trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABOD, S. A.; SIDDIQUI, M. T. Growth Response of Teak (*Tectona grandis* L.f.) Seedlings to Nitrogen, Phosphorus and Potassium Fertilizers. *Tropical Agricultural Science*, v. 25, n. 2, p. 107-113, 2002.

ABRAF - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. *Anuário Estatístico da ABRAF 2013*: ano base 2012. Brasília: ABRAF, 142 p. Disponível em: <

BARROSO, D. G.; FIGUEIREDO, F. A. M. M. A.; PEREIRA, R. C.; MENDONÇA, A. V. R.; SILVA, L. C. Diagnóstico de deficiências de macronutrientes em mudas de teca. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 671-679, 2005.

CALDEIRA, M. V. W.; DELARMELINA, W. M.; LUBE, S. G.; GOMES, D. R.; GONÇALVES, E. O.; ALVES, A. F. Biossólido na composição de substrato para a produção de mudas de *Tectona grandis*. *Floresta*, Curitiba, v. 42, n. 1, p. 77-84, 2012a.

CALDEIRA, M. V. W.; PERONI, L.; GOMES, D. R.; DELARMELINA, W. M.; TRAZZI, P. A. Diferentes proporções de biossólido na composição de substratos para a produção de mudas de timbó (*Ateleia glazioviana* Baill). *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 40, n. 93, p. 15-22, 2012b.

- CALDEIRA, M. V. W.; WENDLING, I.; PENCHEL, R. M.; GONÇALVES, E. O.; KRATZ, D.; TRAZZI, P. A. Propriedades de substratos para produção de mudas florestais. In: CALDEIRA, M. V. W.; GARCIA, G. O.; GONÇALVES, E. O.; ARANTES, M. D. C.; FIEDLER, N. C. (Eds.). **Contexto e perspectivas da área florestal no Brasil**. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2011. p.142-160.
- CARRIJO, O. A.; LIZ, R. S.; MAKISHIMA, N. Fibra da casca do coco verde como substrato agrícola. **Horticultura Brasileira**, Vitória da Conquista, v. 20, n. 4, p. 533-535, 2002.
- EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p.
- _____. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilidade**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 370 p.
- ESPÍRITO SANTO. Secretaria de Estado de Ações Estratégicas e Planejamento. **Informações municipais do Estado do Espírito Santo**, 1994. Vitória: Departamento Estadual de Estatística, 1994. v. 1. 803 p.
- FAUSTINO, R.; KATO, M. T.; FLORÊNCIO, L.; GAVAZZA, S. Lodo de esgoto como substrato para produção de mudas de *Senna siamea* Lam. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, (Suplemento), p. 278-282, 2005.
- FIGUEIREDO, E. O.; OLIVEIRA, L. C.; BARBOZA, L. K. F. Teca (*Tectona grandis* L.f.): principais perguntas do futuro empreendedor florestal. **Documentos Embrapa/CPAA**, Rio Branco, n. 97, p. 1-87, 2005.
- GONÇALVES, J. L. M.; SANTARELLI, E. G.; MORAES NETO, S. P.; MANARA, M. P. Produção de mudas de espécies nativas: substrato, nutrição, sombreamento e fertilização. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Ed.) **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 309-350.
- GUERRINI, I. A.; TRIGUEIRO, R. M. Atributos físicos e químicos de substratos compostos por biossólidos e casca de arroz carbonizada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 1069-1076, 2004.
- LIMA, R. L. S.; SEVERINO, L. S.; SOFIATTI, V.; GHEYI, H. R.; ARRIEL, N. H. C. Atributos químicos de substrato de composto de lixo orgânico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 2, p. 185-192, 2011.
- MAÑAS, P.; CASTRO, E.; VILA, P.; HERAS, J. Use of waste materials as nursery growing media for *Pinus halepensis* production. **European Journal of Forest Research**, Berlin, v. 129, n. 4, p. 521-530, 2010.
- SANTOS, J. Z. L.; RESENDE, A. V.; FURTINI NETO, A. E.; CORTE, E. F. Crescimento, acúmulo de fósforo e frações fosfatadas em mudas de sete espécies arbóreas nativas. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 799-807, 2008.
- SCHEER, M. B.; CARNEIRO, C.; BRESSAN, O. A.; SANTOS, K. G. Crescimento e nutrição de mudas de *Lafoensia pacari* com lodo de esgoto. **Floresta e Ambiente**. Rio de Janeiro, v. 19, n. 1, p. 55-65, 2012.
- SOUZA, V. C.; LORENZI, H. **Botânica Sistemática: Guia ilustrado para identificação das famílias de Fanerógamas nativas e exóticas no Brasil, baseado em APG II**. 2.ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008. 704 p.
- SUJATHA, M. P. Micronutrient deficiencies in teak (*Tectona grandis*) seedlings: foliar symptoms, growth performance and remedial measures. **Journal of Tropical Forest Science**, Kepong, v. 20, n. 1, p. 29-37, 2008.
- TRAZZI, P. A.; CALDEIRA, M. V. W.; COLOMBI, R.; GONÇALVES, E. O. Qualidade de mudas de *Murraya paniculata* produzidas em diferentes substratos. **Floresta**, Curitiba, v. 42, n. 3, p. 621-630, 2012.
- TRIGUEIRO, R. M.; GUERRINI, I. A. Utilização 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 viveiro para produção de mudas de Eucalipto e Pinus. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p.168-190.
- ZHOU, Z.; LIANG, K.; XU, D.; ZHANG, Y.; HUANG, G.; MA, H. Effects of calcium, boron and nitrogen fertilization on the growth of teak (*Tectona grandis*) seedlings and chemical property of acidic soil substrate. **New Forests**, Amsterdam, v. 43, n. 2, p. 231-243, 2012.

Recebido em 23/05/2013

Aceito para publicação em 13/12/2013