

Variação dos teores de nutrientes foliares em eucalipto fertilizado com bio sólido

Variation of nutrients leaves concentrations in Eucalypt fertilized with biosolids

Marcelino Carneiro Guedes
Fábio Poggiani

RESUMO: O tratamento do esgoto, evitando o impacto de seu lançamento direto sobre os recursos hídricos, gera um resíduo denominado lodo de esgoto ou bio sólido. O uso do bio sólido em plantações florestais surge como alternativa promissora para uma disposição final adequada desse resíduo. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de bio sólido sobre os teores foliares de nutrientes, em um povoamento jovem de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. Foram analisados os teores de N, P, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Mn, Zn e B nas folhas dos eucaliptos, aos dois, quatro, seis, oito, doze e dezesseis meses após aplicação de bio sólido. O experimento foi delineado em blocos casualizados, com quatro repetições e nove tratamentos. Foram aplicadas doses crescentes, até 40 t ha⁻¹, de bio sólido e adubação mineral. O bio sólido alterou, significativamente, os teores dos nutrientes nas folhas, exceto para o elemento Fe. De maneira geral, a aplicação de bio sólido aumentou os teores de N, P, Ca e S nas folhas e diminuiu as concentrações de Mn e Mg. Os teores de N, S, Cu e Zn apresentaram a mesma tendência de variação em função dos tratamentos em todas as seis coletas, independente da época em que foram realizadas.

PALAVRAS-CHAVE: Lodo de esgoto, Bio sólido, Nutrientes, Nutrição mineral, *Eucalyptus grandis*

ABSTRACT: The treatment of the sewage generates a residue denominated sewage sludge or biosolids, avoiding the impact of its direct release on the water resources. The use of biosolids in forest plantations appears as a promising alternative for an appropriate final disposition of that residue. The objective of this paper was to study the effect of biosolids application on the nutritional status of a young plantation of *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. N, P, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Mn, Zn e B were analyzed in the leaves of eucalypts at two, four, six, eight, twelve and sixteen months after biosolids application. The experiment was designed in randomized blocks, with four replicates and nine treatments: control (tt), inorganic fertilize (ad), 5 t ha⁻¹ of biosolids with K (5+K), 10 t ha⁻¹ of biosolids with K (10+K), 10 t ha⁻¹ of biosolids without K (10), 10 t ha⁻¹ of biosolids with K and P (10+KP), 15 t ha⁻¹ of biosolids with K (15+K), 20 t ha⁻¹ of biosolids with K (20+K), and 40 t ha⁻¹ of biosolids with K (40+K). The biosolids changed the nutritional status of the eucalypts, except for Fe. In general, biosolids application increased N, P, Ca and S, and decreased Mn and Mg concentrations in leaves. The N, S, Cu and Zn concentrations, presented the same variation tendency in function of the treatments in all the six samples, independently of the time in that were accomplished.

KEYWORDS: Sewage sludge, Biosolids, Nutrients, Mineral nutrition, *Eucalyptus grandis*

INTRODUÇÃO

Uma das alternativas mais promissoras para que as estações de tratamento de esgoto possam dar uma disposição final adequada ao lodo gerado é sua utilização como bio sólido em áreas florestais, aproveitando seu potencial como fertilizante e condicionador de solos para melhorar o desenvolvimento de árvores. No Brasil, a pesquisa sobre a utilização de bio sólido na agricultura já acontece desde o início da década de oitenta, mas a pesquisa em silvicultura ainda é fato recente. Bettiol e Carvalho (1982) foram os primeiros pesquisadores brasileiros a publicarem sobre o uso do lodo de esgoto na agricultura. Em 1998, um grupo de pesquisadores da ESALQ / USP iniciou as primeiras pesquisas de campo sobre a aplicação de bio sólidos em culturas florestais (Poggiani e Bennedeti, 1999).

Atualmente, o termo bio sólido vem sendo utilizado como substituto de lodo de esgoto, para diferenciar este resíduo com potencial de uso benéfico em culturas agrícolas e florestais, após as transformações microbianas e devida higienização dos dejetos que o originaram. No Estado de São Paulo foram elaboradas normas para regularizar a utilização do bio sólido (CETESB, 1999). Segundo a norma da CETESB, o termo bio sólido refere-se exclusivamente ao lodo resultante do sistema de tratamento biológico de despejos líquidos sanitários, com características tais que atenda às condições da norma para uma utilização segura na agricultura.

Santos e Tsutiya (1997) prevêem uma produção de 575 t dia⁻¹ de lodo no ano 2005, considerando somente as estações de tratamento da região metropolitana de São Paulo. Nos Estados Unidos, segundo a EPA (1999), foi estimada uma produção de 6,9 milhões de toneladas durante o ano de 1998.

A utilização de bio sólido pode propiciar um melhor aproveitamento de nutrientes pela

planta em relação à adubação mineral, visto que os mesmos estão na forma orgânica e são liberados gradativamente, suprimindo de modo mais adequado as exigências nutricionais no decorrer do ciclo biológico (Carvalho e Barral, 1981).

A aplicação de bio sólido em plantações florestais apresenta um série de vantagens em comparação com cultivos agrícolas. Hart et al. (1988), citando vários outros autores, resumem essas vantagens. Os produtos das culturas florestais normalmente não são comestíveis, diminuindo o risco em relação aos cultivos de plantas alimentícias, quanto à chegada de possíveis contaminantes ao homem. As florestas respondem à aplicação de bio sólido com significativos aumentos de biomassa e nutrientes no ecossistema. O ciclo das culturas florestais são mais longos e a acumulação de biomassa durante esse período é uma maneira de armazenar certos elementos químicos eventualmente perigosos, que podem ser retirados do local com a colheita da madeira. Os solos florestais são geralmente pobres, resultando em melhor aproveitamento e menores perdas dos nutrientes. As florestas oferecem menor oportunidade de contato humano com bio sólido recém aplicado. Além disso, o ciclo longo das culturas florestais permite maiores intervalos e uma maior dinâmica entre aplicações do que as culturas anuais, aumentando a eficiência de absorção do sistema radicular perene, profundo e bem distribuído das árvores.

De maneira geral, tanto na Europa quanto na América do Norte e na Austrália, existem diversas pesquisas com respostas favoráveis das espécies florestais de interesse silvicultural, principalmente as do gênero *Pinus*, à adição de bio sólido (McNab e Berry, 1985; Phillips et al., 1986; Hart et al., 1988; Weetman et al., 1993; Henry et al., 1993 e 1994; Polglase e Myers, 1995; Bramryd, 2001).

