



Teores de Cu e Zn em perfis de solos de diferentes litologias em Santa Catarina

Camila Hugen¹, David J. Miquelluti², Mari L. Campos², Jaime A. de Almeida²,
Élen R. N. C. Ferreira³ & Marlucci Pozzan⁴

RESUMO

Os metais pesados têm origem principalmente no solo, por meio do intemperismo de rochas ricas nesses elementos. Objetivou-se, neste trabalho, avaliar os teores de Cu e Zn em 58 perfis modais das principais classes de solo do Estado de Santa Catarina, coletados em ambientes naturais não antropizados e derivados de diferentes litologias. Foram utilizadas 111 amostras de solo considerando-se horizontes A e B. Os teores de Cu e Zn foram extraídos com água régia e quantificados em absorção atômica. Para a análise dos resultados os dados foram categorizados utilizando-se, como variáveis, os teores de Cu e Zn; avaliaram-se o efeito de horizonte genético, perfil e o material de origem na distribuição desses metais através das técnicas de análise univariada. Os solos amostrados para este trabalho são derivados, na sua maioria, de rochas ígneas básicas, reflexo da sua quantidade expressiva no estado. Os resultados mostram que, em solos catarinenses, a concentração de Cu e Zn é relacionada à composição geoquímica do material de origem. Assim, referidos elementos podem ser usados na indicação da influência das diferentes litologias como, também, na definição da concentração de base para monitoramento ambiental.

Palavras-chave: perfis modais, material de origem, metais pesados

Cu and Zn contents in soil profiles of different lithologies in Santa Catarina

ABSTRACT

Heavy metals occur in the soil through the weathering of rocks rich in these elements. The objective of this study was to evaluate the contents of Cu and Zn in 58 modal profiles of the major soil types of the State of Santa Catarina, collected in natural soils without anthropogenic interference, and derived from different lithologies. One hundred and eleven soil samples were used from the A and B horizons. The Cu and Zn elements were extracted with Aqua Regia method and quantified by atomic absorption. For the analysis of the results, the data was categorized using as variables the concentrations of Cu and Zn, and the effect of genetic horizon, profile, and rock material on the distribution of these metals using univariate techniques was evaluated. The sampled soils for this study are mostly derived from igneous rocks, which reflects the significant amount of soil derived from these materials in the state. The results indicate that the concentrations of Cu and Zn in South Brazilian soils are related to the geochemical composition of the rock material. So, these elements can be used to indicate the influence of different lithologies and the baseline concentration to environmental monitoring.

Key words: modal profiles, rock material, heavy metals

¹ Programa de Pós-graduação em Manejo do Solo - Centro de Ciências Agroveterinárias/UEDESC. Av. Luis de Camões, 2090, CEP 88520-000, Lages, SC. Fone: (49) 3223-8693. E-mail: camilahugen@gmail.com

² Departamento de Solos e Recursos Naturais/UEDESC. CEP 88520-000, Lages, SC. Fone: (49) 2101-9154. E-mail: a2djm@cav.udesc.br; a2mlc@cav.udesc.br; a2jaa@cav.udesc.br

³ EPAGRI. Rua Jairo Luis Ramos, 214, Sagrado Coração de Jesus, CEP 88508-380, Lages, SC. Fone: (49) 9103-7220. E-mail: elen_0905@yahoo.com.br

⁴ Centro de Ciências Agroveterinárias/UEDESC. Rua Julio Romani, 144. Bairro Tonial, CEP 89820-000, Xanxerê, SC. Fone: (49) 9994-6994. E-mail: marlucipozzan@gmail.com

INTRODUÇÃO

O termo metais pesados é usado para denominar um grupo heterogêneo de elementos químicos nos quais se englobam metais, metaloides e não metais, como a prata (Ag), o arsênio (As), o boro (B), o cádmio (Cd), o cloro (Cl), o cobalto (Co), o cobre (Cu), o cromo (Cr), o ferro (Fe), o mercúrio (Hg), o molibdênio (Mo), o níquel (Ni), o chumbo (Pb), o selênio (Se), o urânio (U), o vanádio (V) e o zinco (Zn).

Metais pesados são elementos químicos relativamente estáveis, não degradáveis e com densidade maior que quatro, apresentando elevado caráter tóxico. Esses elementos vêm sendo associados a processos de contaminação afetando potencialmente organismos vivos e ecossistemas, resultado do incremento antropogênico no ambiente (Seebaugh et al., 2005; Cotta et al., 2006; Ferreira et al., 2010; Biondi et al., 2011; Oliveira & Marinsa, 2011). No solo o risco de contaminação por metais é intensificado por atividades industriais, agrícolas e de urbanização (Oliveira & Jucá, 2004; Andrade et al., 2009). Pode-se considerar que metais pesados são passíveis de acumulação, sobretudo no sistema solo, devido às suas características e por poder tornar-se fonte de disponibilização a outros sistemas ambientais.

