

## AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE SOLOS ADJACENTES ÀS MARGINAIS TIETÊ E PINHEIROS COM BASE NOS VALORES ORIENTADORES DA CETESB<sup>1</sup>

**Andreza Portella Ribeiro<sup>2</sup>**

**Cláudia Terezinha Kniess<sup>3</sup>**

**Ana Paula do Nascimento Lamano-Ferreira<sup>4</sup>**

**Caroline Rodrigues Albuquerque<sup>5</sup>**

**Ana Maria Graciano Figueiredo<sup>6</sup>**

**RESUMO:** Este estudo avaliou a qualidade de solos coletados nas avenidas Marginal Tietê e Marginal Pinheiros, quanto à presença dos dois metais pesados, chumbo e molibdênio, que têm origem associada ao tráfego veicular. Para fins de comparação, os solos foram tratados quimicamente conforme protocolo recomendado pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB). Os dados experimentais obtidos foram comparados com os valores orientadores da CETESB e sugerem que os solos analisados são considerados limpos quanto à presença de molibdênio, já que seus teores ficaram abaixo dos valores de referência de qualidade da CETESB. No caso da avaliação do chumbo, algumas amostras excederam os valores de intervenção residencial para o metal e indicaram a necessidade do monitoramento constante da qualidade do solo, a importância de ações como o Plano de Controle de Poluição Veicular do Estado de São Paulo e de políticas públicas voltadas à melhoria do transporte público e da mobilidade urbana na cidade de São Paulo.

**Palavras-chave:** Qualidade do solo. Metais pesados. Valores orientadores. CETESB. São Paulo.

---

<sup>1</sup> Artigo foi apresentado no III SINGEP & II S2IS 2014, e indicado a *Fast Track* para esta Revista IJIE.

<sup>2</sup> Doutora em Tecnologia Nuclear pela Universidade de São Paulo, Professora do Mestrado em Gestão Ambiental e Sustentabilidade da Universidade Nove de Julho, São Paulo – SP, Brasil. E-mail: [andrezp@uninove.br](mailto:andrezp@uninove.br).

<sup>3</sup> Doutora em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de Santa Catarina, Professora do Mestrado em Gestão Ambiental e Sustentabilidade da Universidade Nove de Julho, São Paulo – SP, Brasil. E-mail: [ctkniess@uninove.br](mailto:ctkniess@uninove.br).

<sup>4</sup> Doutora em Ecologia Aplicada pela Universidade de São Paulo, Professora do Mestrado em Gestão Ambiental e Sustentabilidade da Universidade Nove de Julho, São Paulo – SP, Brasil. E-mail: [ana\\_paula@uninove.br](mailto:ana_paula@uninove.br).

<sup>5</sup> Bacharel em Ciências Biológicas pela Universidade Nove de Julho, São Paulo – SP, Brasil. E-mail: [calbuuquerque@gmail.com](mailto:calbuuquerque@gmail.com).

<sup>6</sup> Doutora em Tecnologia Nuclear pela Universidade de São Paulo, Pesquisadora do Laboratório de Análise de Ativação Neutrônica – Centro de Reator de Pesquisa do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo - SP, Brasil. E-mail: [anamaria@ipen.br](mailto:anamaria@ipen.br).

## 1 INTRODUÇÃO

A poluição do ambiente urbano vem se tornando um problema em quase todas as metrópoles, tendo em vista o crescimento da população. Estima-se que até 2050 cerca de 70% da população mundial esteja vivendo em cidades (UN, 2008). Junto com o ar e água, o solo vem sendo degradado de forma muito rápida em decorrência do crescimento econômico, populacional, industrial, que embora seja necessário, acontece de forma não sustentável. Conseqüentemente, observa-se o enriquecimento no meio ambiente de substâncias e elementos químicos, como é o caso de metais pesados, em virtude da intensa atividade antrópica que contribui com toneladas de rejeitos sólidos e emissões atmosféricas. Estas têm como origem principal a frota veicular e as indústrias.

Há alguns anos, em diversos países a avaliação da qualidade ambiental é feita por meio dos chamados indicadores de sustentabilidade (TAYRA; RIBEIRO, 2006) os quais caracterizam diferentes instrumentos de mensuração, em diferentes grandes áreas de conhecimento (biológicas, exatas e humanas) que são capazes de prover informações que facilitem a avaliação do grau de sustentabilidade das sociedades, monitorem as tendências de seu desenvolvimento e auxiliem a elaboração de relatórios sobre o meio ambiente com vistas à comparabilidade entre diferentes regiões analisadas, às políticas públicas e às tomadas de decisões (POLAZ; TEIXEIRA, 2009).

Nesse sentido, encontram-se os indicadores de qualidade de solos (IQS), que representam a interface atmosfera/hidrosfera. A análise dos IQS permite investigar ações do homem que conduziram ao incremento de substâncias potencialmente tóxicas nas águas e no ar, podendo-se estimar os riscos aos quais a população de determinada região está/estará exposta.

Dessa forma, a presente pesquisa experimental teve como objetivo quantificar teores de metais, Molibdênio (Mo) e Chumbo (Pb), em solos coletados em duas avenidas de São Paulo, as Marginais Tietê e Pinheiros, consideradas as principais vias de acesso da cidade. Estes metais pesados têm suas origens associadas às atividades antrópicas. O estudo buscou avaliar o impacto de tais atividades, como o da frota veicular, que além de ser a principal responsável pelas emissões dos gases do efeito estufa (GEE), também contribui com o incremento de substâncias, como os metais pesados, que apresentam potencial tóxico e fazem parte da composição química de dispositivos dos veículos, os quais são lançados no meio ambiente por meio do desgaste dos freios e atrito dos pneus à superfície da estrada. Os dados obtidos foram comparados aos IQS da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) no

intuito de verificar se os valores encontrados para metais estão dentro dos limites de qualidade natural, ou se existe risco potencial à saúde da população paulistana. O estudo também destaca a grande importância de ações públicas como o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PRONCOVE), e o Plano de Controle de Poluição Veicular (PCPV) do Estado de São Paulo.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

Esta seção trará uma breve abordagem cronológica sobre questões ambientais, baseando-se na literatura científica sobre importantes acontecimentos históricos que culminaram na criação e difusão de termos como qualidade ambiental, sustentabilidade, entre outros, voltados à preservação de áreas susceptíveis às ações antrópicas.