Baseado na hipótese de que o biossólido pode fornecer nutrientes às plantas, desenvolveu-se o trabalho com o objetivo de avaliar se os teores de macro e micronutrientes em folhas de eucalipto se alteram após a aplicação de biossólido.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho faz parte de um programa maior de pesquisa, multidisciplinar e multi-institucional, que está estudando a utilização de biossólido em cultura de eucalipto. O trabalho de Poggiani e Bennedeti (1999) resume esse programa de pesquisa e mostra os vários sub-projetos que foram desenvolvidos para verificar a viabilidade ecológica, silvicultural e econômica da atividade.

Localização e clima da área experimental

A Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga, vinculada ao Departamento de Ciências Florestais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, localiza-se no município de Itatinga, SP. Ela fica localizada entre os paralelos 23° 02' 01" e 23° 02' 30" latitude sul e os meridianos 48° 37' 30" e 48° 38' 34" longitude oeste de Greenwich, com altitude média de 830 m. A estação fica distante, aproximadamente, 220 km da cidade de São Paulo pela rodovia Castelo Branco.

O clima local é do tipo CWa segundo classificação de Köppen, ou seja, mesotérmico úmido com invernos secos. A seguir são apresentados os dados climáticos coletados na estação meteorológica situada na estação experimental (Figura 1).

Solos

Vaz e Gonçalves (2002), que trabalharam na mesma área experimental analisando o efeito do biossólido sobre a fertilidade do solo, apresentam a caracterização inicial do solo antes da implantação do experimento (Tabela 1). O

solo da área experimental é um Latossolo Vermelho-Amarelo, suavemente ondulado, com baixos teores de nutrientes. Esse tipo de solo é um dos mais representativos das áreas onde, hoje, se pratica a silvicultura com eucalipto no Estado de São Paulo.

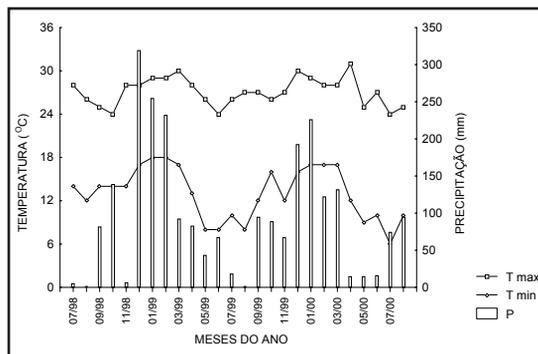


Figura 1

Médias mensais da temperatura máxima (T max) e temperatura mínima (T min) e valores de precipitação pluviométrica (P) acumulados no mês, durante o período experimental.

(Monthly means of maximum (T max) and minimum (T min) temperature (T max), and values of rainfall (P) accumulated in the month, during the experimental period.)

Plantio e tratos silviculturais no talhão experimental

A área do talhão experimental era ocupada por um povoamento de *Eucalyptus saligna* com idade aproximada de cinquenta anos e submetido a vários ciclos de corte sem receber nenhuma adubação. Para implantar este experimento, a madeira foi colhida e a área reformada com mudas originadas de sementes de *Eucalyptus grandis*, em março de 1998, no sistema de cultivo mínimo.

Foi realizada capina química, utilizando glifosato, um mês após o plantio e roçada manual treze meses depois. O controle de formigas cortadeiras foi realizado com iscas formicidas, a base de sulfluramida, pré e pós-implantação. Um ano após o plantio foi aplicado fungicida Bayfidan (2 kg ha⁻¹) para controle de ferrugem.

Tabela 1

Caracterização química e física do solo da área experimental, em diversas profundidades (Prof.), segundo Vaz e Gonçalves (2002).

(Chemical and physical characterization of the soil at the experimental area, in several depths (Prof.), according to Vaz and Gonçalves(2002).)

Prof. cm	pH	MO g dm ⁻³	P mg dm ⁻³	K	Ca	Mg	H + Al	Al	SB	T	V %	m %
0-5	3,6	56	2	0,9	3	2	92	19	6	98	6	79
5-10	3,8	18	1	0,9	2	2	53	12	5	58	9	68
10-20	3,8	15	1	0,9	4	1	45	10	6	51	12	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
Prof cm	Areia			Silte			Argila					
	Grossa	Fina	Total									
	-----g kg ⁻¹ -----											
0 - 30	532	241	773	59	168							
30 - 60	495	266	761	49	190							
60 - 90	496	278	774	29	197							

Caracterização e aplicação do biofóssido

O biofóssido utilizado no experimento foi proveniente da estação de tratamento de esgoto (ETE) de Barueri, região metropolitana de São Paulo. A SABESP foi responsável pela caracterização físico-química e manutenção da qualidade do lodo enviado dentro do estabelecido pela norma norte-americana 40 CFR Part 503 elaborada pela EPA (1984).

Tabela 2

Caracterização do biofóssido utilizado no experimento (elementos totais em relação ao peso seco do biofóssido - 65°C), produzido pela Estação de Tratamento de Esgoto de Barueri.

(Characterization of biosolids applied in the experiment (total elements on dry biosolids weight - 65°C), produced by the sewage plant of Barueri.)

C (g kg ⁻¹)	114,4	Cu (mg kg ⁻¹)	900,0
N (g kg ⁻¹)	26,6	Fe (mg kg ⁻¹)	39200,0
Relação C:N	4,3	Zn (mg kg ⁻¹)	1500,0
P (g kg ⁻¹)	9,5	Mn (mg kg ⁻¹)	300,0
K (g kg ⁻¹)	1,3	Na (g kg ⁻¹)	0,5
Ca (g kg ⁻¹)	95,0	Cd (mg kg ⁻¹)	21,0
Mg (g kg ⁻¹)	3,0	Pb (mg kg ⁻¹)	200,0
S (g kg ⁻¹)	6,0	pH em CaCl ₂	10,6

O biofóssido utilizado no experimento foi produzido após tratamento biológico dos efluentes (digestão aeróbia do lodo ativado e digestão anaeróbia dos lodos primário e secundário), seguido de condicionamento químico (FeCl₃ e Ca(OH)₂) e desaguamento na fase final.

O biofóssido foi aplicado em julho de 1998, quatro meses após o plantio das mudas. Para distribuir o material que apresentava cerca de 60% de umidade, foi utilizada uma carreta com capacidade de 3 m³ puxada por um trator. O biofóssido foi aplicado a lanço, em cobertura, em faixa de 2 m de largura entre as linhas de plantio, evitando-se o contato direto com as mudas.

