

## EFEITO DA APLICAÇÃO DE BIOSSÓLIDO NA DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES E METAIS PESADOS NO MILHO

Affonso Celso Gonçalves Jr.<sup>1</sup>, Daniel Schwantes<sup>2</sup>, Gustavo Ferreira Coelho<sup>3</sup>, Herbert Nacke<sup>4</sup>, Leonardo Strey<sup>5</sup> e Patrícia Andréa Bertuol Montovani<sup>6</sup>

**Resumo:** O uso de bioossólidos na agricultura ainda necessita de estudos a fim de relacionar o seu efeito na absorção de nutrientes e metais pesados, principalmente nos estádios iniciais das culturas. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi determinar a absorção inicial de nutrientes e metais pesados em plantas de milho cultivadas em um Latossolo Vermelho eutrófico (LVe) com adubação mineral e diferentes doses de bioossólido (0; 10; 20; 40; 60 t ha<sup>-1</sup>). O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 2 x 5, com quatro repetições. Para avaliação do efeito do bioossólido sobre a cultura foram determinados a biomassa e os teores de nutrientes e metais pesados em seu tecido vegetal. Pelos resultados obtidos pode-se inferir que a aplicação de bioossólido não influenciou na absorção inicial dos macronutrientes, porém proporcionou aumento nos teores de Cu e Zn no tecido foliar. Também foram encontradas concentrações de Pb no tecido foliar do milho, fato que merece atenção, pois aplicações sucessivas de bioossólido podem causar aumento das concentrações deste metal no solo e conseqüentemente nos órgãos das plantas.

**Palavras-chave:** Absorção de nutrientes. Fertilização orgânica. *Zea mays* L.

### 1 Introdução

O uso agrícola de bioossólido apresenta-se como uma alternativa promissora, pois transforma este resíduo em um importante insumo agrícola, contribuindo para a diminuição do uso de fertilizantes minerais e redução do efeito estufa (FERNANDES; SILVA, 1999; ANDREOLI; PEGORINI, 2000).

Dessa forma, diversos são os estudos voltados para a utilização de bioossólidos como fertilizante agrícola, sugerindo essa prática como uma excelente alternativa para diminuição de problemas ambientais e reciclagem de resíduos urbanos. Contudo, ainda são necessários estudos voltados para o desenvolvimento sustentável nos sistemas de reciclagem desses resíduos (GONÇALVES Jr. et al., 2007).

Existem diversas pesquisas apontando para incrementos de

produtividade decorrentes do uso do bioossólido para diversas culturas, tais como espécies florestais (POGGIANI; GUEDES.; BENEDETTI, 2000), cana-de-açúcar (SILVA et al., 2001) e soja (VIEIRA et al., 2005), demonstrando que o uso do bioossólido pode vir em complementação ou até mesmo em substituição aos fertilizantes minerais (SILVA; RESCK; SHARMA, 2002; MELO et al., 2004).

Comparando o uso de bioossólido e fertilizantes minerais, Lemainski e Silva (2006), constataram que o bioossólido foi em média 18% mais eficiente do que o fertilizante mineral como fonte de nutrientes na cultura da soja. Trannin, Siqueira e Moreira (2005; 2008) citam que a utilização de bioossólido oriundo da indústria de fibras e resinas PET, suplementado com K<sub>2</sub>O e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> durante dois anos consecutivos melhorou a fertilidade do solo, o estado nutricional e a produtividade do milho.

Por outro lado, Marques et al. (2000) relatam que um dos efeitos negativos da

<sup>1</sup> E-mail: affonso133@hotmail.com

Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Agrárias, Rua Pernambuco 1777, Centro, Marechal Cândido Rondon – PR, CEP: 85960-000

<sup>2</sup> E-mail: daniel\_schwantes@hotmail.com

<sup>3</sup> E-mail: gf\_coelho@yahoo.com.br

<sup>4</sup> E-mail: herbertnacke@hotmail.com

<sup>5</sup> E-mail: xernoque@hotmail.com

<sup>6</sup> E-mail: patriciamontovani@yahoo.com.br

aplicação de biossólido é a incorporação de metais pesados tóxicos, que pode reduzir a biomassa microbiana do solo, inibir a fixação de N e reduzir a atividade enzimática.

De acordo com Gomes, Nascimento e Biondi (2007), embora o uso do biossólido se apresente como uma das alternativas mais viáveis para disposição final deste resíduo, a presença de metais pesados no lodo pode limitar sua utilização como fertilizante, seja em virtude do risco de contaminação da cadeia trófica via absorção e translocação desses elementos em plantas cultivadas nessas áreas, seja devido a possibilidade de percolação de metais para água subterrânea.

A expressão metal pesado se aplica a elementos que possuem massa específica maior que  $5 \text{ g cm}^{-3}$  ou que tenham número atômico maior do que 20. Alguns metais são utilizados no metabolismo biológico e desta forma podem ser considerados essenciais como é o caso do Cu, Zn, Ni e Cr, sendo que em concentrações mais elevadas podem tornar-se tóxicos. Já o Pb e o Cd são considerados tóxicos mesmo em níveis de traço (GONÇALVES Jr., SELZLEIN; NACKE, 2009).

Segundo Alloway (1995) e Kabata-Pendias e Pendias (2001), os metais pesados ocorrem naturalmente nos solos e alguns, como o Cu, Zn, Fe, Mn, Mo e Co, desempenham importante papel na nutrição de plantas e animais, enquanto outros, como o Cd, Pb, Cr, As e Ag, ocasionam efeitos prejudiciais sobre vários componentes da biosfera.