### **2.1 Desenvolvimento Ambiental e a Sustentabilidade**

A evolução histórica das questões ambientais existe desde o surgimento do homem, que depende dos recursos da natureza para a sua sobrevivência. Contudo, somente a partir do século XVIII com o início da Revolução Industrial, observa-se a intensificação dos problemas ambientais em virtude das emissões geradas por atividades antrópicas relacionadas ao avanço industrial, causando um agravamento na qualidade do ar, notadamente nas cidades inglesas, precursoras do processo de concentração industrial. Fato que certamente contribuiu para que o “1º Manual Sobre Climatologia Urbana”, de autoria de Luke Howard, tenha surgido em Londres, em 1818. A 2ª edição do manual apresentava o termo *city fog* (neblina de cidade) que era utilizado para caracterizar a má qualidade do ar urbano. Como consequência, as cidades mais afetadas pela poluição começaram a registrar o aumento crescente de óbitos associados a sintomas observados durante episódios de fog intensos (DANI-OLIVEIRA, 2008).

Em meados do século XX começam a surgir debates entre membros da comunidade científica e artística, com intuito de alertar amplos setores da sociedade sobre a importância de delimitar áreas a serem protegidas da ação antrópica.

No tocante à noção de “desenvolvimento sustentável”, alguns pontos importantes na discussão desse conceito são apresentados em 1972 na Conferência de Estocolmo e em 1987 com a publicação do Relatório *Brundtland*. Em 1992, o conceito foi definitivamente incorporado, após a realização, no Rio de Janeiro, da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento.

De acordo com o Relatório *Brundtland*, desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer as habilidades das futuras gerações de satisfazerem suas necessidades (WCED, 1987).

Contudo, na prática a aplicação do termo não é uma tarefa fácil e requer a combinação de três segmentos de um país: crescimento da economia, melhoria da qualidade do ambiente e melhoria da sociedade. Para que tal harmonia aconteça, tornou-se fundamental a criação dos chamados indicadores de sustentabilidade, nos quais são estabelecidos objetivos e metas, em diferentes áreas de conhecimento, que possam dar a medida de desempenho de um país em matéria de sustentabilidade. O conteúdo, a amplitude e a natureza do sistema de indicadores de desenvolvimento sustentável pode ser categorizado em indicadores: ambientais, econômicos e sociais.

Entre as principais metas a serem alcançadas nos diferentes indicadores de sustentabilidade pode-se considerar o bem-estar e a saúde das pessoas. Portanto, no caso dos indicadores ambientais, a qualidade de vida de determinada população está associada à qualidade dos diferentes compartimentos ambientais (água, ar e solo). Dessa forma, têm sido estabelecidos IQS que definem e integram parâmetros biológicos, físicos e químicos dos solos, com intuito de se monitorar a degradação da terra como consequência do manejo em áreas rurais e urbanas (LAL; PIERCE, 1991; KARLEN; GARDNER; ROSEK, 1998; CCME, 1997, DORAN; ZEISS, 2000; VEZZANI; MIELNICZUK, 2009).

A importância da QS foi abordada inicialmente por LAL e PIERCE (1991) ao desenvolverem pesquisas voltadas à busca de sistemas de manejos inovadores que otimizassem o uso do solo, sustentando sua produtividade ao longo do tempo. Segundo Harberern (1992), a QS refere-se à saúde do solo, que por sua vez tem influência direta na qualidade dos alimentos e saúde das pessoas, que estão em contato, ou não, com este solo.

Entretanto, conforme destacam Karlen et al. (1997), a definição de um conceito para QS é uma tarefa difícil. Fato que se traduz em diferentes conceitos, que por vezes são considerados redundantes. Dessa forma, os autores apresentam a definição de QS, segundo a recomendação da *Soil Science Society of America Ad Hoc Committee on soil quality (S-581)*, como sendo: a capacidade de um determinado tipo de solo de exercer sua função, dentro dos limites naturais, ou gerenciados de ecossistemas, para sustentar a produtividade de plantas e animais, manter ou melhorar a qualidade da água e do ar, promovendo a saúde e a habitação humanas (KARLEN et al., 1997, p. 6).

Embora existam inúmeras definições para a ideia de QS, a maioria converge para o estabelecimento de índices qualitativos e quantitativos, tal como se observa para a qualidade do ar e das águas. A literatura sugere para a criação de tais índices a observação de alguns critérios que possibilitem o monitoramento do solo, dentre os quais se destacam a integração de propriedades biológicas, físicas e químicas, acessibilidade de uso, desde cientistas e instituições governamentais, até trabalhadores ligados ao manejo do solo, como os agricultores. Os IQS devem descrever a maioria dos processos ecológicos do solo.

Além disso, devem avaliar o local e os fatores de formação do solo, ou seja, considerar aspectos geográficos, socioeconômicos e a que função se destina o solo estudado, buscando atender às definições estabelecidas no conceito QS (ARSHAD; COEN, 1992; GRANATSTEIN; BEZDICEK, 1992; DORAN; PARKIN, 1994; KARLEN et al., 1998). Portanto, pode-se afirmar que o IQS adequado preconiza a utilização do solo, de forma que os índices poderão variar considerando os diferentes ambientes estudados, como por exemplo, áreas de preservação natural, solos destinados à produção de alimentos, à sustentação de moradias, à edificações industriais e pavimentação das cidades (DORAN; ZEISS, 2000).

Assim, ressalta-se a importância do monitoramento da QS em grandes centros urbanos, já que estes, via de regra, apresentam uma forma acelerada e desordenada de crescimento, o que acarreta, principalmente, no aumento das demandas por combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás) como fonte de energia e na ocupação do solo de forma não sustentável. Os diferentes tipos de problemas socioeconômicos e ambientais, como trânsito, favelas, alagamentos, desemprego e a poluição ambiental, enfrentados pela população urbana, são consequência direta de um desenvolvimento não planejado.