Delineamento experimental e tratamentos

O experimento foi implantado em blocos casualizados, definidos em função da declividade da área. Foram aplicados nove tratamentos com quatro repetições, totalizando trinta e seis parcelas. Cada parcela possui cem árvores plantadas em espaçamento de 3 x 2 m,

totalizando 600 m² (30 x 20). A área útil da parcela é de 150 m², englobando apenas as 36 plantas centrais.

A seguir são descritos os tratamentos testados. As doses de biofósforo foram calculadas em base seca.

1) testemunha absoluta (tt), sem adubação e sem aplicação de biofósforo; 2) adubação mineral (ad), conforme descrito por Vaz e Gonçalves (2002): 1,5 t ha⁻¹ de calcário dolomítico (a lançar 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). A calagem e a adubação de base foram realizadas no mesmo dia em que o solo foi sulcado e realizado o plantio. A adubação de cobertura foi 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 meses pós-plantio aplicado numa faixa de 40 cm na entrelinha de plantio) e 240 kg ha⁻¹ de 16-0-32 + 0,3% B + 0,5% de Zn (12 meses pós-plantio aplicado numa faixa de 40 cm na entrelinha de plantio); 3) 5 t ha⁻¹ de biofósforo complementado com K (5+K); 4) 10 t ha⁻¹ de biofósforo complementado com K (10+K); 5) 10 t ha⁻¹ de biofósforo sem adição de potássio (10); 6) 10 t ha⁻¹ de biofósforo complementado com K e P na base (10+KP); 7) 15 t ha⁻¹ de biofósforo complementado com K (15+K); 8) 20 t ha⁻¹ de biofósforo complementado com K (20+K) e 9) 40 t ha⁻¹ de biofósforo complementado com K (40+K).

A complementação com K mineral (KCl, 60% de K₂O) foi necessária porque o teor desse elemento no biofósforo é baixo, assim como no solo da área experimental. O KCl foi colocado em cada tratamento onde foi aplicado biofósforo, de acordo com as doses, até igualar a quantidade de K colocada no tratamento "ad" (125 kg ha⁻¹). Para a suplementação de P no tratamento "10+KP", utilizou-se 80 kg ha⁻¹ de 0-45-0 aplicado no sulco do plantio.

Coleta das amostras e metodologia de análise

Aos dois, quatro, seis, oito, doze, dezesseis e vinte meses após a aplicação do biofósforo, foram coletadas folhas maduras do terço superior das copas das árvores, evitando-se colher folhas muito novas ou em processo de senescência. Dentro da área útil de cada parcela foram coletadas folhas de dez árvores.

Para analisar a concentração de nutrientes, as folhas incluindo os pecíolos foram secas a 65°C em estufas de ventilação forçada e moídas em moinho tipo Wiley (peneira de 20 mesh). As análises químicas dos elementos (N, P, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Cu, Zn e B) contidos no material vegetal foram realizadas no Laboratório de Ecologia Aplicada do Departamento de Ciências Florestais, da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, seguindo metodologias descritas por Malavolta et al. (1997).

Análise estatística dos dados

Foram realizadas análises das variâncias, de acordo com a análise de medidas repetidas para dados coletados em várias épocas sobre a mesma unidade amostral, segundo Crowder e Hand (1990). Quando detectada significância do efeito dos tratamentos e ausência de interação entre os tratamentos e as épocas foi realizado o teste de Tukey para verificar as diferenças entre as médias. Quando a interação foi significativa as comparações de interesse foram realizadas verificando se os intervalos de confiança eram mutuamente excludentes em relação às médias.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises estatísticas evidenciaram que os teores de todos os nutrientes, exceto o Fe, foram afetados pelos tratamentos (Tabela 3).

Os teores de N, S, Cu e Zn foram alterados pelos tratamentos, sem interação com as épo-

cas de coleta. Portanto, esses quatro elementos apresentaram a mesma tendência de variação em função dos tratamentos em todas as seis coletas, independente da época em que foram realizadas.

Tabela 3

Resumo das ANOVAs entre tratamentos (1), épocas de coleta (2) e das interações entre os tratamentos e as épocas (1x2) para os teores de nutrientes foliares (Nut). Graus de liberdade: blocos (3), tratamentos (8), épocas de coleta (5), interação (40) e resíduo (159). (Summarize of ANOVAs among treatments (1), collection times (2) and interactions among treatments and times (1x2) for the leaves nutrients (Nut). Degrees of freedom: blocks (3), treatments (8), collection times (5), interaction (40) and error (159).)

Nut	Efeito	QME	QMR	F	P
N	1	59,389		12,97	<0,001
	2	584,069	4,589	127,55	<0,001
	1x2	4,494		0,98	0,510
P	1	0,196		10,45	<0,001
	2	1,045	0,019	55,63	<0,001
	1x2	0,061		3,27	<0,001
Ca	1	109,278		33,82	<0,001
	2	574,185	3,271	177,31	<0,001
	1x2	8,070		2,50	<0,001
1/Mg*	1	0,295		10,08	<0,001
	2	0,519	0,582	28,38	<0,001
	1x2	0,373		2,55	<0,001
S	1	0,356		7,66	<0,001
	2	17,682	0,046	381,00	<0,001
	1x2	0,058		1,25	0,172
Fe	1	794		0,84	0,566
	2	100141	941	106,37	<0,001
	1x2	15,39		1,63	0,018
Cu	1	331		2,90	0,018
	2	9743	114	85,49	<0,001
	1x2	93		0,2	0,722
Mn	1	181480		20,07	<0,001
	2	383890	9042	424,56	<0,001
	1x2	65225		7,21	<0,001
Zn	1	249,37		3,41	0,001
	2	1019,53	63,08	14,14	<0,001
	1x2	63,81		0,89	0,666
B	1	70,13		0,16	0,035
	2	1324,12	32,81	40,36	<0,001
	1x2	124,94		3,81	<0,001

*transformação realizada para o teor de magnésio, para atingir homocedasticidade

Pode ser observado na Figura 2 um teor mais elevado de N foliar nas árvores dos tratamentos onde o biofósforo foi aplicado a partir de 10 t ha⁻¹ (teor médio = 24,7 g kg⁻¹). As árvores testemunhas, assim como as que receberam adubação mineral (ad) e 5 t ha⁻¹ de biofósforo (5+K), apresentaram teores mais baixos de N (teor médio = 21,4 g kg⁻¹).