A acumulação de metais pesados tóxicos em solos pode conduzir não apenas à diminuição da produtividade das culturas em decorrência de seus efeitos fitotóxicos, mas também a efeitos deletérios à saúde humana e animal (FREITAS et al., 2009). Portanto, para uma adequada recomendação do uso de biossólidos são necessárias informações mais consistentes (COSTA et al., 2009).

Buscando avaliar a fitodisponibilidade de metais pesados em plantas de milho cultivadas em solos tratados com biossólido por cinco anos, Oliveira et al. (2005) observaram que as concentrações dos metais Cr, Mn Ni, Pb e Zn se mantiveram abaixo dos limites críticos estabelecidos pela USEPA (1995) e CETESB (1999).

Em solo fertilizado com biossólido contaminado com metais pesados, Barriquelo et al. (2003) encontraram altas

concentrações de Pb nas camadas superficiais do solo (0 a 20 cm), porém não foram encontradas concentrações deste metal nos tecidos de plantas de milho cultivadas.

Em alguns países, órgãos governamentais regulam os limites máximos de teores de metais pesados no biossólido e outros resíduos para que estes possam ser aplicados no solo. Normalmente, esses limites são baseados nos teores totais dos elementos no resíduo, sem levar em consideração as características químicas e físicas do solo (BORGES; COUTINHO, 2004).

Visto que as informações relacionando o uso de biossólidos contaminados com metais pesados e seu emprego na fertilização da cultura do milho, bem como a sua interferência sobre a absorção inicial de nutrientes ainda são escassas, o objetivo deste trabalho foi determinar os efeitos da aplicação de biossólido na fitodisponibilidade de nutrientes e metais pesados em plantas de milho.

## 2 Material e métodos

### 2.1 Local do experimento e caracterização do solo e biossólido

O experimento foi realizado no município de Marechal Cândido Rondon - PR, sendo conduzido em ambiente protegido, utilizando-se vasos com capacidade de 8L como parcela experimental.

O solo utilizado no experimento foi coletado na camada arável (0-20 cm), classificado como Latossolo Vermelho eutrófico (LVe) (EMBRAPA, 2006). As frações granulométricas do solo foram determinadas por meio do método da pipeta, de acordo com a metodologia proposta pela Embrapa (1997), sendo estas de 639, 284, 77  $\text{g Kg}^{-1}$  de argila, silte e areia, respectivamente. Os cultivos comerciais anteriores foram de milho, trigo e soja.

Para análise química do solo foi utilizada a metodologia para o estado do Paraná (PAVAN et al., 1992), sendo os resultados expressos nas Tabelas 1 e 2.

O biossólido selecionado para o experimento foi proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) da SANEPAR, localizada em Foz do Iguaçu – PR. Este lodo ativado sofreu processo de digestão anaeróbica em um Reator Anaeróbico de

**REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)**  
**v.14, n.3, p.77-87, jan./jun. 2012**

Leito Fluidificado (RALF) e posteriormente foi tratado com calcário.

Para determinação dos teores de N no biossólido foi utilizada a digestão sulfúrica seguida de destilação Kjeldahl (AOAC, 2005). A determinação de P, K, Ca, Mg, Cu, Mn, Zn, Fe, Cd, Pb e Cr foi realizada por meio de digestão nitroperclórica (AOAC,

2005), seguida de técnicas de espectroscopia de ultravioleta visível (UV-VIS) (AOAC, 2005) para o P e espectrometria de absorção atômica com atomização por chama (EAA-chama) (WELZ; SPERLING, 1999) para os demais elementos. Os resultados encontram-se nas Tabelas 1 e 2.

**Tabela 1 - Análise química do Latossolo Vermelho eutrófico (LVE) e do biossólido**

	P	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	pH	MO	V	Al	
Solo	mg dm <sup>-3</sup>	-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----				CaCl <sub>2</sub>	g dm <sup>-3</sup>	-----	%	-----
	16,0	0,8	3,7	1,2	0,0	5,5	18,0	55,7	0,0	
	P <sub>total</sub>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	N <sub>total org</sub>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	
Biossólido	g dm <sup>-3</sup>	----- g kg <sup>-1</sup> -----				-----	g dm <sup>-3</sup>	-----	mg dm <sup>-3</sup>	----
	0,2	4,8	47,1	4,3	6,5	36,7	1,4	11,1	54,8	

**Tabela 2 - Teores de metais pesados no Latossolo Vermelho eutrófico (LVE) e no biossólido**

	Cu	Mn	Zn	Fe	Cd	Pb	Cr
Solo	----- mg dm <sup>-3</sup> -----						
	10	96	2	34	2	81	23
Biossólido	210	115	315	34883	5	122	38

## 2.2 Delineamento experimental

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, sendo que o delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial 2 x 5, constituído por duas formas de adubação (com e sem N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O) e cinco doses de biossólido (0; 10; 20; 40 e 60 t ha<sup>-1</sup>), com quatro repetições, totalizando 40 unidades experimentais. Sendo que a dose de biossólido considerada adequada é a de 10 t ha<sup>-1</sup> de acordo com a resolução nº 375 do CONAMA (BRASIL, 2006).

## 2.3 Condução do experimento

Para correção da acidez do solo foi realizada calagem com aplicação de 435 kg ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico (COELHO, 2006), seguida de incubação do solo com umidade correspondente a 70% da capacidade máxima de retenção de água durante 30 dias (SIMONETE et al., 2003).

