

Estudo do risco ambiental atrelado ao armazenamento de veículos sobre o solo

Os veículos automotivos são uma potencial fonte de contaminação de solos por metais pesados, devido utilizarem baterias chumbo-ácidas e possuírem metais em sua carcaça e na pintura como pigmentos. Compreender as características de contaminação de metais pesados em solos e identificar a sua exposição ambiental fornecem informações importantes para a tomada de decisões para a remediação de solos contaminados. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a contaminação por metais (Cd, Pb, Ni, Zn, Cu e Cr) em 35 amostras de solo (fração < 2 mm). As amostras foram coletadas em dois depósitos de veículos apreendidos da Polícia Rodoviária Federal (PRF) sem impermeabilização, localizados em Araucária (AR) e Colombo (CL), região metropolitana de Curitiba/PR, Brasil. Foram realizados ensaios para determinação de carbono orgânico (CO) e pH. Para as análises de metais, as amostras foram preparadas conforme metodologia de digestão ácida EPA 3050-B e a leitura realizada por ICP-OES. Os resultados foram avaliados conforme a resolução CONAMA 420, índice de geoacumulação (Igeo), fator de contaminação (CF) e correlação de Pearson. A composição textural em AR e CL refletem elevada heterogeneidade e características químicas e físicas distintas. A região de AR apresentou maior teor de areia, pH mais ácido e concentração dos elementos analisados entre os valores de prevenção e investigação previsto na Resolução CONAMA 420/2009. CL demonstrou maior teor de argila e CO. CL apresentou pH menos ácido que em AR. Apenas um ponto coletado em CL apresentou concentração de Cu acima do valor de prevenção. O elemento Cd ficou abaixo do limite de detecção do método em AR e CL. A distribuição espacial de veículos associado à textura do solo e elementos analisados, demonstram uma distribuição superficial de elementos aleatória. O teor de CO, pH do solo e sua textura, associado ao Igeo, CF e correlação de Pearson, sugere que ambos os ambientes sofrem aporte de metais em pontos distintos. Fica evidente o aporte de metais pesados em depósito de veículos e do possível impacto antropogênico no solo.

Palavras-chave: Metais; Contaminação do solo; Depósito de veículos; Elementos-traço.

Study of the environmental risk linked to the storage of vehicles on the ground

Automotive vehicles are a potential source of heavy metal contamination of the soil due to their lead-acid batteries and the use of metals in their structure and paint pigments. Understanding the characteristics of heavy metal soil contamination and identifying their environmental exposure provides important information for making decisions regarding remediation of contaminated soils. Method: The objective of the present work was to evaluate metal contamination (Cd, Pb, Ni, Zn, Cu e Cr) in 35 soil samples (fraction < 2 mm). The samples were collected from two unpaved/unsealed storage areas used by the Highway Patrol (Polícia Rodoviária Federal - PRF) for storing apprehended vehicles, one located in Araucária (AR) and one Colombo (CL), in the metropolitan region of Curitiba/PR, Brazil. Assays were performed to determine organic carbon (OC) and pH. For analysis of metals, the samples were prepared by acid digestion (method EPA 3050-B) and measured by ICP-OES. The results were evaluated according to Resolution CONAMA 420, geoaccumulation index (Igeo), contamination factor (CF) and Pearson correlation analysis. The textural composition of the soil at AR and CL reflect a high degree of heterogeneity and distinct chemical and physical characteristics. The AR site had a higher level of sand and a more acidic pH than CL, and concentrations of the analyzed elements between prevention and investigation values according to Resolution CONAMA 420/2009. The CL site had a higher concentration of clay and OC, and a less acidic pH than AR. Only one collected point at CL had a concentration of Cu above the prevention value. In both AR and CL, the element Cd was below detectability with methodology employed. Conclusions: The spatial distribution of the cars associated with the soil texture and the analyzed elements exhibited a random surface distribution of elements. The OC content, soil pH and texture associated with Igeo, CF and Pearson correlation suggests that both environments suffer an input of metals at different points. The input of heavy metals from stored vehicles and the possible anthropogenic impact on the soil is evident.

Keywords: Metals; Soil contamination; Vehicle depot; Trace elements.

Topic: Ciências do Solo

Received: 02/08/2020

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Approved: 17/09/2020

Cleyton Nascimento Makara 
Universidade de São Paulo, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/7241015092201765>
<http://orcid.org/0000-0002-8034-2582>
cleytonmakara@gmail.com

Larissa Kummer 
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/7892203021390255>
<http://orcid.org/0000-0002-8282-2045>
lkummer@utfpr.edu.br

Maurici Luzia Charnevski Del Monego 
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/1410424302920222>
<http://orcid.org/0000-0002-9093-3802>
maurici@utfpr.edu.br



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2020.005.0004

Referencing this:

MAKARA, C. N.; KUMMER, L.; DEL MONEGO, M. L. C.. Estudo do risco ambiental atrelado ao armazenamento de veículos sobre o solo. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.11, n.5, p.32-44, 2020. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.005.0004>

INTRODUÇÃO

Os metais pesados estão entre os materiais mais perigosos que ameaçam o meio ambiente em todo o mundo. São caracterizados pelo longo período residual, complexidade de comportamentos químicos, eco-reações, alta invisibilidade, toxicidade, mobilidade e não são degradados biológica e/ou quimicamente. Os metais pesados no solo podem ser carregados pela água da chuva, podendo contaminar as águas subterrâneas via lixiviação, especialmente sob condições ácidas (HONG et al., 2002; SINGH et al., 2004; DURUIBE et al., 2007; POURANG et al., 2014; PRADHAN et al., 2014; WU et al., 2014).

Os metais pesados são onipresentes no ambiente, quer por intervenções naturais ou antrópicas (SERRANO et al., 2005; AHMED et al., 2015; ISLAM et al., 2015). Porém, devido ao desenvolvimento humano, o teor de metais pesados presente no solo tem aumentado drasticamente, tornando perigosos quando transferidos e bioacumulados em todos os níveis da cadeia trófica, mesmo em baixas concentrações (IKEDA et al., 2000; POURANG et al., 2014; ISLAM et al., 2015).

