



You are free: to copy, distribute and transmit the work; to adapt the work.  
You must attribute the work in the manner specified by the author or licensor

## ANÁLISE NUTRICIONAL DE MUDAS DE EUCALIPTO SUBMETIDAS À APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO DOMÉSTICO

Giovanni de Oliveira Garcia<sup>1</sup>, Ivo Zution Gonçalves<sup>2</sup>, João Carlos Madalão<sup>3</sup>, Aline  
Azevedo Nazário<sup>4</sup>, Edvaldo Fialho dos Reis<sup>5</sup>

---

### RESUMO

Com o objetivo avaliar a aplicação de doses de lodo de esgoto doméstico sobre a nutrição mineral de mudas de eucalipto foi conduzido um experimento nos meses de agosto a outubro de 2007 no Núcleo de Estudos e de Difusão de Tecnologia em Floresta, Recursos Hídricos e Agricultura Sustentável em recipientes de 50 L preenchidos com um latossolo. O experimento foi montado no delineamento inteiramente casualizado no esquema fatorial  $5 \times 5$  (cinco tratamentos e cinco períodos de incubação) com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos da aplicação de cinco doses de lodo de esgoto (0, 25, 50, 75 e 100 ton.ha<sup>-1</sup>) e os períodos de incubação de 0, 20, 40, 60 e 80 dias. Em cada período de incubação foi realizada uma análise nutricional onde foi retirada uma planta sendo encaminhada ao laboratório para determinação de uma análise nutricional. Considerando-se o caso específico do lodo caracterizado no presente trabalho, a aplicação deste nas quantidades apresentadas aumentou os teores foliares de N, P, K, Zn e Cu, diminuição dos teores de Mg, Bo e Fe permanecendo o teor foliar de Mn constante. Por outro lado o período de incubação estabelecido não proporcionou nenhuma alteração nos teores foliares dos nutrientes estudados.

**Palavras chaves** – Biosólidos, Nutrição mineral, *Eucalyptus grandis*.

### NUTRITIONAL ANALYSIS OF EUCALYPTUS SEEDLINGS SUBJECT TO THE APPLICATION OF SEWAGE SLUDGE

#### ABSTRACT

In order to evaluate the application of doses of sewage sludge on mineral nutrition of seedlings in an experiment was conducted from August to October 2007 in the Study and Dissemination of Technology in Forest, Water Resources and Sustainable Agriculture in 50 L containers filled with an Oxisol. The experiment was riding in a completely randomized design in a  $5 \times 5$  (five treatments and five periods of incubation) with four replications. The treatments consisted of application of five doses of sewage sludge (0, 25, 50, 75 and 100 ton.ha<sup>-1</sup>) and the incubation periods of 0, 20, 40, 60 and 80 days. In each period of incubation was performed a nutritional analysis which was withdrawn a plan being forwarded to the laboratory for determination of a nutritional analysis. Considering the specific case of sludge characterized in the present work, the implementation of the amounts shown increased concentrations of N, P, K, Zn and Cu decrease the levels of Mg, Bo, and the remaining Fe foliar Mn constant. Furthermore the incubation period established has not provided any changes in foliar nutrient studied.

**Key Words** – Biosolids, Mineral nutrition, *Eucalyptus grands*.

---

Trabalho recebido em 17/07/2009 e aceito para publicação em 18/11/2009.

---

<sup>1</sup> Doutor em Engenharia Agrícola, Professor Adjunto I, Centro de Ciências Agrárias da UFES, Alegre, ES. Email: giovanni@cca.ufes.br. Endereços para correspondência: CCAUFES-Depto de Eng. Rural, CP 16, Alegre, ES, CEP: 29.500-000

<sup>2</sup> Eng. Agrônomo, Mestrando do curso de Produção Vegetal do CCAUFES, email: ivo\_ufes@yahoo.com.br

<sup>3</sup> Eng. Agrônomo, Mestrando do curso de Produção Vegetal do CCAUFES, email: joacarlosagr@hotmail.com

<sup>4</sup> Graduanda do curso de Agronomia do CCAUFES, email: aline.a.n@hotmail.com

<sup>5</sup> Doutor em Engenharia Agrícola, Professor Associado I, Centro de Ciências Agrárias da UFES, Alegre, ES. Email: edreis@cca.ufes.br

## 1. INTRODUÇÃO

O tratamento do esgoto doméstico tem por finalidade de recuperar a qualidade das águas e permitir o seu retorno ao ambiente, sem causar poluição. De acordo com o volume de efluente tratado nas estações de tratamento de esgoto, grande quantidade de lodo pode se acumular em seus pátios de disposição, tornando a sua disposição final um importante problema ambiental (CASSINI, 2003).

Em função da origem e do processo de obtenção utilizado, o lodo de esgoto apresenta composição química muito variável. Por outro lado o material é rico em matéria orgânica e apresentando em alguns casos considerável concentração de nitrogênio, fósforo e potássio (SOBRINHO, 2000).

Em razão de sua constituição predominantemente orgânica, quando incorporado ao solo, há melhoria no estado de agregação das partículas, proporcionando diminuição na densidade e aumento em macroporosidade, o que possibilita maior aeração e retenção de água. Por outro lado, também se observa o aumento da CTC, pH, e redução de Al trocável, além de aumentar a população microbiana benéfica do solo (MELO & MARQUES, 2000).