Após o período de incubação foi realizada a adubação nos respectivos tratamentos e implantada a cultura do milho.

Para isso, foram semeadas cinco sementes por vaso e três dias após a germinação plena realizou-se o desbaste, mantendo-se duas plantas por vaso.

A adubação mineral com N, P e K foi realizada de acordo com Coelho (2006), sendo aplicados 30 kg ha<sup>-1</sup> de N, 100 kg ha<sup>-1</sup> de P e 80 kg ha<sup>-1</sup> de K, utilizando-se sulfato de amônio, superfosfato simples e cloreto de potássio. Aos 30 dias após emergência (DAE), em todos os tratamentos, foi realizada aplicação de cobertura com N na forma de sulfato de amônio na dose de 140 kg ha<sup>-1</sup>.

Durante o período do experimento o solo foi mantido com regas diárias com água destilada e deionizada (FABIAN; OTTONI FILHO, 2000), de acordo com a necessidade hídrica da cultura.

O experimento foi conduzido até os 45 DAE, quando as plantas foram cortadas rente ao solo e encaminhadas ao Laboratório de Química Ambiental e Instrumental da Unioeste, onde foram lavadas com água de torneira e água destilada e deionizada, sendo posteriormente secas em estufa com circulação forçada de ar, entre 65 e 70 °C. Após a secagem o material foi moído e

armazenado para a realização das análises posteriores.

#### 2.4 Variáveis biométricas

As plantas foram cortadas rente ao solo para avaliação da altura das plantas, número de folhas (NF) e determinação da massa seca (MS), sendo que as plantas foram desidratadas em estufa com circulação forçada de ar a 70 °C (SOUZA; BORGES; LEANDRO, 2005).

#### 2.5 Análise química do tecido vegetal

A análise química no tecido vegetal das plantas de milho para quantificação dos teores de P, K, Ca, Mg, Cu, Mn, Zn, Fe, Cd, Pb e Cr foi realizada por meio de digestão nítriperclórica (AOAC, 2005), seguida de técnicas de UV-VIS para o P e espectrometria de absorção atômica com atomização por chama (EAA - Chama) (WELZ; SPERLING, 1999) para os demais elementos.

#### 2.6 Análise estatística

Todos os dados obtidos experimentalmente foram submetidos à análise de variância (ANAVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, com o auxílio do programa estatístico SISVAR 5.0 (FERREIRA, 2003).

### 3 Resultados e discussão

Os altos teores de metais presentes no Latossolo Vermelho eutrófico (LVE) apresentados nas tabelas 1 e 2, podem ser explicados pela origem basáltica deste solo, sendo as rochas máficas o seu principal material de origem. Segundo Biondi et al. (2011) solos derivados de rochas máficas possuem altas concentrações de Fe, Mn, Zn, Cu, Ni e Co.

Nas análises químicas foliares, não foram detectados teores de Cd e Cr. Porém, deve-se destacar que estes resultados não garantem que não houve acúmulo destes metais nas plantas avaliadas, podendo estes estar presentes em concentrações abaixo do limite de quantificação (0,1 mg L<sup>-1</sup>) do método utilizado (EAA - Chama).

A não detecção de concentrações destes metais pode ser considerada normal, uma vez que as raízes das plantas podem absorver quantidades significativas de metais pesados como o Cd, Pb e Cr, os quais, em geral, são pouco translocados para a parte aérea das plantas (MORTVEDT, 2001; MALAVOLTA, 2006; SHTANGEEVA; STEINNES; LIERHAGEN, 2011). Além disso, Perriguet, Steckeman e Morel (2008) sugerem que a absorção de Cd pelas células das raízes das plantas de milho é um processo não específico, sendo que a translocação para as folhas aparenta ocorrer de maneira controlada e restrita. Assim, o Cd parece ser estocado e tolerado pelas raízes até certa concentração, enquanto algum tipo de “processo translocador seletivo” limita o transporte deste metal para as folhas. Sendo assim, provavelmente em função deste mecanismo não foram encontradas concentrações de Cd no tecido foliar das plantas neste experimento. Deve-se destacar, ainda, que esta dinâmica geralmente ocorre em solos com baixas concentrações de metais pesados, sendo que em solos com altas concentrações as plantas podem acumular elementos tóxicos em seus órgãos.

De acordo com Kabata-Pendias e Pendias (2001), os teores toleráveis de Pb em cultivos agrícolas encontram-se entre 0,5 e 10 mg kg<sup>-1</sup>. A média experimental dos teores de Pb no tecido foliar de 4,5 mg kg<sup>-1</sup> (Tabela 3), indica o acúmulo deste metal em teores toleráveis, exceto quando aplicados 10 t ha<sup>-1</sup> juntamente com NPK, situação na qual os teores apresentaram-se acima dos toleráveis (10,5 mg kg<sup>-1</sup>). Com esta constatação, e levando em conta que as demais formas de aplicação de biofósforo não diferiram entre si, pode-se inferir que o teor de Pb no tecido vegetal se dá principalmente devido aos elevados teores deste metal existentes no solo antes da aplicação do biofósforo.

Quanto aos teores foliares, Kim e Fergusson (1994) afirmam que os elementos traço encontrados nas folhas são principalmente originários de duas fontes: do terço médio da planta (e por consequência oriundos das raízes e solo contaminado), e/ou da atmosfera (proveniente da poluição atmosférica, fonte que tem os estômatos como via e entrada principal dos elementos.). Além disso, Nogueira et al. (2008) constataram que depois de nove anos consecutivos de fertilizações sucessivas de lodo de esgoto na cultura do milho, os teores

de Pb foliares foram sendo incrementados gradualmente com o tempo, demonstrando que o uso contínuo de bioossólido causa o acúmulo deste metal nas plantas.

