

Elementos-traço no solo de áreas de pastagem implantadas pós-mineração de carvão em Santa Catarina**Mari Lucia Campos¹; Dreyce Kisholli Bueno²; David José Miquelluti³; Eduardo Silva Daniel⁴**¹CAV-UDESC, mari.lucia03@gmail.com; ²CAV-UDESC, dekakisholli@hotmail.com; ³CAV-UDESC, dmiquell@gmail.com; ⁴CAV-UDESC edudaniel@hotmail.com**RESUMO**

O objetivo do presente estudo foi avaliar os teores dos elementos Cu, Pb e Zn em solos construídos pós-mineração de carvão presentes em áreas destinadas à produção de pastagem. Das oito áreas avaliadas duas são áreas naturais e seis são áreas recuperadas localizadas em Volta Redonda (área D) Município de Treviso, São Roque (área E) no Município de Forquilha e Santa Rosa (áreas A, B, C e F) em Lauro Muller. As amostras de solo e na planta foram coletadas ao longo de uma transecção disposta no sentido da maior diagonal em cada área, sendo que os pontos de coletadas equidistavam 10 metros. Em cada ponto foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm. A caracterização química dos solos foi realizada segundo Tedesco et al. (1995) e a análise dos elementos-traço no solo e planta segundo método USEPA 3050 B. Foram obtidos baixos teores para os elementos Cu, Pb e Zn em solos, tanto para as áreas naturais, quanto para as áreas recuperadas. Estes resultados indicam que o material de origem utilizado para construção dos solos apresenta baixos teores destes elementos e que o solo construído não foi contaminado com resíduo de mineração.

Palavras-chave: metais pesados; solo construído, recuperação**ABSTRACT**

The objective of the present study was to evaluate the Cu, Pb and Zn elements contents in soils constructed after coal mining and designated to pasture land. Of the eight areas evaluated in this study, two are natural areas and six are areas recovered after coal mining. The areas located in Volta Redonda (area D) at Treviso municipality, São Roque (area E) at Forquilha municipality and Santa Rosa at Lauro Muller municipality (areas A, B, C and F). The soil and plant samples were collected along a transection arranged in the direction of the largest diagonal in each area, and the collected points were equidistant 10 meters. Soil samples were collected at depths of 0-20 and 20-40 cm. The chemical characterization soils was according to Tedesco et al. (1995) and the trace element analysis in the soil and plant according to USEPA 3050 B method. Low contents were obtained for Cu, Pb and Zn elements. These results indicate that the material used for soil construction had low content of these elements and that the soil constructed has not been contaminated coal pyrite residues.

Key-Words: heavy metal; soil constructed; recovery

INTRODUÇÃO

Os resíduos/rejeitos do carvão contêm sulfetos, como a pirita (FeS_2), que em contato com o ar e a água, oxidam-se, formando H_2SO_4 , e promovem a redução expressiva do pH de águas subterrâneas e superficiais, causando danos ao ecossistema local. No solo, os altos níveis de acidificação resultantes deste processo podem provocar a dissolução de elementos tóxicos como Cu, Ni, Zn, Mn, Fe, Al, S, As, Cr, Cd, Pb, entre outros, e deficiência de Mo, B, P, Ca e Mg na zona de raízes, dificultando o crescimento e o desenvolvimento de plantas e a contaminação do lençol freático (CAMPOS, 2003).

Os solos apresentam-se como um tampão natural que controla o transporte de elementos químicos e outras substâncias para a atmosfera, a hidrosfera e a biota (KABATAS-PENDIAS & PENDIAS, 2001). Porém, uma vez que, seu poder tampão é excedido, as águas superficiais, subterrâneas e a biosfera passam a ser atingidas devido à transferência de poluentes.

Nos casos onde o solos construídos¹ pós-mineração, e que o material contaminante foi removido ou isolado o risco de contaminação por estes elementos é muito baixo. Sendo que em áreas aonde a construção foi realizada com cuidado de remover e encapsular o resíduo-piritoso², o risco de contaminação por esses elementos tóxicos deve ser baixíssimo.

Elementos como, Cu, e Zn são essenciais para o crescimento dos vários organismos, desde bactérias até os seres humanos, mas, são requeridos em baixas concentrações (micronutrientes) e podem danificar sistemas biológicos (BERTON, 2000).

Entretanto, os elementos Ba e Pb não possuem função biológica (LOPES, 2010) e não há barreira placentária ou mamária para o Pb que se deposita no feto e no leite.