A poluição ambiental é verificada pelo aumento das atividades industriais que muitas vezes descartam rejeitos químicos nos corpos d'água e lançam na atmosfera toneladas de fumaças tóxicas, sem tratamento prévio, tornando-se ainda mais preocupante quando se considera também a contribuição de veículos automotores. A organização *Intergovernmental Panel on Climate Change* publicou um relatório informando que 13% das emissões de GEE advém da queima de combustíveis fósseis para o transporte rodoviário, ferroviário, aéreo, marítimo e fluvial. Praticamente 95% da energia de transporte do mundo é proveniente de combustíveis derivados do petróleo, em grande parte, a gasolina e o diesel (IPCC, 2007). A queima de combustíveis fósseis não influencia apenas a qualidade do ar, mas também a qualidade das águas e dos solos, pois além do incremento de GEE, contribui para o

enriquecimento de outros compostos orgânicos aromáticos e metais pesados, adsorvidos no material particulado produzido pelos escapamentos dos veículos.

No Brasil a preocupação com patrimônio histórico e a qualidade do ambiente passou a ser demonstrada por meio das promulgações de diversas leis (BORGES, REZENDE; PEREIRA, 2009). Em 1981, a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) foi oficialmente estabelecida por meio da Lei 6.938 que instituiu o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISAMA), que tem por objetivo a criação de padrões que tornem possível o desenvolvimento sustentável, através de mecanismos e instrumentos capazes de conferir ao meio ambiente uma maior proteção. A PNMA considera que a qualidade do solo, das águas e do ar está entre os bens a se proteger.

Em São Paulo, a CETESB é a agência do Governo do Estado responsável pelo controle, fiscalização, monitoramento e licenciamento de atividades geradoras de poluição e atua com a preocupação fundamental de preservar e recuperar a qualidade das águas, do ar e do solo. Desde o início dos anos 2000, a CETESB vem monitorando e publicando relatórios sobre a qualidade da água, ar e solo no estado. Em 2001, o órgão publicou o primeiro relatório com a definição de indicadores de qualidade ambiental com de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas (VOSAS), os quais passaram por recente atualização, conforme publicação da CETESB no Diário Oficial Estado de São Paulo (CETESB, 2014). Na Tabela 1 são apresentados os VOSAS-CETESB para alguns componentes químicos que têm suas origens associadas às atividades industriais e queima de combustíveis fósseis.

Tabela 1 – Valores Orientadores em solo e água subterrânea no Estado de São Paulo (CETESB, 2014)

Substância	SOLO (mg kg <sup>-1</sup> de peso seco)			Água Subterrânea (µg L <sup>-1</sup> )		
	Referência de Qualidade (VRQ)	Prevenção (VP)	Intervenção (VI)		Intervenção	
			Agrícola	Residencial	Industrial	
Arsênio	3,5	15	35	55	150	10
Cádmio	< 0,5	1,3	3,6	14	160	5
Chumbo	17	72	150	240	4400	10
Molibdênio	< 4	5	11	29	180	30
Benzeno		0,002	0,02	0,08	0,2	5
Tolueno		0,9	5,6	14	80	700

A classificação dos VOSAS-CETESB (Tabela 1) refere-se aos níveis de substâncias químicas presentes no solo e água subterrânea, classificando-os como:

- Valor de Referência de Qualidade – VRQ é a concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea, que define um solo como limpo ou a qualidade natural da água subterrânea.

- Valor de Prevenção – VP é a concentração de determinada substância, acima da qual podem ocorrer alterações prejudiciais à qualidade do solo e da água subterrânea. Este valor indica a qualidade de um solo capaz de sustentar as suas funções primárias, protegendo-se os receptores ecológicos e a qualidade das águas subterrâneas.
- Valor de Intervenção – VI é a concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana; considerado um cenário de exposição genérico. Para o solo, foi calculado utilizando-se procedimento de avaliação de risco à saúde humana para cenários de exposição Agrícola-Área de Proteção Máxima – APM<sub>ax</sub>, Residencial (VIR) e Industrial.

A comunidade científica vem desenvolvendo estudos nos quais os VOSAS-CETESB servem de instrumento balizador para a avaliação do impacto ambiental em regiões rurais, costeiras e urbanas.

### **3 METODOLOGIA**

Este trabalho científico representa um estudo de caso (YIN, 2001) com foco na qualidade dos solos na cidade de São Paulo. Dessa forma, nesta seção será apresentada a estratégia de campo utilizada para a coleta das amostras, bem como os procedimentos químicos e instrumentais adotados para preparação das amostras e quantificação dos metais chumbo e molibdênio.

#### **3.1 Área de Estudo**

São Paulo - SP, Brasil, é a maior cidade da América do Sul e possui uma das dez maiores regiões metropolitanas do mundo. A cidade é a capital do Estado de São Paulo, considerado o mais populoso e rico do Brasil. A Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) tem uma população estimada em 20 milhões em uma área de 8.047 km<sup>2</sup>, distribuída (de maneira desordenada) em uma área urbanizada com mais 1.747 km<sup>2</sup> da área total da RMSP (IBGE, 2010). Como acontece com qualquer megalópole, a cidade tem um tráfego muito intenso, com inúmeras rodovias e avenidas que cruzam a cidade. Durante o dia as ruas chegam a um intenso congestionamento, como resultado dos engarrafamentos enormes que, normalmente

ultrapassam 150 km. Apesar de ter várias linhas subterrâneas, estas não abrangem todas as regiões da cidade; ou seja, o transporte público não é suficiente para atender toda a população.