Foram encontrados teores tóxicos de Pb no solo (Tabela 2). Porém, Silva et al. (2008), estudando o comportamento do Pb em solo argiloso concluíram que os níveis de Pb no bioossólido estudado eram abaixo dos níveis críticos para sua utilização agrícola, o que, segundo os mesmos autores, permite sua aplicação no solo dentro de limites toleráveis de impacto ambiental.

Segundo a resolução nº 420 do CONAMA (BRASIL, 2009), a proteção do solo deve ser realizada de maneira preventiva, a fim de garantir a manutenção da sua funcionalidade, sendo que os teores de Pb no solo considerados preventivos são de  $72 \text{ mg kg}^{-1}$ . Como os valores encontrados no solo antes do cultivo eram cerca de  $81 \text{ mg kg}^{-1}$  (Tabela 2), este metal já se encontrava em concentrações preocupantes, provavelmente em decorrência do uso contínuo de fertilizantes contaminados, pois conforme Nava et al. (2011) e Gonçalves et al. (2011), bioossólidos, biofertilizantes ou outros compostos usualmente aplicados como fertilizantes podem estar contaminados com Pb e outros metais.

Porém, deve-se considerar que foi realizada apenas uma única aplicação de bioossólido, e que dependendo da cultura a ser utilizada, inúmeras fertilizações podem ser realizadas em um único ano. Assim, a necessidade de estudos relacionados com aplicações sucessivas de bioossólido torna-se importante, uma vez que esta prática pode resultar em incremento dos teores de metais pesados no solo e, conseqüente, entrada destes elementos na cadeia alimentar, ocasionando contaminação a animais, humanos e do meio ambiente.

Os valores limites estabelecidos para todos os metais pela Resolução nº 420 CONAMA (BRASIL, 2009) são obtidos com base nos métodos 3050 e 3051 da Agência de Proteção do Meio Ambiente dos Estados Unidos – USEPA -, sendo que estes métodos utilizam a digestão total das amostras com ácidos fortes, o mesmo procedimento executado neste trabalho, permitindo, assim, a comparação dos resultados (RAURET, 1998).

A análise de variância demonstrou que para os elementos N, P, K e Mn não ocorreram diferenças significativas, demonstrando que as diferentes doses de bioossólido e o fertilizante mineral utilizado

como suplemento não proporcionaram aumento na concentração destes elementos no tecido foliar das plantas aos 45 dias de cultivo.

Com relação ao Ca, observa-se que seus teores (Tabela 3) no tecido foliar da planta estão acima dos valores normais relatados na literatura ( $4,0 \text{ g kg}^{-1}$ ) (MARTINEZ; CARVALHO; SOUZA, 1999), o que pode ter sido proporcionado pela calagem do solo. A preocupação com o excesso de Ca é a possibilidade de este prejudicar a absorção de Mg e K, visto que os carregadores dos cátions Ca, Mg e K são semelhantes entre si, estabelecendo uma inibição competitiva na absorção pelas raízes (MEDEIROS et al., 2008). No entanto neste trabalho os teores de Mg e K foram adequados, considerando o período fenológico das plantas de milho: período vegetativo (V12) (MARTINEZ; CARVALHO; SOUZA, 1999).

O aumento das doses de bioossólido proporcionou incremento nos teores de Cu e Zn no tecido vegetal das plantas de milho, sendo que, apenas as doses maiores ( $40$  e  $60 \text{ t ha}^{-1}$ ) elevaram os teores destes micronutrientes a níveis adequados para a cultura do milho (Cu:  $6-20 \text{ mg kg}^{-1}$  e Zn:  $20-70 \text{ mg kg}^{-1}$  de acordo com MARTINEZ; CARVALHO; SOUZA, 1999). Novamente, pode-se associar este efeito ao estágio fenológico da cultura, sendo que a absorção de micronutrientes geralmente atinge seu máximo a partir de 80 dias de cultivo (BÜLL, 1993).

Ao estudar o efeito de aplicações de lodos de esgotos sobre os teores de metais pesados em folhas e grãos de milho, Rangel et al. (2006), verificaram que os teores de Zn nas folhas de milho aumentaram de modo significativo em função da aplicação das doses de bioossólido. O mesmo autor relata que o fato do teor de Zn aumentar com o aumento das doses, causa certa preocupação, uma vez que o uso contínuo do bioossólido poderia contaminar o solo e as plantas com esse metal, considerando o alto teor deste elemento nos lodos de esgoto.

Considerando o alto teor de Fe contido no bioossólido,  $34.883 \text{ mg kg}^{-1}$ , previa-se que as plantas absorveriam este elemento em níveis fitotóxicos. Entretanto, foram verificados teores adequados de Fe para a cultura do milho. Este comportamento pode ser explicado em função da rápida conversão do Fe solúvel do bioossólido em compostos insolúveis oxidados e não disponíveis para a planta (FERNANDES; LIBARDI;

**REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)**  
**v.14, n.3, p.77-87, jan./jun. 2012**

CARVALHO, 2006).

Resultado semelhante foi encontrado por Pigozzo et al. (2002) ao estudar plantas de milho cultivadas em solo tratado com biofósforo de alta concentração de Fe, que

verificaram que embora as plantas absorvessem mais Fe que as cultivadas sem aplicação de biofósforo, estas não apresentaram teores fitotóxicos.

