

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SOLOS E QUALIDADE DE  
ECOSSISTEMAS**

**CARACTERIZAÇÃO DE SOLOS DE UMA TOPOSSEQUÊNCIA, EM  
ÁREA CONTAMINADA POR REJEITOS DE MINERAÇÃO DE  
CHUMBO**

**JOSEANE PASSOS DE SOUZA**

**CRUZ DAS ALMAS - BAHIA  
AGOSTO - 2014**

# **CARACTERIZAÇÃO DE SOLOS EM UMA TOPOSSEQUÊNCIA, EM ÁREA CONTAMINADA POR REJEITOS DE MINERAÇÃO DE CHUMBO**

**JOSEANE PASSOS DE SOUZA**

Licenciada e Bacharel em Geografia

Universidade Estadual de Feira de Santana, 2010

Dissertação submetida ao Colegiado do Curso do Programa de Pós-graduação em Solos e Qualidade de Ecossistemas, da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Solos e Qualidade de Ecossistemas, área de concentração Ciência do Solo.

**ORIENTADOR : PROF. DR. OLDAIR DEL'ARCO VINHAS COSTA**

**CO-ORIENTADORES: PROF. DR. LUCIANO DA SILVA SOUZA**

**PROF<sup>A</sup>. DR<sup>A</sup>. MARIA DA CONCEIÇÃO DE ALMEIDA**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
MESTRADO EM SOLOS E QUALIDADE DE ECOSSISTEMAS  
CRUZ DAS ALMAS – BAHIA – 2014.

## FICHA CATALOGRÁFICA

S729c

Souza, Joseane Passos de

Caracterização de solos em uma topossequência, em área contaminada por rejeitos de mineração de chumbo /Joseane P. Souza. - Cruz das Almas, BA, 2014.  
38f; il.

Orientador: Prof<sup>o</sup> Dr<sup>o</sup> Oldair Del'Arco Vinhas Costa

Coorientadores: Prof<sup>o</sup> Dr<sup>o</sup> Luciano S. Souza

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Maria da Conceição de Almeida

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas -CCAAB.

1. Solo – Uso. 2. Solo – Contaminação. 3. Solo – Qualidade.  
4.Solo – Poluição. I. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas - CCAAB.  
II. Título.

CDD: 631.47

Ficha elaborada pela Biblioteca Universitária de Cruz das Almas - UFRB.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SOLOS E QUALIDADE DE**  
**ECOSSISTEMAS**

**COMISSÃO EXAMINADORA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE**  
**JOSEANE PASSOS DE SOUZA**

*Oldair Del'Arco V. Costa*

Prof. Dr. Oldair Del'Arco Vinhas Costa  
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia-UFRB  
(Orientador)

*Jorge Antonio Gonzaga Santos*

Prof. Dr. Jorge Antonio Gonzaga Santos  
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia-UFRB

*Marcela Rebouças Bomfim*

Profa. Dra. Marcela Rebouças Bomfim  
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia-UFRB

Dissertação homologada pelo Colegiado do Curso de Mestrado em Solos e Qualidade de Ecosistemas em.....  
Conferindo o Grau de Mestre em Solos e Qualidade de Ecosistemas em.....

A minha mãe pelo incentivo contínuo,  
A minha filha pela fonte de inspiração,  
Famíliares e amigos motivação  
E ao meu companheiro pela dedicação e apoio.

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

A DEUS por me conceder forças capaz de superar desafios antes inimagináveis, os quais serviram para meu crescimento pessoal e profissional;

Ao Prof. Dr. Oldair Del'Arco Vinhas Costa pela orientação, determinação, confiança, amizade e por tornar possível a realização do trabalho;

Aos meus Co-orientadores Prof. Dr. Luciano Souza e Dr<sup>a</sup>. Maria da Conceição pelo profissionalismo, colaborações, paciência e amizade em todas as fases da pesquisa.

Ao Prof. Dr. Joelito Rezende pela expressiva colaboração no mestrado.

Aos Laboratoristas Ailton, Laura e Moaci, pelo auxílio, coparticipação, paciência e disposição em ajudar;

Aos amigos e colegas Sergio, Emily, Gerlange, Jamile, Higina, Kátia, Carol, Marcos, Eder, Tati, Nafez, Drielle, Elisa, Tamara e Adriana por me amparar no momento que mais precisei, sem ao menos relutar as várias ajudas em laboratório, campo, além do incentivo as sugestões e o aprendizados;

Aos doutorandos Marcela, Ronaldo, Jose Sacramento pela amizade e auxílio constante;

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias da UFRB pelas diversas contribuições na construção do conhecimento científico;

À UFRB, UEFS, instituições que possibilitaram o desenvolvimento deste trabalho pelo envolvimento pela permissão do uso dos laboratórios para conclusão das análises;

A minha filha, pelo amor diário e alegria fortalecedora.

Aos meus sobrinhos tão carinhosos e amorosos.

Aos amigos de longas datas que estão sempre presentes apesar da distancias, pelos abraços, os sorrisos, os choros e por principalmente por acreditarem em mim;

Ao CNPq pela concessão da bolsa;

Por fim, a todos que colaboraram para a realização deste trabalho.

“Purificar o Subaé  
Mandar os malditos embora  
Dona d'água doce quem é?  
Dourada rainha senhora  
Amparo do Sergimirim  
Rosário dos filtros da aquária  
Dos rios que deságuam em mim  
Nascente primária  
Os riscos que corre essa gente morena  
O horror de um progresso vazio  
Matando os mariscos e os peixes do rio  
Enchendo o meu canto  
De raiva e de pena”  
Purifica o Subaé  
**(Caetano Veloso)**

## SUMÁRIO

	Página
Resumo	
Abstract	
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	
LISTA DE TABELAS	
INTRODUÇÃO .....	1
MATERIAL E MÉTODOS .....	7
RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	13
CONCLUSÕES .....	34
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	35

# **CARACTERIZAÇÃO DE SOLOS EM UMA TOPOSSEQUÊNCIA, EM ÁREA CONTAMINADA POR REJEITOS DE MINERAÇÃO DE CHUMBO**

**Autor: Joseane Passos de Souza**

**Orientador: Prof. Dr. Oldair Del'Arco Vinhas Costa**

**Co-orientadores: Prof. Dr. Luciano da Silva Souza**

**Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>. Maria da Conceição de Almeida**

**Resumo:** O estudo do solo permite identificar as condições adversas que possam prejudicar a sua funcionalidade. Este trabalho objetiva caracterizar os solos em sequência, localizados dentro de área contaminada por rejeitos de mineração da antiga empresa da Plumbum Mineração e Metalurgia Ltda., instalada em Santo Amaro, no Recôncavo Baiano. Para tal, foram analisados cinco solos distribuídos desde uma área de topo, plano, até às margens do Rio Subaé, visando caracterizá-los morfológica, química e fisicamente e avaliar possíveis modificações causadas pela atividade de beneficiamento de chumbo na área. Para a região, há na literatura, apenas a caracterização de solos em escala muito pequena e ausência de informações sobre as classes de solos que possam apresentar teores de metais potencialmente tóxicos à população e ao ecossistema. Diante disso, além das análises morfológicas, foram realizadas análises laboratoriais físicas (textura, argila dispersa em água) e análises químicas: de rotina (pH; C.O; P; Ca e Mg; Na, K, Al<sup>+3</sup> e H+Al), digestão sulfúrica (SiO<sub>2</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) e teores de metais (Pb, Cd e Zn). Na área estudada foram caracterizados cinco perfis, sendo classificados na seguinte sequência: em situação de topo terço superior e terço inferior, Vertissolo Háptico Órtico típico, no terço médio Neossolo Rególítico Eutrófico típico, e na baixada, nas proximidades do rio Subaé, Neossolo Flúvico Ta Eutrófico. Após as análises pôde-se concluir que os solos estudados foram alterados, significativamente, pela ação antrópica, passando a apresentar concentrações elevadas de metais pesados, com destaque ao Perfil 3 que possui em seus horizontes material de escórias da atividade de mineração

**Palavras-chave:** Classificação de Solos. Contaminação de Solos. Antrossolização.

# EVALUATION OF A PROFILE IN AREA CONTAMINATED BY MINING WASTE OF LEAD

**Author: Joseane Passos de Souza**

**Adviser: Prof. Dr. Oldair Del'Arco Vinhas Costa**

**Co- Adviser : Prof. Dr. Luciano da Silva Souza**

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria da Conceição de Almeida**

**Abstract:** The study identifies the adverse soil conditions that could harm the various soil features. This study aims to characterize the soils in sequence located within contaminated by mining tailings, former company Plumbum Mining and Metallurgy Ltda area. installed in Santo Amaro, in the Reconcavo Baiano, to the banks of the River Subaé analyzing the level of contamination by heavy metals. In the literature, only the characterization of soils on a large scale and lack of information about the classes of soils in this locality that has potentially toxic to population and ecosystem metals. Given the complexity of the subject, physical laboratory analyzes were performed to identify the particle size, and chemical routine analyzes (pH, CO, P, Ca and Mg, Na, K, Al<sup>+3</sup> and H+Al) sulfuric acid digestion (SiO<sub>2</sub> and Al<sup>2</sup>O<sup>3</sup>) and metal (Pb, Cd and Zn). In the study area were opened 5 profiles being classified in the following sequence: on top of the factory (Orthic Vertisol Háplico Chernossólico), middle slope (typical Orthic Vertisol Háplico), at the foot of transport where a substrate covering the slag (Eutrophic Entisol Psamments) to shoulder the sequence right next to the factory (typical Orthic Vertisol Háplico) and the nearby river Subaé (Entisol Fluvents Ta Eutrophic). Concluding that these soils are potentially toxic, with high concentrations of heavy metals, especially Profile 3 has that in its material extension of slag. This Profile 3, suffered antrossolização process in soil formation resulting in a discontinuity in the sequence studied.