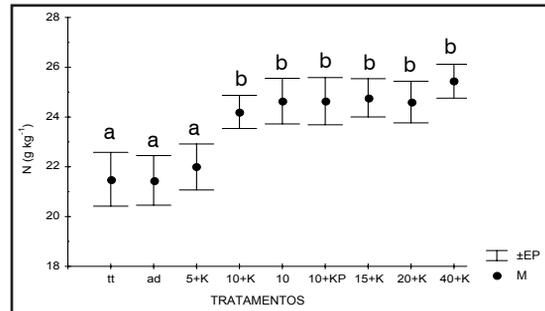


Figura 2

Valor médio (M) e erro padrão (EP) dos teores de N em folhas de eucalipto, coletadas em seis épocas (de 2 a 16 meses após aplicação do biofósforo), para cada tratamento testado (N=24). Médias sob letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ((Mean (M) and standard error (EP) of N concentrations in eucalypt leaves collected during six times (of 2 to 16 months after application of the biofósforo), for each treatment (N=24). Means under same letters are not different by Tukey test at 5% of probability.)

O aumento no teor de N nas folhas foi observado durante todo o período de estudo, de dois a dezesseis meses após a aplicação do biofósforo. Provavelmente, já existia no biofósforo uma quantidade de N mineral que foi rapidamente disponibilizada. Isso pode explicar o rápido efeito do biofósforo, que proporcionou aumentos nos teores de N logo aos dois meses após a aplicação do resíduo.

Considerando os teores (13-18 g kg⁻¹) adotados por Gonçalves et al. (1996) como adequados na matéria seca de folhas de plantas adultas de *Eucalyptus*, pode-se constatar na Figura 2 que mesmo os teores das plantas testemunhas estão acima dessa faixa considerada ideal. A decomposição dos restos culturais deixados devido às práticas do cultivo mínimo,

assim como do sistema radicular das árvores pré-existentes, que foram cortadas para implantar o experimento, provavelmente liberou N para as árvores testemunhas manterem um nível adequado do nutriente. A maior absorção de N pelos eucaliptos nos tratamentos que receberam biossólido, conforme observado por Andrade (1999) na mesma área experimental, foi considerada por esse autor a possível causa para explicar o não acúmulo e a baixa movimentação de nitratos no perfil do solo. Zabowski e Henry (1994) também observaram que o biossólido propiciou o aumento de N, em uma floresta madura de *Pinus ponderosa* no Estado de Washington (EUA). Eles verificaram que o efeito durou até cinco anos após a aplicação. McDonald et al. (1993), trabalhando com *Thuja plicata* em Vancouver no Canadá, também detectaram aumentos da concentração foliar de N e P em folhas das árvores tratadas com biossólido, um ano após aplicação.

Na Tabela 3, pode-se observar que o teor foliar de P foi afetado, significativamente, pela época de coleta e pelos tratamentos aplicados na área experimental, bem como pela interação entre esses fatores. Essa interação significativa mostra que o efeito dos tratamentos não é o mesmo em todas as épocas, sendo necessária a análise de cada época separadamente. Aos dois meses após aplicação (09/98), pode-se

observar na Tabela 4, os valores mais elevados nos tratamentos "ad" e "10 +KP", onde as mudas receberam adição de P mineral durante o plantio. Os valores médios nos tratamentos "ad" e "10 +KP" são estatisticamente maiores do que os encontrados nas árvores que receberam biossólido, inclusive do que as que receberam a maior dose do resíduo ("40+K").

Sabe-se que o P é um nutriente chave para o desenvolvimento do eucalipto, principalmente na fase inicial, quando as mudas respondem prontamente à sua disponibilidade no solo. Vaz e Gonçalves (2002), que avaliaram o crescimento dos eucaliptos na mesma área experimental, observaram que na fase inicial de desenvolvimento as plantas dos tratamentos "10+KP" e "ad" apresentaram maior incremento. O adubo mineral aplicado nesses tratamentos tornou-se rapidamente disponível, determinando uma resposta imediata no desenvolvimento das mudas. Com o passar do tempo, a aplicação de biossólido, cujos nutrientes são liberados mais lentamente, começou a surtir efeito. Com o aumento da idade do povoamento os eucaliptos do tratamento "40+K", que receberam a maior dose de biossólido, apresentaram volume igual aos que receberam adubação mineral convencional (ad), sendo superados apenas pelos do tratamento "10+KP".

Tabela 4

Teor médio \pm erro padrão (N=4) do teor de P nas folhas de eucalipto, em cada tratamento, para cada época de coleta. (Mean \pm standard error (N=4) of P concentrations in the eucalypts leaves, in each treatment, for each collection time.)

	Épocas de Coleta					
	09/98	11/98	01/99	03/99	07/99	11/99
	-----g kg ⁻¹ -----					
tt	0,9 \pm 0,16	0,8 \pm 0,06	1,1 \pm 0,11	1,2 \pm 0,04	0,8 \pm 0,04	1,0 \pm 0,12
ad	1,3 \pm 0,03	0,9 \pm 0,06	1,3 \pm 0,04	1,3 \pm 0,07	1,0 \pm 0,04	1,0 \pm 0,08
5+K	1,0 \pm 0,06	0,8 \pm 0,04	1,1 \pm 0,03	1,4 \pm 0,04	0,9 \pm 0,02	1,0 \pm 0,04
10+K	0,9 \pm 0,12	1,0 \pm 0,05	1,1 \pm 0,03	1,5 \pm 0,04	1,1 \pm 0,02	1,2 \pm 0,04
10	1,0 \pm 0,05	1,1 \pm 0,07	1,1 \pm 0,05	1,5 \pm 0,06	1,1 \pm 0,08	1,1 \pm 0,04
10+KP	1,3 \pm 0,00	1,0 \pm 0,03	1,0 \pm 0,06	1,6 \pm 0,02	1,3 \pm 0,04	1,3 \pm 0,05
15+K	1,0 \pm 0,03	1,0 \pm 0,05	1,0 \pm 0,08	1,6 \pm 0,06	1,1 \pm 0,06	1,2 \pm 0,04
20+K	0,9 \pm 0,09	1,1 \pm 0,07	1,0 \pm 0,08	1,6 \pm 0,06	1,1 \pm 0,04	1,2 \pm 0,04
40+K	0,9 \pm 0,10	1,2 \pm 0,04	1,0 \pm 0,10	1,6 \pm 0,07	1,4 \pm 0,04	1,4 \pm 0,04

O efeito do bioossólido sobre a extração de P pelos eucaliptos começa a ocorrer um ano após a aplicação do resíduo, coincidindo com o período em que as árvores que receberam bioossólido passaram a apresentar maior crescimento. Na quinta coleta, por exemplo, as médias dos teores de P nas plantas dos tratamentos "40+K" e "10+KP" são maiores do que as encontradas no "tt", no "5+K" e no "ad" (Tabela 4).