A concentração natural de metais no solo é influenciada, em grande parte, pelo material de origem; entretanto, é importante considerar a ação conjunta de outros fatores. Tal fato pode ser visualizado em trabalhos estudando o mesmo material de origem e classes distintas de solo, e que se observa variabilidade nos teores de metais (Fadigas et al., 2002; Oliveira & Costa, 2004; Oliveira & Jucá, 2004; Biondi et al., 2011; Pelozato et al., 2011).

A maioria dos estudos em torno de metais pesados tem-se concentrado na avaliação dos efeitos da acumulação nos organismos nos diferentes ecossistemas, sobremaneira pelo incremento antrópico ao ambiente, transferência na cadeia alimentar e meios alternativos de remediação, sobretudo com vista à destinação inadequada de resíduos; apesar disto, a avaliação do comportamento desses elementos no solo pode ser fundamental em estudos ambientais.

O conhecimento de teores naturais possibilita definir valores orientadores de qualidade do sistema solo, além de avaliar o potencial de suprimento de nutrientes (Biondi et al., 2011; Pelozato et al., 2011).

A avaliação dos teores naturais de metais e da variabilidade da sua concentração em uma região pode ser obtida pela utilização de classes de solo representativas. Esses solos de referência devem ser coletados em locais com ausência mínima de atividade antrópica e possuir características conhecidas de classificação (USDA, 2010; Biondi et al., 2011). Desta forma, torna-se possível caracterizar a relação entre o material de origem e diferentes teores naturais de metais em classes de solo distintas.

O Estado de Santa Catarina possui uma área territorial de 95.913 km², o que corresponde a 16,61% da Região Sul e 1,11% da área total do Brasil.

Em virtude do grande número de unidades litoestratigráficas, a referência adotada pela EMBRAPA (2006) para o levantamento de solos é o mapa geológico do Estado de Santa Catarina

(1:500.000) elaborado pelo 11º Distrito do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM, 1986).

Assim, de leste para oeste é possível observar o afloramento de sedimentos recentes do litoral; em seguida, uma faixa de rochas magmáticas e metamórficas mais antigas, logo após a sucessão das rochas sedimentares gondwânicas e por último os derrames de lavas básicas, intermediárias e ácidas da Formação Serra Geral (EMBRAPA, 2006). É importante destacar que a maior parte da área do Estado é ocupada por rochas básicas e intermediárias, o que reflete a riqueza em metais pesados encontrados nos solos originados desses materiais geológicos.

Neste contexto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar teores extraíveis em água régia de dois metais pesados - Cu e Zn, em perfis modais de solo do Estado de Santa Catarina, provenientes de ambientes naturais não antropizados visando caracterizar a ocorrência de teores desses metais. Foi investigada a influência dos horizontes genéticos (A e B) dos perfis e do material de origem.

MATERIAL E MÉTODOS

As amostras de solo foram selecionadas das classes de solos mais representativas para o Estado de Santa Catarina. Utilizaram-se 111 amostras considerando-se horizontes A e B de 58 perfis modais (Figura 1).

Os solos selecionados nesse estudo são predominantemente de origem ígnea extrusiva, dos quais 38% formados de basalto e 17% de riodacito do Cretáceo, 6% de ígneas ultra básicas, 3% de sedimentos Quaternários, 12% de rochas sedimentares, 10% de rochas metamórficas, 6% de granito e 8% derivados de outros materiais.

As amostras foram coletadas em áreas sob mínima ou nenhuma atividade antrópica tendo, portanto, a concentração de base dos teores de Cu e Zn.

A concentração de base de determinado metal pesado representa o teor de um elemento químico em solos sem influência antrópica podendo ser estabelecido considerando-se a variação das classes e das propriedades físicas e químicas do solo (Paye et al., 2010).

Foram utilizados perfis previamente descritos por Almeida et al. (2003); Paes Sobrinho (2005); Corrêa (2004); Almeida et al. (2009); Bringhenti (2010); Teske (2010). Os perfis derivados das rochas provenientes do Domo Vulcânico de Lages foram descritos para este trabalho. As classes de solo e o número de perfis coletados por classe são apresentados na Tabela 1.

As variáveis estudadas se constituem nos teores totais de Cu e Zn (mg kg⁻¹) nos horizontes A e B dos solos analisados, considerando-se a relação entre os teores e o material de origem dos solos estudados.

Todas as análises químicas dos teores extraíveis em água régia de Cu e Zn no solo foram conduzidas no Departamento de Solos e Recursos Naturais do CAV - UDESC.

