

PRODUÇÃO DE ÓLEO ESSENCIAL E BALANÇO NUTRICIONAL EM *Corymbia citriodora* ADUBADO COM LODO DE ESGOTO EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS

Paulo Henrique Müller da Silva¹, Fabio Poggiani², José Luiz Stape³, José Otavio Brito⁴, Rildo Moreira Moreira⁵

(recebido: 9 de outubro de 2008; aceito 31 de julho de 2009)

RESUMO: *Corymbia citriodora* é uma das espécies mais cultivadas no país para a produção de madeira e de óleo essencial. O óleo é obtido pela destilação das folhas e o rendimento médio é de 2%. A extração do óleo das folhas de forma sustentável pressupõe uma adequada reposição nutricional, pois as folhas contêm grandes quantidades de nutrientes. O lodo de esgoto poderia ser utilizado como fertilizante orgânico, reduzindo a necessidade de novos aterros sanitários. Nesse contexto, conduziu-se este estudo, com o objetivo de avaliar o uso do lodo de esgoto como fertilizante em plantios de *Corymbia citriodora*, visando à produção de óleo essencial, plantado em diferentes espaçamentos. O experimento foi constituído por 4 blocos e os tratamentos foram: i) Espaçamento fechado (1m x 1m) com lodo de esgoto; ii) Espaçamento fechado com fertilização mineral; iii) Espaçamento convencional (3m x 1m) com lodo de esgoto; e iv) Espaçamento convencional com fertilização mineral. Nas idades de 12, 18, 24 e 30 meses, foram determinadas as biomassas de folhas e de galhos, foi estimada a exportação de nutrientes por ocasião das colheitas, bem como a quantidade e a qualidade de óleo essencial produzido. Os tratamentos com espaçamento fechado, com lodo ou com fertilizante mineral, proporcionaram maior biomassa total, sendo 3,8 vezes maior do que o espaçamento convencional, possibilitando uma produção aproximadamente 3 vezes maior de óleo (363 L ha⁻¹ no sistema fechado e 116 L ha⁻¹ no sistema convencional durante 30 meses). Quanto à adubação, a utilização do lodo de esgoto não diferiu da fertilização mineral na produção de folhas ou de óleo, em nenhum dos espaçamentos estudados. O uso do lodo de esgoto como fertilizante de *Corymbia citriodora*, aplicado em dose adequada, pode ser uma alternativa interessante, pois supre grande quantidade de nutrientes, garantindo um balanço nutricional positivo.

Palavras-chave: *Eucalyptus citriodora*, eucalipto, biossólido, biomassa foliar, exportação de nutrientes.

PRODUCTION OF ESSENTIAL OIL AND NUTRIENT BUDGET IN *Corymbia citriodora* FERTILIZED WITH SEWAGE SLUDGE IN DIFFERENT SPACING

ABSTRACT: The *Corymbia citriodora* is one of the most cultivated species in Brazil for wood and essential oil production. The oil is obtained by the leaves distillation and the yield is around 2%. For the sustainability of leaves extraction is necessary a good nutritional replacement, because the leaves contain a large quantity of nutrients. The sewage sludge application in *Corymbia* plantations is a way to apply organic fertilizer and is also a good alternative for the final disposal of this residue. In this context, the objective of this study was to evaluate the sewage sludge use as fertilizer for the essential oil production in two different spacing. The experiment was constituted by 4 blocks and the treatments were: i) Close spacing (1m x 1m) with sewage sludge + K and B; ii) Close spacing with mineral fertilization; iii) Regular spacing (3m x 1m) with sewage sludge + K and B; and iv) Regular spacing with mineral fertilization. When the *C. citriodora* plots were 12, 18, 24 and 30 months old, leaves and branches biomass and also essential oil production were quantified. It was observed that the system of close planting totalized a higher biomass, 3.8 times more than the conventional system, providing 3 times more essential oil production (363 l ha⁻¹ at the close spacing and 116 l ha⁻¹ at the regular spacing during 30 months). No difference was found in the leaves or oil production with the use of sewage sludge or mineral fertilizer any of spacing studied. The use of sewage sludge as fertilizer for *Corymbia citriodora* plantations may be an interesting alternative, because it supplies large quantities of nutrients and ensures a positive budget of nutrients in the ecosystem.

Key words: *Eucalyptus citriodora*, eucalypts, biosolids, foliar biomass, nutrient export.