O Município de Lauro Muller possui o terceiro maior rebanho de bovinos da região sul de SC, com 12.870 animais (<http://www.sulinfoco.com.br/lauro-muller-avanca-na-producao-de-leite>), com destaque na produção de leite. A utilização de áreas recuperadas pós-mineração de carvão para produção de pastagem é uma demanda importante dessa região. Entretanto, questiona-se se há possibilidade de acúmulo de Ba, Cu, Pb e Zn nas plantas e animais, principalmente, em áreas nas quais a recuperação e construção topográfica não ocorreu ou foi realizada sem os cuidados necessários para impedir a mistura do resíduo-piritoso com o solo. Nestes casos o uso agropastoril de áreas recuperadas pós-mineração de carvão pode acarretar na entrada de elementos tóxicos na cadeia alimentar resultando em risco à saúde humana.

Existem evidências de que as plantas herbáceas utilizadas como forrageiras (pastagem) possuem maior tolerância ao excesso de metais no solo do que as arbóreas (BAKER, 1987). Exemplo de herbáceas que apresentam tolerância ao As, são a mucuna preta, o azevém, o amendoim forrageiro e o estilósante (MELO, 2006; MELO, 2009). O nabo forrageiro, a aveia preta (LIMA, 2008) e o feijão-de-porco (ROMEIRO, 2007) acumulam na parte aérea Cd e Pb, respectivamente. A aveia-preta, o girassol e a grama-batatais apresentam tolerância a altas concentrações de Pb no solo (ANDRADE et al., 2009). Entretanto, espécies como *Andropogon*

¹ A expressão solo construído, já utilizada por Kämpf et al. (1997) e Pinto (1997), Campos et al. (2003) indica construção topográfica de áreas que sofreram mineração a céu aberto ou áreas de bota fora que sofreram decapeamento. Solos Construídos são aqueles formados por materiais e procedimentos determinados pela ação humana e são fundamentalmente

antropogênicos e no ambiente passam a ter uma evolução pedogenética (KÄMPF et al., 2000).

² Neste relatório o termo resíduo-piritoso será utilizado como sinônimo dos outros termos técnicos, tais como, estéril e rejeito.

gayanus, *Panicum maximum*, *Paspalum* sp., *Brachiaria decumbens* e *Brachiaria brizantha* mostraram-se sensíveis à contaminação do solo por Cd e Zn (CARNEIRO et al., 2002).

Considerando o risco de acúmulo de elementos-traço no tecido vegetal e a ingestão desses, o presente estudo objetivou avaliar os teores de Cu, Pb e Zn em pastagem e solo coletados em áreas recuperadas pós-mineração de carvão e que possuem como uso futuro a produção de pastagem para produção de leite (bovinocultura de leite).

MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi conduzido em áreas recuperadas pós-mineração de carvão em três municípios da Bacia Carbonífera Catarinense integrantes da Associação dos Municípios da Região Carbonífera (AMREC).

Das oito áreas alvo, duas são áreas naturais e seis são áreas recuperadas pós-mineração de carvão. As áreas recuperadas encontram-se nas localidades Volta Redonda Município de Treviso, São Roque no Município de Forquilha e Santa Rosa em Lauro Muller. Todas as áreas estão sob responsabilidade da Carbonífera Criciúma, no que diz respeito à recuperação ambiental. Os Quadros 1 e 2 apresentam o nome das áreas, o número de pontos amostrados e características da recuperação.

As amostras de solo e planta foram coletadas ao longo de uma transecção disposta no sentido da maior diagonal em cada área, com os pontos de coleta equidistantes a 10 metros. As amostras de solo foram compostas de duas sub-amostras, distantes entre si, aproximadamente 2m. Em cada ponto foram coletadas amostras nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, e amostras de tecido vegetal (Figura 2). O número de pontos amostrados variou entre 5 e 22 pontos dependendo do tamanho da área.

Quadro 1. Denominação das áreas, número de pontos* amostrados e características do processo de reconstrução do solo.

Nome	Pontos*	Subsolo	Camada superficial
A	8	Estéreis de mineração	Material argilo-arenoso, horizonte A
B	6	Rejeitos carbono-piritoso	Material argilo-arenoso, horizonte A e turfa
C	9	Estéreis de mineração	Conformação dos estéreis de mineração, horizonte A e turfa
D	9	Finos e rejeito de carvão	Material argilo-arenoso muito compactado, horizonte A e turfa
E	22	Rejeitos carbono-piritoso	Material argilo-arenoso e horizonte A
F	6	estéreis e rejeitos carbono-piritosos	material argilo-arenoso e turfa
RSid	5	-	-
RLM	5	-	-

Quadro 2. Denominação das áreas adubação e vegetação utilizadas no processo de recuperação.