**Keywords:** Soil Classification. Soil Contamination. Antrossolização.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1 -</b>	Mapa de localização da área de estudo, às margens do Rio Subaé, Santo Amaro-BA .....	7
<b>Figura 2 -</b>	Mapa de localização dos perfis estudados e relevo da área, às margens do Rio Subaé, Santo Amaro-BA .....	8
<b>Figura 3 -</b>	Vista geral da área de estudo, com localização dos perfis, ao longo da topossequência, nas imediações da antiga fábrica de chumbo, às margens do Rio Subaé, Santo Amaro-BA.....	9
<b>Figura 4 -</b>	Perfis de Vertissolos P1 (A) e P2 (B) característicos da região de Santo Amaro - BA .....	16
<b>Figura 5 -</b>	Perfis de Neossolo Antrópico (P3) em área de rejeito de chumbo em Santo Amaro – BA .....	17
<b>Figura 6 -</b>	Perfil de Neossolo Flúvico às margens do rio Subaé, Santo Amaro – BA .....	18
<b>Figura 7 -</b>	Coeficiente de correlação linear simples entre os teores de argila dispersa em água e os teores de cálcio e magnésio disponíveis de solos do município de Santo Amaro – Bahia.....	23

## LISTA DE TABELAS

	Página
<b>Tabela 1 -</b> Mapa de localização da área de estudo, às margens do Rio Subaé, Santo Amaro-BA.....	8
<b>Tabela 2 -</b> Características morfológicas dos solos ao longo de topossequência, nas imediações da antiga fábrica de chumbo, às margens do Rio Subaé, Santo Amaro-BA. ....	14
<b>Tabela 3 -</b> Características físicas dos solos ao longo de topossequência, nas imediações da antiga fábrica de chumbo, às margens do Rio Subaé, Santo Amaro-BA.....	20
<b>Tabela 4 -</b> Características químicas dos solos ao longo de topossequência, nas imediações da antiga fábrica de chumbo, às margens do Rio Subaé, Santo Amaro-BA.....	24
<b>Tabela 5-</b> Teores de óxidos de Si e Al determinados pelo ataque sulfúrico e índice ki de solos ao longo de topossequência, nas imediações da antiga fábrica de chumbo, às margens do Rio Subaé, Santo Amaro-BA.....	28
<b>Tabela 6-</b> Teores pseudototais de metais pesados nos perfis de solos, ao longo de topossequência, nas imediações da antiga fábrica de chumbo, às margens do Rio Subaé - BA.e valores de referência com base na resolução CONAMA (2009).....	30

## 1. INTRODUÇÃO

A mineração é uma importante atividade econômica mundial, responsável pelo fornecimento de produtos básicos indispensáveis ao bem estar e melhoria da qualidade de vida da população e ao desenvolvimento da sociedade. De acordo com CPRM (2002) a história do Brasil tem íntima relação com a busca dos recursos naturais relacionados ao subsolo, que contribui com importantes insumos para a economia nacional. Por outro lado, existe uma grande diversificação de problemas no uso do subsolo decorrentes da urbanização desordenada, das atividades garimpeiras, da mineração, do passivo ambiental, da agricultura, da pecuária, da falta de tecnologia, da poluição dos recursos hídricos, do uso não controlado de água subterrânea, da necessidade de aperfeiçoamento da legislação, dentre outros.

Apesar da importância para a sociedade, a mineração, ao longo de décadas, se tornou uma das atividades que mais causa impacto ambiental negativo e intenso, por alterar drasticamente a área minerada e as áreas vizinhas, onde são feitos os depósitos de estéril e de rejeito. Esta atividade pode impactar extensas áreas de toda uma região, caso medidas mitigadoras, eficientes, não sejam tomadas.

O Estado da Bahia sempre figurou no cenário nacional com um dos principais produtores de minério. Mas, além dos bens minerais auferidos ao longo de séculos de exploração, um passivo ambiental sem precedentes foi deixado em diferentes municípios do Estado. Inicialmente, por falta de normativas e leis que obrigassem as empresas a recuperar o dano causado ao meio ambiente, depois por falta de capacidade técnica e de fiscalização para acompanhar as atividades mineradoras, desenvolvidas em diversas regiões de um dos maiores Estados do País, vários municípios sofrem pelo dano deixado por mineradoras e indústrias siderúrgicas, no processo de exploração de metais, minerais, rochas e beneficiamento dos mesmos.

No município de Santo Amaro da Purificação, a presença de uma metalurgia de chumbo, no período de 1960 a 1993, às margens do rio Subaé, contaminou e vem

contaminando, através da deposição aleatória de 490.000 toneladas de rejeitos/escórias, por metais pesados, sobretudo chumbo e cádmio: manguezais e pescadores do estuário do Rio Subaé, animais, vegetais, solos e crianças, em um raio de 900 metros da chaminé da metalurgia, bem como, parte da população da cidade, por utilizar os rejeitos/escórias para pavimentar ruas, aterros, jardins, pátios de casas, praças e áreas escolares (ANJOS, 1998).

A metalúrgica para produzir as ligas de chumbo em Santo Amaro usava o minério de chumbo lavrado e beneficiado no município de Boquira, no sudoeste do estado, mais precisamente na Chapada Diamantina (MANZONI; MINAS, 2009). Com a exaustão da mina, em Boquira, a Plumbum passou a importar o minério do Peru (MACHADO et al., 2004).

Durante o processo de beneficiamento havia muito pouco controle do manejo dos danos ao meio ambiente, bem como de medidas de proteção e segurança destinadas aos funcionários e moradores. A escória era considerada inócua e amontoadada no terreno ao longo da usina e ainda havia o particulado de chumbo - decorrente do processo de sinterização - que era expelido pela chaminé (SOBRAL, 2008). Visando esconder o material depositado e, ou encapsulá-lo para minimizar a sua transferência por processos erosivos, para regiões mais baixas e o curso do rio, foi deslocado, das áreas de entorno, uma grande quantidade de solo para recobrir a escória.

A partir do fechamento da empresa, a escória e o solo contaminado passaram a ser as principais fontes de poluição ambiental por chumbo e outros metais associados (CARVALHO et al., 2003). A permanência da metalúrgica no local condenado e a falta de medidas para mitigar os danos causados, levou à continuidade do processo de degradação ambiental, até os dias atuais, fato comprovado por diversos estudos recentes (BONFIM, 2014; ASEVEDO, 2012; FERNANDES et al. 2012) em diferentes áreas do município.

A partir de 1975, pesquisas desenvolvidas pela Universidade Federal da Bahia, na bacia do rio Subaé, identificaram como causas da contaminação: a instalação da metalúrgica em uma área onde predominavam ventos de baixa velocidade e constantes inversões térmicas, prejudicando a dispersão e facilitando a precipitação dos particulados na área urbana; a proximidade da empresa do leito do rio Subaé, bem como de suas áreas de inundação; o transbordamento da bacia de rejeito em períodos de muita chuva; a baixa vazão do rio Subaé, prejudicando a diluição e a dispersão dos efluentes líquidos lançados sem tratamento; a deposição inadequada

da escória em aterros, e seu reuso para a construção de estradas, casas dentre outros, o que aumentou a contaminação do solo, de águas superficiais, subterrâneas e da população residente nos arredores do empreendimento; a alta concentração dos metais nos manguezais do estuário do rio Subaé, contaminando os moluscos e prejudicando a base alimentar da população; os particulados lançados pela chaminé da metalúrgica; e o fato de a empresa considerar a escória inócua, depositando-a sem critérios técnicos (ANJOS; SÁNCHEZ, 2001).

O levantamento preliminar da poluição no município de Santo Amaro da Purificação e as observações em campo têm apontado para a necessidade de se realizar um estudo mais completo que envolva o zoneamento da região em relação aos níveis de poluição, com a caracterização do meio físico (clima, hidrologia, geologia, geomorfologia e solos) e biológico e o estudo de correlação dessas características, para melhor compreensão dos fatores que interferem na disseminação dos poluentes nos diferentes ambientes do município.

Apesar dos inúmeros trabalhos realizados na área problema, não existem publicações que objetivem caracterizar mais detalhadamente os solos, bem como a extensão da disseminação dos contaminantes as margens do Rio Subaé. Esse trabalho básico é fundamental para avaliar os principais domínios de solos, o seu poder filtrante e a correlação entre a concentração dos poluentes, para assim poder entender a mobilidade dos poluentes na área às margens do Rio Subaé.

O solo possui uma abrangente interação com diferentes compartimentos do ambiente e, por isso, a sua contaminação tem sido uma das questões ambientais que mais preocupa, pois a partir dela, segue-se contaminando as águas superficiais e subterrâneas, o ar, a vegetação e a fauna, e gera graves problemas à saúde das pessoas. Nesse sentido, o estudo do solo permite compreender as suas funcionalidades, por meio de sua identificação através da classificação do solo, orientando assim, a melhor forma de manejar (CASTILHOS JUNIOR, 2003; MANZATTO, 2002).

O estudo de solos ao longo de sequencias tem grande importância para um melhor entendimento das formas de atuação dos fatores de formação sobre as diferenciações pedológicas. Para atender as necessidades de planejamento em nível local e para dar suporte a trabalhos de manejo e conservação do solo, se faz necessário a obtenção de informações detalhadas das características físicas, químicas e morfológicas dos solos, de seu comportamento e de sua distribuição em

função da paisagem, que facilitam a compreensão dos processos genéticos pelos quais os solos têm passado e de seu estado atual. Estes dados são obtidos através de estudos de seqüências de solos, que fornecem elementos básicos, mas não menos importantes, para o uso e manejo de terras, melhorando o entendimento da distribuição dos solos de uma área e o seu relacionamento com outros solos de características análogas em outras áreas (VINHAS, 2005).

