



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbcs.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Brasil

VAZ, L. M. S.; GONÇALVES, J. L. M.
USO DE BIOSSÓLIDOS EM POVOAMENTO DE EUCALIPTO: EFEITO EM ATRIBUTOS QUÍMICOS
DO SOLO, NO CRESCIMENTO E NA ABSORÇÃO DE NUTRIENTES
Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 26, núm. 3, 2002, pp. 747-758
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180218340020>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica
Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

USO DE BIOSSÓLIDOS EM POVOAMENTO DE EUCALIPTO: EFEITO EM ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO, NO CRESCIMENTO E NA ABSORÇÃO DE NUTRIENTES⁽¹⁾

L. M. S. VAZ⁽²⁾ & J. L. M. GONÇALVES⁽³⁾

RESUMO

Com o objetivo de avaliar o efeito da aplicação de doses crescentes de biossólido (0, 5, 10, 15, 20 e 40 t ha⁻¹, base seca) em atributos químicos do solo, crescimento e absorção de macro e micronutrientes em um povoamento de *Eucalyptus grandis*, foi instalado um experimento na Estação Experimental de Itatinga da ESALQ/USP, Itatinga (SP). Alguns tratamentos tiveram suplementação de K e P e, como referência, em um dos tratamentos foi aplicada adubação mineral como praticado em empresas florestadoras com alta tecnologia na região. O solo da área foi caracterizado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico textura média. Seis meses após a aplicação do biossólido, não foram constatadas alterações do pH e dos teores de P, Mg, Zn, Cu e B no solo. Foi observada elevação dos teores de K, Ca e S no solo, bem como redução das concentrações de Al, Fe e Mn, dependendo da dose de biossólido aplicada. Diferentemente, 13 meses após a aplicação do biossólido, percebeu-se a elevação do pH e dos teores de P, Ca, K e S somente na camada de 0-5 cm. Nas duas épocas de amostragem do solo, a elevação das doses de biossólido ocasionou redução dos teores de MO somente na camada de 0-5 cm. Em compasso com a mineralização da MO no solo, os teores de N e S no tecido foliar elevaram-se com o aumento das doses de biossólido em ambas as épocas de amostragem. A disponibilidade de P assimilável (P-resina) elevou-se, consideravelmente, com o tempo de contato do biossólido com o solo, resultando em maior absorção de P e crescimento das plantas. A aplicação de fertilizante fosfatado no sulco ou cova de plantio, conjuntamente com o biossólido, mostrou-se necessária para elevar o crescimento inicial das plantas, assegurando atendimento das elevadas demandas iniciais deste nutriente. A suplementação de K em plantações jovens

⁽¹⁾ Parte da Tese de Mestrado do primeiro autor, Curso de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" – ESALQ/USP. Recebido para publicação em setembro de 2000 e aprovado em dezembro de 2001.

⁽²⁾ Professor Assistente, Departamento de Tecnologia, Universidade Estadual de Feira de Santana – UEFS. Caixa Postal 252-294, CEP 44031-460 Feira de Santana (BA). E-mail: lucianovaz@yahoo.com

⁽³⁾ Professor do Departamento de Ciências Florestais, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" – ESALQ/USP. Caixa Postal 9, CEP 13418-900 Piracicaba (SP). E-mail: jlmgonca@carpa.ciagri.usp.br

de eucalipto poderá não ser necessária para doses de biossólido maiores que 10 t ha^{-1} , quando as concentrações de K trocável forem médias. A elevação das doses de biossólido, de 0 a 40 t ha^{-1} , resultou numa resposta quadrática em termos de produção de madeira. A resposta à aplicação de biossólido elevou-se com a idade, refletindo, principalmente, os efeitos benéficos decorrentes da elevação da disponibilidade de nutrientes para as árvores.

Termos de indexação: eucalipto, cultivo, adubação orgânica, disponibilidade de nutrientes.

SUMMARY: *USE OF BIOSOLID IN EUCALYPT STAND: EFFECT ON SOIL CHEMICAL ATTRIBUTES, AND GROWTH AND UPTAKE NUTRIENT BY THE TREES*

*In order to evaluate the effect of increasing biosolid rates (0, 5, 10, 15, 20 and 40 t ha^{-1} , dry base) on some chemical soil attributes, and macro and micronutrient growth and uptake in *Eucalyptus grandis* stands, an experiment was established at the Experimental Station of Itatinga of ESALQ/USP, Itatinga (SP). Some treatments had additional application of K and P, and, as reference, only mineral fertilization was applied in one of them as practiced in some high technology forest companies in the region. The soil of the area was characterized as a Red-Yellow Latosol dystrophic, medium texture (Oxisol). Six months after the biosolid application, no pH, P, Mg, Zn, Cu and B changes in the soil were observed. Increasing of K, Ca and S, and reduction of Al, Fe and Mn concentrations were verified. Thirteen months after application, increasing of pH and P, and Ca, K and S concentrations were verified only in the 0-5 cm layer. For the two samplings, increasing biosolid rates caused the reduction of organic matter content only at 0-5 cm soil layer. Accordingly, the leaf N and S concentration increased. Available P (resin) increased considerably with biosolid-soil contact time, resulting in a higher uptake of P and plant growth. The application of P fertilizer in the furrow or in the planting hole, simultaneously with biosolid on soil, was found to be necessary to elevate the initial growth of the plants. No K response was observed. For medium exchangeable K, K fertilizer application in young eucalypt plantations may be no necessary for biosolid rates larger than 10 t ha^{-1} . Increasing biosolid rates from 0 to 40 t ha^{-1} resulted in a quadratic response of wood production. The response to biosolid application increased with age, mainly due to the beneficial effects of increasing nutrient availability for the trees.*

Index terms: eucalypt, plantation, organic fertilization, nutrient availability.

INTRODUÇÃO

O potencial de uso do biossólido em plantações florestais, particularmente com espécies de *Eucalyptus* e *Pinus*, é muito grande. A utilização do biossólido pode resultar em melhoras significativas nas propriedades químicas do solo, influenciando, de maneira positiva, na fertilidade. Vários pesquisadores relatam aumentos de pH, matéria orgânica, CTC e teor de macronutrientes, principalmente N, P e Ca, em solos que receberam biossólido (Riekerk, 1981; Berton et al., 1989; Melo et al., 1994; Bevacqua & Mellano, 1994; Dutch & Wosltenholme, 1994; Oliveira et al., 1995; Folle et al., 1995; Ayuso et al., 1996; Skousen & Klinger, 1998; Tsutya, 2000; Sui & Thompson, 2000).

De modo geral, na Europa, Ásia, América do Norte e Austrália, existem registros de respostas favoráveis de espécies florestais de interesse industrial à aplicação de biossólido. Dentre os efeitos, são relatados: aumentos significativos no diâmetro e altura das árvores, disponibilização de nutrientes (principalmente N, P, Ca e K) e aumento na produtividade do sítio florestal (McNab & Barry, 1985; Phillips et al., 1986; Weetman et al., 1993; McDonald et al., 1994; Dutch et al., 1994; Henry et al., 1994; Polglase & Myers, 1996). No Brasil, as pesquisas são muito recentes, ainda em andamento, daí a pouca disponibilidade de dados.