Considerando que a Resolução do CONAMA nº 420 de 2009 reconhece a legalidade do uso de métodos recomendados por International Standardization Organization (ISO) e pela Deutsches Institut für Normung (DIN) o método utilizado para abertura das amostras foi Água Régia (HCl + HNO₃) na proporção de 3:1 (ISO 11466, 1995; ISO 11047, 1998). A ISO

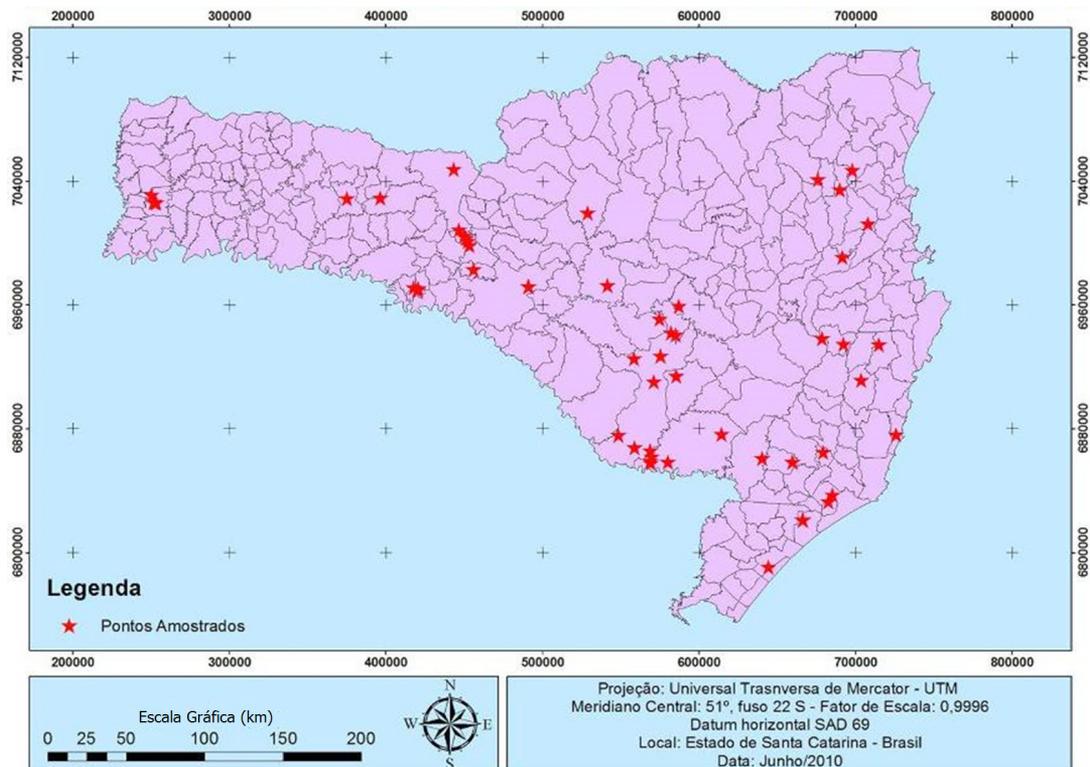


Figura 1. Distribuição dos perfis modais de solo amostrados no estado de Santa Catarina

Tabela 1. Classes de solo e número de perfis representados pelas amostras

| Solos ¹ | Número de perfis |
|--------------------|------------------|
| Argissolo | 16 |
| Cambissolo | 10 |
| Chernossolo | 3 |
| Latossolo | 4 |
| Neossolo | 6 |
| Nitossolo | 12 |
| Não classificados | 7 |

¹Classificação do 1º Nível categórico – Ordens, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solo (EMBRAPA, 2006)

11466 recomenda a extração de Cd, Cr, Co, Cu, Pb, Mn, Ni e Zn em água régia com determinação em espectrometria de absorção atômica haja vista que a determinação desses elementos por chama ou forno de grafite depende das suas concentrações nas amostras e os solos dessa região são relativamente ricos em metais pesados, conforme estudos anteriores (Pelozato et al., 2011).

A fração terra fina secada ao ar (TFSA) das amostras, foi submetida a trituração e homogeneizada em almofariz de ágata até pó fino com dimensões inferiores a 145 µm. Foram utilizadas subamostras de 0,75 g de solo triturado e moído, com digestão em 0,5 mL de H₂O e 7 mL da solução de água régia. Após a adição da água régia as amostras permaneceram em temperatura ambiente, durante 16 h e mais duas horas em bloco digestor, cuja temperatura foi de 90 ± 5 °C. Após o resfriamento das amostras foram adicionados 10 mL de H₂O destilada e procedida a filtração.

As determinações nas alíquotas foram feitas por espectrofotometria de absorção atômica com atomização em chama ar-acetileno modelo Perkin Elmer AA200, sendo

utilizados parâmetros operacionais recomendados pelo fabricante; todas as análises de laboratório foram conduzidas em duplicata.

Salienta-se que foram incluídas, nas análises, amostra NIST 2709a (San Joaquim soil) e provas em branco. A amostra NIST 2709a foi submetida a digestão em água régia e pelo método 3050 B enquanto as provas em branco foram utilizadas para cálculo do LDQM (Limite de Detecção Qualitativo do Método Analítico). O LDQM foi calculado segundo a equação $LDQ = Fd \times (M \pm t \times s)$ (APHA, 1989) em que Fd é o fator de diluição das amostras, M é a média das provas em branco, t é o valor t-Student para um intervalo de confiança de 99%, em função do número de graus de liberdade de medições repetidas (3,1 no caso de 8 repetições) e s é o desvio padrão das provas em branco. Os valores obtidos para LDQM para Cu e Zn foram de 0,86 e 3,15 mg kg⁻¹, respectivamente.