Grande parte das áreas florestais brasileiras localiza-se em solos de baixa fertilidade ou mesmo em processo de

degradação (HARRISON, 1993). Nesse contexto, a atividade florestal, por suas peculiaridades, apresenta-se como uma alternativa promissora para reutilização de efluentes principalmente por não envolver produção de alimentos para consumo humano (CROMER, 1980).

O lodo de esgoto, embora ainda não tenha sido amplamente testado no Brasil, já apresenta alguns resultados promissores, seja na fase de produção de mudas de espécies florestais (MORAIS, 1997) ou de implantação de reflorestamento (GONÇALVES, 2000; POGGIANI *et al.*, 2000). Esses estudos já estão avançados em outros países, inclusive com aplicações comerciais em empresas florestais (COLE, 1986; HARRISON, 1993; HENRY *et al.*, 1994).

GUEDES & POGGIANI (2003) estudaram, em condições de campo, o efeito do lodo de esgoto produzido na estação de tratamento de esgoto de Barueri, sobre a ciclagem de nutrientes. Os autores verificaram que o lodo tratado e estabilizado com cal e cloreto férrico, proporcionou alterações significativas nos teores de nutrientes nas folhas das árvores de eucalipto que receberam o produto. Do mesmo modo VAZ & GONÇALVES (2002) observaram significativas alterações na fertilidade do solo devido à aplicação do lodo de esgoto. MELO *et al.* (2001) trabalhando com diferentes fontes de lodo

de esgoto, em diferentes condições e culturas, também observaram o efeito da aplicação do lodo sobre a fertilidade de solos e nutrição de plantas.

Sendo assim, este trabalho teve como objetivo avaliar a aplicação de diferentes doses de lodo de esgoto doméstico e diferentes períodos de incubação do lodo no solo sobre a nutrição mineral de mudas de eucalipto.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Caracterização da área experimental do solo utilizado nos experimentos e do lodo de esgoto

O experimento foi implantado e conduzido nos meses de agosto a outubro de 2007 no campo experimental do Núcleo de Estudos e de Difusão de Tecnologia em Floresta, Recursos Hídricos e Agricultura

Sustentável (NEDTEC) em recipientes de 50 litros preenchidos com solo de baixa fertilidade retirado de local em processo de degradação.

Depois de retirado, o solo foi seco ao ar, destorroado e passado em peneira de forma a obter agregados de no máximo cinco milímetros. Uma vez peneirado, foi retirada uma amostra e encaminhado para Laboratório de Análises de Fertilizantes, Águas, Minérios, Resíduos, Solos e Plantas (LAFARSOL) localizado no NEDTEC para caracterização química (Tabela 1). As análises químicas constituíram-se na determinação dos teores de P disponível, K, Ca, Mg, Na, Al trocável, H+Al, matéria orgânica, bem como a soma de bases, saturação por bases e alumínio, CTC total e efetiva, além dos valores do pH (EMBRAPA, 1999).

**Tabela 1** – Características químicas do solo utilizado no experimento

Característica	Valores
pH	4,11
Cálcio (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,18
Magnésio (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,54
Fósforo (mg dm <sup>-3</sup> )	1,72
Potássio (mg dm <sup>-3</sup> )	7,25
H + Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,68
Alumínio (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,46
Matéria Orgânica	4,06
Sódio (mg dm <sup>-3</sup> )	1,55
Soma de bases (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,76
Capacidade de Troca de Cátions Efetiva (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,23
Capacidade de Troca de Cátions Total (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	2,45
Saturação por Bases (%)	54,24
Saturação por Alumínio (%)	5,51

O lodo de esgoto utilizado nos ensaios foi coletado na estação de

tratamento de esgotos (ETE) do Município de Jerônimo Monteiro durante o mês de

julho de 2007. Sub-amostras do lodo de esgoto foram acondicionadas em recipientes plásticos e levadas para o LAFARSOL onde foram efetuadas as concentrações de nitrogênio, fósforo e enxofre, determinadas por colorimetria; cálcio e magnésio por titulometria, e de potássio e sódio por fotometria de chama; cobre, manganês e zinco (RUMP & KRIST, 1992). Antes de ser utilizado no experimento, o lodo de esgoto passou por um processo de desinfecção por meio da aplicação e incorporação de cal virgem na proporção de 15% em peso seco de lodo.

## 2.2. Delineamento experimental e tratamentos

O experimento foi montado no delineamento inteiramente casualizado no esquema fatorial  $5 \times 5$  (cinco tratamentos e cinco períodos de incubação) com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos com a aplicação de cinco doses de esgoto doméstico correspondentes a 0, 25, 50, 75 e 100 ton. ha<sup>-1</sup>, por sua vez os períodos de incubação foram de 0, 20, 40, 60 e 80 dias.

Para avaliar a aplicabilidade e o efeito na nutrição mineral na cultura do eucalipto foi utilizada a espécie indicadora *Eucalyptus grandis* que foi plantada manualmente nos recipientes preenchidos com solo e lodo de esgoto com mudas

obtidas a partir de sementes após cada período de incubação.

A avaliação do estado nutricional das mudas nos diferentes tratamentos e em cada período de incubação foi feita coletando-se folhas para a realização de análises do conteúdo de nutrientes. A amostragem foliar foi constituída nas coletas do 3º e 4º pares de folhas a partir do ápice, situados na porção mediana das plantas. Para cada planta foram coletados, em média, cinco folhas e, após a coleta, as mesmas foram secas em estufa, por 72 horas, moídas e encaminhadas ao LAFARSOL para a quantificação das concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, ferro, zinco e cobre, seguindo-se metodologia da EMBRAPA (1999).