Entre as características químicas do solo, o pH desempenha um papel fundamental na solubilidade e na disponibilidade de metais pesados. De maneira geral, o aumento do pH do solo diminui a disponibilidade dos metais por meio de reações de precipitação e pelo aumento da adsorção por coloides de carga variável (SHUMAN, 1998). A matéria orgânica presente nos solos também é de grande importância pois é um dos fatores que regem a acumulação de metais pesados (COVELO et al., 2007b; KASHEM et al., 2007).

Muitos dos veículos automotivos que são apreendidos por diversas razões, são armazenados de forma indevida, ficando expostos às intempéries climáticas. Os metais presentes nas carcaças e pinturas dos veículos podem sofrer processos de decomposição, sendo carregados para o solo e depositados nas camadas superficiais, configurando um sério risco à saúde pública e ao meio ambiente, pela alteração da composição química local. Estes locais também estão sujeitos ao aporte de compostos orgânicos e inorgânicos, proveniente de vazamentos como combustíveis, líquido de baterias e óleos lubrificantes.

Alguns destes metais, como Cu, Ni e Zn, são essenciais para o desenvolvimento de plantas, mas em concentrações elevadas tornam-se tóxicos. Outros, como o Cd, Hg e Pb, não são nutrientes e são tóxicos (DUARTE et al., 2007; RAHMAN et al., 2014; AHMED et al., 2015; ISLAM et al., 2015). Uma determinada área é considerada contaminada se, entre outros fatores, as concentrações de elementos ou substâncias de interesse ambiental estão acima de um dado limite denominado valor de intervenção. Acima desse limite, há um risco potencial de efeito deletério sobre a saúde humana, havendo necessidade de uma ação imediata na área (ZEITOUNI et al., 2007).

A necessidade de prevenção da contaminação do solo apresenta um papel fundamental e importante nos dias de hoje, para a manutenção de sua funcionalidade e proteção da qualidade das águas superficiais e subterrâneas, além de evitar efeitos deletérios aos organismos quando ingeridos (PEREIRA et al., 2010). O presente estudo teve como objetivo elucidar atributos físicos e químicos do solo em dois depósitos de veículos apreendidos da Polícia Rodoviária Federal (PRF) não impermeabilizados, localizados em Araucária (AR) e Colombo (CL), região metropolitana de Curitiba – PR – Brasil. Os dados de metais foram confrontados

com a Resolução CONAMA 420/2009 e correlacionando com as características texturais dos pontos amostrados. As conclusões podem lançar luz sobre os impactos ambientais de metais pesados em locais de depósitos de veículos sem impermeabilização e, portanto, conscientizar as autoridades.

MATERIAIS E MÉTODOS

Características da área de estudo

Foram selecionadas duas áreas de depósito de veículos apreendidos/abandonados do Departamento da Polícia Rodoviária Federal do Paraná (DPRF) localizados na região metropolitana de Curitiba (Paraná, Brasil). Foram coletadas 20 amostras de solo superficial no DPRF às margens da rodovia BR-116 (Rodovia Régis Bittencourt) no município de Colombo (CL) (25° 22' 31,24" S e 49° 09' 5,03" W), ponto 1 na Figura 1, e 15 amostras de solo superficial no DPRF às margens da rodovia BR-476 (Rodovia do Xisto) no município de Araucária (AR) (25° 36' 36,76" S e 49° 25' 21,13" W), ponto 2 na Figura 1. Estas regiões caracterizam-se pelo intenso tráfego de veículos, densamente povoadas e industrializadas.

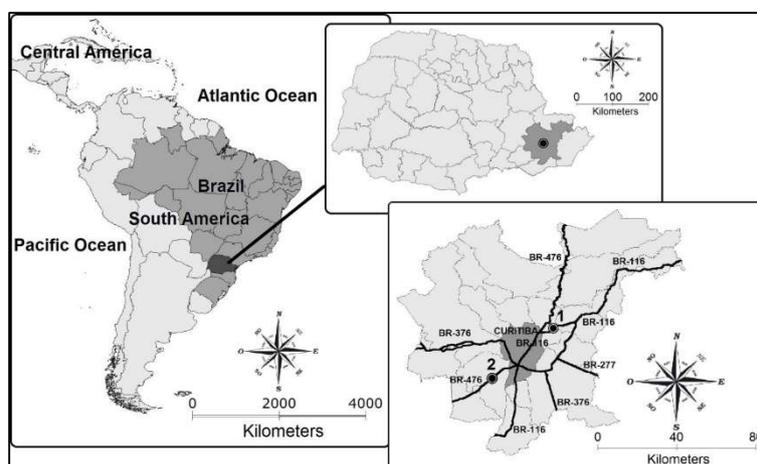


Figura 1: Mapa da área de estudo e localização dos pontos de amostragem (1 – Colombo (CL), 2 – Araucária (AR)).

Amostragem

Nos locais mencionados, foram coletadas amostras de solo com distâncias variáveis entre si nas profundidades de 0-20 cm com auxílio de um trado tipo holandês. As amostras foram armazenadas em embalagens plásticas, identificadas, lacradas e transportadas para o Laboratório de Análises de Solos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná conforme especificações técnicas propostas pela EMBRAPA (1997). Em cada ponto de coleta foram anotadas as coordenadas geodésicas obtidas com a utilização de um equipamento do tipo GPS (Global Positioning System), modelo GPS76, Garmin. As amostras após a coleta foram secas e peneiradas em malha de 2 mm de abertura, obtendo-se a Terra Fina Seca ao Ar (TFSA).

Soluções e reagentes

Todos os reagentes usados na digestão e para os ensaios realizados foram de grau analítico. Hidróxido de Sódio (NaOH), Cloreto de Cálcio (CaCl₂), Cloreto de Potássio (KCl), dicromato de sódio (Na₂Cr₂O₇), Ácido Sulfúrico (H₂SO₄), Ácido Clorídrico (HCl), Ácido Nítrico (HNO₃). Água deionizada; água

ultrapura Milli-Q (Millipore, modelo Direct-Q 8).

As vidrarias e os frascos de polietileno permaneceram imersos em solução de ácido nítrico 10% PA (Merck) durante 48 h (BRANDÃO et al., 2011). Em seguida, foram enxaguados com água deionizada e colocados para secagem à temperatura ambiente. As soluções padrão dos elementos usadas na calibração do aparelho de Espectrofotometria de Emissão Óptica por Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES) foram preparadas, diluindo-se uma solução estoque de 1000 mg L⁻¹ (Cd, Pb, Cu, Cr, Ni e Zn).