A análise dos resultados foi efetuada em duas etapas, sendo a primeira uma descrição geral dos dados, com o objetivo de identificar tendências e pontos discrepantes; foram considerados pontos discrepantes aqueles exteriores ao intervalo $[Q1 - 1,5Dq; Q3 + 1,5Dq]$ em que Q1 e Q3 são os primeiro e terceiro quartis, respectivamente, e Dq é o desvio quartílico; a segunda etapa constou da aplicação da análise da variância a partir de um modelo linear hierárquico de efeitos fixos em três níveis, com base nos modelos lineares clássicos. Foram considerados os horizontes no primeiro nível, os perfis no segundo nível e o material de origem no terceiro nível. As comparações foram testadas através dos testes F, Scott-Knott e t de Student. Para este último teste e com o objetivo de minimizar o risco de ocorrência de erro tipo II, os valores de probabilidade foram ajustados por simulação (SAS, 2003; Littell et al., 2006). Para contemplar as pressuposições teóricas implícitas nos

referidos testes, constatou-se a necessidade de se transformar as variáveis estudadas somando-se uma unidade aos seus valores e se extraindo, a seguir, o logaritmo natural (transformação logarítmica) conforme sugerido pela análise descritiva dos dados porém os resultados são apresentados na escala original dessas variáveis.

Todas as análises foram conduzidas usando-se o software SAS® (SAS, 2003) e o software R (R Development Core Team, 2008). Para todos os testes efetuados foi considerado o nível mínimo de significância de 0,05.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados analíticos dos teores de Cu e Zn para as diferentes litologias amostradas se encontram, respectivamente, na Tabela 2. As concentrações de Cu variaram entre os diferentes materiais formadores (Tabela 2).

Tabela 2. Teores de Cu e Zn em solos derivados de diferentes litologias do Estado de Santa Catarina

| Litologia | Cu | | Zn | |
|----------------------|-----------------------------------|--------------------|-----------------------------------|--------------------|
| | Teor médio mg kg ⁻¹ | Grupo ¹ | Teor médio mg kg ⁻¹ | Grupo ¹ |
| Andesito basalto | 213,3 | A | 81,6 | A |
| Basalto | 149,1 | B | 71,6 | A |
| Olivina melilitito | 49,0 | C | 89,1 | A |
| Riodacito | 66,9 | C | 85,6 | A |
| Horblendito | 12,5 | D | 68,1 | A |
| Siltito | 15,9 | D | 43,2 | B |
| Granulitomáfico | 5,9 | E | 49,3 | B |
| Granito e granulito | 6,0 | E | 50,1 | B |
| Micaxisto | 8,3 | E | 20,6 | C |
| Siltito e arenito | 7,5 | E | 31,8 | C |
| Argilito e siltito | 3,7 | F | 23,2 | C |
| Fonolito | 3,2 | F | 19,2 | C |
| Fonolito porfirítico | 4,0 | F | 18,4 | C |
| Migmatito | 3,5 | F | 13,7 | D |
| Sienitoporfirítico | 4,2 | F | 16,6 | D |
| Arenito e siltito | 2,4 | G | 14,8 | D |
| Granito | 2,0 | G | 15,6 | D |
| Metaarenito | 2,0 | G | 11,1 | E |
| Sedimentos arenosos | 0,3 | H | 8,7 | E |
| Concentração média | 29,5 | | 38,5 | |

¹ Letras iguais categorizam o mesmo grupo de materiais de origem de acordo com o teste Scott-Knott ($P > 0,05$)

Os solos derivados de andesito basalto e de basalto, apresentaram concentrações médias superiores de Cu em relação às demais litologias (213,3 e 149,1 mg kg⁻¹, respectivamente) seguidos daqueles originados de olivina melilitito (48,9 mg kg⁻¹) e riodacito (66,9 mg kg⁻¹). Os solos desenvolvidos sobre sedimentos arenosos apresentaram as menores concentrações médias de Cu (0,3 mg kg⁻¹) uma vez que são materiais com predominância da fração areia, na maioria quartzosa e, naturalmente, pobres em metais pesados.

Ressalta-se que concentrações elevadas de Cu e Zn são comuns em solos desenvolvidos de basalto em que seu oposto é observado para materiais mais arenosos enquanto outros metais pesados podem apresentar comportamento variado (Oliveira & Costa, 2004). Isso denota que os metais avaliados neste estudo se relacionam, de fato, ao material de origem do solo.