O estudo de seqüências de solos, a avaliação da influência dos diferentes fatores de formação e também a compreensão dos processos pedogenéticos têm se mostrado uma forma bastante eficiente para a investigação das causas das diferenciações pedológicas, provocadas por fenômenos naturais, à exemplo da influência direta de compostos transportados de partes mais altas para as mais baixas da paisagem, bem como por fenômenos antrôpicos oriundos dos processos de uso e ocupação do solos.

Desta forma, o presente estudo teve por objetivo caracterizar morfológica, física e quimicamente os diferentes solos de uma seqüência, representativa da Bacia Hidrográfica do Rio Subaé, no município de Santo Amaro, Bahia, em área altamente contaminada por rejeitos do processamento de chumbo e, por meio desses resultados, explicar os principais processos pedogenéticos que, possivelmente, provocaram alterações nos solos, ao longo da vertente analisada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANJOS, J. A. S. A. **Estratégias para remediação de um sitio contaminado por metais pesados—estudo de caso.** São Paulo, 1998. 157p. Dissertação (Mestrado)-Escola politécnica, Universidade de São Paulo.

ANJOS, J. A. S. A.; SANCHEZ, L. E. Plano de Gestão ambiental para sítios contaminados com resíduos industriais: o caso da Plumbum em Santo Amaro da Purificação - BA. In: **Bahia Análise & Dados**, Salvador/BA, v.10 n. 4 p.306-309, mar. 2001.

ASEVEDO, L. P. **Mapeamento geoquímico de solos contaminados por metais (Pb, Zn, As e Cu), Santo Amaro da Purificação.** Dissertação (Mestrado em Solos e Qualidade de Ecossistemas), UFRB, Cruz das Almas-BA, 93 f, 2012.

BOMFIM, M. R. **Características de ecossistemas manguezais contaminados por metais traços.** Tese (Doutorado em Geologia) Instituto de Geociências – UFB, Salvador-BA, 108 f, 2014.

CARVALHO, F. M.; SILVANY NETO, A. M.; TAVARES, T. M.; COSTA, A. C. A.; CHAVES, C. d'EI R.; NASCIMENTO, L. D.; REIS, M. A.; Chumbo no sangue de crianças e passivo ambiental de uma fundição de chumbo no Brasil. In: **Revista Panamericana de Saúde Pública**, vol.13 nº1, Washington (EUA), ja n. 2003.

CASTILHOS JUNIOR, A. B. (Coord.) **Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte.** Rio de Janeiro : ABES, RIMA, 2003. 294 p.

CPRM. **Perspectivas do Meio Ambiente do Brasil.** Uso do subsolo. Belo Horizonte-MG. ago. 2002

FERNANDES, F. R. C.; BERTOLINO, L. C.; EGLER, S. G. (eds.) **Projeto Santo Amaro – BA:** aglutinando ideias, construindo soluções –diagnósticos. 2ªEd. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2012).

MACHADO, S.L.; RIBEIRO, L.D.; KIPERSTOK, A.; BOTELHO, M.A.D. E CARVALHO, M.F. **Diagnóstico da contaminação por metais pesados em Santo Amaro - BA.** Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 9, n. 2 - abr/jun, p. 140-155, 2004.

MANZATTO, C. V.; FREITAS JUNIOR, E de.; PRES, J. R. R. (Ed.). **Uso agrícola do solo brasileiro.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002a. v. 1. 174 p.

SOBRAL, L. G. S. Relatório de viagem a Salvador – BA 24 a 26 mar. 2008. **Palestra sobre a hidrometalurgia do chumbo no fórum de**

**"Tecnologia Limpa para Santo Amaro da Purificação"**. Relatório de viagem elaborado para o CETEM/MCT, mar. 2008.

VINHAS, A. F. **Caracterização Pedológica de duas Toposseqüências** Típicas da Bacia Hidrográfica do Rio Jacutinga. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Meio Ambiente. Universidade Federal da Bahia. 2005

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Localização da área de estudo

A sequência de solo estudada localiza-se nas dependências e arredores de uma antiga siderúrgica de processamento de chumbo (Figura 1), que fica a noroeste da área urbana do município de Santo Amaro, Bahia, a 300 metros do rio Subaé, principal rio da micro-bacia hidrográfica de mesmo nome, que segundo INEMA (2014) faz parte do complexo de bacias hidrográficas Recôncavo Norte e Inhambupe.

O município de Santo Amaro localiza-se segundo IBGE (2014) na microrregião geográfica de Santo Antônio de Jesus, região econômica Recôncavo Sul (SEI, 2014). A região possui clima tropical úmido, com temperatura média anual de 25,4°C (máxima de 31°C e mínima de 21,9°C), pluviosidade anual média de 1.540 mm (EMBRAPA, 2000; ANJOS, 2003), sendo o período de abril a junho o mais chuvoso, com ocorrência de ventos fortes nos meses de julho e agosto.

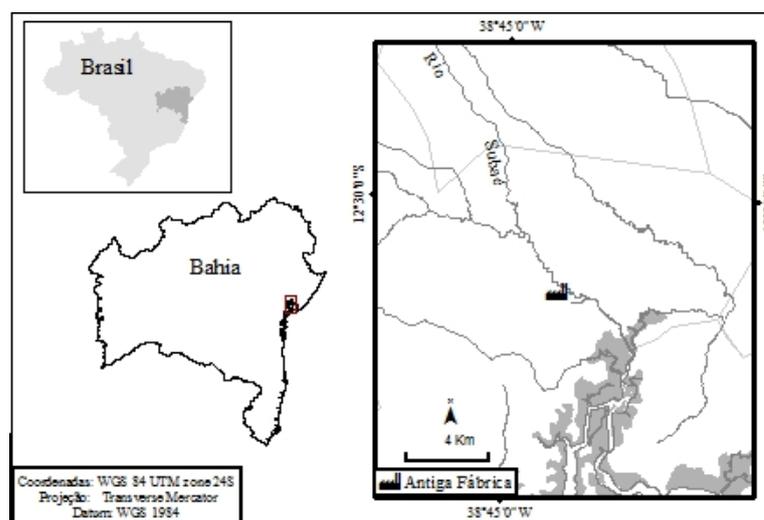


Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo, às margens do Rio Subaé, Santo Amaro-BA.

Após avaliação da área nas dependências da antiga siderúrgica de processamento de chumbo e entorno, foram selecionadas áreas ao longo de uma sequência da paisagem, para abertura de trincheiras, com o intuito de avaliar as características morfológicas, químicas e físicas dos solos e sua posterior classificação.

Tabela 1- Localização dos perfis amostrados.

Perfil	. Posição	Altitude (m)	Latitude	Longitude
P1	Topo	54	0529051 N	8613696 E
P2	Terço superior	46	0529106 N	8613740 E
P3	Terço médio	29	0529221 N	8613862 E
P4	Terço inferior	24	0529436 N	8614036 E
P5	Baixada	12	0529602 N	8614156 E

A seleção dos perfis baseou-se em diferenças geológicas encontradas, na distribuição do relevo regional e na área de influência dos rejeitos do processamento de chumbo abandonados, visando uma maior representatividade dos solos existentes nessas áreas e suas variações na paisagem. Nesse sentido, foram abertas cinco trincheiras, em situação de topo (P1), terços superior (P2), médio (P3) e inferior (P4) de encosta e uma em situação de baixada (5), às margens do rio Subaé, com distância total entre as extremidades de 728 metros. (Tabela 1 - Figuras 2 e 3).

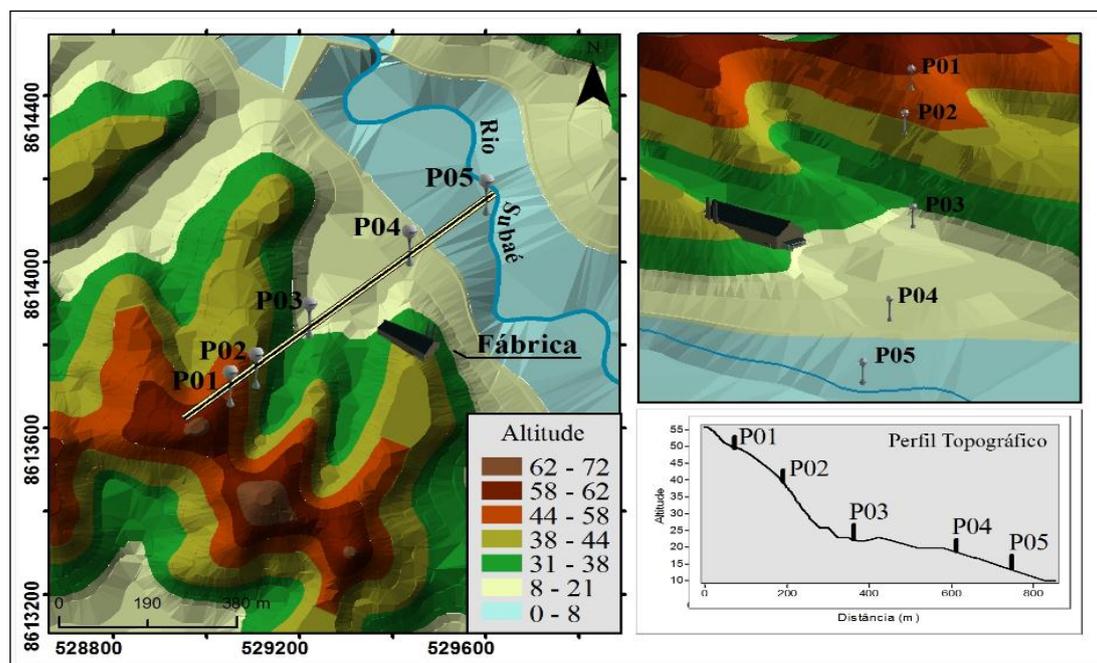


Figura 2 - Mapa de localização dos perfis estudados e relevo da área, às margens do Rio Subaé, Santo Amaro-BA.