Análises químicas dos solos

Atributos físicos e químicos foram determinados na TFSA de acordo com EMBRAPA (1997). A composição granulométrica foi avaliada pelo método da pipeta, usando-se dispersão com NaOH 1 mol L⁻¹; pH do solo foi determinado em H₂O e CaCl₂ 1 mol L⁻¹; Ca²⁺ e Mg²⁺ trocáveis, extraídos com KCl 1 mol L⁻¹ e determinados por compleximetria; Na⁺ e K⁺ trocáveis, extraídos por solução Mehlich-1 e determinados por fotometria de chama e Al³⁺ trocável extraído com solução de KCl 1 mol L⁻¹ e determinado por titulação com solução de NaOH 0,025 mol L⁻¹.

Carbono Orgânico (CO) foi determinado adotando o método descrito por SAMPAIO et al. (2012), onde utilizou-se Na₂Cr₂O₇ (0,667 mol L⁻¹) em ácido sulfúrico (5 mol L⁻¹), onde quantificou-se o excedente de Na₂Cr₂O₇ que oxidou o carbono orgânico presente na amostra por espectroscopia UV-Vis em 660 nm (Marca Biospectro, modelo SP-22).

Digestão das amostras

A quantificação dos metais Cádmio, Chumbo, Cobre, Níquel e Zinco (Cd, Pb, Cu, Cr, Ni e Zn) foi realizado por abertura via extratores químicos (HNO₃+HCl+H₂O₂) conforme METHOD 3050B – EPA (1996), quantificados por ICP-OES, marca VARIAN, Modelo 720-ES, pertencente ao Laboratório de Fertilidade do Solo da Universidade Federal do Paraná (UFPR), setor de Ciências Agrárias. Os metais foram quantificados mediante curva de calibração construída com padrão de dos respectivos metais e expresso em miligramas por quilograma de solo (mg kg⁻¹). As análises foram realizadas em triplicata e os resultados foram expressos com média e desvio padrão.

Índice Geo-acumulação (I_{geo})

O I_{geo} é utilizado para avaliar o grau de poluição elementar nos solos da área de estudo (MULER, 1969; BRUIYAN et al., 2010). O I_{geo} é dado pela Equação 1:

$$I_{geo} = \log_2(C_n/kB_n) \quad (\text{Equação 1})$$

Onde C_n é a concentração de metal pesado na amostra de solo, B_n é o valor de fundo geoquímico do metal pesado (n) e k = 1,5 é o fator de correção da matriz fundo introduzida para explicar possíveis diferenças nos valores de fundo devidos a efeitos litosféricos. Os valores de fundo geoquímico foram obtidos a partir dos dados da MINEROPAR (2005).

O I_{geo} para cada metal é calculado e classificado da seguinte forma: não contaminado (I_{geo} ≤ 0); não contaminado a moderadamente contaminado (0 < I_{geo} ≤ 1); moderadamente contaminado (1 < I_{geo} ≤ 2);

moderadamente a fortemente contaminado ($2 < I_{geo} \leq 3$); fortemente contaminado ($3 < I_{geo} \leq 4$); pesadamente extremamente contaminado ($4 < I_{geo} \leq 5$); e extremamente contaminado ($I_{geo} \geq 5$) (ZAHRA et al., 2014; WEI et al., 2015).

Fator de contaminação (CF)

O solo apresenta a capacidade de gravar a história e indicar o grau de poluição. O Fator de Contaminação (CF) é um índice (Equação 2) expresso pela divisão da concentração de cada metal no solo por um valor da linha de base ou fundo (Equação 2), eficaz no controle da poluição ao longo de um período de tempo. A concentração de um determinado metal em um ambiente é controlada por vários parâmetros, como a natureza do substrato, condições físico-químicas, que controlam a dissolução e precipitação dos metais, e da proximidade dos locais de poluição (NOBI et al., 2010; CHANDRASEKARAN et al., 2015; KARIM et al., 2015; WU et al., 2015).

$$CF = C_{\text{heavy metal}} / C_{\text{background}} \quad (\text{Equação 2})$$

Os níveis de contaminação podem ser classificados com base nas suas intensidades sobre uma escala que varia de 1 a 6 (0 = nenhuma, 1 = nenhum a meio, 2 = moderada, 3 = moderada a forte, 4 = fortemente poluída, 5 = forte a muito forte, 6 = muito forte) (ZAHRA et al., 2014; CHANDRASEKARAN et al., 2015; WU et al., 2015). Os valores de background adotado para cada elemento foram obtidos a partir da MINEROPAR (2005).

Análise estatística

Os dados foram tratados com software ACTION® Versão 2.9 (Statcamp, São Carlos, SP). Os valores são relatados como média \pm desvio padrão (SD) para cada ensaio. A análise de correlação de Pearson foi realizada para os pontos de AR e CL entre os metais pesados e os elementos Ca e Mg.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Primeiramente foi realizada a caracterização do solo nas frações areia, argila e silte (Tabela 1). Com os dados obtidos, foi realizada a caracterização do solo através da utilização do triângulo textural.

Tabela 1: Composição do solo dos pontos do DPPRF de Araucária (AR) e Colombo (CL).

Amostra	Areia / %	Argila / %	Silte / %
AR	*58,19 \pm 15,71	*0,84 \pm 0,55	*40,97 \pm 15,48
Mínimo	24,70	0,38	18,78
Máximo	79,28	2,20	73,10
CL	*48,09 \pm 16,82	*1,67 \pm 0,54	*50,25 \pm 16,63
Mínimo	24,68	0,53	18,28
Máximo	80,65	2,50	73,27

* Resultados expressos em média \pm S.D. (n = 3)

Como mostrado na Tabela 1, ocorre uma variabilidade na composição textural entre as regiões, refletindo uma elevada heterogeneidade, o que é comum em áreas urbanas (ALLOWAY, 2004). O elevado desvio padrão, associado aos pontos analisados próximos, reflete a alta variação da composição mineralógica local, sugerindo aporte de material de origem externa, podendo contribuir assim com o teor de metais

pesados e alterando suas características químicas e físicas.