O resultado que mostra maior efeito dos tratamentos que receberam bioossólido na quinta e sexta coletas está de acordo com os resultados encontrados por Vaz e Gonçalves (2002) na mesma área experimental. Esses autores constataram que o teor de P no solo não foi alterado seis meses após (01/1999) a aplicação dos tratamentos. No entanto, treze meses após (08/1999) a aplicação, foi constatado um considerável aumento no teor de P no solo, principalmente no tratamento que recebeu 40 t ha⁻¹ de bioossólido ("40+K"). Segundo Lindo et al. (1995), que estudou o P orgânico residual em solo tratado com elevadas doses de bioossólido, a fração de P predominante (65 a 84%) foi aquela moderadamente lábil. Segundo Bekunda (1991), a aplicação de lodo de

esgoto primário não digerido não foi uma fonte imediata de P lábil no solo, e mostrou tendência de efeitos a longo prazo.

A resposta observada após um ano de aplicação pode indicar que o P contido no bioossólido não é prontamente lábil e está sendo liberado lentamente. Além disso, como o bioossólido foi aplicado entre as linhas de plantio e o P é um elemento que se movimenta pouco no solo, as mudas, logo após o plantio, ainda não possuíam um sistema radicular suficientemente desenvolvido para alcançar plenamente a faixa onde o P estava sendo liberado. Assim, outras estratégias de disposição do bioossólido, como sua distribuição nos sulcos de plantio ou sua aplicação antes da implantação das mudas, devem ser consideradas para que o P contido no material possa estar disponível durante a fase inicial de crescimento e promover o arranque das mudas.

Observa-se ainda na Tabela 4 uma diminuição nos teores de P em todos os tratamentos na quinta e sexta coletas, em relação à quarta. Isso pode estar associado à diminuição da precipitação pluviométrica nesse período de 07 a 11/99 (Figura 1), pois a difusão do P é dificultada em condições de baixa umidade no solo.

Tabela 5

Teor médio ± erro padrão (N=4) do teor de Ca nas folhas de eucalipto em cada tratamento, para cada época de coleta.

(Mean ± standard error (N=4) of Ca concentrations in the eucalypts leaves in each treatment, for each collection time.)

	Épocas de Coleta					
	09/98	11/98	01/99	03/99	07/99	11/99
	-----g kg ⁻¹ -----					
tt	6,9 ± 0,96	5,6 ± 0,09	11,1 ± 0,80	8,5 ± 0,59	6,8 ± 0,90	4,4 ± 0,20
ad	7,7 ± 0,68	6,1 ± 0,22	13,0 ± 0,96	12,2 ± 0,34	5,9 ± 0,69	4,3 ± 0,40
5+K	7,8 ± 0,87	6,3 ± 0,33	14,1 ± 1,02	13,7 ± 0,90	8,5 ± 1,07	4,7 ± 0,40
10+K	8,8 ± 0,17	7,3 ± 0,32	14,8 ± 0,70	18,5 ± 2,05	12,0 ± 0,33	7,1 ± 0,63
10	10,3 ± 0,61	7,6 ± 0,33	14,0 ± 0,46	17,7 ± 1,15	10,2 ± 0,45	7,3 ± 0,60
10+KP	10,6 ± 0,95	8,1 ± 0,22	14,8 ± 0,98	20,2 ± 0,60	9,6 ± 1,25	7,7 ± 0,55
15+K	8,8 ± 1,11	7,8 ± 0,48	16,0 ± 1,02	16,7 ± 0,38	12,2 ± 1,47	8,3 ± 0,99
20+K	9,5 ± 1,12	8,1 ± 0,42	19,5 ± 1,38	18,3 ± 0,38	11,8 ± 1,50	8,8 ± 0,87
40+K	10,5 ± 0,60	8,5 ± 0,13	20,3 ± 0,79	19,3 ± 1,09	13,0 ± 1,60	11,0 ± 0,90

O Ca foi o nutriente que mais respondeu à aplicação de doses crescentes de biossólido. A grande quantidade de Ca existente nesse resíduo (86 g kg⁻¹) propiciou concentrações foliares duas a três vezes superiores nas árvores dos tratamentos que receberam doses elevadas em relação ao tratamento testemunha, principalmente a partir da terceira coleta (01/99), seis meses após aplicação do biossólido (Tabela 5).

Os eucaliptos do tratamento onde foi aplicada a maior dose de biossólido, apresentaram os valores médios mais elevados de Ca foliar. Esse tratamento destacou-se dos demais, principalmente, na última coleta. Ele apresentou uma menor redução em relação à coleta anterior do que os outros tratamentos, apresentando concentração significativamente maior.

Na terceira coleta o valor médio do tratamento "40+K" foi o dobro do nível crítico para o elemento Ca (10 g kg⁻¹), citado por Wadt e Novais (1997). Apesar desses teores elevados de Ca as plantas apresentaram desenvolvimento normal. Segundo Bellote e Silva (2000), o crescimento das árvores de *Eucalyptus* não guarda relação com os teores de Ca nas folhas. No entanto, o excesso de Ca pode estar

causando a diminuição da concentração do elemento Mg nas árvores que receberam biossólido. Em uma área dos EUA, cultivada com *Abies grandis* e *Pseudotsuga menziesii*, oito anos após a aplicação de 300 t ha⁻¹ (peso seco) de lodo de esgoto, houve sintomas de deficiência de Mg. Analisando o tecido foliar das plantas da área testemunha, os autores encontraram um teor de Mg de 0,93 g kg⁻¹, enquanto na área tratada com lodo foi observada uma concentração de 0,25 g kg⁻¹. Isso indica que a aplicação do lodo pode ter sido a causa de deficiência de Mg, provavelmente, devido à competição por sítios de absorção exercida por outros cátions existentes no lodo em teores mais elevados que o Mg (Harrison et al., 1994). No caso da cultura de eucalipto, esse fato não representa um grande risco. Novais et al. (1990) comentam que a baixa demanda de Mg pelo eucalipto faz com que a relação Ca/Mg trocáveis adequada para seu crescimento seja bastante ampla.