1 INTRODUÇÃO

A essência *Corymbia citriodora*, mais tradicionalmente conhecida como *Eucalyptus citriodora* foi introduzida no Brasil, juntamente com outras espécies

de eucaliptos, visando à produção de madeira principalmente para dormentes e energia. Atualmente é uma das principais espécies cultivadas no Brasil pelos pequenos e médios produtores nos estados de Minas Gerais e São Paulo para a produção de óleo essencial, energia e

¹Engenheiro Florestal, Assistente Técnico-Científico do IPEF – Avenida Pádua Dias, 11 – Cx. P. 530 – 13400-970 – Piracicaba, SP – paulohenrique@ipef.br

²Biólogo, PhD, Professor Titular – Departamento de Ciências Florestais/LCF – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/ESALQ – Universidade de São Paulo/USP – Av. Pádua Dias, 11 – 13418-900 – Piracicaba, SP – fpoggian@esalq.usp.br

³Engenheiro Agrônomo e Florestal, Professor Doutor – North Carolina State University – 3108 Jordan Hall – NCSU – Cx. P. 8008 – 27695-8008 – Raleigh, Estados Unidos – stape@ncsfnc.cfr.ncsu.edu

⁴Engenheiro Florestal, PhD, Professor Titular – Departamento de Ciências Florestais/LCF – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/ESALQ – Universidade de São Paulo/USP – Av. Pádua Dias, 11 – 13418-900 – Piracicaba, SP – jotbrito@esalq.usp.br

⁵Engenheiro Agrônomo e Florestal, M.Sc – Coordenador da Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/ESALQ – Universidade de São Paulo/USP – moreira@esalq.usp.br

construções. O óleo essencial contido nas folhas é um produto utilizado para a aromatização de ambientes e produção de desinfetantes, detergentes, sabões, mascarantes industriais, ceras, saponáceos, pedra sanitária e como matéria-prima para a indústria de perfumaria, sendo que algumas espécies de eucaliptos têm óleo com ação repelente de inseto e antimicrobiana (BATISH et al., 2008).

No processo de obtenção do óleo, as folhas do *C. citriodora* são destiladas, por arraste de vapor, apresentando um rendimento em torno de 2%. A composição química do óleo de *Corymbia citriodora* é constituída, principalmente, por citronelal, um monoterpênóide, que é o principal componente na mistura dos compostos químicos que dão origem ao óleo essencial e corresponde a aproximadamente 75% do óleo que é constituído por mais de 20 componentes voláteis (BATISH et al., 2006), possuindo também propriedades de repelência contra insetos.

O material genético, a idade fisiológica das folhas, o ambiente e o manejo silvicultural são fatores que influenciam na quantidade e na qualidade do óleo essencial produzido (VITTI & BRITO, 2003).

Nas condições de manejo tradicional, executado por pequenos produtores, para a destilação do óleo, são realizadas usualmente colheitas anuais que retiram em torno de 70 % das folhas das copas dos eucaliptos. Dessa forma, a colheita sucessiva de folhas do *C. citriodora*, para ser sustentável, pressupõe a reposição dos nutrientes exportados, uma vez que as folhas apresentam elevada concentração de nutrientes em relação aos demais componentes das árvores (PEREIRA et al., 1984; POGGIANI, 1985).

A manutenção de uma plantação florestal produtiva depende, portanto, da aplicação adequada de fertilizações para repor os nutrientes extraídos no processo de colheita (LACLAU et al., 2005). Assim, além da aplicação usual de fertilizantes minerais, desde que haja disponibilidade, pode ser indicada também a aplicação de fertilizantes orgânicos, visando a assegurar a fertilidade do solo dos povoamentos florestais. O lodo de esgoto, quando devidamente tratado, pode ser utilizado como fertilizante orgânico, visando à reposição de nutrientes ao solo em plantações de eucaliptos (HARRISON et al., 2003; SILVA et al., 2006).

Para regulamentar a utilização do lodo na área agrícola ou florestal foi criada a resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2006), que define os critérios mínimos de qualidade do lodo. Em São Paulo, a norma P-4230 da

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB (1999) estabelece os limites e a taxa máxima de aplicação anual de metais em solos tratados com lodo de esgoto e a carga máxima acumulada pela aplicação.

Souza Vaz & Gonçalves (2000) também pesquisaram o efeito da aplicação do lodo de esgoto ao solo em um plantio experimental de *Eucalyptus grandis*, observando a melhoria da fertilidade e reflexo positivo no crescimento das árvores. O lodo de esgoto além de possuir elevados teores de nitrogênio, fósforo e micronutrientes, apresenta também uma liberação mais lenta dos nutrientes para o solo em relação ao adubo mineral, propiciando uma melhor sincronização entre a disponibilização dos nutrientes e sua absorção pelas raízes dos eucaliptos (POGGIANI et al., 2000).

O espaçamento entre as árvores e a periodicidade da colheita podem também afetar a biomassa foliar produzida nas plantações de *C. citriodora* e, conseqüentemente, a produção de óleo essencial. A influência de diferentes espaçamentos sobre a produção de biomassa foliar varia com a espécie, a idade das plantas e a qualidade de sítio. Por exemplo, nos espaçamentos fechados, a maior competição que se estabelece entre as árvores antecipa a estagnação do crescimento volumétrico. Entretanto, os povoamentos de eucaliptos plantados em espaçamentos fechados, produzem inicialmente uma grande quantidade de biomassa foliar, exigindo normalmente um desbaste ou corte ainda na idade juvenil (ao redor de 6 meses) (BERNARDO, 1995; LADEIRA et al., 2001; LELES, 1995; PEREIRA, 1990; POGGIANI et al., 1984). Nesse aspecto, Rondon (2006), observou em *Tectona grandis* que a biomassa foliar produzida na fase inicial de crescimento em espaçamentos mais densos (1 x 1 m) atingia uma quantidade cinco vezes maior do que nos espaçamentos mais abertos.