Em resumo, ambas as áreas apresentam predominância de areia no solo superficial (0–20 cm), caracterizando a textura entre franco-arenosa, franco-siltosa e areia-franca. A região de AR predomina-se entre franco-arenosa e areia-franca, pela grande proporção de areia no solo, enquanto em CL, apresenta teores de argila e silte em média, mais elevados, predominando textura franco-siltosa. Estas características físicas conferem propriedades ao solo, como drenagem, coesão, plasticidade e presença de cargas, tendo relação direta sobre a mobilidade de metais e nutrientes, geralmente maior em solos arenosos, devido à ausência de carga (HASHIM et al., 2011). Na Tabela 2 está indicado os teores de carbono orgânico (CO) e pH em meio aquoso e em meio aquoso de cloreto de cálcio.

Tabela 2: Valores máximos, médios e mínimos de Carbono Orgânico (CO), pH_{H2O} e pH_{CaCl2} dos locais de amostragem em Araucária (AR) e Colombo (CL).

Amostra	CO (g dm ⁻³)	pH _{H2O}	pH _{CaCl2}
AR	*37,63±14,27	*5,05±0,55	*4,99±1,07
Mínimo	16,03	4,17	3,62
Máximo	61,72	6,33	6,65
CL	*45,53±13,26	*6,22±0,56	*6,14±0,57
Mínimo	24,83	5,12	4,57
Máximo	71,55	6,81	6,58

* Resultados expressos em média ± S.D. (n = 3)

A região de CL apresentou índice maior de CO do que na região de AR. O carbono orgânico no solo influencia a adsorção de metais pesados, provavelmente, devido à capacidade de permuta catiônica (ROMIC et al., 2003). A carga elétrica superficial do CO é a maior contribuidora na CTC dos solos, devido sua facilidade de desprotonação e possui uma alta área superficial específica que pode chegar a 800 – 900 m² g⁻¹ (ALLOWAY, 1995; COSTA et al., 2006; SILVA et al., 2006).

O pH reflete um conjunto complexo de reações no sistema solo-solução, sendo útil para elucidar o estado em que se encontram as bases e a solubilidade de micronutrientes (MEHLICH, 1948). O pH também afeta a disponibilidade dos metais pesados (MEHLICH, 1948). Segundo Alloway (1995), os metais pesados são mais móveis em condições ácidas, onde com a diminuição do pH, o íon H⁺ compete com os metais pelos sítios de troca, e seu consequente aumento reduz sua disponibilidade, pois as cargas negativas originadas pela desprotonação dos componentes do solo tendem a ser balanceadas pelos metais.

O pH dos pontos analisados demonstrou pH ácido, com valores abaixo de 7,0. O pH em água indica a acidez ativa, não determinando os ácidos fracos contidos no solo. Já a determinação do pH do solo com solução de CaCl₂ apresenta valores menores que àqueles medidos em água, devido considerar os ácidos fracos no solo (CAMARGO et al., 2009). O pH em solução aquosa do solo variou entre 4,17 e 6,33 em AR e entre 5,12 e 6,81 em CL, enquanto que em solução de cloreto de cálcio variou entre 3,62 e 6,65 em AR e entre 4,57 e 6,58 em CL.

Os parâmetros físicos e químicos influenciam a adsorção de metais e nutrientes. O pH por exemplo, pode facilitar a mobilidade e elevar a toxicidade de alguns metais. O CO apresenta a mesma propriedade de adsorver ou complexar metais como a argila, e sua presença no solo pode moderar a mobilidade do metal para camadas mais profundas. O alumínio (Al³⁺), cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺) trocáveis foram mensurados

e estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Valores máximos, médios e mínimos de Alumínio, Cálcio e Magnésio nos pontos de amostragem em Araucária (AR) e Colombo (CL).

Amostra	Al ³⁺ (mol kg ⁻¹)	Ca ²⁺ (mg kg ⁻¹)	Mg ²⁺ (mg kg ⁻¹)
AR	*0,33±0,30	*2218,50±1095,27	*741,75±411,28
Mínimo	0,03	56,25	22,50
Máximo	0,90	3903,75	1496,25
CL	*0,21±0,17	*3796,58±1806,62	*1127,96±446,36
Mínimo	0,1	1012,50	416,25
Máximo	0,5	7346,25	1901,25

* Resultados expressos em média ± S.D. (n = 3)

Os teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ apresentaram teores mais elevados em CL. A inter-relação entre Ca²⁺ e Mg²⁺ na nutrição vegetal está relacionada às suas propriedades químicas, como grau de hidratação e mobilidade, fazendo com que haja competição pelos sítios de adsorção no solo. Como consequência, a presença de um pode prejudicar os processos de adsorção e absorção do outro, fato ocorrente para os íons Ca²⁺ e Mg²⁺ (ORLANDO FILHO et al., 1996).

A região de AR apresentou o teor mais elevado de Al³⁺, juntamente com pH do solo mais ácido em comparação à CL. Em solos ácidos, ocorre a presença de alumínio tóxico que é prejudicial para as plantas, influenciando no desenvolvimento do sistema radicular. Entretanto, a partir do pH 5,5 não existe mais alumínio tóxico devido à sua precipitação na forma de óxido de alumínio (BOHNEN, 1995; ECHART et al., 2001).

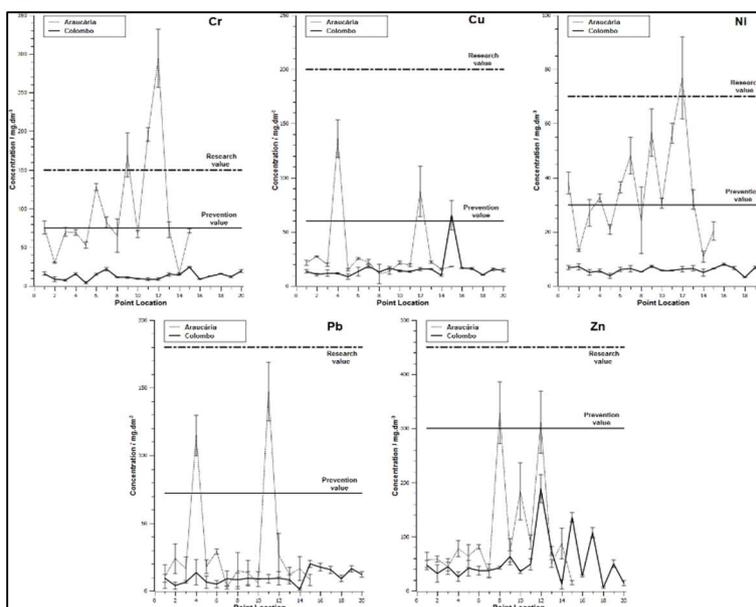


Figura 2: Concentração de Cr, Cu, Ni, Pb e Zn nas amostras de solo em Araucária (AR) e Colombo (CL).