A contaminação por metais é uma importante questão ambiental no Estado, principalmente na RMSB, que conta com as emissões atmosféricas de cerca de 2.000 indústrias de alto potencial poluidor e uma frota de quase 7 milhões de veículos automotores, os quais desempenham um papel de destaque no nível de poluição do ar. (CETESB, 2012). Em termos de material particulado, a situação geral da qualidade do ar apresenta índices que, em alguns dias, excedem os padrões primários de qualidade (limites máximos aceitáveis), tanto para Partículas Totais em Suspensão (padrão diário 240  $\mu\text{g}$  e padrão anual 80  $\mu\text{g m}^{-3}$ ), como para Partículas Inaláveis (padrão diário 150  $\mu\text{g m}^{-3}$  e padrão anual 50  $\mu\text{g m}^{-3}$ ). Estima-se que a carga anual de material particulado liberada para a atmosfera na RMSB alcance as 63.000 toneladas (CETESB, 2012).

Estudos com solos têm demonstrado que o enriquecimento de elementos potencialmente tóxicos como arsênio, bário, chumbo, mercúrio, paládio, platina, ródio, e zinco está normalmente associado à poluição (RIBEIRO et al., 2001a; RIBEIRO et al., 2001b, MORCELLI et al., 2005). Em outro trabalho relacionado à poluição na cidade utilizou-se a bromélia *Tillandsia usneoides* L. como biomonitor de poluição atmosférica por metais (FIGUEIREDO et al., 2007). As bromélias foram expostas durante um ano, por períodos de dois meses, em algumas das estações de monitoramento da CETESB. Os resultados obtidos possibilitaram a construção de mapas de distribuição de elementos como, bário, cromo e zinco em diferentes locais da região metropolitana, e permitiram associar a origem destes metais às emissões veiculares.

Os dados de enriquecimento de metais em diferentes matrizes de amostras, como solos e plantas, realizados em estudos prévios contribuíram com informações para a CETESB sobre a qualidade ambiental e apontaram a importância de se dar continuidade a este tipo pesquisa experimental de monitoramento na cidade de São Paulo.

### **3.2 Avenidas**

Visando contribuir com informações sobre a poluição ambiental na cidade de São Paulo em virtude do enriquecimento de metais associado às atividades antrópicas, para o presente trabalho optou-se por analisar amostras de solos coletados nas duas principais avenidas da cidade, as quais serão descritas a seguir:

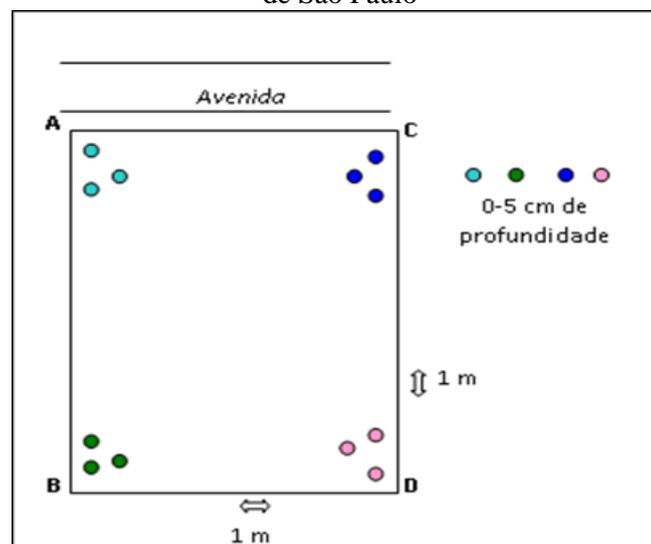
Marginal Tietê (MT): um conjunto de avenidas se une fisicamente para formar a MT, que é considerada a mais importante via expressa, pois liga as regiões Oeste, Norte e Leste da cidade. A MT dá acesso às Rodovias Anhanguera, Ayrton Senna, Bandeirantes, Castelo Branco, Fernão Dias, Presidente Dutra e também ao Aeroporto Internacional de São Paulo.

Marginal Pinheiros (MP): um conjunto de avenidas que se une fisicamente para formar a MP, considerada a segunda via expressa mais importante. Permite a ligação da região de Interlagos à Vila Leopoldina (na altura do Cebolão), próximo à saída para a Rodovia Castelo Branco. A MP permite o acesso às Rodovias Imigrantes e Anchieta e ao Aeroporto de Congonhas. Em conjunto com a Avenida Francisco Morato, na altura da ponte Eusébio Matoso, a via expressa também dá acesso às Rodovias Raposo Tavares e Régis Bittencourt.

### 3.3 Estratégia de Coleta

Para a realização da coleta foi necessário protocolar pedido de autorização junto à Companhia de Engenharia de Tráfego (CET) da cidade. Coletaram-se amostras (constituídas de subamostras) superficiais de solo, de 0 a 5 cm de profundidade, utilizando-se tubos de polietileno (para evitar qualquer tipo de contaminação), contendo 4 vértices (A, B, C e D) em área aproximada de 1 m<sup>2</sup>, a cada 3 km (aproximadamente) de distância, totalizando 7 pontos de coleta na MP e 8 pontos na MT. Não houve um padrão na escolha do lado das avenidas para a amostragem, também não foi levado em consideração o vento característico da região. Por outro lado, tentou-se coletar o solo a uma distância bastante próxima às pistas (em geral 15 cm de distância), conforme esquema apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Esquema representativo da estratégia de coleta dos solos nas avenidas MP e MT, na cidade de São Paulo



Após a coleta, as amostras de solo foram secas em estufa à temperatura de 40° C, durante 72 horas. Em seguida, foram cuidadosamente homogeneizadas e guardadas em dessecador até a realização do tratamento químico.

### **3.4 Tratamento Químico**

Alíquotas de 0,500g de amostras foram pesadas em béqueres de 100 ml e digeridas com uma mistura de reagentes (ácidos nítrico e clorídrico e peróxido de hidrogênio), em chapa de aquecimento a 90° por aproximadamente 4 horas, seguindo o protocolo USEPA 3050B (USEPA, 1996), com algumas modificações. Posteriormente, as soluções foram filtradas e os teores Mo e Pb foram determinados, utilizando-se a espectrometria de emissão ótica com plasma indutivamente acoplado (ICP OES), equipamento *Varian*/modelo 710ES. Dois materiais de referência com valores certificados (*EnviroMat* SS-1 e SS-2 – matriz de solo) foram analisados para verificar a qualidade dos resultados obtidos na determinação de metais-traço.