Nome	Adubação	Vegetação
A	cama de aves	Braquiária e espécies nativas
B		Braquiária e espécies nativas
C	cama de aves	Braquiária e espécies nativas
D	cama de aves	Braquiária e espécies nativas
E	Cama de aves	Braquiária (maior parte)
F	cama de aves	Braquiária e espécies nativas
RSid	-	Remanescente florestal
RLM	-	Remanescente florestal

O solo foi coletado com auxílio de trado holandês e pá-reta. As plantas foram coletadas nos mesmos pontos de coleta de solo com auxílio de tesoura de poda e o corte na altura de 5,0 cm do solo. As análises foram conduzidas no laboratório de Levantamento e Análise Ambiental do Departamento de Solos e Recursos Naturais, localizado no Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina (CAV-UDESC).

As amostras de solo e planta foram secas a 60 ± 5 °C em estufa com circulação de ar até peso constante. Após a secagem, as amostras de plantas foram trituradas e homogeneizadas em um almofariz de ágata até pó fino, e peneiradas a dimensões

inferiores a 145 mm. As amostras de solo foram peneiradas e 200 mm (terra fina seca ao ar-TFSA) e, destas, foram retiradas 20 g de solo que foram trituradas e homogeneizadas em um almofariz de ágata até pó fino, e peneiradas a dimensões inferiores a 145 mm. As amostras, tanto de solos quanto de plantas, foram peneiradas a 145 mm e submetidas à digestão ácida conforme método da USEPA 3050 B em bloco digestor.

A confiabilidade dos métodos analíticos empregados foi utilizado o NIST de solo SRM 2709A (San Joaquin), de plantas SRM 1575A (Pine). Também foram determinados os limites de detecção qualitativo instrumental (LDI) e do método analítico (LDM) de acordo com APHA (1998). Todas as análises foram realizadas em duplicata. A tabela 1 apresenta os LDI e os valores recuperados e certificados para as amostras NIST. Os elementos espectrômetro de emissão atômica com plasma acoplado indutivamente (ICP-OES).

Tabela 1. Valores de limite de detecção instrumental (LDI); teor recuperado e certificado para NIST San Joaquin soil (SRM 2709 A)

	Cu	Pb	Zn
	mg kg ⁻¹		
	SRM 2709 A		
Certificado	27	9,2	79
Recuperado	33	12	104
LDI	0,37	0,48	0,23

RESULTADO E DISCUSSÃO

Caracterização do solo

Os solos apresentaram baixos valores de pH e altos teores de Al trocável (Tabela 2). O Al trocável afeta o crescimento e desenvolvimento da pastagem.

As áreas RSd e RLM apresentam propriedades químicas semelhantes, tendo baixa SB, baixos valores de pH e altos teores de Al trocável, demonstrando que os solos da região são pobres

quimicamente e com caráter alítico (CAMPOS et al., 2003 e CAMPOS et al., 2010).

Os teores de Matéria orgânica (MO) das áreas recuperadas são considerados médios (SBCS, 2004) e refletem o uso de turfas como condicionante do solo. São exceção as áreas A e E as quais apresentaram teores de MO baixíssimos. A adubação orgânica, com o uso de cama de aves, aumentou o teor de P e SB (Tabela 2) garantindo assim o estabelecimento e desenvolvimento da pastagem. Esse aumento é observado principalmente nas áreas C, D e F.

Tabela 2. Teores de argila, de matéria orgânica (MO), de P, de Al trocável e soma de bases (SB = Ca + Mg + K + Na) e pH para os solos coletados nas áreas recuperadas (A-F) e áreas naturais (RSd e RLM).

Área	Argila	MO	pH	P	SB	Al
	g kg ⁻¹			mg kg ⁻¹		Cmolc Kg ⁻¹
A	379	5,0	4,3	10,3	3,8	8,0
B	422	18,3	4,6	28,4	8,8	7,3
C	90	38,3	3,9	150,8	6,6	2,5
D	252	16,2	3,5	50,5	7,0	11,4
E	309	4,8	4,4	1,2	7,2	3,3
F	308	23,3	4,1	55,8	4,4	6,0
RSd	390	33,1	3,4	2,9	1,7	12,5
RLM	378	22,7	3,8	1,2	4,0	12,6