Os teores de Cu encontrados corroboram com resultados comparados a solos de outras regiões do País. Campos et al. (2003) observaram, analisando 19 Latossolos de várias regiões brasileiras e formados a partir de vários materiais de origem, teores de Cu se situaram entre 3 e 238 mg kg⁻¹ sendo que as maiores concentrações de metais foram observadas nos solos derivados de rochas máficas. Marques et al. (2004) encontraram teores de Cu de entre 159 mg kg⁻¹ para solos do Cerrado brasileiro derivados de basalto e 34 mg kg⁻¹ para solos derivados de gnaiss.

Para os solos derivados de fonolito e defonolito porfirítico, as concentrações médias de Cu foram relativamente baixas (3,2 e 3,9 mg kg⁻¹, respectivamente). Considerando a natureza do magma que dá origem a esses materiais, previam-se concentrações maiores; entretanto, o método utilizado resulta numa abertura parcial o que pode ter interferido nos resultados obtidos não apenas para esses materiais quanto também para materiais arenosos. Um fator relevante é que, dentre os solos derivados de fonolito, uma das classes é o Neossolo, razão pela qual se torna passível explicar as baixas concentrações deste elemento; por outro lado, também pode ter contribuído para que metais mais eletronegativos tendam a formar ligações covalentes mais intensas com o oxigênio das superfícies minerais. Para espécies químicas divalentes, as energias das ligações refletem seu caráter covalente e podem, portanto, ser retidas mais fortemente na matriz do solo não sendo acessadas totalmente pelo método de extração.

Neste sentido e considerando a variabilidade de concentrações de teores naturais de metais em solos, Biondi et al. (2011) reforçam a necessidade de estudos regionalizados para determinação desses elementos.

As concentrações de Zn apresentaram comportamento mais uniforme entre os materiais de origem quando comparadas com as concentrações de Cu (Tabela 2).

Para as concentrações médias de Zn, dois materiais se destacaram: as rochas ígneas extrusivas básicas da Formação Serra Geral e as rochas ultrabásicas e ultramáficas pertencentes ao Domo Vulcânico de Lages. De fato, os solos derivados desses materiais apresentaram as maiores concentrações médias de Zn, sendo agrupados em um único grupo. Os teores mais altos de Zn foram obtidos nos solos derivados de andesito basalto (89,1 mg kg⁻¹) e de olivina melilitito (85,6 mg kg⁻¹). Os solos derivados de sedimentos arenosos apresentaram as menores concentrações médias também para o elemento Zn (8,7 mg kg⁻¹).

Na Tabela 3 são apresentadas as concentrações médias de Cu e Zn para solos nacionais e para o conjunto das 111 amostras deste estudo. Considerando-se as médias nacionais, as médias catarinenses foram maiores que os valores informados por Fadigas et al. (2006).

Tabela 3. Teores normais de Cu e Zn para solos nacionais em comparação com a média geral obtida para as amostras de solos do Estado de Santa Catarina

| Elemento | Localidade | |
|----------|-------------------------------------|-----------------|
| | Brasil ¹ | SC ² |
| | Concentração em mg kg ⁻¹ | |
| Cu | 16 | 29 |
| Zn | 24 | 39 |

¹ Valores obtidos a partir de 256 amostras de solos procedentes de vários estados brasileiros (Fadigas et al., 2006); ² Obtidos a partir de 111 amostras de solos procedentes de vários locais do Estado de Santa Catarina

Fadigas et al. (2002) ressaltam que variações podem decorrer tanto da diversidade de solos como dos métodos de extração utilizados. Assim e embora o método de análise seja o mesmo (Água Régia) deve-se considerar que os solos amostrados em

Santa Catarina são predominantemente derivados de basalto, material naturalmente rico em metais pesados.

Quando comparado o efeito do perfil dentro do material basalto (Tabela 4) observa-se que os solos pertencentes às

Tabela 4. Teores de Cu e Zn para solos do Estado de Santa Catarina nos diferentes perfis em cada material de origem

