



XXIX Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas
 XIII Reunião Brasileira sobre Micorrizas
 XI Simpósio Brasileiro de Microbiologia do Solo
 VIII Reunião Brasileira de Biologia do Solo
 Guarapari – ES, Brasil, 13 a 17 de setembro de 2010.
 Centro de Convenções do SESC

Teor de Metais Pesados na Cultura da Aveia Preta em Função da Aplicação Superficial de Resíduos Urbanos e Industriais, no Sistema Plantio Direto

Elisa Eni Freitag¹; Leonardo Theodoro Büll²; Juliano Corulli Corrêa³; Clarice Backes⁴; Alessandra E. Miggiolaro⁵; & Carlos Alexandre Costa Crusciol⁶

(1) Professor, Faculdade Arnaldo Horácio Ferreira - FAAHF, Luis Eduardo Magalhães, BA, CEP: 47850-000 elisa.freitag@hotmail.com (apresentador do trabalho); (2) Professor, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrárias, Botucatu, SP, CEP: 18610-307, bull@fca.unesp.br, crusciol@fca.unesp.br; (3) Pesquisador, Embrapa Suínos e Aves, Núcleo Meio Ambiente, BR 153, Km 110, Concórdia, SC, CEP: 89700-000, juliano@cnpasa.embrapa.br; (4) Professor, Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestas - FAEF, Garça, SP, CEP: 17400-000, claricebackes@hotmail.com; (5) Doutorando do Curso de Pós-Graduação em Agronomia - UNESP/ FCA, Botucatu, SP, CEP: 18610-307, almiggiolaro@fca.unesp.br; projeto financiado pelo auxílio à pesquisa da FAPESP.

RESUMO – O objetivo do trabalho foi avaliar o teor dos metais pesados As, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb e V na aveia preta, por meio de digestão nitroperclórica, em decorrência da aplicação superficial e sem incorporação, de lodo de esgoto centrifugado (LC) e biodigerido (LB), lama cal (Lcal) e escória de aciaria (E), nas doses 0 (testemunha), 2, 4, 8 Mg ha⁻¹, e um tratamento adicional com calcário dolomítico na dose 2 Mg ha⁻¹, aplicados em maio de 2005. O experimento foi conduzido a campo, em blocos ao acaso, em Latossolo Vermelho distrófico sob Sistema Plantio Direto desde 2002. A aveia preta foi semeada em maio de 2005 (após a aplicação) e de 2006. A aplicação superficial de LB, LC, Lcal e E, até a dose de 8 Mg ha⁻¹, e do calcário na dose de 2 Mg ha⁻¹, não promoveram alterações expressivas nos teores disponíveis de metais pesados no solo e, dessa forma, não proporcionaram efeito fitotóxico a aveia preta.

Palavras-chave: metais pesados, escória de aciaria, lama cal, lodo de esgoto.

INTRODUÇÃO – A disposição final de resíduos no solo representa não só um sistema apropriado, mas também, a oportunidade para o manejo de resíduos com o mínimo de efeitos sobre o ambiente, podendo proporcionar a este, melhorias químicas, físicas e biológicas (Bettiol & Camargo, 2006; Tsutiya et al., 2001). E caso estes efeitos não sejam corretamente avaliados, podem acarretar danos ao sistema solo-planta (Vettorazzo et al., 1999).

Uma das grandes preocupações com a utilização de resíduos, urbanos ou industriais, é a incorporação

e acumulação de metais pesados no solo, contaminando os produtos agrícolas, entrando dessa forma na cadeia alimentar, com riscos a saúde humana (Silva et al., 2002).

A disponibilidade dos metais é afetada pela reação do solo, onde podem ser disponibilizados em maior quantidade em condições de pH ácido ou mesmo complexados no solo pela matéria orgânica ou por partículas de argila (Bettiol & Camargo, 2006; Pierangeli et al., 2004; Silveira et al., 2003). Sendo necessária a avaliação da absorção destes elementos potencialmente tóxicos pelas plantas.

Segundo Marques et al. (2001), o aumento do pH do solo favorece a adsorção de metais pesados, interferindo no deslocamento destes no perfil do solo e na absorção pelas plantas. Nos solos intemperizados, onde a maior parte das cargas negativas é dependente do pH, e onde a matéria orgânica contribui em alguns casos com até 80% da CTC do solo (Quaggio, 2000), o aumento do pH elevará os níveis de CTC, além de favorecer a formação de complexos e quelatos, obtidos pela matéria orgânica, minimizando a disponibilidade dos metais pesados às plantas, bem como, sua mobilidade no solo (Silveira et al., 2003).