A fertilização de povoamentos florestais com biossólido tem como ponto positivo o fato de que os produtos dessas culturas não são voltados para

alimentação humana ou animal, diminuindo, portanto, os riscos de contaminação do homem. Contudo, cuidados especiais devem ser tomados em relação à localização, forma e dose de aplicação do lodo, para não ocorrer a contaminação do solo, nascentes, cursos d'água e lençóis freáticos (Gonçalves et al., 2000a).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de doses crescentes de biossólido de estação de tratamento de esgoto em atributos químicos do solo, crescimento e absorção de macro e micronutrientes em povoamentos de *Eucalyptus grandis*.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido em condições de campo em área da Estação Experimental de Itatinga, USP/ESALQ, município de Itatinga (SP) (23°00' S, 48°52' O e altitude de 750 m). O solo da área é um Latossolo Vermelho-Amarelo textura média distrófico. A análise granulométrica na camada de 0-20 cm apresentou 830 g kg⁻¹ de areia, 50 g kg⁻¹ de silte e 120 g kg⁻¹ de argila. Alguns atributos químicos do solo encontram-se no quadro 1.

A caracterização do biossólido usado no experimento encontra-se no quadro 2. Trata-se de um resíduo produzido por digestão aeróbica (fase de decantação) e anaeróbica (fase final no digestor). O biossólido é submetido a um processo de adensamento e higienização com cloreto férrico (100 kg de FeCl₃ t⁻¹ de biossólido) e cal extinta (250 kg de cal extinta t⁻¹ de biossólido). O resíduo contém 30 %, em média, de matéria orgânica, umidade em torno de 60 %, pH próximo a 11 e elevados teores de N, P, Ca, Fe, Zn e S-SO₄²⁻. O biossólido foi aplicado em meados de julho de 1998, em faixas de 2 m de largura, na superfície do solo, sem incorporação, mantendo uma distância de 0,5 m de cada lado da linha de plantio do eucalipto.

O resíduo foi aplicado com a sua umidade original (Quadro 2).

A espécie indicadora utilizada foi *Eucalyptus grandis* Hill Ex Maiden, procedente de Coff's Harbour, Austrália. O plantio com mudas formadas a partir de sementes foi efetuado em março de 1998, no espaçamento 3,0 x 2,0 m. A relação dos tratamentos experimentais é a que se segue: (1) Testemunha absoluta; (2) Adubação mineral (usada em áreas de produção florestal com alta tecnologia) – 1,5 t ha⁻¹ de calcário dolomítico (a lanço em área total), 110 kg ha⁻¹ de 0-45-0 (sulco de plantio), 150 kg ha⁻¹ de 10-20-10 (sulco de plantio), 80 kg ha⁻¹ de 20-0-20 (45 dias pós-plantio, aplicado em meia-lua ao redor da muda), 180 kg ha⁻¹ de 16-0-32 + 0,3 % B + 0,5 % de Zn (6 a 12 meses pós-plantio aplicado numa faixa contínua na entrelinha de plantio) e 240 kg ha⁻¹ de 16-0-32 + 0,3 % B + 0,5 % de Zn (12 a 18 meses pós-plantio, aplicado numa faixa contínua na entrelinha de plantio); (3) 5 t ha⁻¹ de biossólido (base seca), com suplementação de K; (4) 10 t ha⁻¹ de biossólido (base seca), sem suplementação de K; (5) 10 t ha⁻¹ de biossólido (base seca), com suplementação de K; (6) 10 t ha⁻¹ de biossólido (base seca), com suplementação de K e P (sulco de plantio); (7) 15 t ha⁻¹ de biossólido (base seca), com suplementação de K; (8) 20 t ha⁻¹ de biossólido (base seca), com suplementação de K; (9) 40 t ha⁻¹ de biossólido (base seca), com suplementação de K.

O tratamento 2 serve como referência por ser uma das adubações usadas em empresas florestadoras de eucalipto com alta tecnologia na região. Os tratamentos 3, 5, 6, 7 e 9 receberam suplementação de K (KCl, 60 % de K₂O), até que a quantidade de K contido no biossólido somada à do fertilizante potássico ficasse igual à do tratamento 2. O tratamento 6 recebeu suplementação de P (superfosfato triplo), de modo que a quantidade de P contido no biossólido mais a do fertilizante fosfatado ficasse igual à do tratamento 2 (80 kg ha⁻¹ de P₂O₅).

Quadro 1. Atributos químicos⁽¹⁾ do Latossolo Vermelho-Amarelo por ocasião da instalação do experimento

Profundidade	pH	MO	P	K	Ca	Mg	H + Al	Al	SB	T	V	m
cm		g dm ⁻³	mg dm ⁻³	mmolc dm ⁻³							%	
0-5	3,6	56	2	0,9	3	2	92	19	6	97	5	79
5-10	3,8	18	1	0,9	2	2	53	12	5	59	10	68
10-20	3,8	15	1	0,9	4	1	45	10	5	50	11	65
		Cu	Zn	Mn	Fe	S-SO₄²⁻	B	mg dm ⁻³				
0-5		0,5	0,5	2,4	123	12,8	0,2					
5-10		0,6	0,3	0,5	76	13,9	0,2					
10-20		0,7	0,3	0,4	67	26,6	0,2					

⁽¹⁾ Segundo métodos apresentados por Raij et al. (1987).

Quadro 2. Concentração de elementos químicos (formas totais, base seca - 65°C) do biossólido tipo B produzido pela Estação de Tratamento de Esgoto de Barueri (SP)

Elemento	Concentração	Elemento	Concentração
C (g kg ⁻¹)	114,0	S (g kg ⁻¹)	6,0
N (g kg ⁻¹)	26,6	Fe (mg kg ⁻¹)	39200
Relação C:N	4,3	Zn (mg kg ⁻¹)	1500
P (g kg ⁻¹)	9,5	Mn (mg kg ⁻¹)	300
K (g kg ⁻¹)	1,3	Cd (mg kg ⁻¹)	21
Ca (g kg ⁻¹)	95,0	Pb (mg kg ⁻¹)	200
Mg (g kg ⁻¹)	3,0	Umidade (%)	60
Na (g kg ⁻¹)	0,5	pH	10,6

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com nove tratamentos e quatro repetições. Considerando uma área de 6 m² por planta (espaçamento de plantio igual a 3,0 x 2,0 m), cada parcela ocupou uma área de 600 m², totalizando 2,2 ha de área experimental.

Para a amostragem de solo, foram coletadas 10 amostras simples com sonda no sentido diagonal à área útil da parcela (faixa de 2 m de largura no centro das entrelinhas onde foi aplicado o biossólido), obtendo-se uma amostra composta. Os atributos químicos foram determinados para as camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm de profundidade, avaliando-se as seguintes características: pH, MO, P, Ca Mg, K, S e Al trocáveis, H + Al, Soma de Bases (SB), Capacidade de Troca Catiônica (T), Sat. por Bases (V%) e Sat. por Al (Raij et al., 1987). Foram determinados, também, os teores de B, Cu, Fe, Mn e Zn pelo DTPA (Lindsay & Norvel, 1978). As amostragens foram feitas aos seis e treze meses após aplicação do biossólido.

Nos 36 m² centrais de cada parcela, foi derrubada uma árvore, com o diâmetro à altura do peito (DAP) médio, com vistas em avaliar o volume sólido de madeira, o qual foi estimado pela fórmula de Smalian: $VT = (T^2 + B^2) \times L \times C$, em que: VT = volume total do tronco (m³), L = comprimento de cada segmento de tronco onde se mediu a espessura (m), T = raio do topo (cm) B = raio da base do tronco (cm), e C = 0,0001570796 (constante).