Todavia, em relação *Corymbia citriodora*, não se conhece ainda a influência do lodo de esgoto, aplicado como adubo, sobre a quantidade e a qualidade do óleo essencial produzido nas folhas. Conduziu-se, portanto, este trabalho, com o objetivo de: (I) Verificar o efeito da adição de lodo de esgoto em povoamentos experimentais de *Corymbia citriodora*, em comparação com a aplicação da fertilização mineral, utilizando os espaçamentos “fechado (1 x 1m)” e “convencional (3 x 1m)”, em relação à produção de biomassa foliar. (II) Avaliar a quantidade e a qualidade do óleo essencial produzido pelo *C. citriodora* nos diferentes tratamentos. (III) Quantificar a exportação de nutrientes ocasionada pela colheita da biomassa do *C.*

citriodora em cada tratamento e estabelecer o balanço nutricional.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Descrição da área experimental

O experimento foi instalado na Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga, vinculada ao Departamento de Ciências Florestais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, localizada no município de Itatinga – SP, na latitude 23° 02' e longitude 48° 37', com altitude média de 830 m.

O clima do município de Itatinga, segundo classificação de Köppen, é do tipo mesotérmico úmido com precipitação média mensal de 1350 mm. A temperatura média anual é de 19,4 °C e a umidade relativa de 83,3%, podendo ocorrer geadas leves nos meses de inverno.

O solo da área experimental é um Latossolo Vermelho-amarelo com textura médio-arenosa, plano e de baixa fertilidade natural (Tabela 1). Esse tipo de solo era primitivamente coberto por vegetação de cerrado, sendo representativo das áreas onde se pratica atualmente a silvicultura do eucalipto no estado de São Paulo.

2.2 Delineamento experimental e tratamentos

O experimento foi implantado entre os meses de janeiro e fevereiro de 2005, utilizando-se um delineamento experimental constituído por blocos casualizados com 4 tratamentos (fatorial 2 x 2) e 4 repetições (parcelas), possuindo cada parcela uma área total de 300 m² e uma área útil de 216 m².

Tratamentos aplicados:

- 1) Plantio fechado 1m x 1m (10.000 plantas por hectare) com aplicação de 10 toneladas por hectare (base seca) de lodo de esgoto + K e B;
- 2) Plantio fechado 1m x 1m (10.000 plantas por hectare) com fertilização mineral;
- 3) Plantio convencional 3m x 1m (3.300 plantas por hectare)

com aplicação de 10 toneladas (base seca) de lodo esgoto + K e B;

4) Plantio convencional 3m x 1m (3.300 plantas por hectare) com fertilização mineral.

A complementação com cloreto de potássio (fonte de K₂O) e com bórax (fonte de B) foi realizada simultaneamente com as adubações de base e de cobertura do tratamento com adubação mineral. Essa complementação foi necessária nos tratamentos com lodo de esgoto, em razão dos baixos teores de potássio e boro encontrados no lodo produzido na ETE de Barueri (Tabela 2) e foi realizada por meio da adição desses elementos de modo a igualar a quantidade aplicada no tratamento com a adubação mineral (Tabela 3). A fertilização mineral foi aplicada de acordo com os critérios e recomendações estabelecidos no Boletim Técnico 100 (RAIJ et al., 1996).

O lodo de esgoto aplicado nos tratamentos 1 e 3 foi espalhado manualmente numa faixa de aproximadamente 30 cm de largura sobre as linhas de plantio dos eucaliptos.

A dose aplicada de 10 toneladas por hectare de lodo foi determinada a partir de resultados previamente obtidos na estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga e foi baseada em critérios técnicos, silviculturais e ecológicos, visando a aumentar a produtividade, sem causar efeitos indesejáveis no ambiente (POGGIANI et al., 2006; SILVA et al., 2008), visto que, doses mais elevadas de lodo de esgoto poderiam gerar o aumento da concentração de determinados metais pesados no solo com risco de lixiviação e possível aumento em sua fitodisponibilidade (MOLINA et al., 2006).

As quantidades de nutrientes adicionados ao solo nos tratamentos com as aplicações de lodo de esgoto e do adubo mineral foram diferentes, sendo que a adubação mineral seguiu as quantidades e os parcelamentos recomendados no Boletim Técnico 100 para a cultura do eucalipto (RAIJ et al., 1996), ao passo que o conteúdo de nutrientes no lodo foi calculado considerando-se a

Tabela 1 – Análises do solo da área experimental antes da implantação.

Table 1 – Soil analysis of the experimental area before planting.