Figura 3 – Vista geral da área de estudo, com localização dos perfis, ao longo da topossequência, nas imediações da antiga fábrica de chumbo, às margens do Rio Subaé, Santo Amaro-BA.

### **Descrição dos perfis, coleta de solo e preparo das amostras**

Após a caracterização inicial da área de estudo foi realizada em seguida abertura das trincheiras, a descrição morfológica dos perfis, de acordo com Santos et al. (2005), sendo coletadas amostras deformadas, para posteriores análises físicas e químicas.

As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, identificadas e transportadas para o laboratório de Física do Solo da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB). Após secagem ao ar as amostras deformadas foram passadas em peneira com malha de 2 mm de diâmetro.

## Análises Laboratoriais

### Análises físicas

As análises físicas foram realizadas seguindo metodologias descritas em Embrapa (2011). As frações granulométricas foram determinadas pelo método da pipeta, usando como dispersante o hexametáfosfato de sódio e agitação lenta (50 r.p.m. durante 16 horas) no agitador vertical de Wagner. A areia foi fracionada em areia grossa (AG) e areia fina (AF), utilizando-se peneiras com os respectivos diâmetros e um agitador mecânico. A argila dispersa em água também foi determinada pelo método da pipeta, utilizando a água como dispersante, e os valores obtidos foram usados para calcular o grau de dispersão do solo, obtidos pela seguinte equação 1.

$$GD (\%) = 100 - \frac{\text{Argila total} - \text{Argila não dispersa em água} \times 100}{\text{Argila total}} \quad (1)$$

Os teores de silte e argila permitiram calcular a relação silte/argila.

### Análises químicas

O solo foi analisado para pH(H<sub>2</sub>O) e o pH(KCl), determinados, na relação solo: solução de 1:2,5, pelo método potenciométrico; Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e Al<sup>3+</sup> foram extraídos com KCl 1mol L<sup>-1</sup>, na relação de 1:10. A acidez potencial, H+Al foi determinada pelo método do acetato de cálcio tamponado a pH 7,0. Já fósforo, potássio e sódio foram extraídos por Mehlich<sup>-1</sup> (HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol L<sup>-1</sup>) e quantificado pelo método colorimétrico (P) e fotometria de chama (K e Na), conforme descrito em EMBRAPA, (2009). Conforme descrito em Embrapa (2013) e, à partir dos dados de bases trocáveis e acidez dos solos estudados, procedeu-se os cálculos da soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC), percentagem de saturação por bases (V) e percentagem de saturação por alumínio. A atividade da argila foi calculada pela expressão: CTC x 1000/g kg<sup>-1</sup> de argila, conforme Embrapa (2013).

O equivalente de carbonato de cálcio foi determinado na terra fina por ataque por HCl (0,5 mol L<sup>-1</sup>), conforme Embrapa (2013).

A determinação do carbono orgânico foi através da oxidação da matéria orgânica, pelo método volumétrico com solução de dicromato de potássio, em meio ácido e titulação do excesso de dicromato com solução de sulfato ferroso amoniacal, usando difenilamina com indicador.

Os teores de óxidos de  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$  foram determinados pelo método do ataque sulfúrico (EMBRAPA, 2000). Foi pesado 1,0 g de terra fina seca ao ar (TFSA), masseradas em cadinho de ágata e em seguida passado em peneira de 0,5 mm, para tubos de digestão de 75 mL. Adicionado 20 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (relação 1:1 com  $\text{H}_2\text{O}$  destilada) e aquecida em bloco digestor, tampado os tubos com funil de condensação, a temperatura foi aumentada aos poucos  $75^\circ\text{C}$ ,  $110^\circ\text{C}$ ,  $140^\circ$ ,  $165^\circ\text{C}$ ,  $175^\circ\text{C}$ , até  $180^\circ$  até ferver durante 30 minutos. O refluxo permite que a concentração do ácido se mantenha. Após retirar e esfriar, foi adicionado  $\pm 50$  mL de  $\text{H}_2\text{O}$  destilada e filtrar com papel faixa azul para balão volumétrico de 250 mL, lavado o papel até completar o volume. O resíduo do papel de filtro foi usado para o ataque alcalino, no qual foi determinado o teor de  $\text{SiO}_2$  pelo procedimento gravimétrico. O extrato do ataque sulfúrico foi utilizado para determinação  $\text{Al}_2\text{O}_3$  pelo procedimento complexometria.

O procedimento de pseudo-digestão para metais adotado foi o EPA - SW 846-3050, conforme descrito por Raij et al., (2001): em síntese, cerca de 0,5 g do solo foi pesado em balança analítica e transferido para tubos de ensaio, devidamente identificados, no qual foi adicionado 10 ml de solução  $\text{HNO}_3:\text{H}_2\text{O}$  deionizada 1:1 (v/v). A mistura foi aquecida nos tubos de digestão a  $95^\circ\text{C}$  em sistema de refluxo durante quinze minutos em bloco digestor (SL 25/40 SobaB) e retirada para resfriar. Em seguida, adicionou-se 5 ml de  $\text{HNO}_3$  concentrado, aquecendo novamente a  $95^\circ\text{C}$ , sob refluxo por 30 minutos. Este procedimento foi repetido mais uma vez.

A mistura foi aquecida a  $95^\circ\text{C}$ , após resfriada, foi adicionada a mistura 2 ml de água deionizada e 3 ml de  $\text{H}_2\text{O}_2$ , aquecendo novamente até que a reação de efervescência provocada pelo  $\text{H}_2\text{O}_2$  fosse reduzida. Adicionou-se novamente o  $\text{H}_2\text{O}_2$  de 1 em 1 ml até que a aparência da amostra não alterasse e não ultrapassando 10 mL de  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Novamente a mistura ficou sob aquecimento a  $95^\circ\text{C}$  e adicionou-se 5 ml de ácido clorídrico concentrado e 10 ml de água deionizada, e aqueceu a mistura durante 15 minutos a  $95^\circ\text{C}$ . Após resfriado, o material foi filtrado em papel de filtragem lenta com papel filtro Whatman (n<sup>o</sup> 42), e avolumado com HCl 1:100 (volume/volume) para 50 ml e acondicionados em recipientes previamente limpos e

descontaminados. Os teores de Pb, Cd e Zn no solo foram determinados em Espectrofotômetro de Absorção Atômica VARIAN, Modelo AA240 FS com SIPS.

### **Classificação dos Solos**

Após os resultados morfológicos e analíticos, os perfis descritos foram classificados segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS (Embrapa, 2013).

## RESULTADO E DISCUSSÃO

### Gênese e morfologia dos solos

A região de estudo encontra-se na feição NE do craton São Francisco, (Bacia Sedimentar do recôncavo), de idade Mesocenozóica, delimitada por um sistema subparalelo de falhas normais (rift).

A geologia da área é composta, por rochas dos grupos: Santo Amaro (formação candeias: folhelho e siltito intercalados, com níveis de calcário e dolomito; arenito); Ilhas (folhelho e arenito intercalados, marga, arenito calcífero, folhelho carbonoso, siltito e calcilutito) e Brotas (formação Sergi: arenito fino a conglomerático; conglomerado e pelito subordinado), além de depósitos de pântanos e mangues (BRASIL, 1999; CPRM, 2010). Especificamente na área de estudo, os perfis de solos foram formados à partir de rochas do grupo Santo Amaro (perfis 1 a 4) e de depósitos quaternários, sedimentados em meandros do rio Subaé (perfil 5).

De acordo com Brasil (1981) a região pertence ao domínio das bacias e coberturas sedimentares, na unidade geomorfológica Baixada Litorânea, que se desenvolve, segundo Brasil (1999), em torno da baía de Todos os Santos e trata-se, em geral, de colinas rebaixadas e restos de tabuleiros com altitudes raramente superiores a 100m, fato comprovado pela cotas altimétricas onde foram alocados os perfis estudados (tabela 1). Na área estudada predomina relevo regional ondulado, em média com 18% de declividade, e, em áreas específicas, foram encontrados relevo local plano (topo e baixada) e suave ondulado em terço inferior de encosta.

Na região de abrangência da bacia hidrográfica do rio Subaé, no município de Santo Amaro, predominam Vertissolos, Argissolos, Neossolos, além dos Gleissolos nas áreas de manguezais (Brasil, 1981).

Após as prospecções em campo e análises morfológicas (tabela 2), observou-se que, em geral, os solos são jovens, apresentando-se rasos (perfis 1 a 4), com profundidades de até 100 cm (à exceção do P5 que apresentou profundidade de 215 cm, com diferentes camadas de sedimento), e são endopedregosos (perfil 1 a 4 com fragmentos de rocha e P5 com camadas cascalhentas com seixos de quartzo arredondado). Estes solos apresentam sequência de horizontes A-Bi-C e A-C, em todos os casos com presença de transição ondulada e, ou irregular (Tabela 2).

**Tabela 2** - Características morfológicas dos solos ao longo de topossequência, nas imediações da antiga fábrica de chumbo, às margens do Rio Subaé, Santo Amaro-BA.