Dentre os resíduos que apresentam capacidade de corrigir a acidez dos solos, estão a escória de aciaria, lama cal e os lodos de esgoto de caráter alcalino, que podem ser utilizados em substituição ao calcário na neutralização do H⁺, além de melhorar a CTC e a matéria orgânica dos solos (Corrêa et al., 2007), suas aplicações superficiais no SPD possivelmente atuarão na interação entre os metais pesados dos resíduos e o solo, normalmente em suas adsorções.

Neste sentido, o objetivo do trabalho foi avaliar o teor de metais pesados potencialmente tóxicos na aveia preta cultivada em 2005 e 2006, após a aplicação superficial e sem incorporação de lodos de esgoto, lama cal e escória de aciaria, no SPD.

MATERIAL E MÉTODOS - O trabalho foi desenvolvido a campo, entre 2005 e 2006, na Faculdade de Ciências Agrônômicas - FCA/UNESP, Campus de Botucatu (latitude 22°51'S, longitude 48°26'W, altitude de 740 m e classificação climática Cwa), em Latossolo Vermelho distrófico (Embrapa, 1999), manejado em Sistema Plantio Direto desde 2002. Solo, cuja análise química preliminar na profundidade de 0-0,20 m apresentou: 4,1 pH em CaCl₂; 16,3 g dm⁻³ de M.O.; 5,7 mg dm⁻³ de P (resina); 42,7 mmolc dm⁻³ de H+Al; 0,8 mmolc dm⁻³ de K; 14,7 mmolc dm⁻³ de Ca; 6,7 mmolc dm⁻³ de Mg; 22,3 mmolc dm⁻³ de SB; 65,0 mmolc dm⁻³ de CTC e 34 % de saturação por bases.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, em esquema fatorial 4x4+1, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos por quatro resíduos, lodo de esgoto centrifugado tratado com cal virgem (LSJ) da Estação de Tratamento de Esgoto de São José dos Campos - SP, lodo de esgoto de biodigestor (LB) da ETE de Barueri - SP, escória de aciaria (E) da empresa Mannesmann - MG e lama cal (LCal) da empresa de celulose Luwart - SP (Tabela 1), em quatro doses, 0, 2, 4 e 8 Mg ha⁻¹, e uma testemunha com aplicação de calcário na dose recomendada pelo método de saturação por bases, para elevar este índice a 60%, para produção de soja (RAIJ et al., 1997), equivalendo a 2 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico (280 g kg⁻¹ de CaO, 230 g kg⁻¹ de MgO e PRNT de 70%), aplicados em superfície e sem incorporação, em maio de 2005.

No experimento foram conduzidos dois ciclos da cultura da aveia preta, inverno de 2005 (após a aplicação dos tratamentos) e 2006, com 80 sementes por metro e 0,17 m na entrelinha, sem adubação. A coleta de plantas para a determinação do teor de metais pesados ocorreu cerca de 80 dias após a semeadura, no estágio de emborrachamento da cultura. O material coletado foi seco em estufa a 60°C por 48 horas, moído e determinados os teores de metais pesados As, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb e V, por digestão nitroperclórica (Malavolta et al., 1997) e as leituras em espectrofotômetro de emissão em plasma induzido em argônio (ICP/AES).

Intercalando os dois cultivos de aveia, foi semeada a cultura da soja (safra 2005/2006).

RESULTADOS E DISCUSSÃO - Os metais pesados potencialmente tóxicos determinados na parte aérea da aveia preta em decorrência da aplicação superficial dos resíduos LC, LB, Lcal e E,

além do calcário, foram As, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb e V, destes, somente foram detectadas a presença de Cd, Pb e V no primeiro cultivo (2005), e de Cd, Cr, Ni e V no segundo cultivo (2006) (Tabela 2).

Como apresentado na Tabela 2, os teores dos metais pesados estudados apresentam-se baixos, e em muitos casos, concentrações abaixo do limite de determinação do método analítico empregado, como ocorreu para Cr e Ni no primeiro cultivo, e para As e Hg nos dois cultivos.

De acordo com os resultados obtidos, o teor de alguns dos metais pesados avaliados na parte aérea da aveia preta encontra-se baixo, e em muitos casos, abaixo do limite de detecção do método analítico utilizado, como ocorreu para Cr e Ni na aveia preta cultivada em 2005, referente ao primeiro cultivo, semeada alguns dias após a aplicação superficial e sem incorporação dos tratamentos, e para As e Hg nos dois cultivos, inverno de 2005 e de 2006, 12 meses após a aplicação (Tabela 2).