Os eucaliptos que receberam adubação mineral e os da testemunha, a partir de seis meses após aplicação do biossólido, mantiveram-se com uma concentração mais elevada de Mg do que as árvores que receberam biossólido (Tabela 6).

Tabela 6

Teor médio ± erro padrão (N=4) do teor de Mg nas folhas de eucalipto em cada tratamento, para cada época de coleta.

(Mean ± standard error (N=4) of Mg concentrations in the eucalypts leaves in each treatment, for each collection time.)

	Épocas de Coleta					
	09/98	11/98	01/99	03/99	07/99	11/99
	-----g kg ⁻¹ -----					
tt	2,0 ± 0,14	1,9 ± 0,09	2,5 ± 0,22	2,0 ± 0,10	2,7 ± 0,04	2,4 ± 0,17
ad	2,7 ± 0,25	2,0 ± 0,12	3,0 ± 0,17	2,8 ± 0,16	2,8 ± 0,09	1,9 ± 0,14
5+K	2,1 ± 0,12	1,9 ± 0,12	1,9 ± 0,07	1,9 ± 0,11	1,9 ± 0,07	1,7 ± 0,11
10+K	2,2 ± 0,14	2,0 ± 0,09	1,8 ± 0,12	2,1 ± 0,08	2,0 ± 0,11	1,7 ± 0,03
10	2,6 ± 0,24	2,0 ± 0,08	2,0 ± 0,07	2,0 ± 0,08	2,2 ± 0,06	1,7 ± 0,07
10+KP	2,7 ± 0,15	1,8 ± 0,05	2,0 ± 0,25	2,2 ± 0,08	2,3 ± 0,12	1,5 ± 0,13
15+K	2,3 ± 0,22	1,9 ± 0,10	2,1 ± 0,12	2,0 ± 0,08	2,0 ± 0,09	1,5 ± 0,09
20+K	2,3 ± 0,12	1,9 ± 0,10	1,9 ± 0,14	1,9 ± 0,05	2,0 ± 0,08	1,7 ± 0,15
40+K	2,5 ± 0,20	1,9 ± 0,05	2,0 ± 0,14	1,9 ± 0,06	1,8 ± 0,09	1,6 ± 0,07

Na quarta coleta, por exemplo, o teor médio de Mg do tratamento "ad" foi significativamente maior do que todos os outros tratamentos, inclusive o "10+KP". Isso indica que o excesso de Ca do biofóssido pode estar induzindo a diminuição da extração desse elemento pelas árvores, como pode ser constatado pela relação Ca/Mg mostrada na Tabela 7.

Tabela 7

Valores médios de seis épocas de coleta (N=24) para a relação entre os teores de Ca e Mg nas folhas das plantas cultivadas nos diversos tratamentos (TT). Entre parênteses são apresentados os valores do erro padrão das médias. (Mean values of six collection times (N=24) for the relationship between Ca and Mg concentrations in the plants leaves. Values of standard error of the averages are presented between parentheses.)

TT	tt	ad	5+k	10+K	10
Ca/Mg	3,3 (0,5)	3,2 (0,5)	4,9 (1,0)	5,9 (1,1)	5,4 (0,9)
TT	10+KP	15+K	20+K	40+K	
Ca/Mg	5,8 (1,1)	5,9 (0,8)	6,6 (1,4)	7,2 (1,3)	

Segundo Gonçalves et al. (1996), a faixa adequada para o Mg varia de 3,5-5,0 g kg⁻¹ e, de acordo com Wadt e Novais (1997), o nível crítico é de 3 g kg⁻¹. Pode-se observar na Tabela 6 que apenas as plantas do tratamento "ad", que receberam calcário dolomítico, conseguiram atingir, em algumas épocas de coleta, esse nível crítico.

Em relação ao S, foram observadas menores concentrações nas plantas testemunhas e que receberam adubação mineral, do que nas plantas que receberam doses maiores ou iguais a 10 t ha⁻¹ (Figura 3).

A concentração de S na solução do solo está diretamente ligada à dinâmica de decomposição de material orgânico. Em Vancouver (Canadá), árvores tratadas com fertilizantes inorgânicos sofreram deficiência de S, enquanto áreas tratadas com biofóssido não apresentaram essa deficiência (Weetman et al., 1993).

O Fe, apesar de extremamente concentrado no biofóssido, de maneira geral não está se concentrando nas folhas dos eucaliptos que

receberam o resíduo, tanto que não houve efeito significativo para tratamentos (Tabela 3). Considerando todas as épocas e tratamentos, o teor de Fe nas folhas do terço superior da copa não chegou a 300 mg kg⁻¹. Entretanto, esse elemento parece ser absorvido preferencialmente pela vegetação do sub-bosque, que apresentou teores sempre acima de 400 mg kg⁻¹, atingindo valores maiores que 1000 mg kg⁻¹ (Guedes, 2000).

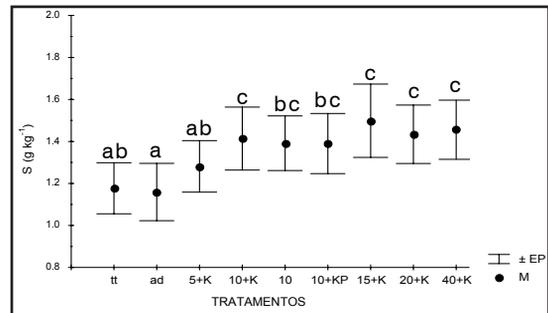


Figura 3

Valor médio (M) e erro padrão (EP) dos teores de S nas folhas de eucalipto coletadas em seis épocas (de 2 a 16 meses após aplicação do biofóssido), para cada tratamento testado (N=24). Médias sob letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. (Mean (M) and standard error (EP) of S concentrations in eucalypt leaves collected during six times (of 2 to 16 months after application of the biofóssido), for each treatment (N=24). Means under same letters are not different by Tukey test at 5% of probability.)

Os teores de Cu nas folhas das árvores dos tratamentos "10+K" (29 mg kg⁻¹) e "10" (26 mg kg⁻¹) foram significativamente (p=0,004 e p=0,039) maiores do que das árvores que receberam adubação mineral (15 mg kg⁻¹), independente da época de coleta. Não houve outras diferenças significativas entre os tratamentos.

Observa-se na Tabela 8, que o teor de Mn no tratamento testemunha (tt), a partir da terceira coleta (01/99), destaca-se de todos os outros tratamentos, mantendo um teor mais elevado do elemento nas árvores desse tratamento.

Tabela 8

Teor médio \pm erro padrão (N=4) do teor de Mn nas folhas de eucalipto em cada tratamento, para cada época de coleta.