## **4 ANÁLISE DOS RESULTADOS**

Nesta seção encontram-se os resultados obtidos para alíquotas do material de referência certificado SS-2, matriz de solo contaminado, produzido pela *EnviroMAT*<sup>TM</sup>, que foram analisadas com o intuito de garantir a qualidade analítica dos dados quantitativos obtidos para as amostras de solos da cidade de São Paulo, os quais também serão apresentados, tratados estatisticamente e discutidos nesta seção.

### **4.1 Materiais de Referência Certificados (MRC)**

Os valores experimentais obtidos na determinação das concentrações dos metais, nas alíquotas de MRC, foram satisfatórios, apresentando erros relativos e coeficientes de variação menores que 10%, o que garante a qualidade analítica dos dados obtidos para as amostras de solos analisadas.

### **4.2 Metais nos Solos das Avenidas**

Embora tenham sido coletadas 56 amostras de solos, realizou-se o tratamento químico em apenas 32 amostras, alternando-se o ponto de coleta. O motivo da seleção se deve ao fato de não se ter observado variações significativas dos teores (em testes preliminares) em pontos

consecutivos. Os valores médios e intervalos de concentração obtidos são apresentados na Tabela 2, enquanto que nas Figuras 2 e 4 são apresentados os diagramas em caixa com a comparação dos teores de Mo e Pb, respectivamente, entre as avenidas e considerando a distância da coleta do solo em relação à pista.

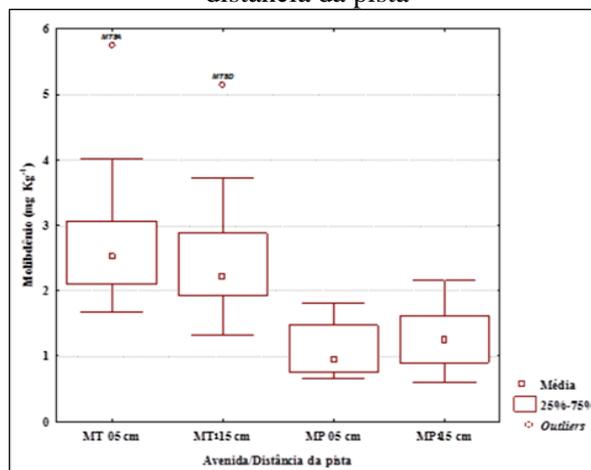
Tabela 2 – Concentrações de metais, em mg kg<sup>-1</sup>, nas amostras de solos das avenidas MT e MP, na cidade de São Paulo

Metal	Marginal Tietê (mg kg <sup>-1</sup> )		Marginal Pinheiros (mg kg <sup>-1</sup> )	
	Média	Intervalo	Média	Intervalo
Mo	3	1-6	1	1-2
Pb	146	60-434	40	13-66

Para a coleta dos solos na MT fixou-se como km inicial a Ponte dos Remédios e final as proximidades do Parque Ecológico do Tietê. Na MP, o Km 0 refere-se às proximidades da Ponte Transamérica, dentro das instalações do Projeto Pomar Urbano da Prefeitura de São Paulo, já o ponto final da coleta ocorreu nas proximidades do Cebolão.

Conforme foi observado (Tabela 2) o teor médio de Mo nos solos da MT superou o nível médio (mais que o dobro) do metal em solos da MP e são estatisticamente diferentes (ANOVA:  $p < 0,05$ ). Por outro lado, conforme é apresentado na Figura 2, não se encontrou diferença significativa entre as distâncias de coleta do solo em relação à pista.

Figura 2 – Comparação dos teores de Mo nos solos entre as diferentes avenidas e considerando a distância da pista



O Mo faz parte da composição química de uma liga metálica, feita de cromo, molibdênio e níquel que reveste cilindros de motores de combustão interna do ciclo diesel, como é o caso de caminhões e ônibus.

Após a vida útil de tais dispositivos, poderá ocorrer o desprendimento de pequenas partículas de metais; conseqüentemente haverá o enriquecimento desses elementos para o meio ambiente (TOMANIK, 2000). Apesar disso, é importante ressaltar, que os teores de Mo encontrados, nas amostras de solos das avenidas, estão dentro dos VRQ propostos pela CETESB, o que caracteriza o solo limpo quanto à presença deste metal (Figuras 3a e 3b).

Figura 3a – Concentrações médias (vértices A, B, C e D) de Mo nos solos coletados em diferentes pontos da MT

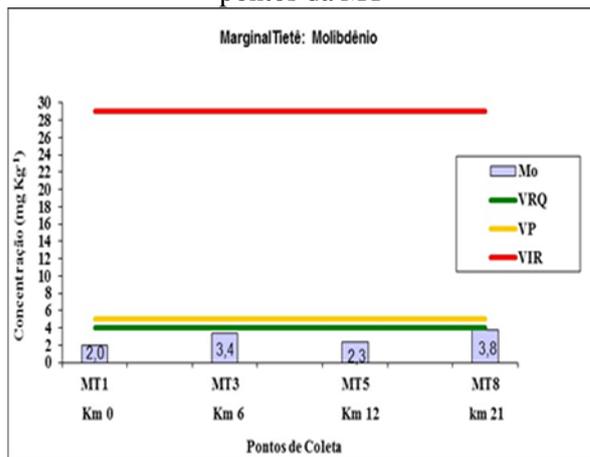
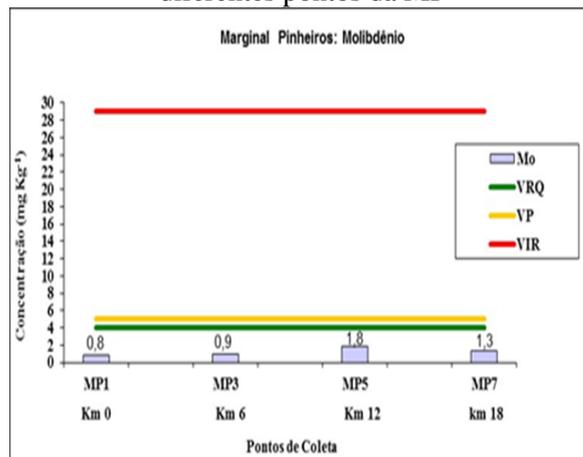