Com relação ao método analítico empregado, o limite de detecção dos metais avaliados foi de 0,002 mg dm⁻³ para As e Cd, de 0,004 mg dm⁻³ para Cr, 0,005 mg dm⁻³ para Ni, 0,02 mg dm⁻³ para Hg e 0,025 mg dm⁻³ para Pb. Neste sentido, afirmar que não há a presença desses metais pesados no tecido foliar da aveia preta cultivada em solo após a aplicação superficial de LC, LB, Lcal e E, em diferentes doses, além do calcário na dose de 2 Mg ha⁻¹, é um tanto quanto inadequado, pois estes encontram-se na verdade, em concentrações abaixo do limite de detecção do método analítico empregado. O que também foi observado com os teores destes metais pesados no solo, onde de acordo com os resultados obtidos, a aplicação dos resíduos não causaria danos ao desenvolvimento das culturas da aveia preta e da soja.

Há uma grande variação quanto à sensibilidade de espécies vegetais aos metais pesados, cuja concentração varia nos diferentes tecidos da planta, e, em geral, os grãos contêm concentração menor do que as partes vegetativas da planta (Berton, 2000). Quanto à entrada dos metais pesados na cadeia alimentar, Chaney & Oliver (1996) citados por Silva et al. (2007) afirmam que as plantas se comportam como mecanismo de transferência de contaminantes do solo, para níveis mais altos na cadeia trófica, como também são barreiras importantes para essa transferência. As plantas restringem a absorção da maioria dos metais pesados do solo, de forma que os seres humanos, os animais e a vida selvagem não se encontram, de maneira geral, ameaçados pela presença desses contaminantes no solo.

Corrêa et al. (2008) trabalhando na mesma área experimental e com os mesmos resíduos (LC, LB, Lcal e E) concluíram que a aplicação superficial destes em um Latossolo Vermelho distrófico sob

SPD não trazem problemas ao ambiente, com relação aos metais pesados As, Cd, Cr, Hg, Ni e Pb. A aplicação dos resíduos LC, Lcal e E, além do calcário, proporcionaram o aumento dos teores de pH no solo, o que também foi observado neste trabalho decorrente dos mesmos tratamentos. Assim como, o incremento de matéria orgânica e CTC proporcionados no solo por esses mesmos resíduos mais o lodo de esgoto LB, que conferem ao Latossolo Vermelho distrófico maior poder tampão, o que provavelmente possibilitou maior adsorção dos metais pesados, reduzindo assim, a possibilidade da absorção pelos dois cultivos com aveia preta.

Em se tratando de lodos de esgoto, deve-se ressaltar que nos resíduos aplicados o teor de metais pesados estava abaixo dos limites máximos permitidos para lodos de esgoto, com base em legislação imposta por órgãos como a CETESB (1999) e o CONAMA (2006), que regulamentam pela utilização agrícola destes (Tabela 1), parâmetros que também foram considerados para a lama e para a escória de aciaria. Desta forma, contribuiu de maneira significativa para a baixa disponibilidade dos metais pesados no solo, e conseqüentemente sua reduzida absorção pelas plantas.

CONCLUSÕES - A aplicação superficial dos resíduos LC, LB, Lcal e E, até a dose de 8 Mg ha⁻¹, não promoveram alterações expressivas nos teores disponíveis de metais pesados no solo e não proporcionou fitotoxicidade a aveia preta.

REFERÊNCIAS – BERTON, R.S. Riscos de contaminação do agroecossistema com metais pesados. In: BETTIOL, W. & CAMARGO, O.A. (Eds.). Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2006. p. 259-268.
BETTIOL, W. & CAMARGO, O.A. (Eds.). Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2006. 347p.
CHANEY, R.L.; OLIVER, D.P. Sources, potential adverse effects and remediation of agriculture soil contaminants. In: SILVA, M.L. de S; VITTI, G.C.; TREVIZAM, A.R. Concentração de metais pesados em grãos de plantas cultivadas em solo com diferentes níveis de contaminação. *Pesq. Agr. Bras.* Brasília, DF, 42: 527-535, 2007.
COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Aplicação de lodos

de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas: critérios para projetos e operação. São Paulo, 1999. 32 p. (Manual técnico. Norma P4230).

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. 2006. Ministério do Meio Ambiente, Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006, Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=506/normas_01.htm>. Acesso 6 de ago. de 2008.