Os dados foram analisados por meio de análise de variância e regressão. Os modelos foram escolhidos baseados na significância dos coeficientes de regressão, utilizando o teste “t” adotando-se de até 10%, no coeficiente de determinação ( $r^2$ ) e no fenômeno em estudo.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1. Caracterização do lodo de esgoto da ETE de Jerônimo Monteiro

Na Tabela 2 são apresentados os resultados referentes às médias das concentrações de metais pesados

determinados nas amostras de lodo de esgoto da ETE de Jerônimo Monteiro. Como no Brasil ainda não há padrões para a disposição de lodo no solo, utilizou-se os limites de concentração máxima de metais

pesados no lodo para aplicação no solo da EPA (Environmental Protection Agency) dos Estados Unidos, como forma de avaliação da qualidade do lodo da ETE de Jerônimo Monteiro para aplicação no solo.

**Tabela 2** - Resultados das concentrações de metais pesados determinados no lodo da ETE de Jerônimo Monteiro e os limites de metais pesados para disposição no solo, da EPA.

Descrição	Metal Pesado		
	Cu	Mn	Zn
Lodo da ETE Jerônimo Monteiro (mg.kg <sup>-1</sup> )	169,7	41,75	171,2
Concentração máxima no lodo <sup>1</sup> (mg.kg <sup>-1</sup> )	1.500,0	-	2.800,0
Taxa máxima de aplicação anual <sup>1</sup> (kg.hab <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )	75,0	-	140,0
Taxa máxima de aplicação acumulada <sup>1</sup> (kg.ha <sup>-1</sup> )	1.500,0	-	2.800,0

<sup>1</sup> Limites da EPA (Environmental Protection Agency) (2005)

Comparando-se as concentrações de metais pesados no lodo da ETE de Jerônimo Monteiro com os limites de concentração máxima de metal no lodo dos padrões da EPA, observa-se que segundo tais padrões este lodo pode ser considerado como de boa qualidade, podendo ser utilizado na agricultura. Como já comentado tal utilização é de interesse por contribuir para a minimização da disposição irregular de lodo no ambiente, para a reciclagem de nutrientes, para a redução do uso de fertilizantes minerais e também por fornecer matéria orgânica para o condicionamento físico do solo. Na mesma tabela pode-se observar que a EPA

além de estipular as concentrações máximas de metal pesado no lodo para a disposição no solo faz referências também às quantidades máximas a serem aplicadas por ano e às acumuladas no solo. Dessa maneira considera que a utilização de resíduos urbanos na agricultura deve prever um monitoramento constante para evitar contaminação tanto do solo como do aquífero, principalmente quando o material contiver teores de um ou mais elementos tóxicos próximos aos limites máximos.

Considerando-se os macronutrientes, na Tabela 3 encontram-se os resultados da composição do lodo da ETE de Jerônimo Monteiro em comparação com a

composição de alguns materiais orgânicos utilizados como adubo (esterco bovino, esterco de galinha, vinhaça e composto de lixo).

**Tabela 3** - Teor de macronutrientes no lodo da ETE de Jerônimo Monteiro em comparação com outros materiais orgânicos.

Descrição das concentrações	Elemento					
	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- % em peso seco -----					
Lodo da ETE de Jerônimo Monteiro	2,17	0,5	0,6	17,13	1,88	1,54
Esterco bovino <sup>1</sup>	1,50	1,20	0,70	2,0	0,60	0,20
Esterco de galinha <sup>1</sup>	1,40	0,80	2,10	2,30	0,50	0,20
Vinhaça <sup>1</sup>	0,06	0,01	0,30	0,10	0,04	0,05
Composto de lixo urbano <sup>1</sup>	0,60	0,20	0,30	1,10	0,10	0,20

<sup>1</sup> Kiehl (1985)