Nas amostras de folha, foram determinados os teores de N, P, K, Ca, Mg e S (Sarruge & Haag, 1974) e de Fe, Cu, Mn, Zn e B (Malavolta et al., 1997). As amostragens foram realizadas aos doze e vinte e quatro meses do plantio.

Foram determinados a média e o erro-padrão para todos os dados das análises dos atributos químicos do solo e das concentrações foliares de nutrientes. Os dados relativos ao crescimento das árvores foram submetidos a análises de regressão,

utilizando o software Sigma Plot 4.0 (Jandel Scientific). Como variável dependente, foi usado o volume sólido de madeira e como variável independente as doses crescentes de biossólido.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Efeito do biossólido sobre os atributos químicos do solo e teores foliares de nutrientes

Seis meses após a aplicação do biossólido, não foram notadas alterações do pH e dos teores de P, Mg, Zn, Cu e B trocáveis nas camadas analisadas. Foi observada elevação dos teores de K, Ca e S, bem como a tendência ou redução das concentrações de matéria orgânica (MO), Al, Fe e Mn (Figuras 1, 2 e 3). Aos 13 meses da aplicação, verificaram-se consideráveis elevações do pH e dos teores de P, Ca, K e S na camada de 0-5 cm, o que tem estreita relação com as características do biossólido (Quadro 2). Os teores de Ca, Zn e Cu foram maiores com doses de 5 a 10 t ha⁻¹, decrescendo a partir da dose de 15 t ha⁻¹, enquanto os teores de B e Mn, para a maioria dos tratamentos, não sofreram alterações (Figuras 1, 2 e 3). Abaixo desta camada (dados não apresentados), só os teores de S elevaram-se, aos seis e 13 meses da aplicação do biossólido.

Nas duas épocas de amostragem do solo, com a elevação das doses de biossólido, ocorreu redução dos teores de MO. As maiores reduções foram observadas seis meses pós-aplicação para as maiores doses: 20 e 40 t ha⁻¹ (Figura 1). Segundo Stevenson (1986), a adição de material orgânico ao solo pode estimular a decomposição de húmus, graças ao aumento da atividade microbiana. As maiores reduções de MO nos primeiros meses pós-aplicação deveram-se, provavelmente, às maiores disponibilidades de frações de C facilmente decomponíveis.

Em compasso com a mineralização da MO no solo, os teores de N e S no tecido foliar elevaram-se com o aumento das doses de biossólido em ambas as épocas de amostragem (Figura 4), possivelmente, graças à maior absorção de N e S proveniente da mineralização do N-orgânico do biossólido e da MO do solo. A maior absorção e assimilação de N é aceita como uma das principais causas da resposta em crescimento das árvores às doses crescentes de biossólido. No estágio juvenil, até aproximadamente 24 meses, período em que ocorre a expansão da área foliar e sistema radicular, a demanda de N é muito elevada (Gonçalves et al., 2000b). A adição deste nutriente, principalmente em solos com baixo teor de matéria orgânica, resulta em acréscimos na taxa de crescimento. Geralmente, este efeito só perdura até o fechamento de copas. A partir daí, a competição por luz e água passa a constituir o fator mais limitante ao crescimento das árvores, e o suprimento de N via mineralização da matéria orgânica do solo

e ciclagem de nutrientes atende à demanda das árvores (Barros et al., 1990; Gonçalves et al., 1997, 2000b). Ainda que não resulte em elevações na produtividade de madeira no fim do ciclo, este maior

crescimento inicial das árvores, provavelmente causado pelo aumento da disponibilidade de N, é muito desejável, pois reduz os custos de controle de plantas invasoras.

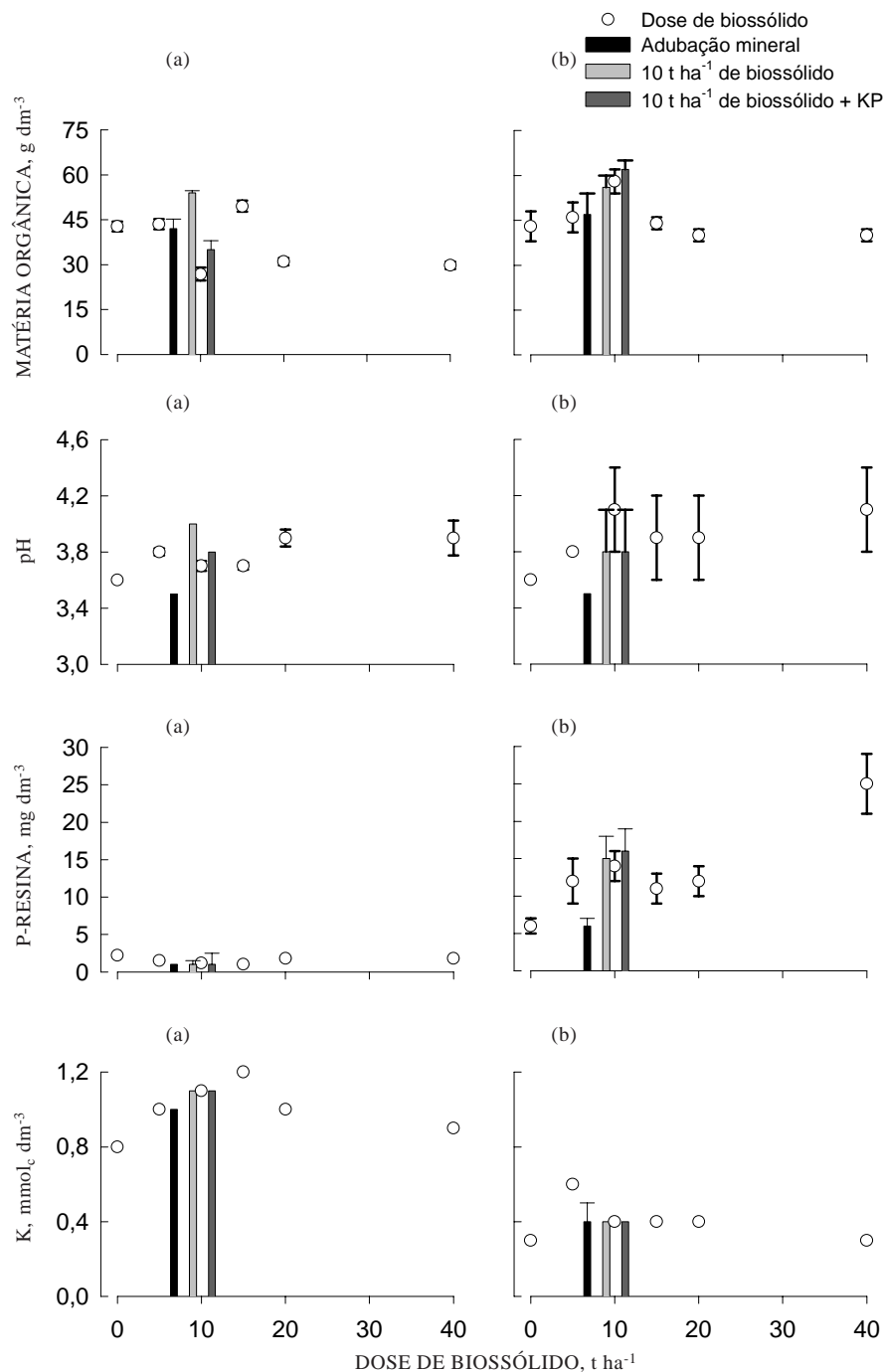


Figura 1. Teores de matéria orgânica, pH e teores de P-resina e de K trocável (média \pm erro-padrão), camada de 0-5 cm, nas entrelinhas do povoamento de *Eucalyptus grandis* em resposta às doses crescentes de biossólido, com suplementação de K (biossólido + KCl = 165 kg ha⁻¹ de K), às aplicações de 10 t ha⁻¹ de biossólido, sem suplementação de K e com suplementação de K e P, e à adubação mineral sem biossólido aos (a) 6 meses e (b) 13 meses da aplicação do biossólido.