| Litologia | Perfil | Classe ¹ | Local | Cu | | Zn | |
|----------------------|--------|---------------------|--------------------|------------|--------------------|------------|--------------------|
| | | | | Teor médio | Grupo ² | Teor médio | Grupo ² |
| Basalto | P1 | Nitossolo | Painel | 77,9 | B | 42,7 | B |
| Basalto | P2 | Nitossolo | Lebon Regis | 94,4 | B | 52,9 | B |
| Basalto | P5 | Nitossolo | Campos Novos | 91,8 | B | 34,9 | B |
| Basalto | P12 | Não classificado | Lages | 94,7 | B | 53,3 | B |
| Basalto | P15 | Cambissolo | Bom Jardim | 106,2 | B | 53,9 | B |
| Basalto | P23 | Nitossolo | Lages | 118,6 | B | 73,4 | B |
| Basalto | P24 | Nitossolo | Lages | 157,7 | B | 85,2 | B |
| Basalto | P34 | Latossolo | Faxinal dos Guedes | 79,1 | B | 54,8 | B |
| Basalto | P35 | Latossolo | Campos Novos | 117,9 | B | 54,7 | B |
| Basalto | P36 | Latossolo | Curitibaanos | 106,7 | B | 45,2 | B |
| Basalto | P45 | Cambissolo | Descanso | 321,3 | A | 105,8 | B |
| Basalto | P46 | Chernossolo | Descanso | 301,8 | A | 76,5 | B |
| Basalto | P47 | Chernossolo | Descanso | 238,5 | A | 94,6 | B |
| Basalto | P48 | Nitossolo | Descanso | 298,9 | A | 94,1 | B |
| Basalto | P49 | Nitossolo | Ipira | 222,1 | A | 83,8 | B |
| Basalto | P50 | Chernossolo | Ipira | 141,1 | B | 95,4 | B |
| Basalto | P51 | Argissolo | Ipira | 126,7 | B | 107,7 | B |
| Basalto | P52 | Neossolo | Ipira | 225,3 | A | 91,5 | B |
| Basalto | P55 | Nitossolo | Luzerna | 159,4 | B | 78,9 | B |
| Basalto | P56 | Cambissolo | Luzerna | 158,0 | B | 93,2 | B |
| Basalto | P57 | Nitossolo | Luzerna | 147,6 | B | 61,9 | B |
| Basalto | P58 | Não classificado | Erval Velho | 223,2 | A | 127,1 | A |
| Riodacito | P4 | Nitossolo | Ponte Serrada | 27,6 | B | 65,6 | B |
| Riodacito | P11 | Não classificado | Lages | 94,2 | A | 56,7 | B |
| Riodacito | P20 | Cambissolo | Lages | 59,4 | A | 32,0 | B |
| Riodacito | P21 | Cambissolo | Lages | 66,4 | A | 51,2 | B |
| Riodacito | P22 | Cambissolo | Lages | 54,5 | A | 43,8 | B |
| Riodacito | P25 | Cambissolo | Lages | 72,8 | A | 59,8 | B |
| Riodacito | P26 | Cambissolo | Lages | 68,1 | A | 41,5 | B |
| Riodacito | P43 | Neossolo | São Joaquim | 38,7 | A | 63,3 | B |
| Riodacito | P53 | Nitossolo | Luzerna | 106,2 | A | 28,3 | B |
| Riodacito | P54 | Nitossolo | Luzerna | 154,7 | A | 83,4 | A |
| Granito | P29 | Neossolo | Sangão | 0,3 | B | 29,9 | A |
| Granito | P30 | Cambissolo | São Sebastião | 4,2 | A | 50,8 | A |
| Granito | P31 | Argissolo | São Gabriel | 3,4 | A | 21,1 | B |
| Siltito e arenito | P17 | Argissolo | Içara | 6,6 | A | 20,1 | A |
| Siltito e arenito | P32 | Argissolo | Içara | 8,4 | A | 23,4 | A |
| Siltito e arenito | P37 | Argissolo | Içara | 7,5 | A | 15,1 | A |
| Arenito e siltito | P19 | Argissolo | Lauro Müller | 1,8 | A | 11,2 | A |
| Arenito e siltito | P33 | Argissolo | Lauro Müller | 3,3 | A | 16,9 | A |
| Fonolito | P6 | Neossolo | Lages | 5,7 | A | 35,0 | A |
| Fonolito | P7 | Não classificado | Lages | 1,6 | A | 53,2 | A |
| Granulitomáfico | P39 | Argissolo | Luis Alves | 15,9 | A | 21,2 | A |
| Granulitomáfico | P42 | Argissolo | Blumenau | 1,8 | B | 20,0 | A |
| Migmatito | P27 | Argissolo | Águas Mornas | 1,9 | B | 17,1 | B |
| Migmatito | P28 | Argissolo | São Bonifácio | 6,1 | A | 31,3 | A |
| Sedimentos arenosos | P16 | Neossolo | Imbituba | 0,0 | A | 9,0 | A |
| Sedimentos arenosos | P18 | Neossolo | Araranguá | 0,7 | A | 8,4 | A |
| Andesito basalto | P3 | Nitossolo | Água Doce | 213,3 | - | 81,6 | - |
| Argilito e siltito | P13 | Argissolo | Alfredo Wagner | 3,7 | - | 11,1 | - |
| Fonolito porfirítico | P10 | Não classificado | Lages | 4,0 | - | 89,1 | - |
| Granito e granulito | P14 | Argissolo | Rancho Queimado | 6,0 | - | 16,6 | - |
| Horblendito | P38 | Argissolo | Pomerode | 12,5 | - | 49,3 | - |
| Metaarenito | P41 | Argissolo | Gaspar | 2,0 | - | 14,8 | - |
| Micaxisto | P40 | Argissolo | Botuverá | 8,3 | - | 15,6 | - |
| Olivina melilitito | P9 | Não classificado | Lages | 49,0 | - | 85,6 | - |
| Siltito | P44 | Cambissolo | Otacílio Costa | 15,9 | - | 18,4 | - |
| Sienitoporfirítico | P8 | Não classificado | Lages | 4,2 | - | 68,1 | - |