Cam.	Prof. (cm)	Cor úmida	Mosqueado ou variegado*	Sup. de fricção ou compressão	Estrutura	Consistência			Transição
						Seca	úmida	molhada	
<b>PERFIL 1- VERTISSOLO</b>									
Ap1	0-5	GLE Y1 2,5/N	--	--	Bsub, Mod, Med e gran, mod, med	-	firme	m.plas e m.peg	Pla e cla
Ap2	5-15	7,5YR 2,5/1	--	--	Bsub, Mod a for, gra,	-	firme	m.plas e m.peg	Pla e grad
AB	15-39	7,5YR 3/1	--	--	Bsub, mod, gra,	-	Friável a firme	pla e peg	Pla e grad
BA	39-46/49	7,5YR 4/3	--	--	Bsub, mod, gra,	-	Friável	m.plas e peg	Ond e cla
Biv	46/49-63/70	5YR 4/6	5Y 5/3	comum	Bsub, Mod, gra e cun	-	friável	plas e m.peg	Ond e cla
C	63-85+		10YR 4/6; 5Y 5/3; 5Y 6/4	--	fra, bsub, gra,	-	firme	pla e peg	--
<b>Perfil 2- VERTISSOLO</b>									
Ap	0-7	10YR 3/2		-	Bsub, Mod, med e gra,	-	Friável a firme	m.plas e peg	Pla e grad
AB	7-20/37	--	5YR 4/3; 10YR 4/6; 5Y 6/3	-	bsub, Mod, gra	-	firme	m.plas e peg	Ond e cla
Biv	20/37-48/53	--		comum	Mod, bsub, gra, cun	-	Friável a firme	m.plas e m.peg	Ond e grad
BC	48/53-50/57	--		--	maç,	-	Friável a firme	pla e peg	Irr e cla
Cr	50/57 +	--		--	cas,	-	Friável a firme	pla e peg	--
<b>Perfil 3- NEOSSOLO</b>									
Ap	0-5	5Y 5/4		--	Bsub, fra, med a gra,	--	firme	m.plas e m.peg	Pla e cla
C1	5-35(25-40)	2,5Y 4/4; 10 YR 4/6; 5Y 4/2	5Y 4/3	--	maç,	--	firme	m.plas e m.peg	Irr e cla
C2	35-78	10 YR 5/8; 5Y 4/2; GLEY 2 3/10B	5Y 5/2	--	maç,	--	firme	m.plas e m.peg	Pla e grad
C3	78-100	GLE Y 2 2,5/5PB	--	--	maç,	extremamente duro	Extr. duro	--	--

arg = argila; arg.aren = argila arenosa; m.arg = muito argilosa; farg = franco argilosa; f.arg.aren = franco-argiloarenosa; bsub = blocos subangulares; maç = maciça; cascalho = cas; peq = pequeno; med = médio; cun = estrutura cuneiforme; mod = moderada; fra = fraca; gran = granular; pmed = pequena e média; fmod = fraca a moderada.

**Tabela 2** - Características morfológicas dos solos situados na fábrica Pumblum e proximidades do rio Subaé, continuação.

Cam.	Prof. (cm)	Cor úmida	Mosqueado ou variegado*	Sup. de fricção ou compressão	Estrutura	Consistência			Transição
<b>Perfil 4 - VERTISSOLO</b>									
Apg	0-12	GLEY 2 4/5PB	--	--	bsub, mod, peq a med e gran, mod, peq a med	Duro	firme	Plas e peg	Pla e abr
ABg	12-28	GLEY 2 5/5PB	--	--	Pris, fort, gra e blang,med, ,mod	m.duro	mfirme	m.plas e peg	Pla e grad
BAG	28-40	GLEY 1 4/ 5G	7.5YR 5/8	--	Pris, fort, gra e blang,med, ,mod	m.duro	mfirme	m.plas e peg	Pla e grad
Bivg	40-71	10YR 4/6	GLEY 1 5/5G	Comum	Pris, fra, m.gra e blang, fra, ,mgra,	muito duro	mfirme	m.plas e peg	Pla e dif
Cvg	71-95	GLEY 1 6/5G	--	comum	Blang, fra, gra,	muito duro	mfirme	m.plas e peg	
<b>Perfil 5 - NEOSSOLO</b>									
Ap	0-10	7,5 YR 3/3	--	--	Bsub, fra, med e maç,	Duro	friável a firme	Ligpla e ligpeg	Pla e clã
C	10-43(34-39)	7,5 YR 4/3	--	--	Bsub, fra a mod, med	-	friável a firme	Ligpla e peg	Irr e clã
2C	43-76(72-80)	7,5 YR 4/3	--	--	Bsub, gra, fra, mod	-	Friável	Ligpla e n.peg	Ond e cla
3C	76-96 (90-107)	--	5YR 4/4; 5YR 3/1; 5YR 5/8	--	Bsub, med, gra, fra,	-	friável	Ligpla e n.peg	Irr e clã
4C	96-132	--	5YR 3/1; 5YR 4/6; 7,5 YR 4/6; 7,5YR 6/4	--	Bsub, med a gra, fra, grãos simples	-	Muito frável	n.pla e n.peg	pla e abr
5Cg	132-149	GLEY1 6/N	5YR 5/8	--	Bsub, fra, gra,	-	friável a firme	m.plas e peg	pla e abr
6C	149-166	5YR 4/6	5YR 6/1;	--	Grãos simples	-	Solta	n.pla e n.peg	pla e abr
7C	166-202	--	5YR 4/6; 5YR 3/4; - 5YR 7/1; 5YR 4/3; 5YR 2,5/1	--	Grãos simples	-	Solta	n.pla e n.peg	pla e abr
8C	202-215+	10YR 7/1	10 YR 5/1	--	Grãos simples	-	Solta	n.pla e n.peg	

arg = argila; arg.aren = argila arenosa; m.arg = muito argilosa; farg = franco argilosa; f.arg.aren = franco-argiloarenosa; bsub = blocos subangulares; maç = maciça; cascalho = cas; peq = pequeno; med = médio; cun = estrutura cuneiforme; mod = moderada; fra = fraca; gran = granular; pmed = pequena e média; fmod = fraca a moderada.

Até o terço inferior da encosta, onde havia ocorrência da rocha sedimentar (folhelho), que muitas vezes avança até a calha do rio Subaé, os solos sofreram processos de formação parecidos (vertissolização). A ocorrência deste processo foi observada nos perfis 1, 2, 3 e 4, expresso pela presença de fendas de até 1 cm na superfície e na massa do solo; estrutura prismática (P4) e cuneiforme (P1 e P2); superfícies de compressão (P1 e P2) e de fricção (P4). Por estarem úmidos no momento da descrição, as características vérticas não foram tão evidentes em P1 e P2, mas em P4, com solo seco, tais características foram facilmente observadas. Nestes perfis, independentemente da posição na paisagem, observou-se a presença de horizonte vértico (Biv), mostrando que, para a região estudada, as características do material de origem, associada ao clima úmido foi mais marcante que o fator relevo, para a formação dos solos.



Figura 4 – Perfis de Vertissolos P1 (A) e P2 (B) característicos da região de Santo Amaro - BA

Apesar de no terço médio da paisagem, onde o P3 está inserido, predominar, naturalmente, o Vertissolo, em relevo suave ondulado, na área estudada, houve um aplainamento artificial para a deposição dos resíduos resultante do processamento do chumbo (escória) que, posteriormente, há aproximadamente 20 anos, foi

recoberto por material de solo (agradação) da encosta próxima a área (figura 5). Acima deste material foi plantado capim braquiária e, com a constante deposição de matéria orgânica, formou-se um horizonte A, acima de horizonte C com fragmentos de rocha, configurando assim a formação de um novo solo, por processo de antrossolização. De acordo com Kämpf e Curi (2012) este processo ocorre pela adição humana de materiais, movimentação de solo, fertilização, irrigação, aterramento, decapagem, reação do solo por adições químicas, contaminação com poluentes, dentre outros, caracterizando assim a formação de solo antrópico.



Figura 5 – Perfil de Neossolo (P3) em área de rejeito de chumbo em Santo Amaro – BA

O perfil 3 apresenta uma sequência de horizontes A “antrópico”, com estrutura fracamente desenvolvida, em blocos subangulares, acima de horizontes C sem estrutura (maciço), formados à partir de fragmentos de rochas de solos adjacentes (C1), mistura deste material com a escória depositada (C2) e por fim uma camada, predominantemente, de escória (C3).

Por apresentarem textura argilosa e, ou muito argilosa os perfis de 1 a 4 apresentam drenagem imperfeita, com permeabilidade lenta, evidenciado por cores neutras ou próximo de neutras na matriz do horizonte, com mosqueados de redução

(P4) e, ou variegados (tabela 2). Os variegados encontrados, principalmente nos horizontes C destes solos devem-se à presença de fragmentos de rocha, ainda em processo de alteração.

O perfil 5, de ocorrência em um terraço aluvial, formado pelos meandros do rio Subaé, apresenta camadas estratificadas, cruzadas, formada pela ação da água fluvial, típicas de rios com cursos meandrantés (figura 6). Segundo Bigarella (2003), geralmente esses sedimentos são constituídos por areias média e grosseiras e contêm grânulos e pequenos seixos depositados num ambiente de canais anastomosados pela migração das barras, fato constatado no perfil em estudo.



Figura 6 – Perfil de Neossolo Flúvico às margens do rio Subaé, Santo Amaro-Ba

Acima das camadas aluviais arenosas, foram observadas camadas mais argilosas, certamente provenientes das partes mais altas da paisagem, depositadas por processos erosivos, denotando caráter flúvico, de natureza colúvio-aluvionar. Este solo apresentou horizonte e camadas com estrutura fracamente desenvolvida ou mesmo sem estrutura (grãos simples) e cores variadas em função de presença irregular de materiais orgânicos e minerais de origem diversa (tabela 2).