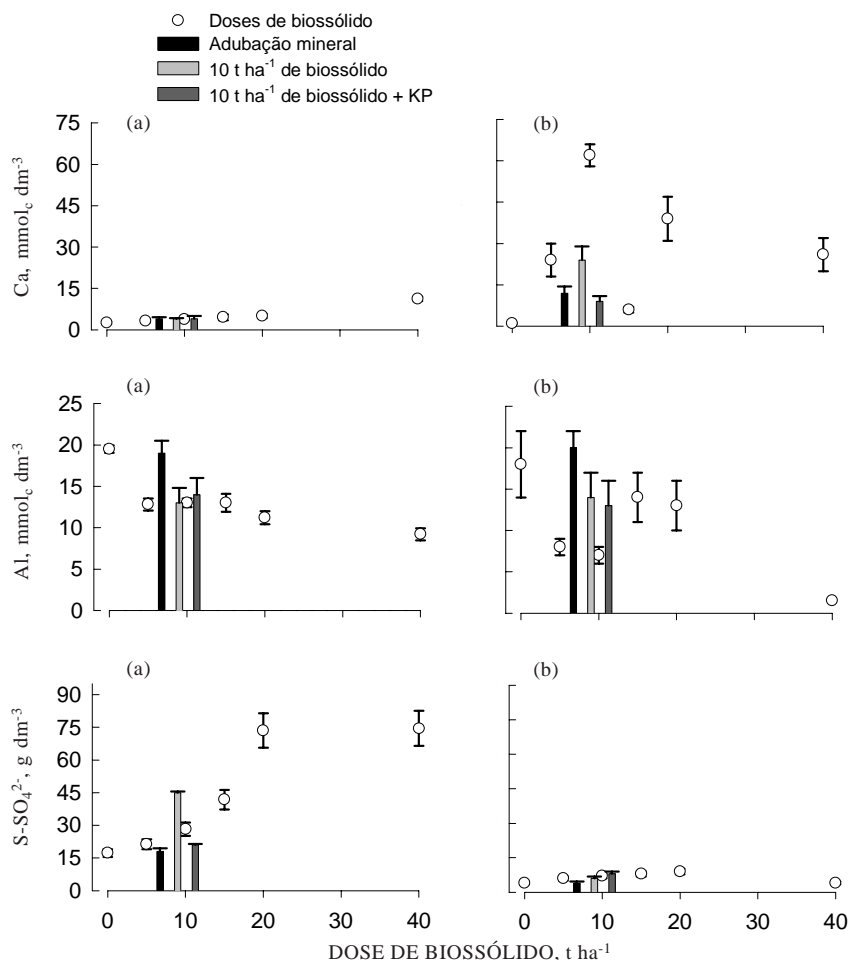


Figura 2. Teores de Ca e Al trocáveis e S-SO₄²⁻ (média ± erro-padrão), camada de 0-5 cm, nas entrelinhas do povoamento de *Eucalyptus grandis* em resposta às doses crescentes de bioossólido, com suplementação de K (bioossólido + KCl = 165 kg ha⁻¹ de K), às aplicações de 10 t ha⁻¹ de bioossólido, sem suplementação de K e com suplementação de K e P, e à adubação mineral sem bioossólido aos (a) 6 meses e (b) 13 meses da aplicação do bioossólido.

Seis meses pós-aplicação do bioossólido, não foi constatada alteração dos teores de P-resina na camada de 0-5 cm. Diferentemente, aos 13 meses, foi comprovada considerável elevação dos teores de P: os teores elevaram-se de 6 mg dm⁻³, na testemunha, a 25 mg dm⁻³, no tratamento que recebeu 40 t ha⁻¹ de bioossólido (Figura 1). Autores de diversos trabalhos verificaram aumentos no teor de P no solo após a aplicação de bioossólido (Phillips et al., 1986; Berton et al., 1989; Dutch & Wosltenholme, 1994; Oliveira et al., 1995; Folle et al., 1995; Martins et al., 1997), dada a mineralização do P-orgânico contido neste produto (Tsai & Rosseto, 1992; Tedesco et al., 1999).

Analisando o efeito da disponibilização de P assimilável com o tempo de contato do bioossólido com o solo, verificou-se que todos os tratamentos que receberam esse resíduo, com ou sem suplementação

de P, não provocaram alterações do teor foliar deste nutriente aos 12 meses de idade, oito meses pós-aplicação do bioossólido. No tratamento que recebeu apenas fertilização mineral (tratamento 2), o teor de P na planta foi consideravelmente elevado, enquanto o teor de Zn foi reduzido, evidenciando a pronta disponibilidade do P e o antagonismo de absorção desses dois nutrientes (Malavolta et al., 1997) (Figuras 4 e 5).

Por outro lado, aos 24 meses de idade, 20 meses pós-aplicação do bioossólido, os teores foliares de P de todos tratamentos que receberam bioossólido, com ou sem suplementação de P, foram maiores do que os obtidos nas plantas do tratamento-testemunha (Figura 4), indicando maior absorção de P. As concentrações de P nestes tratamentos ficaram dentro da faixa considerada adequada para o eucalipto, 0,9 a 1,3 g kg⁻¹ (Gonçalves et al., 1996),