Prof. (cm)	P mg dm ⁻³	M.O. g dm ⁻³	pH CaCl ₂	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	T	V	m	s-so ₄ ²⁻ %	B	Cu	Fe	Mn	Zn
				mmolc dm ⁻³										mg dm ⁻³				
0-5	9	26	4,0	0,7	5	4	71	27	9,7	81	12	75	24	0,25	0,5	104	2,5	0,8
5-10	6	17	4,0	0,6	3	2	57	24	5,6	63	8,9	84	30	0,21	0,6	76	1,1	0,4
10-20	7	13	4,0	0,6	2	2	44	20	4,6	49	9,5	82	34	0,19	0,7	55	0,6	0,3

Tabela 2 – Análises do lodo de esgoto produzido pela estação de tratamento de esgoto de Barueri (SABESP-SP).

Table 2 – Analysis of sewage sludge produced by the wastewater treatment station of Barueri (SABESP-SP).

Determinações	Quantidade
pH em CaCl ₂ 0,01 mol L ⁻¹	7,3
Densidade	1,03 g cm ⁻³
Umidade perdida a 60 - 65° C	76,04 %
Umidade perdida entre 65 e 110° C	1,32 %
Umidade Total	77,36 %
Matéria Orgânica Total (combustão)	54,64 %
Matéria Orgânica compostável	52,52 %
Mat. Orgânica resistente a compostagem	2,12 %
Carbono Total (orgânico e mineral)	30,79 %
Carbono Orgânico	29,20 %
Resíduo Mineral Total	45,36 %
Resíduo Mineral Insolúvel	20,89 %
Resíduo Mineral Solúvel	24,47 %
Nitrogênio Total	32,7 g kg ⁻¹
Fósforo (P ₂ O ₅)	32,7 g kg ⁻¹
Potássio (K ₂ O) total	2,7 g kg ⁻¹
Cálcio (Ca) Total	25,2 g kg ⁻¹
Magnésio (Mg) Total	4,9 g kg ⁻¹
Enxofre (S) Total	6,6 g kg ⁻¹
Relação C/N (C total e N total)	9,4
Relação C/N (C orgânico e N total)	8,9
Cobre (Cu) Total	570 mg kg ⁻¹
Mangânês (Mn) Total	194 mg kg ⁻¹
Zinco (Zn) Total	2,3 g kg ⁻¹
Ferro (Fe) Total	39,0 g kg ⁻¹
Boro (B) Total	9 mg kg ⁻¹
Sódio (Na) Total	583 mg kg ⁻¹

Obs.: Valores obtidos em base seca e valores em porcentagem referentes à massa/massa

concentração de nutrientes por tonelada de lodo, em base seca. As quantidades de N e P adicionadas nos tratamentos com aplicação lodo foram superiores às quantidades aplicadas com o fertilizante mineral (Tabela 3). Entretanto, deve-se considerar que o lodo degrada-se vagarosamente, disponibilizando de forma lenta os nutrientes ao longo do tempo. Segundo Laclau et al. (2004) as características fisiológicas do sistema radicular dos eucaliptos possibilitariam a absorção dos nutrientes liberados pelo lodo de esgoto ao longo do ano, independente da estação climática.

2.3 Estudos realizados

Foi quantificada a produção de biomassa arbórea em todos os tratamentos, a partir dos 12 meses de idade, separando as folhas dos galhos, tendo sido efetuada a coleta semestral nos tratamentos com plantio fechado e anual nos tratamentos com plantio convencional. Desse modo, em 30 meses, foram realizados quatro cortes rasos com a utilização de uma motorroçadora costal no sistema fechado (janeiro e julho de 2006 e de 2007) e duas desramas com a utilização de podões no sistema convencional de manejo (janeiro de 2006 e de 2007), retirando-se os galhos e as folhas dos 2/3 inferiores das copas. Do material coletado, foram obtidas amostras de folhas para a obtenção do óleo essencial e também para a realização de análises químicas, visando a avaliar a concentração e a exportação dos nutrientes.

As destilações foram realizadas por hidrodestilação, utilizando-se um destilador tipo Clevenger MA553, com volume nominal de 2 litros. As folhas foram submetidas à destilação por imersão em água pelo período de 1 hora. As análises do destilado foram realizadas em cromatógrafo gasoso, com uma amostra de 0,5 µL, usando coluna capilar carbowax 20M e “*flame ionization detector*” (FID), para a determinação do teor do citronelal, que é o principal componente do óleo.

Foi utilizada a metodologia padrão para análise química das folhas coletadas, conforme procedimento indicado por Malavolta et al. (1997).

As comparações entre as médias foram realizadas por meio da análise de variância e optou-se por aceitar todas as variações em nível de 5%. Para as análises, nas quais se observou diferença significativa, foi utilizado o teste complementar de Duncan, conforme indicado por Pimentel Gomes & Garcia (2002).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Produção de biomassa e óleo essencial

A produção de biomassa total (folhas + galhos) foi 3,8 vezes maior no espaçamento fechado em relação ao espaçamento tradicional, mas a relação entre a biomassa de folhas e a biomassa total colhida foi mais favorável no sistema tradicional (Tabela 4).