A quantificação dos metais foi realizada através de ICP-OES e os resultados confrontados com a Resolução CONAMA 420 (2009). Esta resolução prevê três valores de concentração para metais em solos. Valor de prevenção (VP): referente à concentração de valor limite de determinada substância no solo; valor de referência de qualidade (VRQ): referente à concentração de determinada substância que define a qualidade natural do solo, e o valor de investigação (VI): concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos. A quantificação dos metais

Cr, Cu, Ni, Pb e Zn nas amostras do PRF nos pontos AR e CL estão apresentados na Figura 2, onde apresenta-se também o VP e VI.

A poluição ambiental com metais pesados é uma grande preocupação em escala global e o risco associado à exposição de metais pesados presentes em água e alimentos é considerada uma ameaça para a saúde humana (SAEI-DEHKORDI et al., 2011). Como mostrado na Figura 2, há uma clara mudança no conteúdo de metais pesados presentes nos solos, assim como apresentado para a composição textural. Estas características podem ser devido a vários fatores, como CO, pH do solo, composição textural e o contato direto de veículos com o solo (COVELO et al., 2007b e a; KASHEM et al., 2007).

Através dos resultados de metais demonstrados, classificaram-se os ambientes conforme a Resolução CONAMA 420 (2009). A região de AR foi onde se obteve um maior teor de metais pesados, com destaque para os metais Ni e Cr, onde em alguns pontos, ambos ultrapassaram os VI. Para os metais Cu, Pb e Zn, os valores chegaram a ultrapassar o VP em alguns pontos. A região de AR classifica-se na classe 4 conforme a Resolução CONAMA 420 (2009). A região de CL manteve-se com a concentração dos metais analisados abaixo do VP, com exceção para o elemento Cu, sendo classificada na classe 3, devido o teor do elemento Cu apresentar valor superior ao VP e os demais elementos (Ni, Cr, Zn e Pb) apresentaram valores abaixo do VP.

Após a classificação dos solos conforme Art. 20 disposto na Resolução CONAMA 420 (2009), procedimentos de prevenção e controle da qualidade do solo devem ser adotados. No caso do local CL, este requer identificação da fonte potencial de contaminação, avaliação da ocorrência natural da substância, controle das fontes de contaminação e monitoramento da qualidade do solo e da água subterrânea.

O local AR requer as ações estabelecidas no Capítulo IV da Resolução CONAMA 420 (2009), relacionada ao gerenciamento de áreas contaminadas, devendo conter procedimentos e ações voltadas ao atendimento dos seguintes objetivos disposto no Art. 22: I - eliminar o perigo ou reduzir o risco à saúde humana; II - eliminar ou minimizar os riscos ao meio ambiente; III - evitar danos aos demais bens a proteger; IV - evitar danos ao bem estar público durante a execução de ações para reabilitação; e V - possibilitar o uso declarado ou futuro da área, observando o planejamento de uso e ocupação do solo.

A fim de avaliar o nível de contaminação e do possível impacto antropogênico nas amostras de solo, o I_{geo} e CF foram estimados para os metais pesados avaliados neste estudo. Os valores I_{geo} para os metais pesados das amostras de solo dos depósitos de veículos estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Índice de geo-acumulação (I_{geo}) de metais pesados em amostras de solo em depósito da PRF em Araucária (AR) e Colombo (CL).

Amostra	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
AR	* ₋				
	0,26±0,54	1,90±0,97	4,08±2,43	1,06±1,45	1,54±0,81
Mínimo	-1,87	-2,99	-8,98	-5,27	-3,09
Máximo	0,43	0,62	0,03	0,48	-0,26
CL	* ₋				
	3,19±0,61	2,61±0,59	2,69±0,32	2,51±0,90	1,18±1,15
Mínimo	-4,85	-3,36	-3,55	-5,35	-3,92
Máximo	-2,17	-0,44	-2,23	-1,29	1,04

* Resultados expressos em média ± S.D.
(n = 3)

Os pontos amostrados de AR e CL apresentam diferentes valores de I_{geo} . A Tabela 4 sugere uma visão ampla acompanhada com os pontos mínimos e máximos, sugerindo um ambiente com elevado desvio da concentração destes metais em vários pontos do local estudado. Os valores médios de I_{geo} no depósito de AR apresentaram-se todos negativos, indicando que não há aporte, mas pelos pontos máximos demonstrados, fica evidente que ocorre o aporte dos elementos Níquel, Cromo, Chumbo e Cobre para alguns pontos. Para os pontos da região de CL, os valores de I_{geo} apresentaram-se todos negativos, incluindo seus máximos, sugerindo que o solo da região não recebe aporte destes metais.

Fica evidente o aporte de metais pesados em depósito de veículos e a sua importância no quesito ambiental. Os dados de metais demonstrados apresentam uma distribuição superficial aleatória. Estas oscilações das concentrações de metais se devem a dois fatores: (i) composição textural local do solo; e (ii) distribuição espacial dos veículos no solo. Foi calculado o Fator de contaminação (CF) para elucidar o nível de contaminação e possível impacto antropogênico no solo, complementando os resultados obtidos anteriormente. Os valores CF estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Fator de contaminação (CF) de metais pesados em amostras de solo em depósitos de veículos da PRF em Araucária (AR) e Colombo (CL).