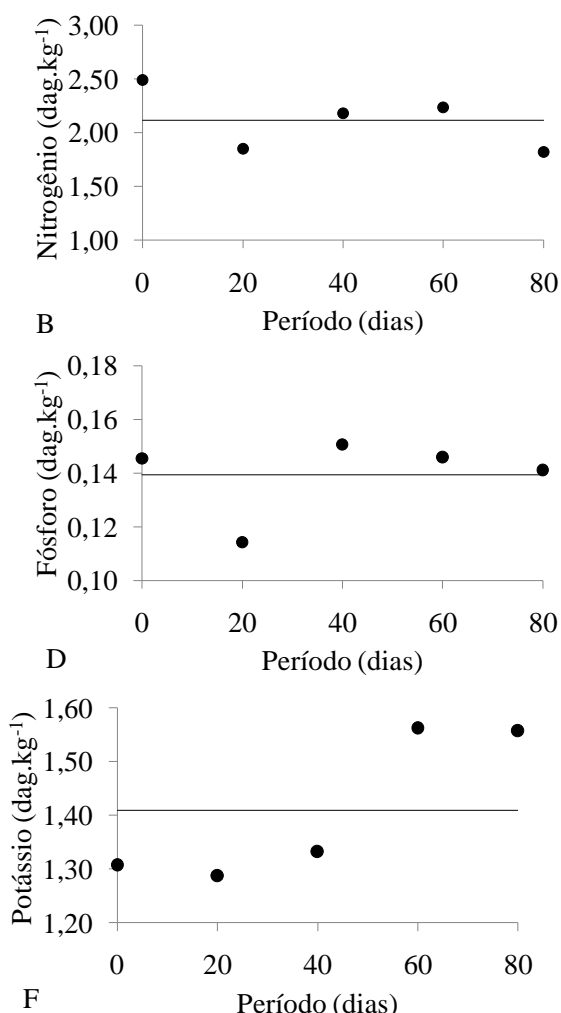
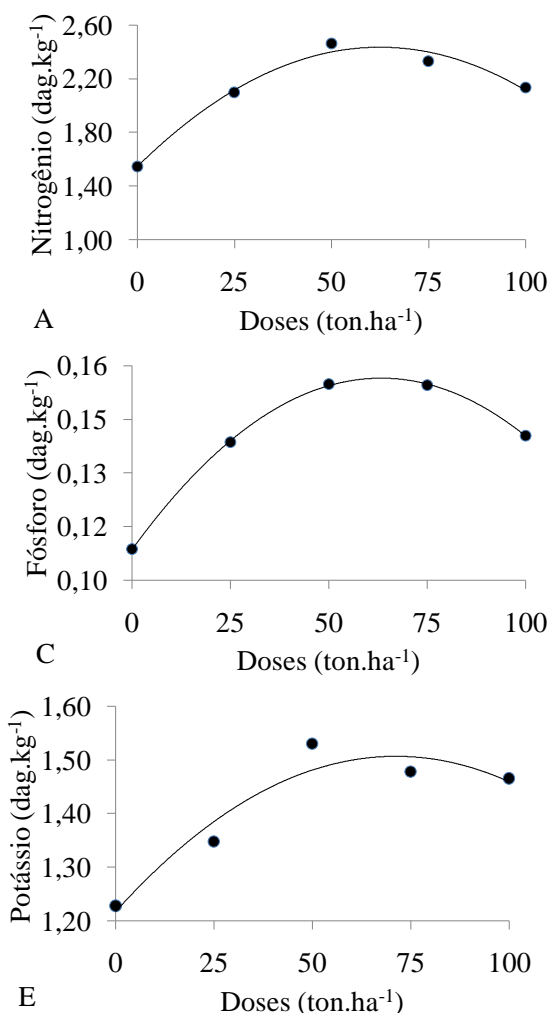
Em geral os lodos de esgoto são desbalanceados quanto aos teores de nutrientes, necessitando muitas vezes de uma suplementação na adubação com fontes minerais. São geralmente pobres em potássio devido ao processo de obtenção que perde esse nutriente em solução no esgoto tratado. Tal fato pode ser observado na Tabela 3 que mostra que a concentração de K no lodo da ETE de Jerônimo Monteiro é inferior aos teores dos demais materiais orgânicos apresentados. Já o fósforo apresentasse com teores elevados próximos aos dos esterco bovino e de galinha e bem superior aos teores da vinhaça e do composto de lixo, confirmando a informação de que nos lodos de esgotos sanitários o P apresenta-se em teor elevado podendo 80% deste

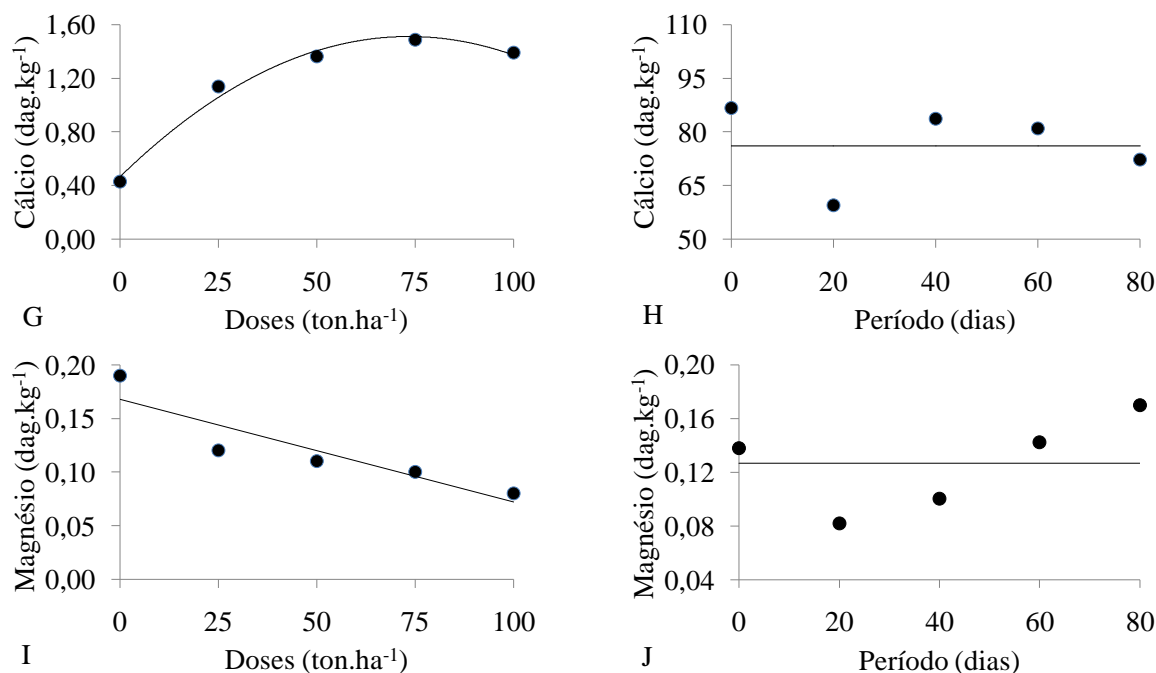
estar disponível já no primeiro ano de aplicação. Os nutrientes Ca, Mg, e S apresentam-se em teores superiores a todos os materiais orgânicos da Tabela 2. Atualmente no Brasil, muitas vezes os lodos são estocados em tanques, dispostos em aterros e em alguns casos dispostos em áreas próximas dos locais de geração levando à necessidade da avaliação das alternativas de disposição de lodos no ambiente. Considerando-se o caso específico do lodo da ETE de Jerônimo Monteiro caracterizado no presente trabalho, estudos da disposição no solo deveriam ser realizados nas áreas agrícolas próximas à estação tendo em vista que o transporte a longas distâncias pode inviabilizar a utilização.