A destilação, sendo realizada a cada seis meses, proporcionou um aumento no rendimento de óleo extraído das folhas. Observou-se que no sistema fechado, com o corte raso, o rendimento na extração do óleo foi de 2%. Mas, no sistema convencional, com desrama dos 2/3

Tabela 3 – Nutrientes aplicados ao solo com o lodo de esgoto e a fertilização mineral.**Table 3** – Applied nutrients to the soil with sewage sludge and mineral fertilization.

Fertilização	N	P	K ₂ O	Ca	Mg	S	B	Zn
 Kg ha ⁻¹							
Lodo Complementado	320	144	105	248	48	66	3,0	24
Fertilização Mineral	115	60	105	440	160	5,0	3,0	2,0

Tabela 4 – Biomassa de folhas, galhos e volume de óleo essencial produzidos, considerando as quatro colheitas realizadas durante os 30 meses nos tratamentos com lodo de esgoto e com a fertilização mineral nos espaçamentos fechado e convencional.**Table 4** – Biomass of leaves, branches and volume of essential oil produced, considering the four harvests carried out during 30 months in the different treatments with sewage sludge and with the mineral fertilization in close and conventional spacing.

Tratamentos		Biomassa (t ha ⁻¹)			Relação (%)	Óleo essencial
		Total	Folhas	Galhos	Folha/Total	(L ha ⁻¹)
Espaçamento	Lodo	42,8 a	18,2 a	24,6 a	44 a	355 a
Fechado	F. Mineral	38,7 a	17,5 a	21,2 a	46 a	371 a
Espaçamento	Lodo	11,8 b	7,4 b	4,4 b	63 b	122 b
Convencional	F. Mineral	10,5 b	6,7 b	3,8 b	64 b	111 b

inferiores da copa, o rendimento foi de apenas 1,6%. Esse resultado pode ser atribuído à idade das folhas que, no sistema fechado, são coletadas mais novas.

A maior diferença na produção das folhas e, conseqüentemente, na quantidade de óleo produzido no sistema fechado foi resultante da colheita efetuada duas vezes ao ano. Talvez, em condições climáticas mais favoráveis, com ausência de déficit hídrico, poderia ser viável a realização de um maior número de colheitas de folhas. Nas diferentes idades de coletas não foram observadas diferenças na produção de biomassa foliar e na produção de óleo entre os dois tipos de fertilização, conforme pode ser observado nos gráficos das Figuras 1 e 2. Esse resultado é indicativo que a dose de 10 t ha⁻¹ é adequada para promover o crescimento do *Corymbia citriodora* de maneira semelhante ao propiciado pela adubação mineral convencionalmente utilizada nas empresas florestais.

Em todos os tratamentos, a concentração de citronelal no óleo produzido pelas folhas do *C. citriodora* ficou dentro dos valores usualmente constantes da literatura, que variam de 65 a 80 % (SILVA et al., 2006; VITTI & BRITO, 1999). Observou-se, entretanto, que nas folhas dos eucaliptos do espaçamento convencional,

cortadas aos dois anos de idade, durante o segundo corte, a concentração de óleo foi inferior a 75 %. (Figura 3). Esse resultado pode estar relacionado com a idade das folhas que permaneceram mais tempo conectadas aos ramos dos eucaliptos no sistema convencional em relação ao sistema adensado, no qual a colheita foi realizada a cada seis meses, mas pode estar relacionada também com aspectos ligados à sazonalidade. (VITTI & BRITO, 2003).

3.2 Exportação de nutrientes

Quanto à exportação de nutrientes do sítio, decorrente da colheita das folhas destinadas à destilação, foi observado um valor aproximadamente três vezes maior no espaçamento fechado, onde foram realizadas quatro colheitas (Tabela 5). Entretanto, não foi observada nenhuma diferença entre os nutrientes exportados em relação à fertilização com lodo e com adubo mineral, visto que as diferenças de 10% observadas para o N e o P não foram significativas estatisticamente.

O resultado indica que a utilização de um sistema mais intensivo de produção de folhas, com espaçamentos fechados e sucessivas colheitas realizadas em curtos intervalos de tempo, torna-se necessária uma fertilização mais “pesada” do que a usualmente praticada nos plantios

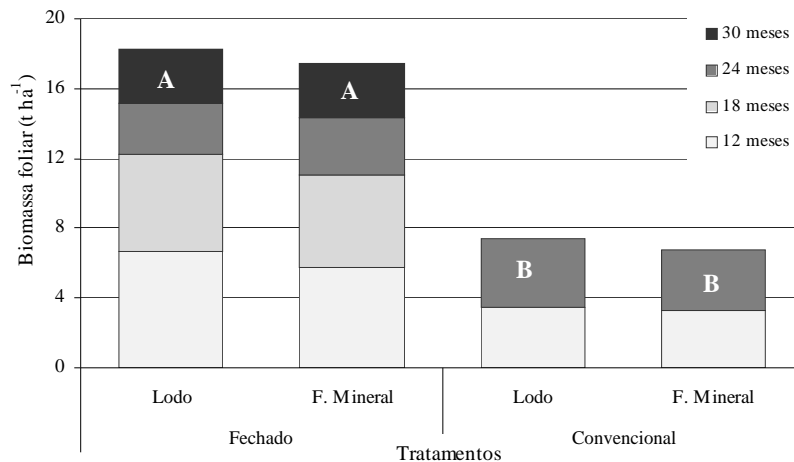


Figura 1 – Biomassa foliar colhida nas diversas idades nos diferentes tratamentos com lodo de esgoto e com fertilização mineral nos espaçamentos fechado e convencional.