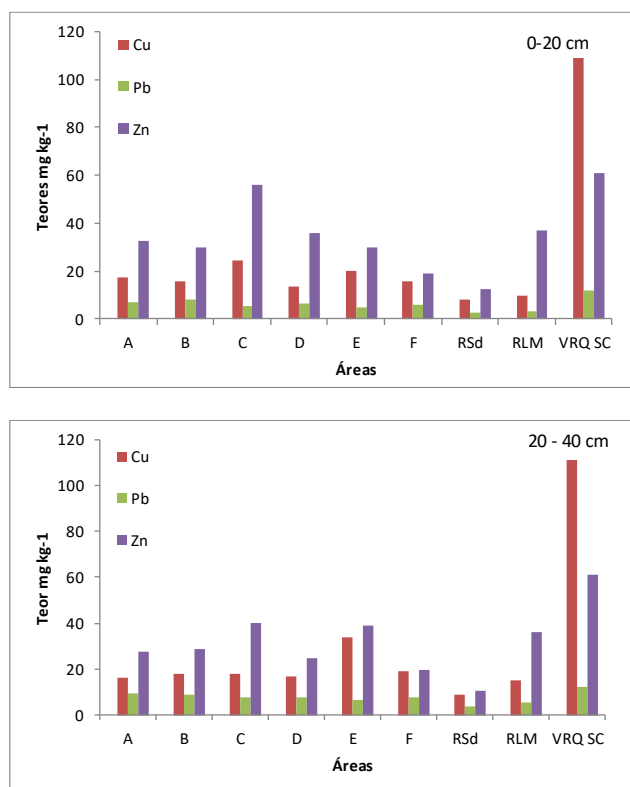
As áreas recuperadas apresentaram teores de argila inferiores às áreas naturais, com exceção da área B. Esta variação se deve ao uso de materiais argilo-arenosos na recuperação.

Teores de Cu, Pb e Zn no solo

Os teores de Cu, Pb e Zn obtidos para as áreas naturais são inferiores aos obtidos para áreas recuperadas nas duas profundidades (Figura 1). Entretanto os teores desses elementos nas áreas recuperadas são inferiores aos VRQ propostos para SC por Huguen (2010) e Huguen et al (2013), o que indica ausência de contaminação com resíduo

piritoso e que o material utilizado para construção do solo tem origem de áreas sem contaminação.

Figura 1. Teores medianos de Cu, Pb e Zn para profundidade de 0-20 cm e 20-40 cm para áreas recuperadas A B, C, D, E, F e naturais (RSd e RLM). Os VRQ (valor referência de qualidade) para Cu, Pb e Zn definidos por Huguen (2010) para solos de SC.



Os baixos teores de Cu, Pb e Zn indicam que esses elementos não oferecem risco à população circunvizinha e à atividade leiteira. Entretanto, não há como extrapolar esses dados para outras áreas recuperadas, já que o teor desses elementos depende da origem do material utilizado na construção do solo, da espessura da camada que recobre o resíduo-piritoso e da ausência de contaminação do solo construído com resíduo-piritoso.

A avaliação dos teores dos elementos antimônio (Sb), arsênio (As), bário (Ba), cádmio (Cd),

chumbo (Pb), cobalto (Co), cobre (Cu), cromo (Cr), mercúrio (Hg), molibdênio (Mo), níquel (Ni), prata (Ag), selênio (Se), vanádio (Va) e zinco (Zn) presentes na Resolução CONAMA 420/2009 antes da implantação do sistema agropastoril reduz o risco de exposição da população. Por isso recomenda-se que a avaliação dos teores de elementos tóxicos preceda a instalação desse sistema.

A avaliação dos teores deve ocorrer nas camadas de 0-20 e 20-40 cm e seguir critérios de coleta e análise estabelecidos pela Resolução CONAMA 420 (2009). O laboratório que realizar a análise deve ou possuir credenciamento pelo Inmetro ou apresentar no laudo amostras certificadas NIST, além de seguir protocolos USEPA ou ISO (CONAMA, 2009) garantindo assim a confiabilidade dos dados.

Teores de Cu, Pb e Zn na planta

Em todas as áreas foi observado mistura das espécies *Brachiaria brizantha* e *Brachiaria decumbens*. O teor encontrado na massa fresca das plantas coletadas foi de 2,7 mg kg⁻¹ para Cu, 9,0 mg kg⁻¹ para Pb e 10 mg kg⁻¹ para Zn. Os teores de Cu e Zn foram inferiores ao reportado por Silva et al. (2011) para *B. decumbens* de 5,5 e 11,50 mg kg⁻¹, respectivamente. Os teores de Pb foram inferiores a 30 mg kg⁻¹, que é o máximo tolerável para fornecimento para bovinos, segundo o NRC (1996).