### 3.2. Efeito das doses de lodo de esgoto aplicadas e dos períodos de incubação sobre os teores foliares dos macronutrientes

Os resultados da análise estatística apontaram que a interação dos fatores estudados no experimento (Dose × Período) foi não significativa, ou seja, os fatores estudados atuam de forma independente. Dessa forma na Figura 1

estão apresentados os resultados do comportamento do teor foliar dos macronutrientes em função as doses aplicadas e aos períodos de incubação. Por outro lado na Tabela 4 encontram-se as equações ajustadas relacionando a concentração foliar dos macronutrientes em função das doses de lodo de esgoto doméstico e os períodos de incubação.





**Figura 1** – Teores foliares de nitrogênio (A e B), fósforo (C e D), potássio (E e F), cálcio (G e H) e magnésio (I e J), respectivamente, em função das doses de lodo de esgoto aplicadas e dos períodos de incubação.

**Tabela 4** – Equações ajustadas relacionando a concentração foliar dos macronutrientes em função das doses de lodo de esgoto doméstico e os períodos de incubação

Nutriente	Efeito	Curva de resposta	R <sup>2</sup>
Nitrogênio	Dose	$\hat{y} = 1,5464 + 0,0284^{**}DOS - 0,0002^{**}DOS^2$	0,9812
	Período	$\hat{y} = 2,11 \pm 0,28$	-
Fósforo	Dose	$\hat{y} = 0,1086 + 0,0015^{**}DOS - 0,0002^{**}DOS^2$	0,9997
	Período	$\hat{y} = 0,13 \pm 0,01$	-
Potássio	Dose	$\hat{y} = 1,1217 + 0,0081^{**}DOS - 0,0006^{**}DOS^2$	0,9201
	Período	$\hat{y} = 1,40 \pm 0,13$	-
Cálcio	Dose	$\hat{y} = 0,4625 + 0,0286^{**}DOS - 0,0002^{**}DOS^2$	0,9857
	Período	$\hat{y} = 76,06 \pm 13,15$	-
Magnésio	Dose	$\hat{y} = 0,1723 - 0,0005^{**}DOS$	0,8065
	Período	$\hat{y} = 0,12 \pm 0,03$	-

\*\* - significativo a 1% de probabilidade

Os teores de N (Figura 1A), P (Figura 1C), K (Figura 1E) e cálcio (Figura

1G) nas folhas de eucalipto aumentaram, apresentando relação quadrática (Tabela 4), em função às doses de lodo de esgoto



aplicadas atingindo os valores máximos entre as dosagens de 50 e 75 t.ha<sup>-1</sup>, no entanto o teor foliar de Mg (Figura 1I) diminuiu. Analisando os períodos de incubação os teor foliares de N (Figura 1B), P (Figura 1D), K (Figura 1F), Ca (Figura 1H) e Mg (Figura 1J) permaneceram constantes, tendo seus valores em torno 2,4; 0,13; 1,40; 76,06 e 0,12 dag.kg<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabela 4).

A permanência dos teores foliares de N, P, K, Ca e Mg próximos a média é decorrente do curto período de incubação o que proporcionou uma menor liberação destes incorporados ao lodo de esgoto sob forma orgânica, sendo assim baixa absorção e assimilação resultou nos resultados acima citados.

Segundo GONÇALVES *et al.*, (2000) o aumento foliar da concentração de N em plantas de eucalipto é evidente pois a maior absorção e assimilação do N é aceita como uma das principais causas da resposta das doses crescentes do lodo de esgoto e no estágio inicial de crescimento da cultura ocorre a maior expansão foliar e das raízes, logo assim a demanda de N é elevada. Dessa forma a adição de N em solos de baixa fertilidade e baixo teor de matéria orgânica, geralmente resulta em acréscimos de nível de N nas folhas de eucalipto. Por outro lado o curto período de incubação. Entretanto o aumento da concentração foliar de P no estágio inicial

de crescimento das plantas de eucalipto está relacionada a maior absorção e assimilação desse nutriente, certamente devido a maior disponibilidade e balanço de nutrientes em decorrência da aplicação das doses de lodo de esgoto.

Em adição a este trabalho, GUEDES *et al.* (2006) verificaram que a aplicação de 80 e 160 t ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto proporcionou aumentos significativos dos teores foliares de N e P em plantas de eucalipto. Do mesmo modo, GUEDES; POGGIANI (2003) encontraram comportamentos semelhantes em eucalipto fertilizado com biossólido, cultivado em condições de campo e avaliado dos seis aos catorze meses após o plantio. Em outros trabalhos ANDRADE; MATTIAZZO (2000) aos 12 e GUEDES (2000) aos 16 meses da aplicação do lodo de esgoto, observaram efeitos significativos das doses do resíduo na concentração foliar de N e P em plantas de eucalipto.