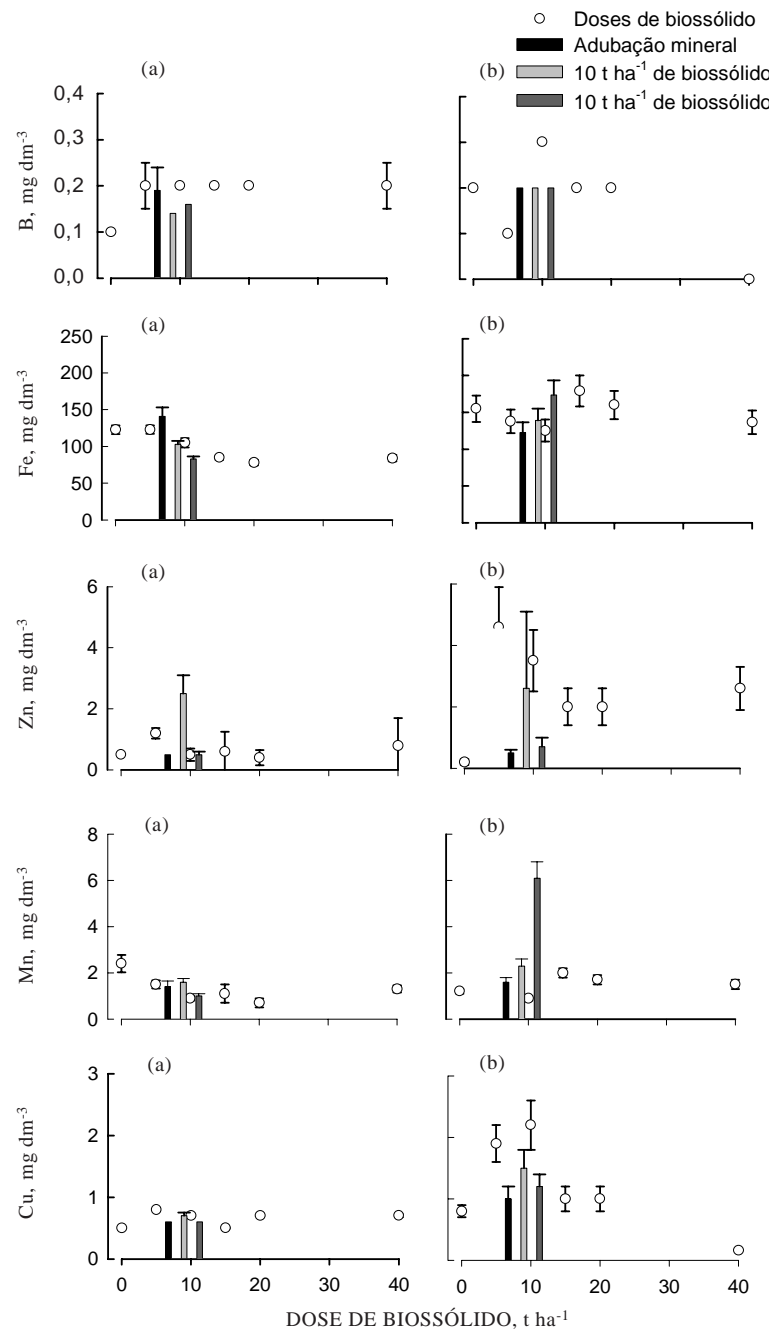


Figura 3. Teores de micronutrientes no solo (média \pm erro-padrão), camada de 0-5 cm, nas entrelinhas do povoamento de *Eucalyptus grandis* em resposta às doses crescentes de biossólido, com suplementação de K (biossólido + KCl = 165 kg ha⁻¹ de K), às aplicações de 10 t ha⁻¹ de biossólido, sem suplementação de K e com suplementação de K e P, e à adubação mineral sem biossólido aos (a) 6 meses e (b) 13 meses da aplicação do biossólido.

indicando que, nessa idade, o P não deve estar constituindo um nutriente limitante ao crescimento das plantas.

A aplicação de 10 t ha⁻¹ de biossólido, sem suplementação de K (tratamento 4), elevou o teor desse nutriente de 0,8 (testemunha) para

1,1 mmol_c dm⁻³ de solo, seis meses após a aplicação, na camada de 0-5 cm (Figura 1), atingindo a faixa de teor considerada adequada para o crescimento de eucalipto (Gonçalves et al., 1996). Esses resultados evidenciam que a suplementação de K em plantações de eucalipto poderá não ser necessária

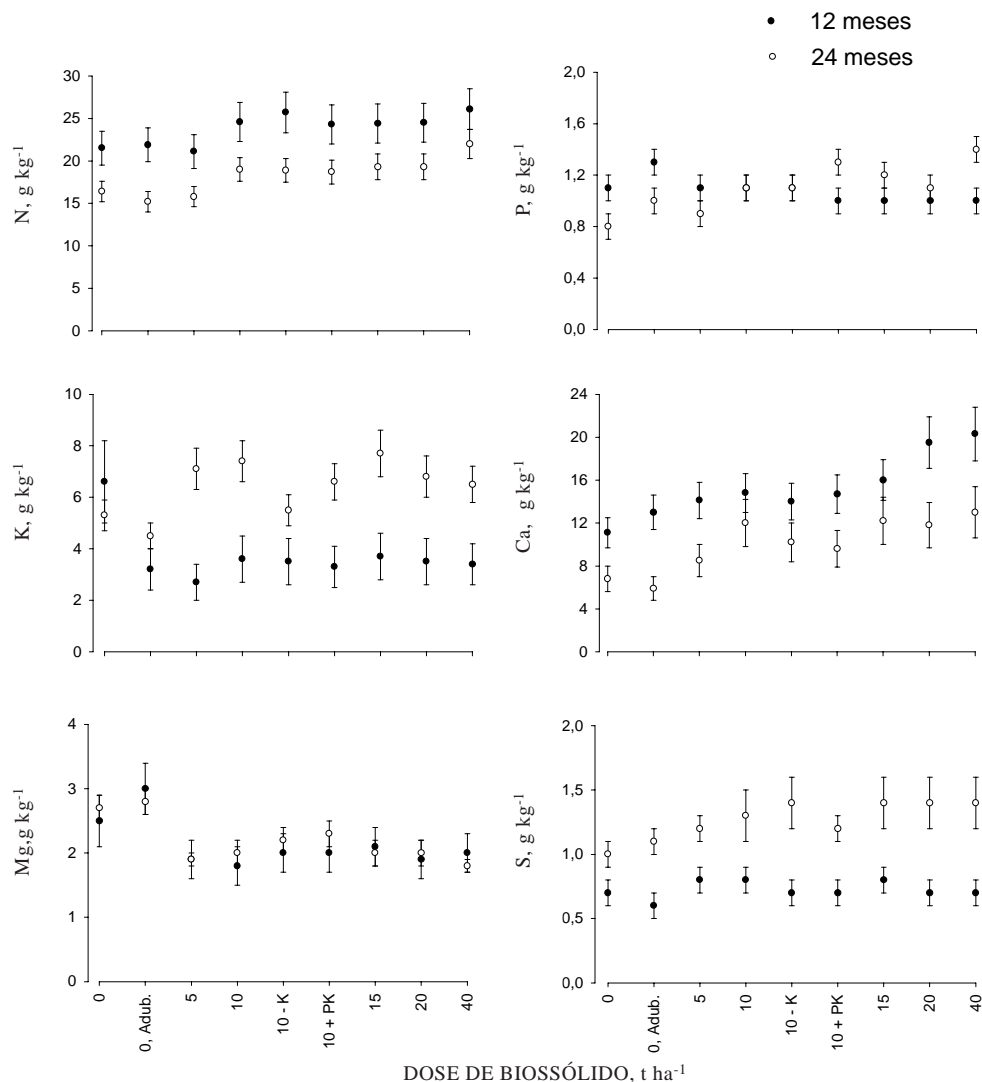


Figura 4. Concentração foliar de macronutrientes (média \pm erro-padrão) aos 12 e 24 meses de idade das plantas de *Eucalyptus grandis*, 8 e 20 meses pós-aplicação do biofósforo, em resposta às doses crescentes de biofósforo, com suplementação de K (biofósforo + KCl = 165 kg ha⁻¹ de K), às aplicações de 10 t ha⁻¹ de biofósforo, sem suplementação de K e com suplementação de K e P, e à adubação mineral sem biofósforo.

para doses de biofósforo maiores que 10 t ha⁻¹, quando as concentrações de K trocável forem médias (0,08 a 0,10 mmol_c dm⁻³). Neste caso, somente o K disponível do biofósforo elevaria a fertilidade do solo a níveis suficientes para atender à demanda do eucalipto, que é bem inferior ao da maioria das culturas agrícolas (Raij et al., 1996). Sete meses após, o teor de K no solo decresceu de 0,8 para 0,3 mmol_c dm⁻³, na testemunha, e de 1,1 para 0,4 mmol_c dm⁻³, no tratamento 4, em decorrência principalmente da absorção e provável lixiviação de K (Figura 1).