**Tabela 3 – Teores médios de Ca, Mg, P, K, N, Cu, Mn, Zn, Fe, Cd, Pb e Cr no tecido vegetal das plantas de milho nos tratamentos com adubação NPK (CNPk) e sem NPK (SNPK) em função das doses de biofósforo**

Metais	Tratamentos	Doses em t ha <sup>-1</sup>				
		0	10	20	40	60
		----- g kg <sup>-1</sup> -----				
Ca	CNPk	8,2 b A	9,5 ab A	8,2 b B	12,6 ab A	10,2 ab A
	SNPK	10,4 ab A	10,9 ab A	12,5 a A	10,0 ab A	8,8 b A
Mg	CNPk	1,2 b A	1,5 ab A	1,5 ab A	2,2 a A	2,0 a A
	SNPK	1,4 a A	1,5 a A	1,9 a A	1,3 a B	1,4 a B
		----- mg kg <sup>-1</sup> -----				
Cu	CNPk	1,2 c A	1,7 c A	3,5 bc A	11,2b A	15,0 c A
	SNPK	2,2 a A	1,2 a A	1,7 a A	8,0 a A	6,5 a B
Zn	CNPk	10,7 b A	18,7 a A	18,0 a A	20,3 a A	23,0 a A
	SNPK	14,0 b A	21,2 a A	19,5 ab A	19,3 ab A	21,3 a A
Fe	CNPk	213,5 a A	182,7 a A	142,7 a A	148,7 a A	134,3 a A
	SNPK	176,0 ab A	84,5 b B	227,0 a A	104,3 ab A	156,5 ab A
Pb	CNPk	6,2 ab A	10,5 a A	5,2 ab A	ND b A	7,5 ab A
	SNPK	2,5 a A	4,0 a A	4,2 a A	4,7 a A	ND a B

ND: Não detectado pelo método EAA - Chama. Para cada elemento, médias seguidas da mesma letra minúscula, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. Para cada elemento, médias seguidas da mesma letra maiúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Em solo de textura argilosa, Simonete e Kiehl (2002) encontraram efeito no acúmulo de Fe, Mg e Cu pelas plantas de milho com a aplicação de doses de biofósforo. Sendo que para o Fe, os incrementos proporcionados pela adição do resíduo variaram, da menor para a maior dose aplicada, em relação à testemunha, de 18% a 159%, respectivamente.

Com relação às variáveis biométricas avaliadas, foi encontrada diferença significativa a 1% de probabilidade (P>0,01) entre as diferentes doses e entre os tratamentos com e sem suplementação com NPK (CNPk e SNPK) no parâmetro massa seca (MS). Os valores médios são apresentados na Tabela 4.

Torna-se evidente que a suplementação com NPK (CNPk) afetou o crescimento das plantas de maneira substancial, pois todas as variáveis

biométricas avaliadas apresentaram maiores médias quando suplementadas com NPK.

Pode-se ainda afirmar, que quando o biofósforo é utilizado na cultura do milho sem suplementação com fertilizantes minerais, doses elevadas resultam em maior acúmulo de massa seca (MS) pela planta, sendo que nas condições avaliadas a dose de biofósforo da ordem de 60 t ha<sup>-1</sup> proporcionou o maior acúmulo de massa seca.

As variáveis biométricas avaliadas mostram que o uso de biofósforo sem suplementação mineral resulta em plantas com menor número de folhas (NF), menor altura de planta e menor acúmulo de massa seca (MS), mesmo em doses de 60 kg ha<sup>-1</sup>.

Nas tabelas 5 e 6 são apresentados os valores da análise química do solo após cultivo.

**REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)**  
**v.14, n.3, p.77-87, jan./jun. 2012**

**Tabela 4 – Valores médios dos parâmetros: Número de folhas, altura de plantas (cm) e massa seca de folhas (MS) de milho nos tratamentos com adubação NPK (CNPk) e sem NPK (SNPK) em função das doses de biossólido**

Variáveis	Tratamento	Doses em t ha <sup>-1</sup>				
		0	10	20	40	60
Nº folhas	CNPk	9,5 a A	9,0 a A	9,3 a A	9,5 a A	9,8 a A
	SNPK	8,0 a B	8,0 a B	7,3 a B	8,5 a B	8,5 a B
Altura (cm)	CNPk	86,5 a A	89,3 a A	87,8 a A	89,0 a A	97,5 a A
	SNPK	78,5 a B	85,0 a B	81,0 a B	87,5 a B	76,3 a B
MS (g)	CNPk	25,4 a A	22,5 a A	23,9 a A	22,4 a A	26,1 a A
	SNPK	14,8 c B	16,8 bc B	15,2 c B	21,1 ab B	23,3 a B

Médias seguidas da mesma letra minúscula, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. Para cada elemento, médias seguidas da mesma letra maiúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