O aumento foliar do teor de K (Figura 1E) evidencia que a suplementação deste nutriente em plantações de eucalipto pode ser feita somente com a aplicação de lodo de esgoto. Segundo RAIJ *et al.* (1996) o K disponível no biossólido eleva a fertilidade do solo a níveis suficientes para atender a demanda da cultura que é bem inferior ao da maioria das culturas. No entanto o aumento do teor foliar de Ca

(Figura 1G) nas plantas de eucalipto é decorrente da alta concentração deste nutriente no lodo de esgoto utilizado (Tabela 3), pois o mesmo foi desinfectado com cal antes de ser utilizado no experimento.

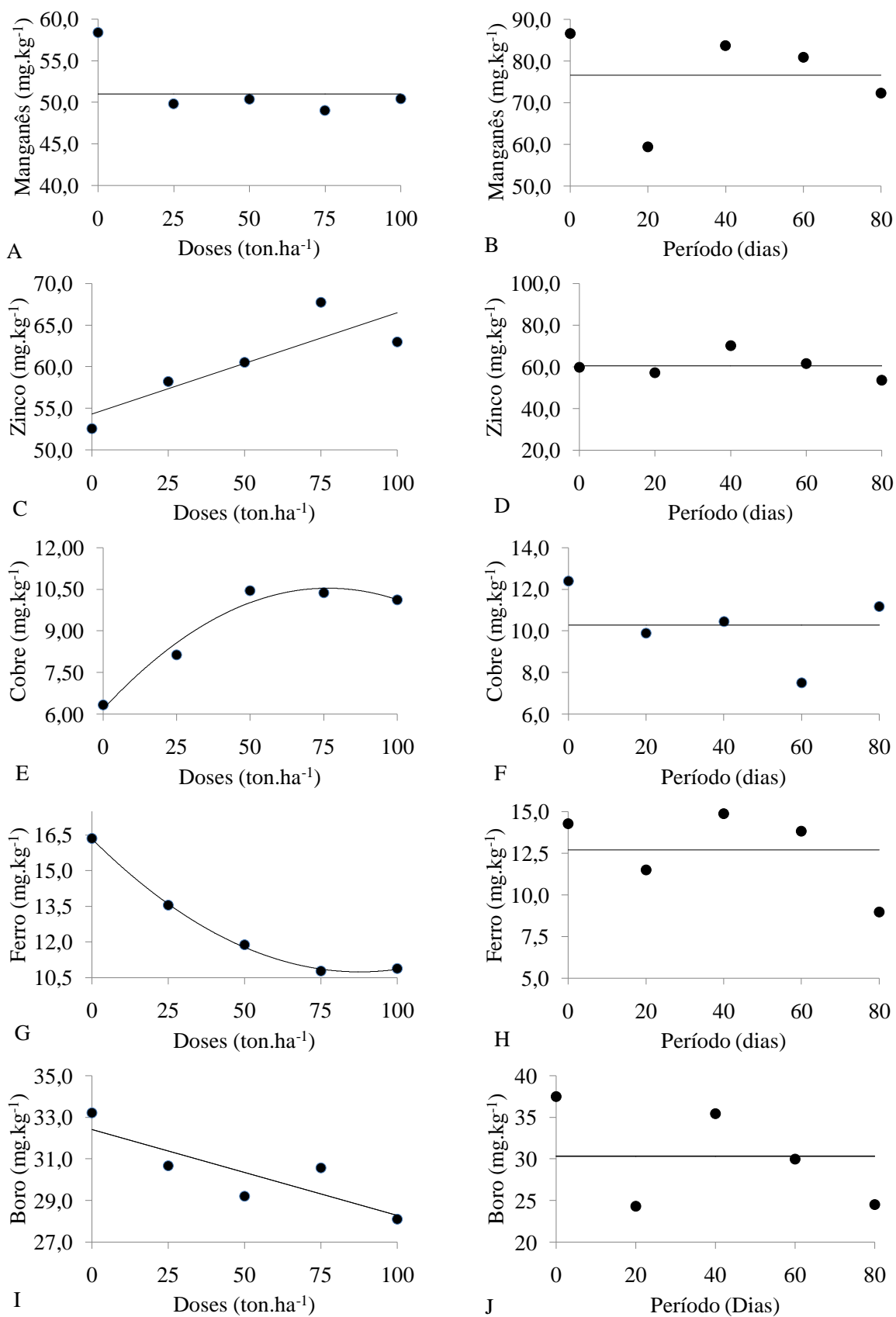
GUEDES (2006) verificou que o teor foliar mais elevado de Ca foi encontrado nas folhas do eucalipto quando as plantas receberam a dosagem de 40 t.ha<sup>-1</sup> de biossólido. Por outro lado, os autores relataram que tal como observado para a maioria dos atributos do solo, não houve diferenças entre as doses de 80 e 160 t.ha<sup>-1</sup>, ou seja, o adicional de Ca aplicado via maior dose de biossólido não se refletiu em aumento do teor foliar do elemento, provavelmente, por causa da saturação do complexo de troca do solo.