As concentrações foliares de K foram semelhantes em todos os tratamentos que receberam aplicações

de biofósforo, com ou sem suplementação de K. Por outro lado, o teor de K na testemunha aos 24 meses, o menos produtivo, foi muito superior ao desses tratamentos (Figura 4). Uma das causas prováveis para esta constatação é o “efeito diluição”, ou seja, apesar de as plantas apresentarem maior conteúdo de K em sua biomassa foliar, ele dilui-se nesta biomassa, resultando em menor teor deste nutriente.

Aos seis meses da aplicação do biofósforo, percebeu-se, apenas no tratamento 9 (40 t ha⁻¹), considerável elevação (0,5 a 0,7 unidade) do pH no solo em relação aos tratamentos que não receberam aplicação de biofósforo, embora não-significativa (Figura 1). Na avaliação posterior (13 meses), não

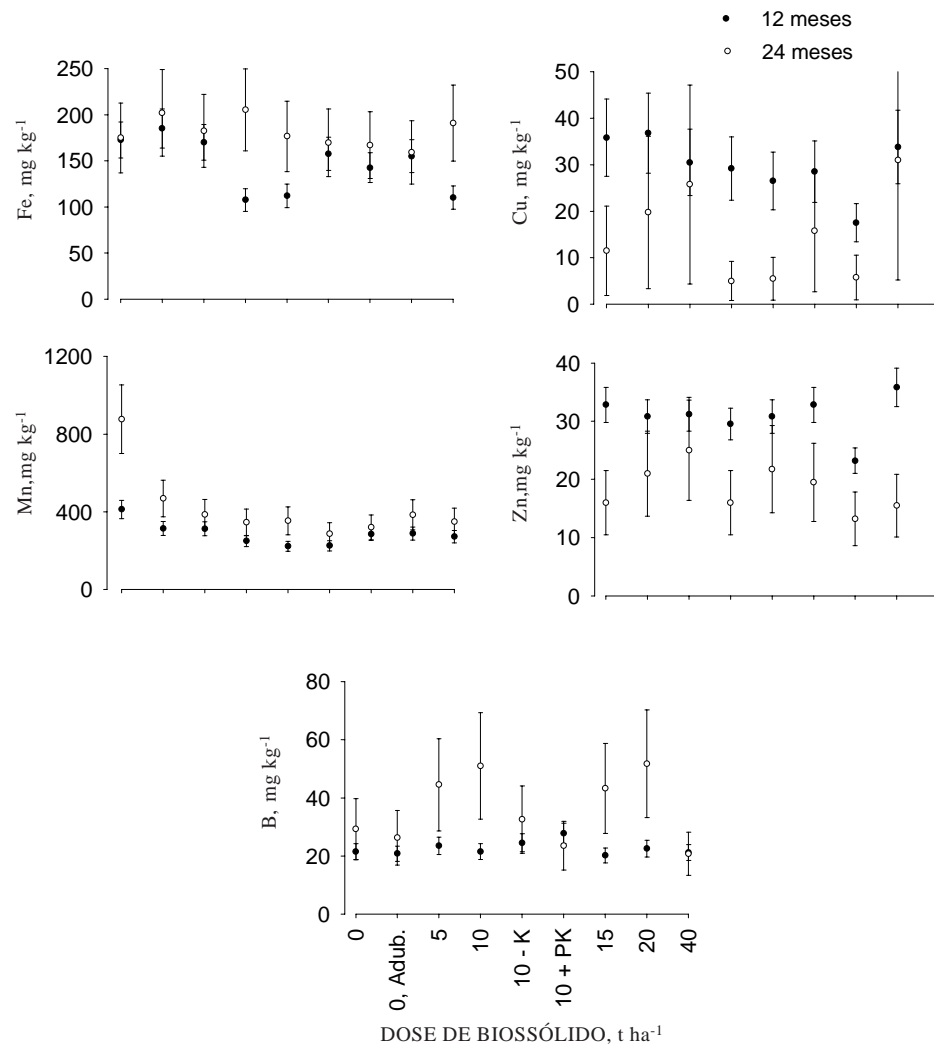


Figura 5. Concentração foliar de micronutrientes (média \pm erro-padrão) aos 12 e 24 meses de idade das plantas de *Eucalyptus grandis*, 8 e 20 meses pós-aplicação do biossólido, em resposta às doses crescentes de biossólido, com suplementação de K (biossólido + KCl = 165 kg ha^{-1} de K), às aplicações de 10 t ha^{-1} de biossólido, sem suplementação de K e com suplementação de K e P, e à adubação mineral sem biossólido.

foram verificadas diferenças entre tratamentos, embora os erros-padrões das médias tenham sido bem maiores; apenas nos tratamentos que receberam biossólido (Figura 1).

Alguns autores (Phillips et al., 1986; Berton et al., 1989; Martins et al., 1997) têm relatado aumentos de pH no solo em tratamentos em que o biossólido é incorporado ao solo.

Quando este experimento foi planejado, supondo que o elevado pH e o teor de Ca do biossólido pudessem ser prejudiciais ao crescimento inicial das mudas, optou-se por sua aplicação em faixas nas entrelinhas de plantio, sem incorporação ao solo. Diante dos resultados obtidos, supõe-se que a

aplicação superficial do biossólido a lanço ou em faixas sobre as linhas de plantio não deva causar injúrias ou desbalanços nutricionais às mudas por causa desse problema.

Houve, 13 meses após a aplicação, nítida elevação do teor de Ca no solo nos tratamentos que receberam biossólido, maior que no tratamento que só recebeu fertilização mineral (Figura 2). Essas alterações foram pequenas aos seis meses da aplicação. Este aumento do teor de Ca está associado ao seu alto teor no biossólido, 95 g kg^{-1} (Quadro 2), originado no processo de tratamento do resíduo com cal extinta (CaO), para higienização e adensamento do produto. A utilização desse tipo de biossólido como fonte de

Ca tem sido preconizada por vários autores (Phillips et al., 1986; Berton et al., 1989; Melo & Marques, 2000; Tsutya, 2000). A elevação do teor de Ca trocável no solo resultou em maior absorção deste nutriente, com valores crescentes com o aumento da dose de biossólido (Figura 4).

Considerando tais resultados, deduz-se que, com a aplicação de doses iguais ou superiores a 10 t ha⁻¹ de biossólido, a suplementação de Ca, via calagem ou outras fontes, é dispensável. Isto tem forte implicação econômica e técnica no manejo de plantações de eucaliptos, porque esta cultura demanda e exporta grandes quantidades de Ca. Além disso, há grandes extensões de solo empobrecidos pela exportação de Ca, após sucessivas colheitas de madeira, sem reposição via calagem (Gonçalves et al., 2000b).

Os decréscimos das disponibilidades de Cu, Zn e Mn no solo (Figura 3) com o aumento da dose de biossólido devem ser, em grande parte, devidos às reações de precipitação ocasionadas pelas mudanças de pH e formação de complexos polidentados (quelatos) com os componentes húmicos do solo e/ou adsorção pelas frações minerais ou orgânicas do solo (Tisdale et al., 1985; Sposito, 1989; Barros et al., 1990; Mello et al., 1994; Miyazawa et al., 1999).

Caso a incorporação do biossólido fosse realizada, alterações dos atributos relativos à fertilidade do solo seriam maiores, graças à maior solubilização e reação do biossólido no solo. Contudo, a incorporação de resíduos culturais ou outros insumos não tem sido praticada na maioria dos grandes empreendimentos florestais. Atualmente, tem sido amplamente recomendado o cultivo mínimo do solo, com intuito de prevenir sua degradação física, química e biológica, que não prevê revolvimento do solo (Gonçalves et al., 2000b).