**Tabela 5 – Análise química do Latossolo Vermelho eutrófico (LVe) após cultivo**

ADUBAÇÃO	DOSES	P	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	pH	MO	V	Al
		mg dm <sup>-3</sup>	-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----	CaCl <sub>2</sub>	g dm <sup>-3</sup>	----- % -----				
CNPk	0	14,6	0,4	7,2	1,3	0,0	6,0	19,0	75,7	0,0
CNPk	10	16,3	0,5	7,8	1,4	0,0	6,1	18,0	78,9	0,0
CNPk	20	16,9	0,4	7,1	1,3	0,0	6,2	18,0	75,8	0,0
CNPk	40	19,8	0,4	7,8	1,4	0,0	6,0	17,0	76,5	0,0
CNPk	60	27,4	0,4	9,3	1,7	0,0	6,1	19,0	82,8	0,0
SNPK	0	28,0	0,2	10,7	1,7	0,0	6,1	18,0	86,8	0,0
SNPK	10	15,7	0,3	8,0	1,5	0,0	6,0	16,0	73,0	0,0
SNPK	20	15,7	0,4	9,0	1,6	0,0	6,0	18,0	83,4	0,0
SNPK	40	15,1	0,4	10,1	1,7	0,0	5,9	19,0	78,9	0,0
SNPK	60	16,9	0,2	10,0	1,3	0,0	6,0	18,0	88,8	0,0

CNPk: biossólido suplementado com NPK; SNPK: biossólido sem suplementação com NPK.

**Tabela 6 – Teores de metais pesados no Latossolo Vermelho eutrófico (LVe) após cultivo**

ADUBAÇÃO	DOSES	Cu	Mn	Zn	Fe	Cd	Pb	Cr
		----- mg dm <sup>-3</sup> -----						
CNPk	0	12	90	4	36	3	63	18
CNPk	10	14	110	4	38	3	61	20
CNPk	20	13	100	5	40	3	57	21
CNPk	40	12	130	6	40	3	59	24
CNPk	60	14	141	11	55	3	60	24
SNPK	0	14	90	3	40	3	61	14
SNPK	10	13	101	8	45	2	56	24
SNPK	20	13	110	6	49	3	60	18
SNPK	40	12	112	7	50	3	59	24
SNPK	60	15	130	13	56	3	63	25

CNPk: biossólido suplementado com NPK; SNPK: biossólido sem suplementação com NPK.

Como demonstrado na Tabela 6, ocorreu uma elevação na concentração da

maioria dos nutrientes no solo proporcionada pela fertilização com biossólido.

O aumento do V% e dos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  no solo é explicado pela calagem realizada antes do cultivo. Vale salientar que a elevação do pH, ocasionada pela calagem, interfere positivamente na disponibilidade da maioria dos nutrientes no solo.

Com relação aos metais pesados (Tabela 6), principalmente no que tange ao Cd, a adubação com bio sólido resultou em acúmulo deste metal pesado tóxico no solo, resultado que causa preocupação.

Quanto ao Pb, os teores médios deste metal no solo após o cultivo ( $59 \text{ mg dm}^{-3}$ ) foram inferiores aos teores iniciais ( $81 \text{ mg dm}^{-3}$ ), fato que é explicado parcialmente pela absorção de Pb pelas plantas, mesmo que em pequenas quantidades ( $6 \text{ mg kg}^{-1}$ ).

Este metal, presente no bio sólido aplicado ( $122 \text{ mg dm}^{-3}$ ) e absorvido pelo sistema radicular, foi pouco translocado para a parte aérea, e em função disso não foram encontradas grandes quantidades de Pb no tecido foliar ( $6 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Segundo Andrade et al. (2009), mesmo em solos com alto índice de contaminação, os coeficientes de translocação de Pb das raízes para a parte aérea são baixos.

Ainda pode-se inferir que a redução na concentração de Pb no solo após cultivo pode ter sido influenciada pela dinâmica

deste metal no solo, que é um metal pesado que normalmente apresenta baixa mobilidade no perfil do solo (ABREU, C. A.; ABREU, M. F.; ANDRADE, 1998). Porém, na presença de agentes complexantes e/ou cátions competidores pelos sítios ativos, o Pb pode apresentar uma diminuição de sua adsorção nos colóides do solo. Sendo ainda que este pode apresentar alta afinidade com ligantes orgânicos, ocasionando a formação de complexos que aumentam a mobilidade do Pb no perfil do solo (USEPA, 1992), sendo desta maneira percolado ou lixiviado.

#### 4 Conclusões

A aplicação de doses crescentes de bio sólido não causou efeito sobre a absorção inicial de macronutrientes pela cultura do milho.

O bio sólido produziu resultados inferiores quando aplicado sem suplementação de outros fertilizantes minerais no que tange as variáveis biométricas avaliadas.

O uso de bio sólido proporcionou aumento da concentração dos teores de Cu e Zn no tecido foliar do milho.

#### 5 Effect of the application of biosolids on the availability of nutrients and heavy metals in maize

**Abstract:** *The use of biosolids in agriculture still needs more research relating to the effect of heavy metals and nutrient absorption, particularly in the early stages of the culture. This work aimed to determinate the initial absorption of nutrients and toxic heavy metals in maize plants grown in a Rhodic Eutrudox with mineral fertilizers and different doses of biosolid (0; 10; 20; 40; 60 t ha<sup>-1</sup>). The experimental design was completely randomized in a factorial scheme 2 x 5, with four replications. For the evaluation of biosolid effects, biomass, nutrients and heavy metal content were assessed in the leaf tissue. It was possible to conclude that the application of biosolid did not affect the initial absorption of macronutrients, but provided increases in the levels of Cu and Zn in the leaf tissue. There were found concentrations of Pb in the leaf tissue of maize also, a finding which deserve attention, because successive fertilizations with biosolid may increase the concentrations of this metal in soil and consequently in the plants.*

**Keywords:** Nutrient absorption. Organic fertilization. *Zea mays* L.

#### 6 Referências

ABREU, C. A.; ABREU, M. F.; ANDRADE, J. C. Distribuição de chumbo no perfil de solo avaliada pelas soluções de DTPA e Mehlich-3. **Bragantia**, v.57, n.1, 1998.