A diminuição dos teores foliares de Mg (Figura 1I) nas plantas de eucalipto está relacionada à inibição competitiva com o Ca. Semelhante a este trabalho GUEDES; POGGIANI (2003) também observaram diminuição nos valores de Mg nas folhas das plantas cultivadas com biossólido. Os autores chamam a atenção para o fato de que a diminuição da

extração de Mg pelas plantas de eucalipto não prejudica a cultura, pois a cultura na maioria das vezes, não apresenta respostas significativas à aplicação de Mg, sendo mais comum a ocorrência de toxidez, e apresenta tolerância a relações Ca/Mg bastante amplas.

### 3.3. Efeito das doses de lodo de esgoto aplicadas e dos períodos de incubação sobre os teores foliares dos micronutrientes

Assim como ocorreu para o macronutrientes, os resultados da análise estatística apontaram que a interação dos fatores estudados no experimento (Dose × Período) foi não significativa, ou seja, os fatores atuam de forma independente. Dessa forma na Figura 2 estão apresentados os resultados do comportamento do teor foliar dos micronutrientes em função as doses aplicadas e aos períodos de incubação. Por outro lado na Tabela 5 encontram-se as equações ajustadas relacionando a concentração foliar dos micronutrientes em função das doses de lodo de esgoto doméstico e os períodos de incubação.



**Figura 2** – Teores foliares de manganês (A e B), zinco (C e D), cobre (E e F), ferro (G e H) e boro (I e J), respectivamente, em função das doses de lodo de esgoto aplicadas e dos períodos de incubação.

**Tabela 5** – Equações ajustadas relacionando a concentração foliar dos micronutrientes em função das doses e os períodos de incubação de lodo de esgoto doméstico.

Nutriente	Efeito	Curva de resposta	R <sup>2</sup>
Manganês	Dose	$\hat{y} = 51,60 \pm 29,27$	-
	Período	$\hat{y} = 76,60 \pm 10,79$	-
Zinco	Dose	$\hat{y} = 54,3107 + 0,1217^{**}DOS$	R <sup>2</sup> = 0,7297
	Período	$\hat{y} = 60,39 \pm 6,24$	-
Cobre	Dose	$\hat{y} = 6,1829 + 0,1138^{**} DOS - 0,0007^{**}DOS^2$	R <sup>2</sup> = 0,9684
	Período	$\hat{y} = 10,39 \pm 4,14$	-
Ferro	Dose	$\hat{y} = 16,3456 - 0,1277^{**} DOS + 0,0007^{**} DOS^2$	R <sup>2</sup> = 0,9991
	Período	$\hat{y} = 12,68 \pm 2,34$	-
Boro	Dose	$\hat{y} = 32,4153 - 0,0414^{**} DOS$	R <sup>2</sup> = 0,7255
	Período	$\hat{y} = 30,34 \pm 10,28$	-

\*\* - significativo a 1% de probabilidade

Os teores de Zn (Figura 2C) e Cu (Figura 2E) nas folhas de eucalipto aumentaram, em função às doses de lodo de esgoto aplicadas. No entanto os teores de Fe (Figura 2G) e Bo (Figura 2I) diminuíram e o teor de Mn permaneceu constante no valor de 51,60 mg.kg<sup>-1</sup> (Tabela 5). Analisando os períodos de incubação, assim como ocorreu para os macronutrientes, os teor foliares de Mn (Figura 2B), Zn (Figura 2D), Cu (Figura 2F), Fe (Figura 2H) e Bo (Figura 2J) permaneceram constantes, tendo seus valores em torno 76,60; 60,39; 10,39; 12,68 e 30,34 mg.kg<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabela 5).

Assim como para os macronutrientes, permanência dos teores

foliares de Mn, Zn, Cu, Fe e Bo próximos a média é decorrente do curto período de incubação o que proporcionou uma menor liberação destes incorporados ao lodo de esgoto sob forma orgânica, sendo assim baixa absorção e assimilação resultou nos resultados acima citados.

A estabilização dos teores de Mn (Figura 2A) nas folhas de eucalipto podem estar relacionadas as mesmas razões referidas ao teores de Mg (Figura 1I). Por outro lado, GUEDES et al. (2006) observaram que o teor de Mn em folhas de eucalipto diminuiu com o aumento das doses de bio sólido aplicado. Os autores também relataram que a diminuição do teor de Mn com o aumento da dose de bio sólido poderá ser considerada benéfica para o eucalipto, pois segundo WADT;

NOVAIS (1997), o nível crítico desse elemento é de 675 mg.kg<sup>-1</sup> e abaixo desse valor não é detectada deficiência, podendo, no entanto, ocorrer problema de excesso e toxidez para valores maiores.

O aumento na nos teores foliares de Zn e Cu (Figuras 2C e E) está relacionada pelo aporte destes nutrientes via biossólido o que leva a presumir que o Zn e o Cu acumulado esteja, prioritariamente, associados à fração orgânica, como verificado por BERTONCINI (2002) em solo tratado com o biossólido alcalino da ETE-Barueri.

VELASCO-MOLINA *et al.* (2006) observaram o aumento nos teores foliares de Zn e Cu trabalhando com N e metais pesados no solo e em árvores de eucalipto decorrentes da aplicação de biossólido em plantio florestal verificaram que os teores foliares de Zn tenderam a ser superiores quando aplicado 40 t.ha<sup>-1</sup> juntamente com complementação de K. Por outro lado os teores de Cu nas plantas não diferiram entre os tratamentos aplicados.