CONCLUSÕES

Os teores dos elementos Cu Pb e Zn, das áreas naturais e das áreas recuperadas são inferiores ao VRQ para o Estado de SC.

Baixos teores de Cu, Pb e Zn forma encontrados no tecido das plantas.

Recomenda-se ainda que as áreas que apresentarem teores próximos aos valores de prevenção estabelecidos na Resolução 420 (CONAMA, 2009) não sejam destinadas aos

sistemas agropastoril e submetidas a análise de risco ecológico.

AGRADECIMENTOS

Ao MPFSC, JFSC, SATC, FAPESC e UDESC

REFERENCIAS

APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AWWA –AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WEF – WATER ENVIRONMENT FEDERATION. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 20th ed. USA: United Book Press, Inc. Baltimore, Maryland. 1998

BAKER, A. J. M. Metal tolerance. New Phytologist, London, v. 106, p. 93-111, 1987.

BERTON, R.S. Riscos de contaminação do agrossistema com metais-pesados. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. (Ed.) Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente, 2000.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução 420, de 28 de dezembro de 2009. Disponível em http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?co_dlegi=620 Acesso em: Maio. 2014.

CAMPOS, M.L. et al. Avaliação de três áreas de solo construídos após mineração de carvão a céu aberto em Lauro Müller, Santa Catarina. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 27, p. 1123-1137, 2003.

CAMPOS., M. L. C.; ALMEIDA, J.A.; SILVEIRA, C. B. DA.; GATIBONI, L. C.; JACKSON ADRIANO ALBUQUERQUE, J. A.; MAFRA, A. L.; MIQUELLUTI, D.J.; KLAUBERG FILHO, O.; SANTOS, J. C.P. Impactos no solo provocados pela mineração e depósito de rejeitos de carvão mineral. Revista de Ciências Agroveterinárias. Lages, v.9, n.2, p. 198-205, 2010.

CARNEIRO, M.A.C.; SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S. Comportamento de espécies herbáceas em misturas de solo com diferentes graus de contaminação com metais pesados. Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília, 37,11:1629-1638, 2002.

HUGEN, Camila. Valores de Referência para Teores de Cr, Cu, Ni, Pb e Zn em Solos do Estado de

Santa Catarina. Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciências Agroveterinárias / UDESC. Lages – SC. 2010. 70p

HUGEN, C.; MIQUELLUTI, D.; CAMPOS, M.L.; ALMEIDA, J.A. de.; FERREIRA, E. R.N.C.; POZZAN, M. Teores de Cu e Zn em perfis de solos de diferentes litologias em Santa Catarina. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.17, n.6, p.622–628, 2013.

KABATA-PENDIAS, A. & PENDIAS, H. **Trace elements in soil and plant**. 3.ed. Boca Raton, CRC, 2001. 413p.

LIMA, F.S. **Bioconcentração de Pb e Zn em partes comestíveis de hortaliças cultivadas em solos contaminados**. 2010. 76 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2010.

LOPES, D. Plantas nativas do cerrado uma alternative para fitorremediação. **Estudos**, Goiânia, 37, 3/4:419-437, 2010.

McBRIDE, M.B. Environmental chemistry of soil. New York, Oxford University Press, 406p. 1994.

MELO, R. F. de. Potencial de espécies vegetais para fitorremediação de um solo contaminado por arsênio. Viçosa: Ed. da UFV, 2006.

MELO, R.F.; DIAS, L.E.; MELLO, J. W.V.; OLIVEIRA, J.A. Potencial de quatro espécies herbáceas forrageiras para a fitorremediação de solo contaminado por arsênio. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 33:455-465, 2009.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. 1996. Nutrient requirements of beef cattle. 7. ed. Washigton National Academy of Science. 242p.

ROMEIRO, S. et al. Absorção de chumbo e potencial de fitorremediação de *Canavalia Ensiformes* L. *Bragantia*, Campinas, 66, 2: 327-334, 2007.

SANTOS, S.N. & ALLEONI, L.R.F. Reference values for heavy metals in soils of the Brazilian agricultural frontier in Southwestern Amazônia. Environmental Monitoring Assessment. V. 185, p. 5737-5748, 2012.

SILVA, A.M.C.; LANA, R.M.Q.; LANA, A.M.Q. Teores de micronutrientes em pastagem de *Brachiaria decumbens* fertilizada com cama de frango e fontes minerais. Biosci. J. 27: 32-40. 2011.



TEDESCO, M. J.; BASSANI, C. A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. Análises de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre: Faculdade de Agronomia. Departamento de Solos Universidade Federal do Rio Grande do Sul. RS, p. 174, 1995.