¹ Classificação do 1º Nível categórico – Ordens, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solo (EMBRAPA, 2006);

² Letras iguais categorizam o mesmo grupo de perfis dentro de cada material de origem de acordo com o teste t ($P > 0.05$); Sinal utilizado: Perfil único, não se aplica comparação

encostas basálticas do Estado de Santa Catarina apresentaram concentrações médias altas para Cu e Zn, embora para o elemento Zn somente haja diferença significativa em relação ao perfil 58; contudo, para o elemento Cu os Chernossolos e alguns horizontes A de solos originados de outros materiais também apresentaram concentrações elevadas. Isto pode ser explicado pelo fato de que os elementos Cu e Zn apresentam afinidade com a fração matéria orgânica do solo, correlacionando-se positivamente (Melo et al., 2008).

O Cu é um dos metais pesados menos móveis no solo devido à sua forte adsorção nos coloides orgânicos e inorgânicos do solo, sendo retido por ácidos húmicos e fúlvicos, formando complexos estáveis. A adsorção específica de metais a coloides orgânicos resulta da formação de moléculas estáveis com elevada energia de ligação, formando complexos de esfera interna. Esse tipo de ligação é mais lento que a formação de complexos de esfera externa e pouco afetado pela força iônica da solução. Assim, metais adsorvidos especificamente na superfície de coloides difundem para o interior das partículas, apresentando difícil dessorção (Silva & Mendonça, 2007).

Observou-se, no caso Zn, menor variação de grupos, principalmente para o material basalto, o que denota, neste caso, maior influência da composição química do material rochoso do que das propriedades das classes de solo.

Ressalta-se que as diferenças entre os teores naturais de metais pesados em solos são atribuídas sobretudo ao material de origem e a fatores pedogenéticos (Paye et al., 2010). Mesmo em condições rigorosas de intemperismo durante a pedogênese e a exemplo do que ocorre com solos tropicais, a rocha mãe ainda exerce influência no conteúdo de metais pesados no solo. Essa influência é representativa quando o solo tem rochas básicas como material formador, em particular as rochas máficas que, devido à origem do magma, são naturalmente ricas em metais. Rochas sedimentares e ígneas ácidas cristalinas apresentam concentrações bem menores de metais pesados.

Considerando que as condições de formação podem apresentar peculiaridades locais, essas variações podem ser atribuídas às propriedades químicas e físicas, não apenas da classe do solo, mas de cada perfil de solo.

Assim, os processos pedogenéticos que expressam o grau de intemperismo de formação, podem ser determinantes para a variação não só das características em solos mais desenvolvidos mas também dos teores de metais pesados (Paye et al., 2010).

CONCLUSÕES

1. Os teores de Cu e Zn em solos formados “in situ” são indicativos do material de origem, podendo ser usados na determinação da influência de diferentes litologias.
2. Os teores de Cu apresentam maior variação tanto para o fator material de origem quanto para o fator perfil.
3. Os teores de Zn se relacionam diretamente com as características do material de origem, sobremaneira quando se consideram as variações entre perfis dentro de um mesmo material de origem.
4. A comparação entre materiais de formação mostrou-se um procedimento promissor no estudo das relações entre o material de origem, o perfil e o teor de Cu e Zn no solo.