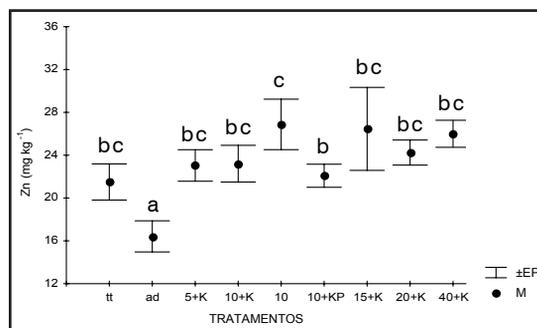
(Mean \pm standard error (N=4) of Mn concentrations in the eucalypts leaves in each treatment, for each collection time.)

	Épocas de Coleta					
	09/98	11/98	01/99	03/99	07/99	11/99
	-----g kg ⁻¹ -----					
tt	795 \pm 60	265 \pm 2	412 \pm 17	1406 \pm 138	877 \pm 55	617 \pm 33
ad	583 \pm 35	160 \pm 14	285 \pm 8	969 \pm 48	320 \pm 14	283 \pm 21
5+K	1000 \pm 46	233 \pm 13	314 \pm 8	872 \pm 48	468 \pm 22	316 \pm 23
10+K	1065 \pm 87	235 \pm 9	288 \pm 2	845 \pm 22	384 \pm 22	302 \pm 23
10	1115 \pm 66	215 \pm 11	312 \pm 28	844 \pm 43	386 \pm 44	278 \pm 25
10+KP	918 \pm 88	223 \pm 21	271 \pm 26	884 \pm 87	348 \pm 79	309 \pm 50
15+K	1010 \pm 49	205 \pm 12	249 \pm 12	771 \pm 13	345 \pm 54	244 \pm 15
20+K	1123 \pm 35	205 \pm 6	230 \pm 18	677 \pm 79	393 \pm 33	257 \pm 13
40+K	1080 \pm 23	180 \pm 9	225 \pm 7	717 \pm 84	285 \pm 36	222 \pm 33

Na quarta coleta, por exemplo, o teor médio de Mn no tratamento "tt" é significativamente maior do que em todos os outros tratamentos, inclusive o "ad". A diminuição dos teores de Mn com o aumento das doses de biossólido (pH=10,6), provavelmente, está associada ao aumento do pH do solo. Em trabalho de Tsadilas et al. (1995), as concentrações de Fe e Mn no solo, extraídos por DTPA, foram reduzidas com aplicação de biossólido, mostrando uma forte correlação negativa com o pH. Anjos e Mattiazzo (2000), trabalhando com mesmo tipo de biossólido utilizado nesse experimento, também detectaram menores teores de Mn em plantas de milho tratadas com o resíduo. Outros autores também relatam a deficiência de Mn em plantas e/ou diminuição do teor de Mn trocável em solos fertilizados com biossólido, associada à elevação do pH na terra que recebeu o resíduo (Sloan e Basta, 1995; Christie et al., 2001).

A diminuição do teor de Mn com o aumento da dose de biossólido pode ser considerada benéfica para o eucalipto. O nível crítico desse elemento, segundo Wadt e Novais (1997), é de 675 mg kg⁻¹, sendo que abaixo desse valor não é detectada deficiência, podendo, no entanto, ocorrer problema de excesso e toxicidade para valores maiores.

Com relação ao Zn, o tratamento que recebeu apenas dez toneladas de biossólido, sem complementação mineral, apresentou os valores mais elevados desse nutriente em relação aos demais tratamentos. (Figura 4).

**Figura 4**

Valor médio (M) e erro padrão (EP) dos teores de Zn em folhas de eucalipto, coletadas em seis épocas (de 2 a 16 meses após aplicação do biossólido), para cada tratamento testado (N=24). Médias sob letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. (Mean (M) and standard error (EP) of Zn concentrations in eucalypt leaves collected during six times (of 2 to 16 months after application of the biossólido), for each treatment (N=24). Means under same letters are not different by Tukey test at 5% of probability.)

Nas árvores dos tratamentos "ad", que receberam fósforo mineral no plantio, foram observados valores significativamente menores do teor de Zn do que nas árvores de todos os outros tratamentos. Uma reconhecida interação

negativa do Zn com o P devido à inibição não competitiva (Malavolta et al. 1997) pode explicar a diminuição no teor de Zn nas plantas desse tratamento. No tratamento "10+KP", que também recebeu P mineral na base, essa diminuição não foi tão acentuada e esse tratamento não difere dos que receberam doses maiores de biossólido. Esse fato pode estar associado à liberação de Zn contido no biossólido.

As maiores variações que ocorreram no teor de B em função dos tratamentos foram observadas na quinta coleta (07/1999). Nessa época, as árvores do tratamento "10+K" apresentaram valores maiores de B (52 mg kg⁻¹) do que as árvores dos tratamentos "tt" (29 mg kg⁻¹), "5+K" (26 mg kg⁻¹), "10+KP" (21 mg kg⁻¹), "20+K" (32 mg kg⁻¹) e "40+K" (23 mg kg⁻¹). Essa variação não foi observada nas outras épocas de coleta. O efeito dos tratamentos sobre o teor de B nas folhas não é significativo quando se considera um nível de probabilidade de 3% ($p=0,035$), conforme pode ser observado na Tabela 3.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos confirmam a hipótese de que a aplicação do biossólido no solo, em cobertura após o plantio, altera o estado nutricional dos eucaliptos. De maneira geral, as plantas que receberam biossólido apresentaram teores foliares mais elevados de N, P, Ca, S e teores mais baixos de Mg e Mn em relação às que receberam adubação química.