A diminuição dos teores foliares de Fe e Bo (Figuras 2G e 2I, respectivamente) reflete a menor disponibilidade destes nutrientes no solo com a adição de lodo de esgoto. Este resultado está ligado ao valor do pH pois com a adição de clã para desinfecção do lodo utilizado no experimento, conseqüentemente promoveu uma maior disponibilidade de bases nos

sítios de troca do solo, condicionando assim no aumento do pH. Do mesmo modo TSADILAS *et al.* (1995) verificaram que 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.

#### 4. CONCLUSÕES

- Considerando-se o caso específico do lodo da ETE de Jerônimo Monteiro caracterizado no presente trabalho, a aplicação deste biossólido nas quantidades descritas apresentou resultados que não supõe riscos ambientais diferentes daqueles proporcionados por uma fertilização mineral;
- O aumento das doses de lodo de esgoto proporcionou o aumento dos teores foliares de N, P, K, Zn e Cu, diminuição dos teores de Mg, Bo e Fe permanecendo o teor foliar de Mn constante;
- O período de incubação estabelecido não proporcionou nenhuma alteração nos teores foliares dos nutrientes estudados.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação de Apoio a Ciência e Tecnologia do Espírito Santo pelo apoio financeiro e bolsas de iniciação científica.

## 6. REFERÊNCIAS

- ANDRADE, C.A.; MATTIAZZO, M.E. Nitratos e metais pesados no solo e nas árvores após aplicação de biossólido (lodo de esgoto) em plantações florestais de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.58, p.59-72, 2000.
- BERTONCINI, E.I. **Comportamento de Cd, Cr, Cu, Ni e Zn em Latossolos sucessivamente tratados com biossólido: extração seqüencial, fitodisponibilidade e caracterização de substâncias húmicas**. 2002. 195p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.
- CASSINI, S.T.; Vazoller, R.F.; Pinto, M.T. Introdução. In: **Cassini S. T. (coord). Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás**. Rio de Janeiro: Prosab, RIMA ABES, 2003. p.1-9.
- COLE, D. W.; HENRY C. L.; NUTTER W. (Eds.) **The forest alternative for treatment and utilization of municipal and industrial wastewater and sludge**. Seattle: University of Washington Press, 1986.
- CROMER, R. N. Irrigation of radiata pine with wastewater: A review of the potential for tree growth and water renovation. **Australian Forest**, v.43, p.87-100, 1980.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Solos/Embrapa Informática Agropecuária/Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370p.
- GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L.; BENEDETTI, V.; FESSEL, V.A.G.; GAVA, J.L. Reflexos do cultivo mínimo e intensidade do solo em sua fertilidade e na nutrição das árvores. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p.3-57.
- GUEDES, M.C. **Efeito do lodo de esgoto (biossólido) sobre a nutrição, ciclagem de nutrientes e crescimento de sub-bosque, em plantação de eucalipto**. 2000. 74p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.
- GUEDES, C.M.; ANDRADE, C.A.; POGGIANI, F.; MATTIAZZO, M.E. Propriedades químicas do solo

- e nutrição do eucalipto em função da aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.30, p.267-280, 2006.
- GUEDES, M.C.; POGGIANI, F. Variação dos teores de nutrientes foliares em eucalipto fertilizado com biossólido. **Scientia Forestalis**, n.63, p.188-201, 2003.
- HARRISON, R. B. et al. Recycling of industrial wastes and forest harvesting residues on forest lands. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA FLORESTAL, 1., 1993, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Sociedade de Investigações Florestais, 1993. p. 255-264.
- HENRY, C. L.; COLE, D. W., HARRISON, R. B. Use of municipal sludge to restore and improve site productivity in forest: The pack forest sludge research program. **Forest Ecology and Management**, v. 66, p. 137-149, 1994.
- MELO, W.J.; MARQUES, M.O. **Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas**. In: BETIOL, W.; CAMARGO, O.A. (Ed). **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. 312p.
- MELO, W.J.; MARQUES, M.O. & MELO, V.P. O uso agrícola do biossólido e as propriedades do solo (289-363). In: **Biossólidos na agricultura**. TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; SOBRINHO, P.A.; ESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; MELFI, A.J.; MELO, W.J.; MARQUES, M.O., eds. São Paulo: SABESP, 2001. p.289-292.
- MORAIS, S. M. J. et al. Uso do lodo de esgoto da Corsan – Santa Maria (RS), comparado com outros substratos orgânicos. **Sanare**, v. 6, p. 44-49, 1997.
- POGGIANI, F.; GUEDES, M. C.; BERNADETTI, V. Aplicação de biossólido em plantações florestais: I. Reflexo no ciclo dos nutrientes. In: BETTIOL, N.; CAMARGO, O. A. (Eds.). **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariuna: EMBRAPA MEIO AMBIENTE, 2000. p. 163-178.
- RUMP, H. H.; KRIST, H. **Laboratory manual for the examination of water, waste water, and soil**. Weinheim: VCH, 1992.
- SOBRINHO, P.A. Tratamento de esgoto e geração do lodo. In: BETTIOL, N.; CAMARGO, O. A. (Eds.). **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo**

- de esgoto.** Jaguariuna: EMBRAPA MEIO AMBIENTE, 2000. p. 11-24.
- 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. **Comm. Soil Sci. Plant Anal.**, n. 26, 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**, n.26, p.747-758, 2002.
- VELASCO-MOLINA, M.; 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**, n. 71, p. 25-35, 2006.
- 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 TO EUCALYPT. Salvador, 1997. **Proceedings.** Colombo, Embrapa, 1997. p.262-268.