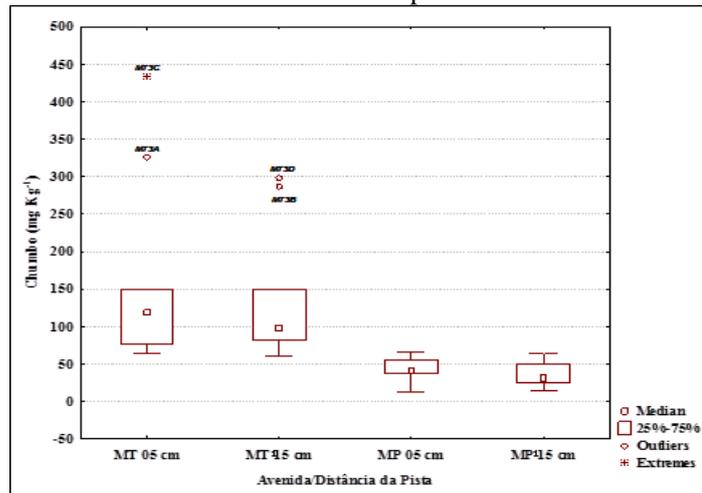
Figura 3b – Concentrações médias (vértices A, B, C e D) de Mo nos solos coletados em diferentes pontos da MP



Da mesma forma que o Mo, o teste ANOVA também indicou diferença significativa ( $p < 0,05$ ) na comparação entre resultados de Pb das duas avenidas. Além disso, observou-se que o ponto MT3 apresentou resultados discrepantes em comparação aos demais pontos de coleta nesta avenida (Figura 4). Tal fato pode refletir erros experimentais durante as análises químicas, ou podem estar associados a outros parâmetros físico-químicos que controlam a mobilidade do metal em amostras geológicas e que não foram considerados neste estudo.

A fração móvel de metais-traço no compartimento solo é controlada pelo equilíbrio dinâmico entre as fases sólida e líquida deste tipo de matriz. A presença de ligantes orgânicos e inorgânicos na fase líquida pode favorecer os processos associados à retenção e/ou mobilidade de contaminantes inorgânicos, como os metais. No caso das amostras de MT3, a matéria orgânica e outros possíveis parâmetros, como o potencial de oxidação-redução (potencial redox) e alterações na acidez do sistema, ou seja, o pH do solo também poderia estar afetando a mobilidade e a biodisponibilidade de metais nos solos, (RAYMOND, 2000).

Figura 4 – Comparação dos teores de Pb nos solos entre as diferentes avenidas e considerando a distância da pista



No que diz respeito à qualidade dos solos, a comparação dos resultados com os VOSAS-CETESB para Pb, indicou que os solos da MP não oferecem risco à saúde da população, embora mereçam atenção quanto à capacidade de sustentar as suas funções primárias, protegendo-se os receptores ecológicos e a qualidade das águas subterrâneas, uma vez que os teores do metal, em algumas amostras ficaram entre os VRQ e os VP (Figura 5a). No caso da MT, algumas amostras apresentaram teores que ultrapassaram os VIR, cujo valor para Pb é 240 mg Kg<sup>-1</sup> (Figura 5b), indicando riscos potenciais à saúde humana. Entretanto, segundo FIGUEIREDO (2012), exceto pela exposição de trabalhadores em minas de fundição, as crianças representam o grupo mais ameaçado da população no que diz respeito à intoxicação por Pb, uma vez que a principal via de contaminação humana se dá pelo contato e ingestão do solo.

Figura 5a – Concentrações médias (vértices A, B, C e D) de Pb nos solos coletados em diferentes pontos da MP

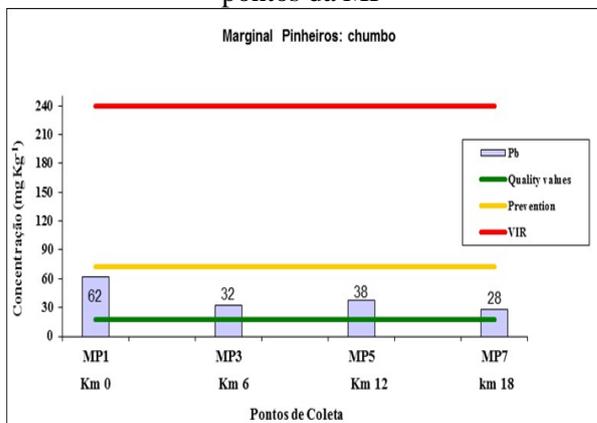
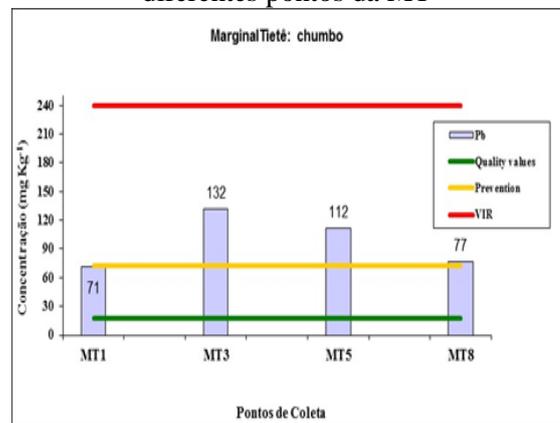


Figura 5b – Concentrações médias (vértices A, B, C e D) de Pb nos solos coletados em diferentes pontos da MT



Dessa forma, há de se considerar que apesar da possível contaminação, o contato direto da população com os solos da MT praticamente não existe, em virtude do fluxo intenso de automóveis no local. Por outro lado, os valores obtidos para o metal demonstram a necessidade do monitoramento constante dos trabalhadores envolvidos na manutenção da pista e das emissões veiculares, na cidade de São Paulo.