CORRÊA, J.C. et al. Correção da acidez e mobilidade de íons em Latossolo com aplicação superficial de escória, lama cal, lodos de esgoto e calcário. *Pesq. Agr. Bras.*, Brasília, DF, 42: 1307-1317, 2007.

CORRÊA, J.C. et al. Disponibilidade de metais pesados em Latossolo com aplicação superficial de escória, lama cal, lodos de esgoto e calcário. *Pesq. Agr. Bras.*, Brasília, DF, 43: 411-419, 2008.

MARQUES, M.O.; MELO, W.J.; MARQUES, T.A. Metais pesados e o uso de biossólidos na agricultura. In: TSUTIYA, M.T. et al. (Ed.). *Biossólidos na agricultura*. São Paulo: Sabesp, 2001. p.365-404.

PIERANGELI, M. A. P. et al. Adsorção e dessorção de cádmio, cobre e chumbo por amostras de latossolos pré-tratadas com fósforo. *R. Bras. Ci. Solo*, Viçosa, MG, 28: 377-384, 2004.

QUAGGIO, J.A. Acidez e calagem em solos tropicais. Campinas: IAC, 2000. 111 p.

RAIJ, B. van et al. Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. *Boletim Técnico do Instituto Agrônomo de Campinas* n. 100. 2. ed. rev. atual. Campinas, 1997. 285 p.

SILVA, A.P.; TORMENA, C.A.; IMHOFF, M.H. Intervalo hídrico ótimo. In: MORAES, M.H.; MÜLLER, M.M. L.; FOLONI, J.S.S. (Coords.). *Qualidade física do solo: métodos de estudo: sistemas de preparo e manejo do solo*. Jaboticabal: FUNEP, 2002. p. 1-20.

SILVEIRA, M.L.A.; ALLEONI, L.R.F.; GUILHERME, L.R.G. Biosolids and heavy metals in soils. *Sc. Agríc.*, Piracicaba, 60: 793-806, 2003.

TSUTIYA, M.T. et al. *Biossólidos na agricultura*. São Paulo: SABESP, 2001. 468 p.

VETTORAZZO, S.C.; AMARAL, F.C.S. do; CHITOLINA, J.C. Lixiviação de sais de um solo ácido tratado com lama de cal proveniente de indústria de papel. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27. Anais. Brasília, DF, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999. CD-ROM.

Tabela 1. Composição química dos resíduos utilizados no experimento e valores de concentração máxima permitida de metais pesados (CMP) para lodos de esgoto e resíduos.

Parâmetro	Unidade ⁽¹⁾	LC	LB	Lcal	E	CMP ⁽²⁾	CMP ⁽³⁾	CMP ⁽⁴⁾
Umidade	%	5	29	19	2			
Matéria orgânica	%	26	50	3	1			
Carbono orgânico	%	14,4	27,8	1,7	0,3			
Relação C/N	%	6/1	7/1	7/1	1/1			
pH	CaCl ₂	12,0	7,0	12,0	12,0			
Nitrogênio	g kg ⁻¹	25	40	4	3			
Fósforo	g kg ⁻¹	20	49	2	14			
Potássio	g kg ⁻¹	3,0	2,0	1,0	1,0			
Cálcio	g kg ⁻¹	280	20	370	230			
Magnésio	g kg ⁻¹	4	4	6	21			
Enxofre	mg kg ⁻¹	0,5	1,6	0,3				
Sódio	mg kg ⁻¹	640	500	20400	600			
Cobre	mg kg ⁻¹	72	760	90	16	4300	1500	
Ferro	mg kg ⁻¹	1600	36750	1096	22900			
Manganês	mg kg ⁻¹	104	218	158	34300			
Zinco	mg kg ⁻¹	660	2950	86	24	7500	2800	
Arsênio	mg kg ⁻¹	14	27	1,4	5	75	41	1000
Cádmio	mg kg ⁻¹	n.d. ⁽⁵⁾	0,1	n.d.	n.d.	85	31	n.a. ⁽⁶⁾
Cromo	mg kg ⁻¹	4	19	13	61	3000	1000	n.a.
Chumbo	mg kg ⁻¹	17	107	60	308	840	300	1000
Mercurio	mg kg ⁻¹	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	57	17	100
Níquel	mg kg ⁻¹	7	180	96	19	420	420	n.a.

⁽¹⁾base na matéria seca; ⁽²⁾CMP= em lodos de esgoto pela norma P4230 (CETESB, 1999); ⁽³⁾CMP= em lodos de esgoto pela resolução 375 (CONAMA, 2006); ⁽⁴⁾CMP= em resíduos pela NBR 10004 (ABNT, 2004); ⁽⁵⁾n.d.= abaixo do limite de determinação do método analítico empregado; ⁽⁶⁾n.a.= não aplicável (não descrito o limite na NBR 10004).