Figure 1 – Leaves biomass harvested at several ages of the treatments with sewage sludge and with the mineral fertilization in close and conventional spacing.

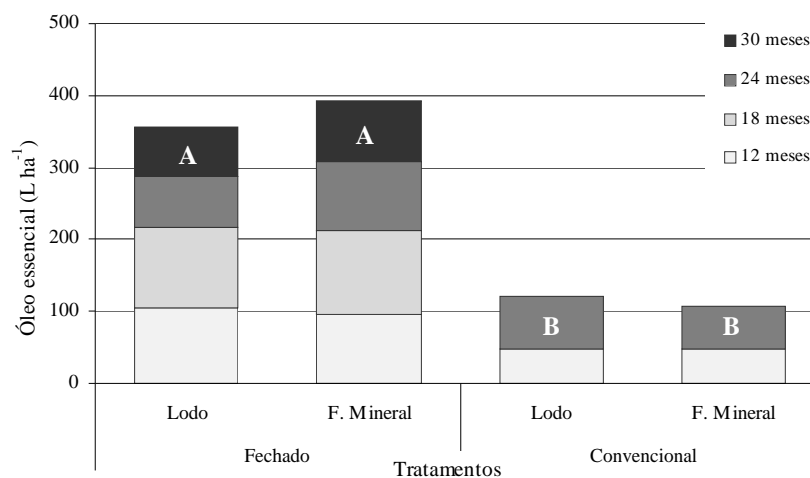


Figura 2 – Óleo essencial produzido pelas folhas do *E.citriodora* coletadas em diferentes idades nos tratamentos com lodo de esgoto e com fertilização mineral.

Figure 2 – Essential oil produced by the leaves of *C. citriodora* harvested at different ages in the treatments with sewage sludge and with mineral fertilization in closed and conventional spacing.

convencionais. Observa-se na Tabela 6, que o balanço foi negativo para o nitrogênio no tratamento com espaçamento fechado e fertilização mineral, onde foram aplicados 115 kg (Tabela 3) e exportados 175 kg por hectare deste nutriente (Tabela 5).

Destaca-se que neste experimento não foi devolvido ao solo dos povoamentos experimentais o bagaço das folhas dos eucaliptos, após sua destilação. Esta pratica é atualmente adotada por algumas empresas que utilizam as plantações de *C. citriodora* na produção de óleo essencial

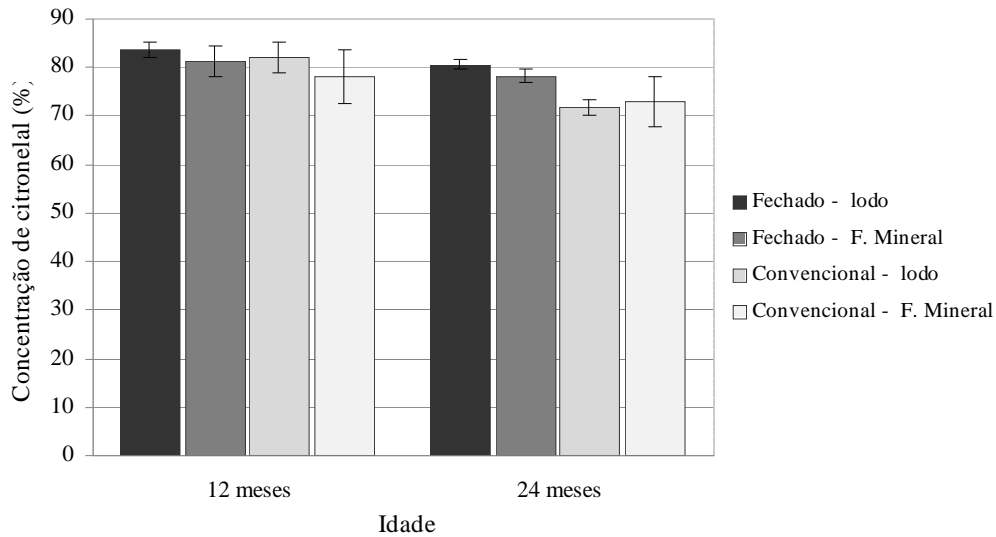


Figura 3 – Concentração de citronelal no óleo essencial produzido pelas folhas de *C. citriodora* colhidas aos 12 e 24 meses nos povoamentos experimentais tratados com o lodo de esgoto e com a fertilização mineral nos espaçamentos fechado e convencional.