Nesse sentido, vale destacar a importância do Programa de Controle da Poluição do ar por veículos automotores (PRONCOVE), pelo Conselho Nacional do Meio ambiente (CONAMA). A Lei Federal nº 8723 de 28 de outubro de 1993 definiu os limites de emissão para veículos leves e pesados. O PRONCOVE foi baseado na experiência internacional dos países desenvolvidos e define limites máximos de emissão para veículos novos. A CETESB tem a responsabilidade de operacionalização e fiscalização do PRONCOVE, em âmbito nacional. Desde o início do programa, houve a redução da emissão de poluentes de veículos novos em cerca de 97% (CETESB, 2011).

Além disso, o PRONCOVE também tem zelado pela qualidade dos combustíveis por meio de parceria com a Petróleo Brasileiro SA (PETROBRÁS) e a Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA). Este programa vem conseguindo resultados expressivos como a retirada do chumbo da gasolina, a adição de álcool à gasolina e redução gradativa do teor de enxofre no óleo diesel (CETESB, 2011).

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A partir dos resultados quantitativos obtidos para Mo e Pb foi possível avaliar a qualidade dos solos com base nos VOSAS definido pela CETESB. Nesse sentido, verificou-se que os solos das avenidas MT e MP são considerados limpos quanto à presença de Mo, componente químico que reveste cilindros de motores de combustão interna do ciclo diesel. Contudo, algumas amostras da MT sugerem a contaminação por Pb. Portanto, este metal merece especial atenção, embora as ações do PROCONVE tenham limitado à emissão desse contaminante no meio ambiente. No caso da cidade de São Paulo, o presente estudo contribui com informações que revelam a importância de ações como a inspeção veicular, atualmente suspenso por questões judiciais (PREFEITURA DE SÃO PAULO, 2014) que consiste na avaliação periódica, compulsória e vinculada ao licenciamento. Com a inspeção, verificam-se o estado de conservação, o funcionamento correto e as emissões de gases e fumaça dos veículos. Devido à obrigatoriedade, o proprietário realiza sistematicamente a manutenção preventiva, evitando a

possível reprovação de circulação do veículo. Dessa forma, o programa assume que o veículo inspecionado tende a compensar as emissões geradas pela parcela de veículos que não são fiscalizados. Espera-se que o programa mantenha um perfil de emissões da frota conhecido e, portanto mais suscetível à gestão por outros instrumentos, tais como a introdução de padrões mais restritivos, políticas com vistas à redução da idade média e à limitação da circulação em áreas específicas (CETESB, 2011).

Outro aspecto importante que pôde ser apontado com o estudo refere-se aos problemas associados ao transporte público e mobilidade urbana. Em São Paulo, a disparidade social reflete-se na necessidade dos trabalhadores se deslocarem dos chamados bairros-dormitório para o centro, o que gera a superlotação do sistema viário e de transporte coletivo. Algumas pessoas chegam a gastar quase cinco horas no trajeto de ida e volta para a casa. Como consequência de um transporte público ineficaz e insuficiente, o paulistano prioriza o automóvel particular para seu deslocamento, piorando ainda mais a mobilidade nos principais corredores de acesso da cidade, como é o caso das Marginais Tietê e Pinheiros, e contribuindo com a emissão de substâncias tóxicas para o meio ambiente. Nesse sentido, o presente estudo vem demonstrar como a frota veicular é uma das principais fontes de metais pesados para o solo.

## **SOIL QUALITY ASSESSMENT ADJACENT TO MARGINAL TIETÊ AND PINHEIROS AVENUES BASED ON GUIDANCE VALUES OF CETESB**

**ABSTRACT:** This study evaluated the soil quality collected from two principle avenues of *São Paulo* city, *Marginal Tietê* and *Marginal Pinheiros*, regarding to the presence of heavy metals, lead and molybdenum, which have their origins associated to the vehicular traffic. In order to compare, the soils received a chemical treatment, following the protocol adopted by *Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental* (CETESB). The experimental data were compared to soil guidance values of CETESB and suggested that the soils analyzed are clean regarding to the levels of molybdenum. Since their contents were, lower than the quality reference values. The analysis of lead indicated that some soil samples presented levels higher than residential intervention values, pointing out the importance of constant monitoring of soil quality. Actions such as “*Plano de Controle de Poluição Veicular do Estado de São Paulo*” and the formulation and development of public policies to improve the public transport services and urban mobility.

**Keywords:** Soil quality. Heavy metals. Guidance values. CETESB. São Paulo.

## AGRADECIMENTOS:

FAPESP Projeto no 2006/59221-2

## REFERÊNCIAS

ARSHAD, M.A.; COEN, G.M. Characterization of soil quality: physical and chemical criteria. **American Journal of Alternative Agriculture**, v. 7, n. 1-2, p. 25-32, 1992.

BORGES, L.A.C., REZENDE, J.L.P.; PEREIRA, J.A.A. Evolução da legislação ambiental no Brasil. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v. 2, n. 3, p. 447-466, 2009.

CCME. Canadian Council of Ministers of the Environment – CCME. **Recommended Canadian soil quality guidelines**. CCME, Winnipeg, 1997.

CETESB. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - **Plano de Controle de Poluição Veicular do Estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB, 2011. Disponível em: <[http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/documentos/Plano\\_de\\_Controlde\\_Poluicao\\_Veicular\\_do\\_Estado\\_de\\_Sao\\_Paulo\\_2011-2013.pdf](http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/documentos/Plano_de_Controlde_Poluicao_Veicular_do_Estado_de_Sao_Paulo_2011-2013.pdf)> Acesso em: 10 março de 2014.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - **Qualidade do ar no estado de São Paulo 2012**. São Paulo: CETESB, 2013. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/qualidade-do-ar/31-publicacoes-e-relatorios>>. Acesso: 15 de março de 2014.