Amostra	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
AR	*0,27±0,42	*0,25±0,59	*0,35±0,56	*0,38±0,91	*0,33±0,49
Mínimo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Máximo	1,03	2,30	1,53	3,55	1,27
CL	*0,06±0,10	*0,07±0,11	*0,08±0,12	*0,08±0,13	*0,22±0,31
Mínimo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Máximo	0,30	0,31	0,28	0,42	0,78

* Resultados expressos em média ± S.D. (n = 3)

Os resultados da Tabela 5 demonstram claramente que os pontos localizados na região de AR apresentam aporte maior em relação aos pontos de CL. Os elementos Cr, Zn e Ni apresentaram baixa contaminação, com valores máximos de 1,03, 1,27 e 1,53 respectivamente. Os elementos Pb e Cu não apresentaram valores significativos em média destes metais no ambiente, porém, apresentaram máximas respectivamente de 3,55 e 2,30, havendo indícios de contaminação moderada no ambiente.

Os pontos localizados na região de CL, assim como o I_{geo} , apresentam nível de contaminação baixo, com exceção do elemento Zn, que teve um máximo de 0,78, mas média de 0,22 para CF. As Tabelas 6 e 7 mostram a correlação entre os metais pesados na superfície do solo de AR e CL respectivamente.

Tabela 6: Matriz de Correlação de Pearson e seus respectivos p-valores para metais dos pontos de Araucária.

Metais	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Ca	Mg
Cr	1,000	^l 0,288	^l 0,930	^l 0,299	^l 0,426	^l 0,454	^l 0,728
Cu	^{ll} 0,298	1,000	^l 0,298	^l 0,481	^l 0,200	^l 0,129	^l 0,096
Ni	^{ll} 0,000	^{ll} 0,281	1,000	^l 0,260	^l 0,322	^l 0,515	^l 0,762
Pb	^{ll} 0,279	^{ll} 0,069	^{ll} 0,349	1,000	^l -0,033	^l 0,239	^l 0,286
Zn	^{ll} 0,113	^{ll} 0,476	^{ll} 0,242	^{ll} 0,908	1,000	^l 0,219	^l 0,330
Ca	^{ll} 0,089	^{ll} 0,648	^{ll} 0,050	^{ll} 0,391	^{ll} 0,434	1,000	^l 0,797
Mg	^{ll} 0,002	^{ll} 0,734	^{ll} 0,001	^{ll} 0,302	^{ll} 0,230	^{ll} 0,000	1,000

^l Matriz de Correlação de Pearson; ^{ll} Matriz de p-valores.

De acordo com a correlação de Pearson apresentado na Tabela 6, os elementos Ni e Mg apresentaram correlação significativa com o elemento Cr, com valores 0,93 e 0,73 respectivamente, ambos

com p-valor abaixo do nível de significância adotado de 5%. Correlação positiva e significativa entre os elementos Ni e Cr foi encontrado no estudo de CAI et al. (2015), apresentando valor igual à 0,81. Estes valores elevados sugerem que os metais Cr, Ni e Mg foram provavelmente originados a partir da mesma fonte. Os elementos Ni e Ca apresentaram correlação direta com o elemento Mg, com valores 0,76 e 0,80 respectivamente, com p-valor abaixo do nível de significância de 5%. CHANDRASEKARAN et al. (2015) encontraram correlação positiva significativa entre Ca e Mg, igual à 0,63.

Tabela 7: Matriz de Correlação de Pearson e seus respectivos p-valores para metais do ponto de Colombo.

Metais	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Ca	Mg
Cr	1,000	^I 0,585	^I 0,051	^I 0,353	^I 0,041	^I -0,272	^I -0,130
Cu	^{II} 0,009	1,000	^I 0,242	^I 0,622	^I 0,528	^I 0,098	^I 0,203
Ni	^{II} 0,834	^{II} 0,318	1,000	^I 0,341	^I 0,285	^I 0,657	^I 0,652
Pb	^{II} 0,139	^{II} 0,005	^{II} 0,154	1,000	^I 0,283	^I 0,247	^I 0,474
Zn	^{II} 0,868	^{II} 0,020	^{II} 0,236	^{II} 0,241	1,000	^I 0,551	^I 0,419
Ca	^{II} 0,260	^{II} 0,691	^{II} 0,002	^{II} 0,309	^{II} 0,015	1,000	^I 0,878
Mg	^{II} 0,597	^{II} 0,405	^{II} 0,003	^{II} 0,040	^{II} 0,074	^{II} 0,000	1,000

^I Matriz de Correlação de Pearson; ^{II} Matriz de p-valores.

A Tabela 7 apresenta correlação de Pearson dos pontos analisados em CL. O elemento Cr obteve uma correlação direta de 0,59 com o elemento Cu, e este com o elemento Pb e Zn, com valores iguais a 0,62 e 0,53 respectivamente. Para os elementos Ca e Mg, encontrou-se correlação positiva igual a 0,88. Resultado encontrado no trabalho realizado por CHANDRASEKARAN et al. (2015) é igual a 0,63. Para o elemento Ni, foi observado correlação positiva com os elementos Ca e Mg, com valores 0,66 e 0,65 respectivamente. Assim foi também encontrado com o elemento Zn e Ca igual a 0,55.

Os resultados sugerem para ambos os ambientes, apesar dos resultados serem distintos, que os metais (Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) foram provavelmente originados a partir da mesma fonte e de origem antrópica, devido estes metais estarem presentes na carcaça, pigmentos e como constituintes de lubrificantes usados.

O solo nos locais de coleta não era uniforme, com vestígios de solo revirado, apresentando areia, pedras, terra e cascalhos. Vale salientar que em ambos os locais de amostragem, o solo estava próximo de veículos e poças de água com mancha de óleo, podendo assim vir a inferir nos resultados e justificar o desvio padrão nos dados.

CONCLUSÕES

Em conclusão, o presente estudo evidenciou concentrações elevadas de Cu, Cr, Ni, Pb e Zn na região de AR, que foram maiores do que os níveis admissíveis pela resolução CONAMA 420. A correlação de Pearson demonstrou que os metais analisados apresentam provável origem antrópica nas regiões de AR e CL. Assim, no que diz respeito à contaminação do solo na área de AR, recomenda-se uma melhor avaliação das fontes de metais pesados e monitoramento do solo e água.