## Características físicas dos solos

Para os Vertissolos estudados (P1, P2 e P3), a análise textural mostrou pouca variação das frações entre os horizontes de um mesmo solo e entre os perfis (Tabela 3). Em geral, estes solos apresentaram classe textural entre argilosa e muito argilosa em todos os horizontes, com predomínio de areia fina em relação a areia grossa. O perfil 3 (Neossolo) apresentou textura argilosa em todos os horizontes, denotando predomínio desta fração em relação às outras. Os teores de areia total neste solo, principalmente areia grossa e de cascalhos (observação feita na análise morfológica do solo) mostraram-se ligeiramente superiores em relação aos Vertissolos, por se tratar de um solo formado pela adição de materiais provenientes dos solos do entorno, removido pela ação de máquinas, que depositou, inclusive, material pouco alterado de horizontes C dos mesmos. Estes elevados teores de argila são característicos de Vertissolos que, segundo Embrapa (2013), devem apresentar conteúdo mínimo de argila de  $300 \text{ g kg}^{-1}$ .

O perfil 5 (Neossolo Flúvico) apresentou, em toda a sua extensão, descontinuidade de material evidenciada por camadas estratificadas, com variação irregular de textura (Tabela 3), o que indica a ocorrência de caráter flúvico (Embrapa, 2013). Em geral, as camadas, ao longo do perfil, mostraram-se arenosas, intercalados por horizontes (A, C e 5Cg) de textura média-argilosa, provavelmente por influência dos solos argilosos dos seguimentos mais altos da paisagem. Vale ressaltar que a presença destas camadas arenosas, relativamente espessas, faz com que, na região, este seja um ambiente de exploração de areia para a construção civil.

Tabela 3. Características físicas dos solos ao longo de topossequência, nas imediações da antiga fábrica de chumbo, às margens do Rio Subaé, Santo Amaro-BA.

Horizontes		Textura ( $\text{g kg}^{-1}$ )				AD ( $\text{g kg}^{-1}$ )	GD (%)	Classe textural
Simb.	Prof. (cm)	Areia		Silte	Argila			
		Grossa	Fina					
Ap1	0-5	16	72	404	507	440	87	Argila
Ap2	5-15	16	52	326	605	540	89	Muito argilosa
AB	15-39	18	53	295	632	560	89	Muito argilosa
BA	39-47(46-49)	178	46	250	685	580	85	Muito argilosa
Biv	47-63 (56-70)	8	24	242	725	500	69	Muito argilosa
C	63-85+	6	23	308	662	540	82	Muito argilosa
Ap	0-7	16	43	281	658	540	82	Muito argilosa
AB	7-28 (20-37)	4	29	279	687	610	89	Muito argilosa
Biv	28-48 (46-53)	5	18	323	652	560	86	Muito argilosa
BC	48-55 (53/57)	17	36	330	615	510	83	Muito argilosa
C	55+	27	27	368	576	480	83	Argila
Ap	0-5	75	23	383	517	410	79	Argila
C1	5-35(25-40)	101	14	376	507	318	63	Argila
2C	35-78	256	15	261	466	220	47	Argila
3C	78-100	--	--	--	--	--	--	--
Apg	0-12	79	126	266	527	400	76	Argila
ABvg	12-28	64	141	226	567	460	81	Argila
BAvg	28-40	17	40	205	736	590	80	Muito argilosa
Bivg	40-71	8	22	158	810	570	70	Muito argilosa
Cvg	71-95	7	17	169	805	570	71	Muito argilosa

Tabela 3. Características físicas dos solos ao longo de topossequência, nas imediações da antiga fábrica de chumbo, às margens do Rio Subaé, Santo Amaro-BA. continuação.

Horizontes		Textura ( $\text{g kg}^{-1}$ )				AD ( $\text{g kg}^{-1}$ )	GD (%)	Classe textural
Simb.	Prof. (cm)	Areia						
		Grossa	Fina	Silte	Argila			
A	0-10	265	400	73	261	180	69	Franco argilo arenosa
C	10-43 (34-39)	121	480	107	290	210	72	Franco argilo arenosa
2C	43-76 (72-80)	52	656	132	157	130	83	Franco arenosa
3C	76-96 (90-107)	162	544	131	161	140	87	Franco arenosa
4C	96-132	344	493	58	103	98	95	Areia franca
5Cg	132-149	123	416	205	253	180	71	Franco argilo arenosa
6C	149-166	600	303	37	58	50	85	Areia
7C	166-202	890	47	19	42	35	82	Areia
8C	202-215	466	499	7	26	10	38	Areia

Os teores de argila dispersa em água e, conseqüentemente do grau de dispersão, apresentaram valores elevados na grande maioria dos perfis e horizontes avaliados. Esta elevada dispersão pode ser causada pelos altos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e, ou  $\text{Mg}^{2+}$  (tabela 3), observados nestes solos, provenientes dos carbonatos presentes nas rochas, que deram origem aos mesmos. Análises de equivalente de carbonato de cálcio realizadas nos horizontes Bi e C dos Vertissolos estudados (P1, P2 e P4), mostraram teores entre 16,92 e 19,79  $\text{g kg}^{-1}$ , respectivamente. Estes teores são considerados baixos, insuficientes para caracterizar estes solos como hipocarbonáticos, segundo critérios de Embrapa (20013), mas suficientes para explicar os elevados teores de cálcio e magnésio encontrados nos mesmos.

A adsorção de íons  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+$  no solo pode causar dispersão ou floculação dos coloides do solo, dependendo das condições iniciais em que o solo se encontra e das concentrações, relativas desses íons na solução do solo, regulando, assim, a espessura da dupla camada. O poder floculante dos cátions aumenta de acordo com a sequência: mono, di e trivalentes. Apesar do íon  $\text{Na}^+$ , concorrer para a dispersão, devido ao seu maior raio iônico hidratado, à depender da concentração e do seu acompanhante os íons  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  podem concorrer para a dispersão dos solos (ALMEIDA NETO, 2007).

Estudando o efeito de fontes de cálcio e magnésio na dispersão da argila no solo, Jucksch et al. (1986) verificaram que esses elementos fornecidos como cloretos e sulfatos, não provocaram efeito dispersante da argila do solo, enquanto que a argila dispersa em água foi aumentada quando a fonte de cálcio e magnésio foi o carbonato. Avaliando Vertissolos na região das Várzeas de Souza na Paraíba Corrêa et al. (2003) observaram correlação significativa e positiva ( $r = 0,80$ ) entre os teores de magnésio e os teores de ADA para os solos estudados, sendo o papel do magnésio na dispersão das argilas mais evidente nos Vertissolos.

Para os solos avaliados no presente estudo, foi observada correlação elevada ( $r^2 = 0,74$ ) entre a ADA e os teores de cálcio e baixa para os teores de magnésio (figura 6).

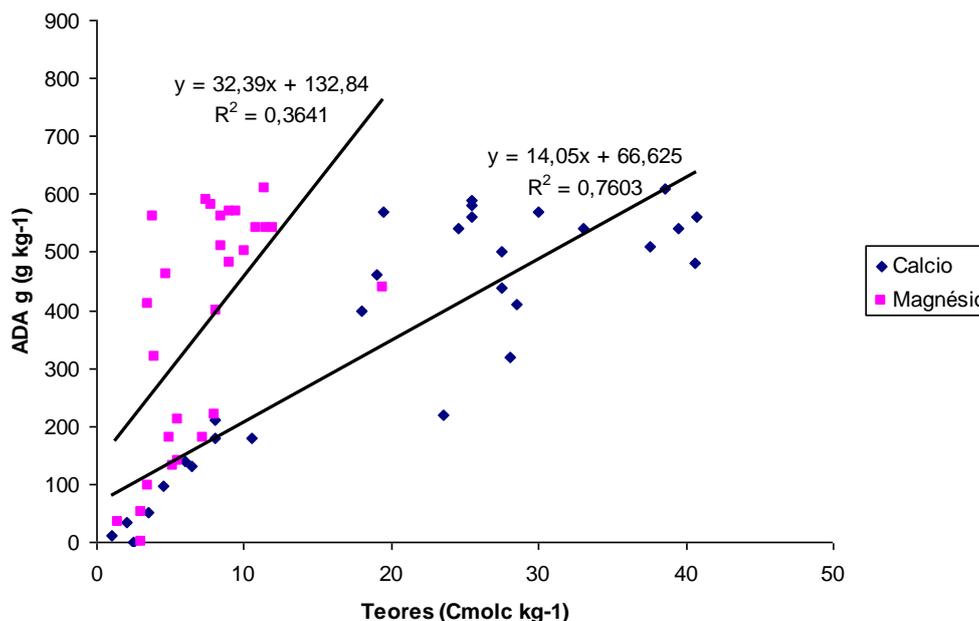


Figura 7 - Coeficiente de correlação linear simples entre os teores de argila dispersa em água e os teores de cálcio e magnésio disponíveis de solos do município de Santo Amaro – Bahia

Os elevados graus de dispersão encontrados, permite inferir que os solos estudados apresentam alta susceptibilidade à erosão, principalmente por estarem em relevo, predominantemente, ondulado, sendo os mesmos importantes contribuintes para os sedimentos que vão formar os solos dos ambientes de baixada, às margens dos rios e no estuário (manguezais).

### Características químicas dos solos

Devido à natureza calcária das rochas e materiais que dão origem aos solos da região estudada, observa-se que os mesmos apresentam, em geral, acidez ativa (pH) de média a alcalina, de acordo com critérios sugeridos por Ribeiro et al (1999). Apesar desta tendência geral, foram encontrados nos perfis estudados valores de pH em água (Tabela 04) que variaram de 4,9 (acidez elevada) a 8,4 (alcalinidade elevada). A acidez trocável ( $Al^{3+}$ ) apresentou-se entre muito baixa (P3 e P5) e muito alta (P1 e P4), sendo esta última uma característica incomum para os Vertissolos.