Efeito do biossólido na produção de madeira

A elevação das doses de biossólido, de 0 a 40 t ha⁻¹, resultou numa resposta quadrática em termos de produtividade de madeira com casca (Figura 6). Aos 17 meses de idade, 13 meses pós-aplicação do biossólido, o crescimento em volume elevou-se de 1,9 para 7,2 m³ ha⁻¹, quando se compara a testemunha com o tratamento que recebeu 40 t ha⁻¹. Este efeito é atribuído, principalmente, ao biossólido. Por exemplo, a aplicação de 10 t ha⁻¹ de biossólido, sem suplementação de K (tratamento 4), resultou num crescimento semelhante àquele obtido com esta mesma dose, com suplementação de K. Como discutido anteriormente, a aplicação desta dose de biossólido, com ou sem suplementação de K, elevou os teores de K do solo, os quais ficaram dentro da faixa considerada adequada para esta cultura. Isto evidencia que a disponibilidade de K no biossólido pode ser suficiente para o crescimento do eucalipto, pelo menos na fase juvenil. Aos 24 meses de idade,

a aplicação de 10 t ha⁻¹ de biossólido, com ou sem suplementação de K, resultou num crescimento semelhante ao obtido com apenas a aplicação de fertilização mineral.

Comparando o crescimento das árvores nas duas idades (Figura 6), verificou-se que a resposta à aplicação de biossólido eleva-se com a idade, acarretando, principalmente, efeitos benéficos decorrentes da elevação da disponibilidade de nutrientes, oriundos da solubilização e mineralização de componentes do resíduo, bem como de um maior volume de solo explorado pelas raízes, o que aumenta o acesso a esses nutrientes. Esses efeitos refletiram-se numa maior absorção de nutrientes.

O tratamento que recebeu 10 t ha⁻¹ de biossólido mais suplementação de P e K (tratamento 6) resultou em maior resposta, tanto aos 17 como aos 24 meses de idade (Figura 6). O crescimento foi 139 e 32 % superior àquele obtido no tratamento 5 (10 t ha⁻¹ de biossólido mais K, sem suplementação de P), respectivamente, nestas idades.

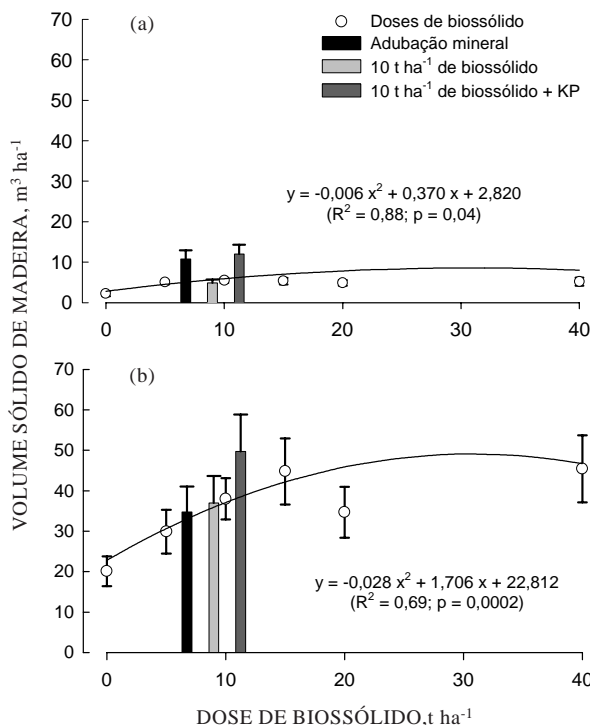


Figura 6. Produtividade de madeira (média ± desvio-padrão) de *Eucalyptus grandis* em resposta às doses crescentes de biossólido, com suplementação de K (biossólido + KCl = 165 kg ha⁻¹ de K), às aplicações de 10 t ha⁻¹ de biossólido, sem suplementação de K e com suplementação de K e P, e à adubação mineral sem biossólido aos (a) 17 meses e (b) 24 meses de idade.

Comumente, em plantações de eucaliptos, sobretudo no estágio juvenil de crescimento (primeiros dois anos), quando ocorre a expansão da área foliar, a fertilização fosfatada tem sido a mais responsiva e usada. Este efeito é atribuído às baixas concentrações de P nos solos usados para fins de florestamento, abaixo do nível crítico, como no presente estudo. O nível crítico de P no solo para o eucalipto decresce exponencialmente com o tempo de crescimento das árvores, sendo bastante elevado na fase de mudas (Novais et al., 1982). Por esta razão, a aplicação do fertilizante fosfatado em plantações de eucalipto tem sido realizada no sulco de plantio, com intuito não só de aumentar a eficiência de aproveitamento do fertilizante, mas também de prover maior disponibilidade de P junto às raízes das mudas, suprimindo suas elevadas demandas iniciais.

Pelo menos duas razões principais podem ser apontadas para a não-resposta ao P contido ($9,5 \text{ g kg}^{-1}$, Quadro 2) no bio sólido: (a) o P está presente em formas não ou lentamente disponíveis e (b) a aplicação do bio sólido foi superficial, nas entrelinhas, a 0,5 m das linhas de plantio, portanto, distante das raízes, o que deve ter dificultado sua absorção.

O maior crescimento do eucalipto no tratamento que recebeu bio sólido mais suplementação de P na base (sulco de plantio) indica que esta é uma alternativa potencial para elevar as respostas às aplicações desse resíduo em plantações de eucalipto. Os custos com a aplicação do bio sólido devem ser equiparados ou superados pelos benefícios advindos do aumento de produtividade e com a economia de fertilizantes, sobretudo as fontes de N, Ca, Zn e B. Em outros bio sólidos, obtidos a partir de processos que originam produtos com menor pH e teor de Fe (sem ou com menor uso de cal e cloreto de Fe), a disponibilidade de P para as árvores pode ser maior, reduzindo a demanda de suplementação com fertilizantes fosfatados.

O volume sólido de madeira no tratamento que recebeu fertilização mineral (tratamento 2) foi 10 e 30% inferior ao do tratamento 6 (10 t ha^{-1} de bio sólido + K e P), aos 17 e 24 meses de idade, respectivamente (Figura 6). Este acréscimo de produtividade no tratamento 6 é atribuído a outras propriedades do bio sólido, que não aos efeitos dos nutrientes K e P. É provável que a disponibilização de N a partir do resíduo e a maior absorção deste nutriente sejam as causas principais desse rendimento (Figura 4).