Tabela 2. Teor de metais pesados na aveia preta, decorrente da aplicação superficial dos resíduos LC, LB, Lcal e E, e do calcário (2 Mg ha⁻¹), no Sistema Plantio Direto. Botucatu, SP.

Dose Mg ha ⁻¹	Ano Agrícola 2005				Ano Agrícola 2006			
	Resíduos				Resíduos			
	LC	LB	Lcal	E	LC	LB	Lcal	E
	----- Cd (mg kg ⁻¹) -----				----- Cd (mg kg ⁻¹) -----			
0	0,00 C	0,00 D	0,00 D	0,00 B	0,00 D	0,00 B	0,00 B	0,00 B
2	0,00 cC	0,16 bC	0,30 aC	0,00 cB	0,17 bC	0,36 aA	0,00 cB	0,00 cB
4	0,22 bB	0,20 bB	0,42 aB	0,00 cB	0,32 aB	0,31 aA	0,00 bB	0,19 aAB
8	0,42 bA	0,25 cA	0,55 aA	0,37 bA	0,57 aA	0,46 abA	0,30 bA	0,39 bA
Média	0,16 b	0,15 b	0,32 a	0,09 c	0,26 a	0,28 a	0,08 b	0,15 b
Regressão	L**	Q**	Q**	Q**	L**	Q*	Q*	L**
Calcário	0,00 C	0,00 D	0,00 D	0,00 B	0,00 D	0,00 B	0,00 B	0,00 B
	----- Pb (mg kg ⁻¹) -----				----- Cr (mg kg ⁻¹) -----			
0	22,11 B	22,11 B	22,11 C	22,11 B	0,73 B	0,73 BC	0,73 C	0,73 A
2	31,38 bAB	56,85 aA	32,87 bAB	26,06 bB	0,84 bAB	1,16 abB	1,55 aB	1,03 abA
4	45,20 aA	32,67 abAB	24,79 bBC	21,77 bB	1,04 bAB	0,77 bBC	2,27 aA	1,37 bA
8	24,90 bB	56,25 aA	39,38 abA	46,36 aA	1,20 bA	3,32 aA	1,56 bAB	1,04 bA
Média	30,90 b	41,97 a	29,79 b	29,07 b	0,95 b	1,50 a	1,53 a	1,04 b
Regressão	Q*	ns	ns	L*	ns	Q**	Q**	ns
Calcário	16,93 B	16,93 B	16,93 C	16,93 B	0,00 C	0,00 C	0,00 D	0,00 B
	----- V (mg kg ⁻¹) -----				----- Ni (mg kg ⁻¹) -----			
0	0,00 B	0,00 C	0,00 D	0,00 B	3,41 AB	3,41	3,41	3,41 AB
2	0,00 bB	3,58 aB	1,81 abBC	0,00 bB	4,02 A	4,35	3,62	5,74 A
4	3,50 A	1,47 BC	1,25 CD	3,18 AB	1,80 bcB	6,15 a	4,17 ab	1,11 cB
8	0,00 cB	9,06 aA	5,04 bA	6,48 abA	3,98 A	5,05	4,30	2,67 B
Média	0,88 b	3,53 a	2,02 ab	2,41 a	3,30 ab	4,74 a	3,88 ab	3,23 b
Regressão	Q*	L**	L**	L**	ns	ns	ns	ns
Calcário	2,92 A	2,92 B	2,92 B	2,92 AB	3,39 AB	3,39	3,39	3,39 AB
	----- V (mg kg ⁻¹) -----				----- V (mg kg ⁻¹) -----			
0					2,00 C	2,00 B	2,00 B	2,00 B
2					6,73 AB	7,49 A	5,22 AB	7,55 AB
4					3,13 bBC	5,82 abAB	8,49 aB	6,34 AB
8					7,49 A	5,24 AB	8,05 B	8,31 A
Média					4,84	5,14	5,94	6,05
Regressão					ns	ns	L**	L*
Calcário					5,62 ABC	5,62 AB	5,62 AB	5,62 AB

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na linha, entre os resíduos, e maiúscula na coluna, entre as doses de cada resíduo e o calcário, não diferem estatisticamente a 1 e 5% pelo teste t (LSD). ns= não significativo, * = P < 0,05 e ** = P < 0,01; L= reg. linear e Q= reg. Quadrática.