Tabela 4 - Características químicas dos solos ao longo de topossequência, nas imediações da antiga fábrica de chumbo, às margens do Rio Subaé, Santo Amaro-BA

Cam.	Prof. (cm)	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	Δ pH	C.O.	P	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	SB	CTC	valor T	m %	V %
					g.Kg <sup>-1</sup>	mg.Kg <sup>-1</sup>	Cmol <sub>c</sub> .Kg <sup>-1</sup>										
<b>Perfil 1 – Vertissolo</b>																	
Ap1	0-5	6,0	4,8	-1,17	4,82	5,0	27,50	19,50	0,11	0,50	0,30	9,57	47,61	57,18	112	0,6	83
Ap2	5-15	5,2	3,7	-1,45	2,45	3,0	24,50	10,90	0,13	0,44	0,60	12,87	35,97	48,84	80	1,6	74
AB	15-39	5,3	3,8	-1,5	1,73	2,0	25,50	8,50	0,18	0,25	0,70	10,72	34,43	45,15	71	2,0	76
BA	39-47(46-49)	5,3	3,8	-1,51	1,43	2,0	25,50	7,80	0,29	0,28	1,00	8,91	33,87	42,78	62	2,9	79
Biv	47-63 (56-70)	4,9	3,6	-1,38	1,36	3,0	27,50	10,10	0,27	0,30	3,50	11,38	38,17	49,55	68	8,4	77
C	63-85+	6,4	4,3	-2,11	0,58	3,0	39,50	12,00	0,31	0,28	0,30	2,97	52,09	55,06	83	0,6	95
<b>Perfil 2 – Vertissolo</b>																	
Ap	0-7	6,1	4,8	-1,28	3,34	5,0	33,00	11,50	0,13	0,40	0,30	6,93	45,03	51,96	79	0,7	87
AB	7-28 (20-37)	6,6	4,1	-2,57	1,19	3,0	38,60	11,40	0,11	0,28	0,40	8,08	50,39	58,47	85	0,8	86
Biv	28-48 (46-53)	6,0	4,1	-1,9	0,73	2,0	40,70	3,90	0,22	0,34	0,50	6,27	45,16	51,43	78	1,1	88
BCv	48-55 (53/57)	6,3	4,3	-2,04	0,53	3,0	37,50	8,50	0,20	0,38	0,30	4,78	46,58	51,36	83	0,6	91
C	55 +	8,4	6,5	-1,93	0,40	40,0	40,60	9,00	0,18	0,13	0,30	0,99	49,91	50,9	88	0,6	98
<b>Perfil 3 – Neossolo</b>																	
Ap	0-5	8,1	6,7	-1,4	2,14	36,0	28,50	3,50	0,11	0,22	0,10	0,49	32,33	32,82	63	0,3	99
C1	5-35(25-40)	8,3	6,8	-1,47	0,37	19,0	28,00	4,00	0,05	0,06	0,10	0,33	32,11	32,44	64	0,3	99
C2	35-78	8,3	6,9	-1,38	0,74	16,0	23,50	8,00	0,07	0,12	0,10	0,49	31,69	32,18	69	0,3	98
C3	78-100	8,5	8,1	-0,4	2,36	3,0	2,50	3,00	0,07	0,09	0,10	1,15	5,66	6,81	--	1,7	83
<b>Perfil 4 – Vertissolo</b>																	
Apg	0-12	6,0	5,0	-1,01	2,88	33,0	18,00	8,20	0,00	0,18	0,20	7,92	26,36	34,28	64	0,7	77
ABvg	12-28	6,0	4,1	-1,93	0,81	9,0	19,00	4,70	0,00	0,12	0,33	9,57	23,78	33,35	59	1,4	71
BAvg	28-40	5,8	4,0	-1,8	0,81	3,0	25,5	7,50	0,00	0,04	0,50	6,27	33,02	39,29	53	1,5	84
Bivg	40-71	6,2	4,2	-2,03	0,59	2,0	30,00	9,00	0,00	0,01	1,30	4,62	38,97	43,59	53	3,2	89
Cvg	71-95	5,2	3,5	-1,73	0,58	2,0	19,50	9,50	0,00	0,01	8,00	14,52	29,01	43,53	54	21,6	67

Tabela 4 - Características químicas dos solos, continuação

Cam.	Prof. (cm)	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	Δ pH	C.O	P	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	SB	CTC	Valor T	m %	V %
					g.Kg <sup>-1</sup>	mg.Kg <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> .Kg <sup>-1</sup>										
<b>Perfil 5 – Neossolo</b>																	
A	0-10	6,4	5,6	-0,75	0,74	12,0	8,00	5,00	0,00	0,14	0,20	2,97	13,14	16,11	62	1,5	82
C	10-43 (34-39)	6,4	5,3	-1,15	0,37	7,0	8,00	5,50	0,05	0,12	0,20	2,14	13,67	15,81	54	1,4	86
2C	43-76 (72-80)	6,7	5,2	-1,51	0,37	5,0	6,50	5,20	0,00	0,06	0,20	1,48	11,76	13,24	84	1,7	89
3C	76-96 (90-107)	6,7	5,3	-1,39	0,40	4,0	6,00	5,50	0,00	0,05	0,20	1,32	11,55	12,87	79	1,7	90
4C	96-132	6,9	5,4	-1,49	0,40	4,0	4,50	3,50	0,00	0,03	0,20	1,32	8,03	9,35	90	2,4	86
5Cg	132-149	6,8	5,2	-1,57	0,51	5,0	10,50	7,20	0,00	0,06	0,20	1,81	17,76	19,57	77	1,1	91
6C	149-166	7,1	5,3	-1,79	0,18	6,0	3,50	3,00	0,00	0,01	0,20	2,47	6,51	8,98	153	2,9	72
7C	166-202	7,1	6,0	-1,71	0,18	14,0	2,00	1,50	0,00	0,00	0,20	1,65	3,5	5,15	121	5,4	68
8C	202-215	7,7	6,3	-1,34	0,15	5,0	1,00	1,30	0,00	0,00	0,20	1,15	2,3	3,45	130	8,0	67

Apesar de os Vertissolos apresentarem-se, em geral, neutros a alcalinos (Jacomine, 1996; Embrapa, 2000), na região do Recôncavo da Bahia não é incomum encontrar este tipo de solo (BRASIL, 1981; EMBRAPA, 2000; SACRAMENTO, 2010; LIMA, 2014), apresentando horizontes com acidez de média a elevada e altos teores de alumínio trocável. Estas características podem sugerir que, além do material de origem, as condições de clima quente e úmido, encontradas na região, também influenciam fortemente nas características de acidez dos solos, provavelmente pela ação atual do intemperismo químico, sob o material do solo argiloso, com presença marcante de minerais do tipo 2:1.

Os valores de delta pH para todos os solos estudados apresentou valores negativos, ressaltando a predominância de carga líquida negativa (Oliveira, 2001) dos solos estudados.

Como esperado para os Vertissolos, os solos estudados (P1, P2 e P4) apresentaram teores elevados de cálcio e magnésio (Jacomine, 1996) e, conseqüentemente, elevados valores de soma e saturação por bases, o que permite caracterizar os mesmos como eutróficos. Para estes solos, a capacidade de troca de cátions apresentou valores muito bons, sempre acima de  $15 \text{ cmolc.Kg}^{-1}$ , conforme limites estabelecidos por Ribeiro et al (1999). Além disso, os valores de atividade de argila são bastante elevados (acima de  $27 \text{ cmolc kg}^{-1}$  de argila) e o índice Ki (tabela 6) sempre acima de 4, o que sugere, segundo Oliveira (2001), Lepsch (2011) e Embrapa (2013), a presença de minerais de argila de alta atividade (2:1) nestes solos.

Estudando as características mineralógicas de Vertissolos da região, EMBRAPA (2000); Conceição Filho e Mônaco (2001); e Lima (2014) constataram a presença de Ilita e ilita-esmectita, com predomínio do primeiro na fração argila, além destes, SACRAMENTO (2010) detectou a vermiculita e a esmectita como os componentes mineralógicos da fração argila mais importantes dos Vertissolos estudados.

No perfil 3 (Neossolo antrópico), observou-se que nos primeiros horizontes e camadas as características químicas se assemelham às dos Vertissolos estudados, por ser este um solo formado à partir de material artificialmente depositado, vindo dos solos do entorno. Já a última camada deste solo, formada, predominantemente, por material de escória, oriundo do processo de

beneficiamento de chumbo, apesar de também apresentar pH alcalino, mostrou teores mais baixos de cátions básicos, principalmente cálcio e magnésio, e, conseqüentemente, menores valores de soma de bases e saturação por bases. A CTC desta camada também se mostrou mais baixa que as demais.

Por se tratar de um solo formado por deposição de material colúvio-aluvionar, o Neossolo, representado pelo perfil 5, também mostrou destacadas variações para os atributos químicos avaliados, evidenciando o caráter flúvico do mesmo.

Em geral, por se tratar de um solo mais arenoso, o mesmo apresentou teores sempre mais baixos para os atributos químicos (tabela 5) avaliados do que aqueles encontrados para os Vertissolos, presentes nas partes mais elevadas da paisagem. Apesar disso, os teores de cálcio e magnésio e, conseqüentemente, da CTC e do valor V, também se mostraram bons a muito bons, conforme critérios estabelecidos por Ribeiro et al (1999), certamente por influência de material depositado dos vertissolos. Também o índice Ki (tabela 6) para este solo mostrou valores mais baixos que os Vertissolos, mas sempre próximo ou acima de 2, indicando que o mesmo, apesar de formado por material mais intemperizado que os demais solos da topossequência, sofre forte influência dos mesmos.