LITERATURA CITADA

- AYUSO, M.; PASCUAL, J.A.; GARCIA, C. & HERNÁNDEZ, T. Evaluation of urban wastes for agricultural use. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 42:105-11, 1996.
- BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. & NEVES, J.C.L. Fertilização e correção do solo para o plantio de eucalipto. In: BARROS, N.F. & NOVAIS, R.F., eds. *Relação solo-eucalipto*. Viçosa, Folha de Viçosa, 1990. p.127-186.
- BERTON, R.S.; CAMARGO, O.A. & VALADARES, J.M.A.S. Absorção de nutrientes pelo milho em resposta à adição de lodo de esgoto a cinco solos paulistas. *R. Bras. Ci. Solo*, 13:187-192, 1989.
- BEVACQUA, R.F. & MELLANO, V.J. Cumulative effects of sludge compost on crop yields and soil properties. *Comm. Soil. Sci. Plant Anal.*, 25:395-406, 1994.
- DUTCH, J. & WOLSTENHOLME, R. The effects of sewage sludge to a heathland site prior to planting with Sitka spruce. *For. Ecol. Manag.*, 66:151-163, 1994.
- FOLLE, F.; SHUFORD, J.W.; TAYLOR, R.W.; MEHADI, A.A. & TADESSE, W. Effect of sludge treatment, heavy metal, phosphate rate, and pH on soil phosphorus. *Comm. Soil. Sci. Plant Anal.*, 26:1369-1381, 1995.
- GONÇALVES, J.L.M.; VAZ, L.M.S.; AMARAL, T.M. & POGGIANI, F. Aplicabilidade de bio sólido em plantações florestais: II Efeito na fertilidade do solo, nutrição e crescimento das árvores. In: BETTIOL, W. & CAMARGO, O.A., eds. *Impacto ambiental do uso do lodo de esgoto*. São Paulo, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2000a. p.179-196.
- GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L.; BENEDETTI, V.; FESSEL, V.A.G. & GAVA, J.L. Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e na nutrição das árvores. In: GONÇALVES, J.L.M. & BENEDETTI, V., eds. *Nutrição e fertilização florestal*. Piracicaba, Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 2000b. p.3-57.
- GONÇALVES, J.L.M.; BARROS, N.F.; NAMBIAR, E.K.S. & NOVAIS, R.F. Soil and stand management for short-rotation plantations In: NAMBIAR, S. & BROWN, A., eds. *Management of soil, nutrients and water in tropical plantation forests*. Canberra, ACIAR Austrália/CSIRO Austrália/CIFOR Indonésia, 1997. p.379-418.
- GONÇALVES, J.L.M.; RAIJ, B. van & GONÇALVES, J.C. Florestais. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C., eds. *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. 2.ed. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas & Fundação IAC, 1996. p.245-259.
- HENRY, C.L.; COLE, D.W. & HARRISON, R.B. Use of municipal sludge to restore and improve site productivity in forestry: the Pack Forest Sludge Research Program. *For. Ecol. Manag.*, 66:137-149, 1994.
- LINDSAY, W.L. & NORVELL, W.A. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 42:421-428, 1978.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, E.C. & OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas (princípios e aplicações). 2.ed. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319p.
- MARTINS, L.G.C.; VALLE, C.F. & BARROS, N.F. Efeitos da aplicação do lodo da indústria de papel e celulose sobre características do solo e sobre a biomassa de raízes de Eucalipto. In: IUFRO CONFERENCE OF SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF *Eucalyptus*. Salvador, 1997. Anais. Salvador, 1997. p.169-173.

- McDONALD, M.A.; HAWKINS, B.J.; PRESCOTT, C.E. & KIMMINS, J.P. Growth and foliar nutrition of western red cedar fertilized with sewage sludge, pulp sludge, fish silage, and wood ash on northern Vancouver Island. *Can. J. For. Res.*, 24:297-301, 1994.
- McNAB, W.H. & BERRY, C.R. Distribution of aboveground biomass in three pine species planted on a devastated site amended with sewage sludge or inorganic fertilizer. *For. Sci.*, 31:373-382, 1985.
- MELO, W.J. & MARQUES, M.O. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: BETTIOL, W. & CAMARGO, O.A., eds. *Impacto Ambiental do Uso do Lodo de Esgoto*. São Paulo, Empresa de Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2000. p.109-141.
- MELO, W.J.; MARQUES, M.O.; SANTIAGO, G.; CHELLI, R.A. & LEITE, S.A.A. Efeito de doses crescentes de lodo de esgoto sobre frações da matéria orgânica e CTC de um latossolo cultivado com cana-de-açúcar. *R. Bras. Ci. Solo*, 18:449-455, 1994.
- MIYAZAWA, M.; GIMENEZ, S.M.N.; FERNANDEZ, F.; OLIVEIRA, E.L.D. & SILVA, S.M.C.P. Efeito do lodo de esgoto nos teores de metais pesados no solo e na planta. In: ANDREOLI, C.V.; LARA, A.I.; FERNANDES, F., eds. *Reciclagem de Biossólidos: Transformando problemas em soluções*. Curitiba, Companhia de Saneamento do Paraná, 1999. p.204-225.
- NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L.; COUTO, C. Níveis críticos de fósforo para o eucalipto. *R. Árvore*, 6:29-37, 1982.
- OLIVEIRA, F.C.; MARQUES, M.O.; BELLINGIERI, P.A. & PERECIN, D. Lodo de esgoto como fonte de macronutrientes para a cultura do sorgo granífero. *Sci. Agric.*, 52:360-367, 1995.
- PHILLIPS, R.; FISHER, J.T. & MEXAL, J.G. Fuelwood production utilizing *Pinus eldarica* and sewage sludge fertilizer. *For. Ecol. Manag.*, 16:95-102, 1986.
- POLGLASE, P.J. & MYERS, B.J. Tree plantations for recycling effluent and biosolids in Australia. In: ELDRIGE, K.G.; CROWE, M.P. & OLD, K.M., eds. *THE JOINT AUSTRALIAN/JAPANESE WORKSHOP HELD IN AUSTRALIA*, 1., Sydney, 1996. *Proceedings*. Calligwood: CSIRO, 1996. p.100-109.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C., eds., *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. 2.ed. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas & Fundação IAC, 1996. 285p.
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, A.S. & BATAGLIA, O.C. *Análise química do solo para fins de fertilidade*. Campinas, Fundação Cargill, 1987. 170p.
- RIEKERK, H. Effects of sludge disposal drainage solution of two forests. *Soil For. Sci.*, 27:792-800, 1981.
- SARRUGE, J.R. & HAAG, H.P. *Análise química em plantas*. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1974. 56p.
- SKOUSEN J. & KLINGER, C. Sewage sludge land application program in West Virginia. *J. Soil Water Conserv.*, 48:145-151, 1998.
- SPOSITO, G. *The chemistry of soil*. New York, Oxford University Press, 1989. 277p.
- STEVENSON, F.J. *Cycles of soil*. Canada, John Wiley & Sons, 1986. 380p.
- SUI, Y. & THOMPSON, M.L. Phosphorus sorption, desorption, and buffering capacity in a biosolids-amended mollisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 64:164-169, 2000.
- TEDESCO, M.J.; SELBACH, P.A.; GIANELLO, C. & CAMARGO, F.A.O. Resíduos orgânicos no solo e os impactos no ambiente. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O., eds. *Fundamentos da matéria orgânica no solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre, GENESIS, 1999. p.159-196.
- TISDALE, S.L.; NELSON, W.L. & BEATON, J.D. *Soil fertility and fertilizers*. New York, Macmillan, 1985. 754p.
- TSAI, S.M & ROSSETO, R. Transformações microbianas do fósforo. In: CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M. & NEVES, M.C.P., org. *Microbiologia do solo*. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. p.231-242.
- TSUTYA, M.T. Alternativas de disposição final de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgotos. In: BETTIOL, W. & CAMARGO, O.A., eds. *Impacto ambiental do uso do lodo de esgoto*. São Paulo, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2000. p.69-105.
- WEETMAN, G.F.; McDONALD, M.A.; PRESCOTT, C.E. & KIMMINS J.P. Responses of western hemlock, Pacific silver fir, and western red cedar plantations on northern Vancouver Island to applications of sewage sludge and inorganic fertilizer. *Can. J. For. Res.*, 23:1015-1020, 1993.