Na região de CL, a baixa concentração de metais pesados analisados, aliado ao maior teor de argila, carbono orgânico e pH em relação a AR, são fatores que favorecem a adsorção de metais. A região de AR é a que merece uma maior atenção quanto ao risco de contaminação, pois além de apresentar características de pH ácido, que favorece a solubilização de metais, é onde há um menor teor de argila e carbono

orgânico, fatores que auxiliam no processo de percolação e lixiviação destes metais.

Em geral, a comparação dos resultados obtidos neste estudo sugere que a necessidade de atenção especial às regiões de armazenamento de veículos não impermeabilizados, pois estes são fontes potenciais de degradação de solo e água.

AGRADECIMENTOS: À UTFPR Campus Curitiba pela estrutura laboratorial, ao Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da UFPR – Laboratório de Nutrição de Plantas, ao Laboratório de Química e Fertilidade do Solo DSEA/SCA/UFPR e à Fundação Araucária pela bolsa concedida e oportunidade da participação neste projeto.

REFERÊNCIAS

AHMED, I. A.; MIKAIL, M. A.; IBRAHIM, M. B.; HAZALI, N.B.; RASAD, M. S. B.; GHANI, R. A.; WAHAB, R. A.; ARIEF, S. J.; YAHYA, M. N. A.. Antioxidant activity and phenolic profile of various morphological parts of underutilized *Baccaurea angulata* fruit. **Food Chemistry**, v.172, p.778-787, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.122>

AHMED, M. K.; BAKI, M. A.; ISLAM, M. S.; KUNDU, G. K.; HABIBULLAH-AL-MAMUN, M.; SARKAR, S. K.; HOSSAIN, M. M.. Human health risk assessment of heavy metals in tropical fish and shellfish collected from the river Buriganga, Bangladesh. **Environmental Science and Pollution Research**, v.22, n.20, p.15880-15890, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-015-4813-z>

ALLOWAY, B. J.. **Heavy metals in soils**. 2 ed. London: Blackie Academic, 1995.

ALLOWAY, B. J.. Contamination of soils in domestic gardens and allotments: a brief overview. **Land Contamination & Reclamation**, v.12, n.3, p.179-187, 2004. DOI: <http://dx.doi.org/10.2462/09670513.658>

BHUIYAN, M. A.; PARVEZ, L.; ISLAM, M.; DAMPARE, S. B.; SUZUKI, S.. Heavy metal pollution of coal mine-affected agricultural soils in the northern part of Bangladesh. **Journal of hazardous materials**, v.173, p.384-392, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.08.085>

BOHNEN, H.. Acidez e calagem. In: GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; TEDESCO, M. J.. **Princípios de fertilidade de solo**. Porto Alegre: UFRGS, 1995. p.51-76.

BRANDÃO, C. J.. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidas**. São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011.

CAI, L.; XU, Z.; BAO, P.; HE, M.; DOU, L.; CHEN, L.; ZHOU, Y.; ZHU, Y.. Multivariate and geostatistical analyses of the spatial distribution and source of arsenic and heavy metals in the agricultural soils in Shunde, Southeast China. **Journal of Geochemical Exploration**, v.148, p.189-195, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.09.010>

CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S.. **Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física**

de Solos do Instituto Agronômico de Campinas. Campinas, Instituto Agronômico, 2009.

CHANDRASEKARAN, A.; RAVISANKAR, R.; HARIKRISHNAN, N.; SATAPATHY, K. K.; PRASAD, M. V. R.; KANAGASABAPATHY, K. V.. Multivariate statistical analysis of heavy metal concentration in soils of Yelagiri Hills, Tamilnadu, India - Spectroscopic approach. **Spectrochimica Acta Part a-Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, v.137, p.589-600, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.saa.2014.08.093>

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Conama 420**. Dispõe sobre 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. Brasília: CONAMA, 2009.

COSTA, C. N.; MEURER, E. J.; BISSANI, C. A.; SELBACH, P. A.. Contaminantes e poluentes do solo e do ambiente. In: MEURER, J. E.. **Fundamentos de química do solo**. 3 ed. Porto Alegre: Evangraf, 2011. p.213-250.

COVELO, E. F.; VEGA, F. A.; ANDRADE, M. L.. Simultaneous sorption and desorption of Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, and Zn in acid soils - II. Soil ranking and influence of soil characteristics. **Journal of Hazardous Materials**, v.147, p.862-870, 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.01.108>

COVELO, E. F.; VEGA, F. A.; ANDRADE, M. L.. Simultaneous sorption and desorption of Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, and Zn in acid soils I. selectivity sequences. **Journal of Hazardous Materials**, v.147, p.852-861, 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.01.123>

DUARTE, B.; DELGADO, M.; CACADOR, I.. The role of citric acid in cadmium and nickel uptake and translocation, in Halimione portulacoides. **Chemosphere**, v.69, p.836-840, 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.05.007>

DURUIBE, J. O.; OGWUEGBU, M. O. C.; EGWURUGWU, J. N.. Heavy metal pollution and human biotoxic effects. **International Journal of Physical Sciences**, v.2, p.112-118, 2007.