LITERATURA CITADA

- Almeida, J. A.; Cararo, D. C.; Uberti, A. A. A. Genesis of the sombric horizon in Ultisols (red argisols) in southern Santa Catarina, Brazil. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v.33, p.405-416, 2009.
- Almeida, J. A.; Torrent, J.; Barrón, V. Cor de solo, formas de fósforo e adsorção de fosfato em latossolos desenvolvidos de basalto do extremo-sul do Brasil. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v.27, p.985-1002, 2003.
- Andrade, M. G. de; Melo, Vander de F.; Gabardo, J.; Souza, L. C. de P.; Reissmann, C. B. Metais pesados em solos de área de mineração e metalurgia de chumbo. I - Fitoextração. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v.33, p.1879-1888, 2009.
- APHA - American Public Health Association. Standard methods for the examination of water and waste. 17.ed. Washington: APHA, 1989. 1215p.
- Biondi, C. M.; Nascimento, C. W. A. do; Fabricio Neta, A. de B.; Ribeiro, M. R. Teores de Fe, Mn, Zn, Cu, Ni e Co em solos de referência de Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v.35, p.1057-1066, 2011.
- Briguenti, I. Mineralogia e gênese dos solos das serras litorâneas do norte catarinense. Lages: UDESC, 2010. 111p. Dissertação Mestrado
- Campos, M. L.; Pierangeli, M. A. P.; Guilherme, L. R. G.; Marques, J. J.; Curi, N. Baseline concentration of heavy metals in brazilian Latosols. *Communication Soil Science and Plant Analysis*, v.34, p.547-557, 2003.
- Corrêa, J. Mineralogia e gênese das principais classes de solos de encostas basálticas do Estado de Santa Catarina. Lages: UDESC, 2004. 92p. Dissertação Mestrado
- Cotta, J. A. O.; Rezende, M. O. O.; Piovani, M. R. Avaliação do teor de metais em sedimento do rio Betari no Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira - PETAR, São Paulo, Brasil. *Revista Química Nova*, v.29, p.40-45, 2006.
- DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral - 11º Distrito. Mapa geológico do Estado de Santa Catarina. Florianópolis: DNPM/CRM-SECTME/SC, 1986.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006. 306p.
- Fadigas, F. de S.; Amaral Sobrinho, N. M. B. do; Mazur, N.; Anjos, L. H. C. dos; Freixo, A. A. Concentrações naturais de metais pesados em algumas classes de solos brasileiros. *Bragantia*, v.61, p.151-159, 2002.
- Fadigas, F. de S.; Amaral Sobrinho, N. M. B. do; Mazur, N.; Anjos, L. H. C. dos; Freixo, A. A. Proposição de valores de referência para a concentração natural de metais pesados em solos brasileiros. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, p.699-705, 2006.
- Ferreira, A. P.; Horta, M. A. P.; Cunha, C. de L. N. da. Avaliação das concentrações de metais pesados no sedimento, na água e nos órgãos de *Nycticorax nycticorax* (Garça-da-noite) na Baía de Sepetiba, RJ, Brasil. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, v.10, p.229-241, 2010.
- Littel, R. C.; Milliken, G. A.; Stroup, W. W.; Wolfinger, R. D.; Schabenberger, O. SAS® for Mixed Models, 2.ed. Cary: SAS Institute Inc.: 2006. 834p.

- Marques, J. J.; Schulze, D. G.; Curi, N.; Mertzman, S. A. Trace element geochemistry in Brazilian Cerrado soils. *Geoderma*, v.121, p.31-43, 2004.
- Melo, E. E. C.; Nascimento, C. W. A.; Santos, A. C. Q.; Silva, A. S. Disponibilidade e fracionamento de Cd, Pb, Cu e Zn em função do pH e tempo de incubação com o solo. *Ciência Agrotecnologia*, v.32, p.776-784, 2008.
- Oliveira, F. J. S.; Jucá, J. F. T. Acúmulo de metais pesados e capacidade de impermeabilização do solo imediatamente abaixo de uma célula de um aterro sanitário de resíduos sólidos. *Engenharia Sanitária Ambiental*, v.9, p.211-217, 2004.
- Oliveira, R. C. B. de; Marinsa, R. V. Dinâmica de metais-traço em solo e ambiente sedimentar estuarino como um fator determinante no aporte desses contaminantes para o ambiente aquático: Revisão. *Revista Virtual Química*, v.3, p.88-102, 2011.
- Oliveira, T. S.; Costa, L. M. da. Metais pesados em solos de uma topolitosseqüência do triângulo mineiro. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v.28, p.785-796, 2004.
- Paes Sobrinho, J. B. Mineralogia da fração argila de solos das Serras do Leste Catarinense. Lages: UDESC, 2005. 100p. Dissertação Mestrado
- Paye, H. de S.; Mello, J. W. V. de; Abrahão, W. A. P.; Fernandes Filho, E. I.; Dias, L. C. P.; Castro, M. L. O.; Melo, S. B. de; França, M. M. Valores de referência de qualidade para metais pesados em solos no estado do Espírito Santo. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v.34, p.2041-2051, 2010.
- Pelozato, M.; Hugen, C.; Campos, M. L.; Almeida, J. A. de; Silveira, C. B. da; Miquelluti, D. J.; Souza, M. C. de. Comparação entre métodos de extração de cádmio, cobre e zinco de solos catarinenses derivados de basalto e granito-migmatito. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, v.10, p.54-61, 2011.
- R Development Core Team 2008. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for statistical computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org>. 19 Nov. 2010.
- SAS Institute Inc. ®SAS. Ver. 9.1.3. Cary: SAS Institute Inc. Lic. UDESC. 2003.
- Seebaugh, D. R.; Goto, D.; Wallace, W. G. Bioenhancement of cadmium transfer along a multi-level food chain. *Marine Environmental Research*, v.59, p.473-491, 2005.
- Silva, I. R.; Mendonça, E. S. Matéria orgânica do solo. In: Novais, R. F.; Alvarez V., V. H.; Barros, N. F.; Fontes, R. L. F.; Cantarutti, R. B.; Neves, J. C. L. (ed.) *Fertilidade do solo*. Viçosa: SBCS, 2007. n.1, p.275-374.
- Teske, R. Relações solo - litologia numa seqüência de solos desenvolvidos de rochas efusivas no planalto de Santa Catarina. Lages: UDESC, 2010. 123p. Dissertação Mestrado
- USDA - United States Department of Agriculture. <<http://www.soils.usda.gov/technical/handbook/contents/part630.html>>. 12 Dez. 2010.