Figure 3 – Citronellal concentration in the essential oil produced by *C. citriodora* leaves harvested at 12 and 24 months in the experimental stands treated with the sewage sludge and with the mineral fertilization in close and conventional spacing.

Tabela 5 – Nutrientes exportados, considerando todas as colheitas efetuadas nos povoamentos experimentais tratados com o lodo de esgoto e com a fertilização mineral nos espaçamentos fechado e convencional.

Table 5 – Nutrients exported, considering all the harvests of the leaves in the experimental stands treated with the sewage sludge and with the mineral fertilization in the close and conventional spacing.

Tratamentos		N	P	K	Ca	Mg	S	B
	 Kg ha ⁻¹						
Espaçamento	Lodo	192,6 a	11,8 a	50,1 a	42,4 a	15,3 a	3,6 a	0,32 a
Fechado	F. Mineral	175,0 a	9,5 a	51,5 a	40,9 a	13,2 a	3,5 a	0,25 a
Espaçamento	Lodo	62,9 b	3,1 b	19,5 b	15,2 b	5,1 b	1,5 b	0,09 b
Convencional	F. Mineral	56,6 b	2,7 b	17,5 b	12,8 b	4,1 b	1,4 b	0,09 b

Tabela 6 – Diferenças entre a quantidade de nutrientes aplicados e exportados decorrentes da colheita de folhas nos povoamentos experimentais tratados com o lodo de esgoto e com a fertilização mineral nos espaçamentos fechado e convencional.

Table 6 – Differences between the nutrients input and output due to the harvests of the leaves in the experimental stands treated with the sewage sludge and with the mineral fertilization in the close and conventional spacing.

Tratamentos		N	P	K	Ca	Mg	S	B
	 Kg ha ⁻¹						
Espaçamento	Lodo	127,4	132,2	54,9	205,6	32,7	62,4	2,7
Fechado	F. Mineral	-60,1	56,9	53,5	399,1	146,8	1,5	2,8
Espaçamento	Lodo	257,0	134,5	85,5	232,8	42,9	64,5	2,9
Convencional	F. Mineral	58,4	57,3	87,5	427,2	156,0	3,7	2,9

e têm apresentado bons resultados na reposição de matéria orgânica e nutrientes. Entretanto, em razão dos objetivos deste experimento, não foi incluída na metodologia da pesquisa.

Portanto, o experimento evidenciou ser mais vantajosa a utilização do espaçamento fechado, visto que, aumentou a produção de óleo essencial, podendo favorecer o produtor rural. Do ponto de vista operacional haveria também uma facilitação do sistema de retirada das folhas, considerando que as copas dos eucaliptos conservam permanentemente um porte baixo, facilitando a colheita das folhas e, conseqüentemente, reduzindo os custos operacionais. Os resultados indicam, ainda, ser possível manter, por meio do plantio com espaçamento fechado, a mesma produção de óleo essencial, ocupando apenas 35% da área de efetivo cultivo, em comparação com o sistema convencional de exploração, que utiliza o espaçamento de 3 x 1 m para a produção de óleo essencial.

Nesse sentido, onde houver disponibilidade e viabilidade operacional, o lodo de esgoto fornecido pelas estações de tratamento (ETEs), se aplicado de maneira adequada e devidamente monitorada para não gerar impactos ambientais, conforme as determinações do CONAMA (2006), pode viabilizar de forma sustentável a utilização de um sistema intensivo de manejo para a produção de óleo essencial em plantios de *C. citriodora*, favorecendo, principalmente, os pequenos produtores rurais.

4 CONCLUSÕES

O lodo de esgoto aplicado na dose de 10 toneladas por hectare nas linhas de plantio das parcelas experimentais de *C. citriodora* propiciou uma produção de biomassa foliar semelhante à observada no tratamento com fertilização mineral.

O tratamento constituído pelo “espaçamento fechado” possibilitou quase triplicar a produção de biomassa foliar e de óleo essencial em relação ao tratamento constituído pelo “espaçamento convencional”, tanto nas parcelas experimentais com lodo de esgoto, como nas parcelas com adição de fertilizante mineral.

Ocorre maior exportação de nutrientes nos tratamentos constituídos pelo “espaçamento fechado” em relação “espaçamento convencional”, entretanto sem diferenças significativas entre os tratamentos com a adição de lodo de esgoto e fertilização mineral.

Apenas o nitrogênio apresentou um balanço negativo no tratamento constituído pelo “espaçamento

fechado” e adição de fertilização mineral decorrente da grande quantidade de folhas exportadas e ao menor aporte de N via fertilização mineral em relação à adição de lodo de esgoto.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BATISH, D. R.; SINGH, H. P.; NIDHI, S.; SHALINDER, K.; KOHLI, R. K. Chemical composition and phytotoxicity of volatile essential oil from intact and fallen leaves of *Eucalyptus citriodora*. **Zeitschrift fur Naturforschung - Section C, Biosciences**, Tubingen, v. 61, n. 7/8, p. 465-471, 2006.