AUTORES E AGRADECIMENTOS

MARCELINO CARNEIRO GUEDES é doutorando em Recursos Florestais, no Departamento de Ciências Florestais da ESALQ / USP. - Caixa Postal 9 - Piracicaba, SP - 13400-970 - E-mail: mcguedes@esalq.usp.br

FÁBIO POGGIANI é Professor Titular do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ / USP - Caixa Postal 9 - Piracicaba, SP - 13400-970 - E-mail: fpoggian@esalq.usp.br

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e à Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), pelo financiamento da pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, C.A. **Nitratos e metais pesados em solos e plantas de *Eucalyptus grandis* após aplicação de biossólido da ETE Barueri**. Piracicaba, 1999. 65p. Tese (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.
- ANJOS, A.R.M.; MATTIAZZO, M.E. Metais pesados em plantas de milho cultivadas em latossolos repetidamente tratados com biossólido. **Scientia agricola**, v.57, n.4, p.1-16, 2000.
- BEKUNDA, M.A. Evaluation of surface applied sewage sludge or a source of inorganic phosphorus in a forest soil. **East African agricultural and forestry journal**, v.57, n.1, p.47-53, 1991.
- BELLOTE, A.F.J.; SILVA, H.D. Técnicas de amostragem e avaliações nutricionais em plantios de *Eucalyptus* spp. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V., ed. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. cap 4, p.105-134.
- BETTIOL, W.; CARVALHO, P.C.T. Utilização de lodo de esgoto primário e fertilizante organo-mineral IPT na cultura do milho. **Fertilizantes**, v.44, p.14-15, 1982.
- BRAMRYD, T. Effects of liquid and dewatered sewage sludge applied to a Scots pine stand (*Pinus sylvestris* L.) in Central Sweden. **Forest ecology and management**, v.147, n.2/3, p. 197-216, 2001.
- CARVALHO, P.C.T.; BARRAL, M.F. Aplicação de Le como fertilizante. **Fertilizantes**, v. 63, n.2, p.1-4, 1981.
- CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas: critérios para projeto e operação**. São Paulo: CETESB, 1999. 32p. (Manual técnico).

- CHRISTIE, P.; EASSON, D.L.; PICTON, J.R.; LOVE, S.C.P. Agronomic value of alkaline-stabilized sewage biosolids for spring barley. **Agronomy journal**, v.93, n.1, p.144-151, 2001.
- CROWDER, M.J.; HAND, D.J. **Analysis of repeated measures**. Londres: Chapman and Hall, 1990. 257p.
- EPA - U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Biosolids generation, use, and disposal in the United States**. Washington: Office of Solid Waste. Solid Waste and Emergency Response (5306W), 1999. 74p. (EPA 530-R-99-009).
- EPA - U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Environmental regulations and technology: land application of municipal sludge**. Cincinnati: Federal Regulations, 1984. (EPA 625/1-83-016)
- GONÇALVES, J.L.M.; VAN RAIJ, B.; GONÇALVES, J.C. Florestais. In: VAN RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C., ed. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas & Fundação IAC, 1996. p.247-259. (Boletim técnico, 100)
- GUEDES, M.C. **Efeito da aplicação de lodo de esgoto (biossólido) sobre a nutrição, ciclagem de nutrientes e crescimento de sub-bosque em plantação de eucalipto**. Piracicaba, 2000. 74p. Tese (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.
- HARRISON, R.B.; HENRY, C.L.; XUE, D.S. Magnesium deficiency in Douglas-fir and grand fir growing on a sandy outwash soil amended with sewage sludge. **Water, air and soil pollution**, v.75, n.1/2, p.37-50, 1994.
- HART, J.B.; NGUYEN, P.V.; URIE, D.H.; BROCKWAY, D.G. Silvicultural use of wastewater sludge. **Journal of forestry**, v.86, n.8, p.17-24, 1988.
- HENRY, C.L.; COLE, D.W.; HARRISON, R.B.; BENGTSOON, J.; LUNDKVIST, H. Use of municipal sludge to restore and improve site productivity in forestry: the Pack Forest Sludge Research Program. **Forest ecology and management**, v.66, n.1/3, p.137-49, 1994.
- HENRY, C.L.; COLE, D.W.; HINCKLEY, T.M.; HARRISON, R.B. The use of municipal and pulp paper sludges to increase production in forestry. **Journal of sustainable forestry**, v.1, n.3, p.41-45, 1993.
- LINDO, P.V.; TAYLOR, R.W.; ADRIANO, D.C.; SHUFORD, W.J. Fractionation of residuals phosphorus in a highly weathered sludge-treated soil: organic phosphorus. **Communication in soil science and plant analysis**, v.26, n.15/16, p.2639-2653, 1995.
- 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. **Canadian journal of forest research**, v.24, p.297-301, 1993.
- McNAB, W.H.; BERRY, C.R. Distribution of aboveground in three pine species planted on a devastated site amended with sewage sludge or inorganic fertilizer. **Forest science**, v.31, n.2, p.373-382, 1985.
- 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. 319 p.
- NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L. Nutrição mineral do eucalipto. In: BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F., ed. **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Editora Folha de Viçosa, 1990. cap.2, p.25-98.
- PHILLIPS, R.P.; FISHER, J.T.; MEXAL, J.G. Fuelwood production utilizing *Pinus elliottii* and sewage sludge fertilizer. **Forest ecology and management**, v.16, p.95-102, 1986.
- POGGIANI, F.; BENEDETTI, V. Aplicabilidade do lodo de esgoto urbano em plantações de eucalipto. **Silvicultura**, n.80, p.48-52, 1999.
- POLGLASE, P.J.; MYERS, B.J. Tree plantation for recycling effluent and biosolids in Australia. In: ELDRIDGE, K.G., ed. **Environmental management: the role of eucalypts and other fast growing species**. Melbourne: CSIRO, 1995. p.100-109.
- SANTOS, H.S.; TSUTIYA, M.T. Aproveitamento e disposição final do lodo de estações de tratamento do Estado de São Paulo. **Engenharia sanitária e ambiental**, v.2, n.2, p.70-82, 1997.
- SLOAN, J.J.; BASTA, N.T. Remediation of acid soils by using alkaline biosolids. **Journal of environmental quality**, v.24, n.6, p.1097-1103, 1995.
- TSADILAS, C.D.; MATSI, T.; BARBAYANNIS, N.; DIOMOYANNIS, D. Influence of sewage sludge application on soil properties and on the distribution and availability of heavy metal fractions. **Communications in soil science and plant analysis**, v.26, n.15/16, p.2603-2619, 1995.

- 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**, v.26, n.3, p.747-758, 2002.
- WADT, P.G.S.; NOVAIS, R.F. Influência da idade da árvore na interpretação do estado nutricional de *Eucalyptus grandis*, pelos métodos do nível crítico e do DRIS. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT FOR EUCALYPT, 1997. **Proceedings**. Colombo: EMBRAPA. Centro nacional de Pesquisa de Florestas, 1997. p.262-268
- 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. **Canadian journal of forestry research**, v.23, n.9, p.1815-1820, 1993.
- ZABOWSKI, D.; HENRY, C.L. Soil and foliar nitrogen after fertiliser treatment of *Pinus ponderosa*. **New Zealand journal of forestry science**, v.24, n.2/3, p.333-343, 1994.