- ECHART, C. L.; CAVALLI-MOLINA, S.. Fitotoxicidade do alumínio: efeitos, mecanismo de tolerância e seu controle genético. **Ciência Rural**, v.31, p.531-541, 2001. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782001000300030>
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997.
- EPA. **Method 3050B**: Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils. 2 ed. Washington: EPA, 1996.
- HASHIM, M. A.; MUKHOPADHYAY, S.; SAHU, J. N.; SENGUPTA, B.. Remediation technologies for heavy metal contaminated groundwater. **Journal of Environmental Management**, v.92, p.2355-2388, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.06.009>
- HONG, K. J.; TOKUNAGA, S.; KAJIUCHI, T. Evaluation of remediation process with plant-derived biosurfactant for recovery of heavy metals from contaminated soils. **Chemosphere**, v.49, p.379-387, 2002. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0045-6535\(02\)00321-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0045-6535(02)00321-1)
- IKEDA, M.; ZHANG, Z. W.; SHIMBO, S.; WATANABE, T.; NAKATSUKA, H.; MOON, C. S.; MATSUDA-INOGUCHI, N.; HIGASHIKAWA, K.. Urban population exposure to lead and cadmium in east and south-east Asia. **Science of the Total Environment**, v.249, p.373-384, 2000. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0048-9697\(99\)00527-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0048-9697(99)00527-6)
- ISLAM, M. S.; AHMED, M. K.; HABIBULLAH-AL-MAMUN, M.; RAKNUZZAMAN, M.. The concentration, source and potential human health risk of heavy metals in the commonly consumed foods in Bangladesh. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.122, p.462-469, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.09.022>
- KARIM, Z.; QURESHI, B. A. L.; MUMTAZ, M. Geochemical baseline determination and pollution assessment of heavy metals in urban soils of Karachi, Pakistan. **Ecological Indicators**, v.48, p.358-364, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.08.032>
- KASHEM, M. A.; SINGH, B. R.; KAWAI, S.. Mobility and distribution of cadmium, nickel and zinc in contaminated soil profiles from Bangladesh. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.77, p.187-198, 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10705-006-9056-4>
- MEHLICH, A.. Determination of cation exchange and anion - exchange properties of soils. **Soil Science**, v.66, p.429-445, 1948. DOI: <http://dx.doi.org/10.1097/00010694-194812000-00004>
- MINEROPAR. **Levantamento geoquímico multielementar do estado do Paraná**: Geoquímica de solo - Horizonte B. MINEROPAR, 2005.
- MULER, G.. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. **GeoJournal**, v.2, p.108-118, 1969.
- NOBI, E. P.; DILIPAN, E.; THANGARADJOU, T.; SIVAKUMAR, K.; KANNAN, L.. Geochemical and geo-statistical assessment of heavy metal concentration in the sediments of different coastal ecosystems of Andaman Islands, India. **Estuarine Coastal and Shelf Science**, v.87, p.253-264, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2009.12.019>
- ORLANDO FILHO, J. O.; BITTENCOURT, V. C.; CARMELLO, Q. A. C.; BEAUCLAIR, E. G. F.. Relações K, Ca e Mg de solo areia quartzosa e produtividade da cana-de-açúcar. **Stab. Açúcar, Alcool e Subprodutos, Piracicaba**, v.14, p. 13-17, 1996.
- PEREIRA, A. A.; BORGES, J. D.; LEANDRO, W. M.. Heavy metals and micronutrients in soil and in leaves of *Brachiaria decumbens* on the margins of highways. **Bioscience Journal**, v.26, p.347-357, 2010.
- POURANG, N.; NOORI, A. S.. Heavy metals contamination in soil, surface water and groundwater of an agricultural area adjacent to Tehran oil refinery, Iran. **International Journal of Environmental Research**, v.8, p.871-886, 2014.
- PRADHAN, J. K.; KUMAR, S.. Informal e-waste recycling: environmental risk assessment of heavy metal contamination in Mandoli industrial area, Delhi, India. **Environmental Science and Pollution Research**, v.21, p.7913-7928, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-014-2713-2>
- RAHMAN, M. A.; RAHMAN, M. M.; REICHMAN, S. M.; LIM, R. P.; NAIDU, R.. Heavy metals in Australian grown and imported rice and vegetables on sale in Australia: Health hazard. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.100, p.53-60, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2013.11.024>
- ROMIC, M.; ROMIC, D.. Heavy metals distribution in agricultural topsoils in urban area. **Environmental Geology**, v.43, p.795-805, 2003. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00254-002-0694-9>
- SAEI-DEHKORDI, S. S.; FALLAH, A. A.. Determination of copper, lead, cadmium and zinc content in commercially valuable fish species from the Persian Gulf using derivative potentiometric stripping analysis. **Microchemical Journal**, v.98, p.156-162, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.microc.2011.01.001>
- SAMPAIO, T. F.; FERNANDES, D. M.; GUERRINI, I. A.; BOGIANI, J. C.; BACKES, C.. Comparison between methods of organic matter determination in soil samples based on volume or mass. **Revista Brasileira De Ciencia Do Solo**, v.36, p.517-523, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000200021>
- SERRANO, S.; GARRIDO, F.; CAMPBELL, C. G.; GARCIA-GONZALEZ, M. T.. Competitive sorption of cadmium and lead in acid soils of Central Spain. **Geoderma**, v.124, p.91-104, 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.04.002>
- SHUMAN, L. M.. Effect of organic waste amendments on cadmium and lead in soil fractions of two soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.29, p.2939-2952, 1998. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/00103629809370167>
- SILVA, L. S.; CAMARGO, F. A. O.; CERETTA, C. A.. Composição da fase sólida orgânica do solo. In: MEURER, E. J.. **Fundamentos de química do solo**. 3 ed. Porto Alegre: Evangraf, 2006. p.63-90.

SINGH, P.; CAMEOTRA, S. S.. Enhancement of metal bioremediation by use of microbial surfactants. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, v.319, p.291-297, 2004. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.bbrc.2004.04.155>

WEI, X.; GAO, B.; WANG, P.; ZHOU, H.; LU, J.. Pollution characteristics and health risk assessment of heavy metals in street dusts from different functional areas in Beijing, China. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.112, p.186-192, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.11.005>

WU, C.; LUO, Y.; DENG, S.; TENG, Y.; SONG, J.. Spatial characteristics of cadmium in topsoils in a typical e-waste recycling area in southeast China and its potential threat to shallow groundwater. **Science of the Total Environment**, v.472, p.556-561, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.11.084>

WU, S.; PENG, S.; ZHANG, X.; WU, D.; LUO, W.; ZHANG, T.; ZHOU, S.; YANG, G.; WAN, H.; WU, .L. Levels and health risk assessments of heavy metals in urban soils in Dongguan, China. **Journal of Geochemical Exploration**, v.148, p.71-78, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.08.009>

ZAHRA, A.; HASHMI, M. Z.; MALIK, R. N.; AHMED, Z.. Enrichment and geo-accumulation of heavy metals and risk assessment of sediments of the Kurang Nallah-Feeding tributary of the Rawal Lake Reservoir, Pakistan. **Science of the Total Environment**, v.470, p.925-933, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.10.017>

ZEITOUNI, C. D. F.; BERTON, R. S.; ABREU, C. A.. Phytoextraction of cadmium and zinc from an oxisol contaminated with heavy metals. **Bragantia**, v.66, p.649-657, 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052007000400015>

A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detém os direitos materiais desta publicação. Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas sob coordenação da **Sustenere Publishing**, da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.