BATISH, D. R.; SINGH, H. P.; NIDHI, S.; SHALINDER, K.; KOHLI, R. K. *Eucalyptus* essential oil as a natural pesticide. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 256, n. 12, p. 2166-2174, 2008.

BERNARDO, A. L. **Crescimento e eficiência nutricional de *Eucalyptus* spp. sob diferentes espaçamentos na região de cerrado de Minas Gerais**. 1995. 102 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1995.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Norma P 4.230**: aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas: critérios para projeto e operação. São Paulo, 1999. 32 p.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução Nº. 375**. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2006.

HARRISON, R. B.; GUERRINI, I. A.; HENRY, C.; COLE, D. W. Reciclagem de resíduos industriais e municipais em áreas de reflorestamento. **IPEF**, Piracicaba, n. 198, p. 1-21, 2003.

LACLAU, J. P.; RANGER, J.; DELEPORTEA, P.; NOUVELLON, Y.; SAINT-ANDRÉC, L.; MARLET, S.; BOUILLET, J. P. Nutrient cycling in a clonal stand of *Eucalyptus* and an adjacent savanna ecosystem in Congo 3: input-output budgets and consequences for the sustainability of the plantations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 210, n. 1/3, p. 375-391, 2005.

LACLAU, J. P.; TOUTAIN, F.; M'BOU, A. T.; ARNAUD, M.; JOFRE, R.; RANGER, J. The function of the superficial root mat in the biogeochemical cycles of nutrients in congolese *Eucalyptus* plantations. **Annals of Botany**, London, v. 93, n. 3, p. 249-261, 2004.

- LADEIRA, B. C.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; BARROS, N. F. Produção de biomassa de eucalipto sob três espaçamentos, em uma seqüência de idade. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 69-78, 2001.
- LELES, P. S. S. **Crescimento alocação de biomassa e distribuição de nutrientes e uso de água em *E. camaldulensis* e *E. pellita* sob diferentes espaçamentos**. 1995. 133 p. Dissertação (Mestrado em Solo e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1995.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.
- MOLINA, M. V.; MATTIAZZO, M. E.; ANDRADE, C. A.; POGGIANI, F. Nitrogênio e metais pesados no solo e em árvores de eucalipto decorrentes da aplicação de biossólido em plantio florestal. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 71, p. 25-35, ago. 2006.
- PEREIRA, A. R. **Biomassa e ciclagem de nutrientes minerais em povoamentos jovens de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* em região de cerrado**. 1990. 167 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1990.
- PEREIRA, A. R.; ANDRADE, D. C.; LEAL, P. G. L.; TEIXEIRA, N. C. S. Produção de biomassa e remoção de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus saligna* cultivados na região de cerrado de Minas gerais. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 15, n. 1/2, p. 8-16, 1984.
- PIMENTEL GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309 p.
- POGGIANI, F. **Ciclagem de nutrientes em ecossistemas de plantações florestais de *Eucalyptus* e *Pinus* implicações silviculturais**. 1985. 211 p. Tese (Livre-Docência) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1985.
- 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. cap. 8, p. 163-178.
- POGGIANI, F.; SILVA, P. H. M.; GUEDES, M. C. Uso do lodo de esgoto em plantações florestais. In: ANDREOLI, C. V. (Org.). **Biossólidos: alternativas do uso de resíduos do saneamento**. Rio de Janeiro: ABES-RJ, 2006. v. 4, p. 159-188.
- POGGIANI, F.; ZEN, S.; MENDES, F. S.; SPINA FRANÇA, F. Ciclagem e exportação de nutrientes em florestas para fins energéticos. **IPEF**, Piracicaba, v. 27, p. 17-30, 1984.
- RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285 p.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico, 1996. (Boletim técnico, 100).
- RONDON, E. V. Estudo de biomassa de *Tectona grandis* L.f. sob diferentes espaçamentos no estado de Mato Grosso. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 3, p. 337-341, 2006.
- SILVA, P. H. M.; BRITO, J. O.; SILVA JUNIOR, F. G. Potential of eleven *Eucalyptus* species for the production of essential oils. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 63, n. 1, p. 121-127, jan./fev. 2006.
- SILVA, P. H. M.; POGGIANNI, F.; GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L.; MOREIRA, R. M. Crescimento de *Eucalyptus grandis* tratado com diferentes doses de lodos de esgoto úmido e seco, condicionados com polímeros. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 36, n. 77, p. 79-88, mar. 2008.
- SOUZA VAZ, L.; GONÇALVES, J. L. M. Aplicabilidade de biossólido em plantações florestais: II., efeitos na fertilidade do solo, nutrição e crescimento das árvores. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Eds.). **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. cap. 9, p. 179-198.
- VITTI, A. M. S.; BRITO, J. O. Avaliação do rendimento e do teor de citronelal do óleo essencial de procedências e raças locais de *Eucalyptus citriodora*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 56, p. 145-154, dez. 1999.
- VITTI, A. M. S.; BRITO, J. O. **Óleo essencial de eucalipto**. Piracicaba: IPEF, 2003. 26 p. (Documentos florestais).