CETESB. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - **Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB, 2014. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/solo/valores-orientadores-2014.pdf>> Acesso em: 10 março de 2014.

DANNI-OLIVEIRA, I. M. Poluição do ar como causa de morbidade e mortalidade da população urbana. **Revista RA' E GA**, n. 15, p. 113-126, 2008.

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A. (Eds.) **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. Special Publication, 35, p. 1-20.

DORAN, J.W.; ZEISS, M.R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. **Applied Soil Ecology**, v. 15, n. 1, p. 3-11, 2000.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo 2010. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=355030&search=sao-paulo|sao-paulo&lang=>>>. Acesso em: 02 de abril de 2014.

FIGUEIREDO, A. M. G., NOGUEIRA, C. A., SAIKI, M; MILIAN, F. M.; DOMINGOS, M. Assessment of atmospheric metallic pollution in the metropolitan region of São Paulo, Brazil,

---

Iberoamerican Journal of Industrial Engineering, Florianopolis, SC, Brazil, v. 6, n. 12, p. 73-90, 2014.

employing *Tillandsia usneoides* L. as biomonitor. **Environmental Pollution**, v. 145, p. 279-292, 2007.

FIGUEIREDO, B. R. Chumbo no ambiente e a exposição humana In: CAPITANI, E. M.; ANJOS, J. A. S. A.; LUIZ-SILVA, W. (Orgs). **Chumbo, Ambiente e Saúde**. São Paulo: Annablume, v. 1, p. 11-17, 2012.

GRANATSTEIN, D.; BEZDICEK, D.F. The need for a soil quality index: local and regional perspectives. **American Journal of Alternative Agriculture**, v. 7, n. 1-2, p. 12-16, 1992.

HARBERERN, J. A soil health index. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 47, n.1, (Editorial), 1992.

IPCC: INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE: Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report (2007). In: B. METZ, O.R. DAVIDSON, P.R. BOSCH, R. DAVE, L.A. MEYER (eds). **Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change**. Disponível em: <[http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/syr/en/spm.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/syr/en/spm.html)>. Acesso em: 10 de julho de 2014.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo 2010. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=355030&search=sao-paulo|sao-paulo&lang=>>>. Acesso em: 02 de abril de 2014.

KARLEN, D.L.; MAUSBACH, M.J.; DORAN, J.W.; CLINE, R.G.; HARRIS, R.F.; SCHUMAN, G.E. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation (a guest editorial). **Soil Science Society of America Journal**, v. 61, n. 1, p. 4-10, 1997.

KARLEN, D.L.; GARDNER, J.C.; ROSEK, M.J. A soil quality framework for evaluating the impact of CRP. **Journal of Production Agriculture**, v. 11, n. 1, p. 56-60, 1998.

LAL, R.; PIERCE, F.J. The vanishing resource. In: LAL, R.; PIERCE, F.J. (Eds.) **Soil management for sustainability**. Ankeny: Soil and Water Conservation Society, p. 1-5, 1991.

MORCELLI, C. P.R.; FIGUEIREDO, A.M.G.; SARKIS, J.E.S.; KAKAZU, M.; ENZWEILER, J.; SIGOLO, J.B. PGEs and other traffic related elements in roadside soils from São Paulo, Brazil. **Science of The Total Environment**, v. 345, p. 81-91, 2005.

POLAZ, C.N.M; TEIXEIRA, B.A.N Indicadores de sustentabilidade para a gestão municipal de resíduos sólidos urbanos: um estudo para São Carlos (SP). **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 14, p. 411-420, 2009.

PREFEITURA DE SÃO PAULO, Secretaria Executiva de Comunicação: **Esclarecimento sobre a inspeção veicular**, 2014. Disponível em: <<http://www.capital.sp.gov.br/portal/noticia/735>> Acesso em: 11 novembro de 2014.

RAYMOND, N.Y. **Geoenvironmental engineering: contaminated soils, pollutant fate and mitigation**. CRC Press LLC, N.W. Corporate Blvd., Boca Raton, Florida, 2000, 285p.

RIBEIRO, A. P.; FIGUEIREDO, A. M. G.; SARKIS, J. E. S.; HORTELLANI, M. A.; MARKERT, B. First study on anthropogenic Pt, Pd, and Rh levels in soils from major avenues of São Paulo City, Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 184, p. 7373-7382, 2012a.

RIBEIRO, A.P.; FIGUEIREDO, A.M.G.; TICIANELLI, R.B.; NAMMOURA-NETO, G.M.; SILVA, N.C.; KAKAZU, M.H.; ZAHN, G. Metals and semi-metals in street soils of São Paulo city, Brazil. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 291, p. 137-142, 2012b.

TAYRA, F.; RIBIEIRO, H. Modelos de Indicadores de Sustentabilidade: síntese e avaliação crítica das principais experiências. **Saúde e Sociedade**, v. 15, n. 1, p. 84-95, 2006.

TOMANIK, E. (2000) **Modelamento do desgaste por deslizamento em anéis de pistão em motores de combustão interna**. Tese: Doutorado, Universidade de São Paulo, Brasil, 199p.

UM. UNITED NATIONS (New York): **World Urbanization Prospects, The 2007 Revision**. Disponível em: <[http://www.un.org/esa/population/publications/wup2007/2007WUP\\_Highlights\\_web.pdf](http://www.un.org/esa/population/publications/wup2007/2007WUP_Highlights_web.pdf)> Acesso em: 20 março de 2014.

USEPA. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Method 3050B. Acid digestion of sediments, sludges and soil**. Revision 2. December, 1996. Disponível em: <<http://www.epa.gov/wastes/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3050b.pdf>>. Acesso em: 12 de abril de 2014.

VEZZANI, F.M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre a qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 33, p. 743-755, 2009.

WCED. WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT- Report: **Our common future**. Disponível em: <<http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>> Acesso em abril de 2014.

YIN, R.K. **Estudo de Caso - Planejamento e Métodos**, Editora Artmed, 4ª Edição, São Paulo, Brasil, 2010, 248p.

Originals recebidos em: 15/12/2014

Aceito para publicação em: 23/01/2015