ALLOWAY, B. J. **Heavy metals in soils**. 2 ed. New York: Blackie Academic & Professional,

1995. 368 p.

ANDRADE, M. G. et al. Metais pesados em solos de área de mineração e metalurgia de chumbo: I - Fitoextração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, n.6, 2009.

ANDREOLI, C.V.; PEGORINI, E.S. Gestão pública do uso agrícola do lodo de esgoto. In:



**REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)**  
**v.14, n.3, p.77-87, jan./jun. 2012**

- BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto.** Jaguariúna, Brasil, Embrapa Meio Ambiente, p.281-312, 2000.
- AOAC. **Official methods of analysis.** Maryland: AOAC, 2005, v. 18.
- BARRIQUELO, M. F. et al. Lead behavior in soil treated with contaminated sewage sludge and cultivated with maize. **Brazilian Archives of Biology and Technology.** v.46, n.4, p. 499-505, 2003.
- BIONDI, C. M. et al. Teores de Fe, Mn, Zn, Cu, Ni e Co em solos de referência de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** v.35, n.3, p.1057-1066, 2011.
- BORGES, M. R.; COUTINHO, E. L. M. Metais pesados do solo após aplicação de biossólido: I - Fracionamento. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** v.28, n.3, p.557-568, 2004.
- BRASIL. Classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente.** Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006.
- BRASIL. Critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. **Ministério do Meio Ambiente.** Resolução 420. Brasília, DF, 2009, 16 p.
- BÜLL, L, T. **Nutrição mineral do milho.** In: BÜLL, L, T.; CANTARELLA, H.; (eds). *Cultura do milho: Fatores que afetam a produtividade.* Piracicaba: Potafos, p.63 – 145, 1993.
- CETESB. **Aplicação de lodos de sistema de tratamento biológico em áreas agrícolas para projeto e operação:** Manual técnico. São Paulo: ABIA, 1999. 32p.
- COELHO, A. M. **Nutrição e adubação do milho.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006, 10p. (Circular Técnica, 78).
- COSTA, F. X. et al. Efeitos residuais da aplicação de biossólidos e da irrigação com água residuária no crescimento do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** v.13, n.6, p.687–693, 2009.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2 ed. **Manual de métodos de análise de solos.** Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006. 367p.
- FABIAN, A. J.; OTTONI FILHO, T. B. Determinação de capacidade de campo *in situ* ou através de equações de regressão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** Brasília, v.35, n.5, p.1029-1036, 2000.
- FERNANDES, F.; SILVA, S. M. C. P. **Manual Prático para a Compostagem de Biossólidos.** Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1999. 84p.
- FERNANDES, F.C.S.; LIBARDI, P. L.; CARVALHO, L. A. Internal drainage and nitrate leaching in a corn-black oat-corn succession with two split nitrogen applications. **Scientia Agrícola,** v.63, n.5, p.483- 492, 2006.
- FERREIRA, D. F. SISVAR – **Sistemas de análises estatísticas.** Lavras, UFLA. 2003.
- FREITAS, E. V. S. et al. Dessorção e lixiviação de chumbo em espodossolo tratado com agentes quelantes. **Revista Brasileira de Ciência de Solo,** v.33, n.3, p.517-525, 2009.
- GOMES, B. V.; NASCIMENTO, C. W. A.; BIONDI, C. M. Produtividade e composição mineral de plantas de milho em solo adubado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** v.11, n.5, p.459-465, 2007.
- GONÇALVES, A. C. et al. Phytoavailability of toxic heavy metals and productivity in wheat cultivated under residual effect of fertilization in soybean culture. **Water Air and Soil Pollution.** v.220, p.205-211, 2011.
- GONÇALVES, Jr. A. C. et al. Produtividade do milho em resposta a adubação com NPK e Zn em argissolo vermelho-amarelo eutrófico e latossolo vermelho eutrófico. **Ciência e Agrotecnologia,** v.31, n.4, p.1231-1236, 2007.
- GONÇALVES, Jr., A. C., SELZLEIN, C. NACKE, H. Uso de biomassa seca de aguapé (*Eichornia crassipes*) visando à remoção de metais pesados de soluções contaminadas. **Acta Scientiarum Technology,** v.31 n.1, p.103-108. 2009.
- KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace Elements in Soils and Plants.** 3 ed. London: CRC Press, 2001. 403 p.
- KIM, D. N.; FERGUSON J. E. Seasonal variations in the concentrations of cadmium, copper, lead and zinc in leaves of the horse chestnut (*Aesculus hippocastanum* L.) **Environmental Pollution.** v.86, p.89-97, 1994.

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)  
v.14, n.3, p.77-87, jan./jun. 2012

- LEMAINSKI, J.; SILVA, J. E. Avaliação agrônômica e econômica da aplicação de biossólido na produção de soja. **Pesquisa agropecuária brasileira**. v.41, n.10, 2006.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638p.
- MARQUES, M.O. et al.. Desempenho de plantas de milho cultivadas em solos acrescidos de biossólido oriundo da estação de tratamento de esgoto de Barueri, localizada na região metropolitana de São Paulo. **Congresso interamericano de engenharia sanitária e ambiental**: ABES/AIDIS, 27, Porto Alegre, 2000. Anais. Porto Alegre, 2000. CD ROM.
- MARTINEZ, H. E. P.; CARVALHO, J. G.; SOUZA, R. B. Diagnose foliar. In: COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**, 1999, p.143-168.
- MEDEIROS, J. C. et al. Relação cálcio: magnésio do corretivo da acidez do solo na nutrição e no desenvolvimento inicial de plantas de milho em um Cambissolo Húmico Álico. **Semina: Ciências Agrárias**, v.29, n.4, p. 799-806, 2008.
- MELO, V.P. et al. Atributos físicos de Latossolos adubados durante cinco anos com biossólido. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.1, p.67-72, 2004.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Processo 02000.002955/2004-69**. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/processo.cf?processo=02000.002955/2004-69>> Acesso em 15 mai. 2012.
- MORTVEDT, J. J. Tecnologia e produção de fertilizantes com micronutrientes: Presença de elementos tóxicos. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P.; RAIJ, B.; ABREU, C. A. **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**, 2001. p.237-253.
- NAVA, I. A. et al. Disponibilidade dos metais pesados tóxicos cádmio, chumbo e cromo no solo e tecido foliar da soja adubada com diferentes fontes de NPK+Zn. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, n.5, p.884-892, 2011.
- NOGUEIRA T. A. R. et al. Cádmio, cromo, chumbo e zinco em plantas de milho e em latossolo após nove aplicações anuais de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32 n.5, p.2195-2207, 2008.
- OLIVEIRA, K. W. et al.. Heavy metals in Oxisols amended with biosolids and cropped with maize in a long-term experiment. **Scientia agricola**, v.62, n.4, p.391-388, 2005.
- PAVAN, M. A. et al. **Manual de análises químicas de solo e controle de qualidade**. Londrina: IAPAR, 1992 (Circular, 76).
- PERRIGUEY J.; STECKEMAN T.; MOREL J. L. Effect of rhizosphere and plant-related factors on the cadmium uptake by maize (*Zea mays* L.). **Environmental and Experimental Botany**. v.63, p. 333-341, 2008.
- PIGOZZO, A. T. et al. Avaliação dos resíduos de rerrefino de óleo e de biossólido como fonte de micronutrientes no Latossolo Vermelho escuro. **Acta Scientiarum**, v.24, n.6, p.1603-1608, 2002.
- POGGIANI, F.; GUEDES, M.C.; BENEDETTI, V. Aplicabilidade de biossólido em plantações florestais: I. Reflexo no ciclo dos nutrientes. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Embrapa Meio Ambiente, 2000. p.163-177.
- RANGEL, O. J. P. et al. Efeito de aplicações de lodos de esgoto sobre os teores de metais pesados em folhas e grãos de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, n.3, p.583-594, 2006.
- RAURET, G. Extraction procedures for the determination of heavy metals in contaminated soil and sediment. **Talanta**, Londres, v.46, p.449-455, 1998.
- SILVA, F.C. et al. Efeito de lodo de esgoto na fertilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, n.5, v.36, p.831-840, 2001.
- SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; SHARMA, R. D. Alternativa agrônômica para o biossólido produzido no Distrito Federal. I – Efeito na produção de milho e na adição de metais pesados em Latossolo no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, n.2, p.487-495, 2002.
- SILVA, P. H. M. et al. Volume de madeira e concentração foliar de nutrientes em parcelas experimentais de *Eucalyptus grandis* fertilizadas com lodos de esgoto úmido e seco. **Revista Árvore**, v.32, n.5, p.845-854, 2008.
- SIMONETE, M. A. et al. Efeito do lodo de esgoto em um Argissolo e no crescimento e nutrição de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, n.10, p.1187-1195, 2003.
- SIMONETE, M.A.; KIEHL, J. C. Extração e fitodisponibilidade de metais em resposta à adição de lodo de esgoto no solo. **Scientia Agricola**, v.59, n.3, p.555-563, 2002.
- SOUZA, E. R.B.; BORGES, J. D.; LEANDRO, W.

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)  
v.14, n.3, p.77-87, jan./jun. 2012

M. Teores de metais tóxicos nas folhas de plantas de milho fertilizadas com lodo de cortume.

**Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.35, n.2, p. 117-122, 2005.

SHTANGEEVA, I.; STEINNES, E.; LIERHAGEN S. Macronutrients and trace elements in rye and wheat: Similarities and differences in uptake and relationships between elements. **Environmental and Experimental Botany**. v.70, n.2, p.259-265, 2011.

TRANNIN, I. C. B.; SIQUEIRA, J.; MOREIRA, F. M. S.. Avaliação agrônômica de um biossólido industrial para a cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.40, n.3, 2005.

TRANNIN, I. C. B.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Atributos químicos e físicos de um solo tratado com biossólido industrial e cultivado com milho. **Revista Brasileira de Engenharia**

**Agrícola e Ambiental**. v. 12, n.3, p.223-230, 2008.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **A guide to the biosolids risk assessment for the EPA. Part 503 rules**. Cincinnati: USEPA, 1995. (EPA/832-B-93-005).

USEPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Ground water issue**. EPA/S40/R-92/077. U.S. Gov't Printing Office, Washington, D.C. 1992. 25p.

VIEIRA, R. F. et al. Disponibilidade de nutrientes no solo, qualidade de grãos e produtividade da soja em solo adubado com lodo de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.40, n.9, p.919-926, 2005.

WELZ, B.; SPERLING, M. **Atomic Absorption Spectrometry**. Weinheim: Wiley-VCH, 1999.