Vale ressaltar que também no perfil 5 os valores de atividade da argila são elevados, denotando a presença de argilas do tipo 2:1, característica dos solos da região. Apesar disso, para as camadas 4C, 6C, 7C e 8C os elevados valores encontrados, não reflete, necessariamente, atividade alta da fração argila, pois este critério, segundo Embrapa (2013), não se aplica a materiais de solo das classes areia e areia franca.

Para todos os solos estudados os teores de carbono orgânico são baixos, segundo critérios sugeridos por Ribeiro et al (1999), e, como esperado, decrescem em profundidade, à exceção dos Neossolos, que apresentaram teores ora mais elevados, ora mais baixos, em camadas mais profundas, ressaltando a distribuição irregular deste conteúdo, o que denota o processo de antrossolização por deposição de camadas de solo e rejeitos, no perfil 3 e o caráter flúvico, de natureza colúvio-aluvionar, no perfil 5.

Os teores de fósforo apresentaram-se na maioria dos horizontes e camadas baixos a muito baixos, denotando a pobreza deste elemento no material de

origem dos solos da região. Valores mais elevados deste elemento foram encontrados em horizontes superficiais, devido a ação antrópica na área estudada (pastagens e deposição de lixo – P4 e P5 por se encontrarem em margem de estrada e de rio, respectivamente). No horizonte C do perfil 4 e horizontes e camadas superficiais do perfil 3, foram encontrados teores muito elevados de fósforo, possivelmente, refletindo a influência de porções da rocha sedimentar, com influência marinha, que deu origem aos Vertissolos da região. Estes teores mais elevados de fósforo, encontrados em horizontes subsuperficiais também foram encontrados por SACRAMENTO (2010) e LIMA (2014) ao estudarem Vertissolos da região.

**Tabela 5** -Teores de óxidos de Si e Al determinados pelo ataque sulfúrico e índice ki de solos ao longo de topossequência, nas imediações da antiga fábrica de chumbo, às margens do Rio Subaé, Santo Amaro-BA.

<b>Simb.</b>	<b>Prof.</b>	<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>Ki</b>
<b>Perfil 1 – Vertissolo</b>				
Ap1	0-5	27,15	7,90	5,84
Ap2	5-15	33,05	10,70	5,25
AB	15-39	33,65	8,15	7,02
BA	39-47(46-49)	38,90	9,43	7,01
Biv	47-63 (56-70)	36,30	11,47	5,38
C	63-85+	38,20	11,98	5,42
<b>Perfil 2 – Vertissolo</b>				
Ap	0-7	35,70	10,19	5,96
AB	7-28 (20-37)	39,90	11,98	5,66
Biv	28-48 (46-53)	37,30	12,74	4,98
BC	48-55 (53/57)	39,35	11,21	5,97
C	55+	34,35	7,13	8,19
<b>Perfil 3 – Neossolo</b>				
Ap	0-5	27,80	10,19	4,64
C1	5-35(25-40)	24,90	9,17	4,62
2C	35-78	29,00	10,19	4,84
3C	78-100	36,50	11,21	5,54
<b>Perfil 4 – Vertissolo</b>				
Ap	0-12	26,05	9,43	4,70
ABv	12-28	26,00	8,92	4,96
BAv	28-40	32,35	11,47	4,79
Biv	40-71	35,85	14,27	4,27
C	71-95	36,75	14,27	4,38
<b>Perfil 5 – Neossolo</b>				
A	0-10	4,00	3,56	1,91
C	10-43 (34-39)	7,50	4,59	2,78
2C	43-76 (72-80)	6,50	4,59	2,41
3C	76-96 (90-107)	7,50	4,59	2,78
4C	96-132	6,05	3,05	3,37
5C	132-149	11,85	5,10	3,95

**Tabela 5** -Teores de óxidos de Si e Al determinados pelo ataque sulfúrico e índice ki de solos ao longo de topossequência, nas imediações da antiga fábrica de chumbo, às margens do Rio Subaé, Santo Amaro-BA.

Simb.	Prof.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ki
<b>Perfil 5 – Neossolo</b>				
6C	149-166	4,75	2,29	3,53
7C	166-202	3,60	1,53	4,00
8C	202-215	3,10	2,04	2,58

Avaliando a presença de metais pesados (Cd, Pb e Zn) nos solos estudados, observou-se teores elevados dos mesmos em diferentes horizontes e camadas (tabela 6), desde o solo encontrado no topo, em área acima do ponto de descarte de resíduos da antiga fábrica de beneficiamento de chumbo, até o solo de baixada, em área que fica a, aproximadamente, 300 m da mesma.

Em geral, os maiores teores dos metais avaliados foram observados no perfil 3, onde foi encontrado presença elevada de Cd (17,64 a 51,30 mg.kg<sup>-1</sup>), Pb (645,71 a 23.713,43 mg.kg<sup>-1</sup>) e Zn (236,91 a 1.858,89 mg.kg<sup>-1</sup>) em todos os horizontes e camadas. Vale ressaltar que este perfil está presente na área onde foi formado o Neossolo antrópico, por deposição de material de escória de chumbo e de solo do entrono. Mas, provavelmente, por deposição atmosférica de particulados lançados pela chaminé da fábrica, bem como por processos erosivos e por deposição antrópica os perfis 1 e 2 e 4 e 5, respectivamente, foram também contaminados.

Fadigas et al. (2006) estudando teores pseudototais de metais pesados em solos brasileiros encontraram valores médios de Zn de 20 mg.kg<sup>-1</sup> e de Cd de 1 mg.kg<sup>-1</sup>. Resende et al. (2002), citando diferentes autores, apresenta valores médios de Pb e Cd em solos na ordem de 12 mg.kg<sup>-1</sup> e 0,1 a 7 mg.kg<sup>-1</sup>, respectivamente.

Na região do Recôncavo da Bahia, Sacramento (2010), estudando teores pseudototais de metais, em solos cultivados com cana-de-açúcar encontrou, para Vertissolos, valores mínimos e máximos para Cd de 2,03 e 4,08 mg kg<sup>-1</sup>, para Pb de 10,7 a 27,5 mg.kg<sup>-1</sup> e para Zn de 61,5 a 118,0 mg.kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Neste caso, a autora evidencia a influência da adição de insumos agrícolas no acúmulo de metais no solo.

De acordo com Machado et al. (2004) a escória estocada na antiga fábrica (aproximadamente 500.000 toneladas) apresenta, cerca de 21% de Cd e até

3% de Pb e, fruto da dispersão deste material na área, o solo do entorno da fábrica também apresenta elevadas concentrações de Pb e Cd nos primeiros trinta centímetros, valores estes que estão acima dos limites máximos adotados em diversos países para intervenção em áreas industriais.

**Tabela 6** - Teores pseudototais de metais pesados nos perfis de solos, ao longo de topossequência, nas imediações da antiga fábrica de chumbo, às margens do Rio Subaé - BA.e valores de referência com base na resolução CONAMA (2009)

Simb.	Prof.	Cd	Pb	Zn
Cm		mg kg <sup>-1</sup>		
<b>Perfil 1 – Vertissolo</b>				
Ap1	0-5	5,99	1.387,95	127,93
Ap2	5-15	LD	578,08	44,35
AB	15-39	LD	510,67	78,59
BA	39-47(46-49)	LD	422,65	109,85
Biv	47-63 (56-70)	LD	427,89	53,48
C	63-85+	LD	428,31	0,13
<b>Perfil 2 – Vertissolo Háplico Órtico Típico</b>				
Ap	0-7	1,00	857,80	72,76
AB	7-28 (20-37)	LD	531,04	50,57
Biv	28-48 (46-53)	LD	421,58	25,48
BC	48-55 (53/57)	LD	420,99	79,99
C	55+	LD	341,39	81,86
<b>Perfil 3 – Neossolo Regolítico Eutrófico típico</b>				
Ap	0-5	51,30	1496,32	536,69
C1	5-35(25-40)	19,74	645,71	679,15
2C	35-78	17,64	4068,17	236,91
3C	78-100	29,05	23.713,43	1858,89
<b>Perfil 4 – Vertissolo Háplico Órtico típico</b>				
Ap	0-12	20,76	4.498,90	348,89
ABv	12-28	18,07	2.136,01	325,36
BAv	28-40	0,10	LD	83,30
Biv	40-71	LD	LD	51,63
C	71-95	LD	LD	55,90
<b>Perfil 5 – Neossolo Flúvico Ta Eutrófico típico</b>				
A	0-10	LD	289,59	39,16
C	10-43 (34-39)	LD	251,80	41,90
2C	43-76 (72-80)	LD	227,59	17,07
3C	76-96 (90-107)	LD	216,65	31,74
4C	96-132	LD	193,65	16,14
5C	132-149	LD	LD	35,27
6C	149-166	LD	LD	18,51
7C	166-202	LD	LD	18,45
8C	202-215	LD	LD	7,55
<b>CONAMA (2009)</b>		<b>Cd</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>
		<b>mgKg<sup>-1</sup></b>	<b>mgKg<sup>-1</sup></b>	<b>mgKg<sup>-1</sup></b>
Referência qualidade.		<0,5	17	60
Prevenção		1,3	72	300

**Tabela 6** - Teores pseudototais de metais pesados nos perfis de solos, ao longo de topossequência, nas imediações da antiga fábrica de chumbo, às margens do Rio Subaé - BA.e valores de referência com base na resolução CONAMA (2009) Continuação.

CONAMA (2009)	Cd mgKg <sup>-1</sup>	Pb mgKg <sup>-1</sup>	Zn mgKg <sup>-1</sup>
Intervenção agrícola	3,0	180	450
Intervenção residencial	8,0	300	1000
Intervenção industrial	20	900	2000

\*LD – Abaixo do limite de detecção

Em todos os solos estudados, os maiores teores de metais foram encontrados nos horizontes superficiais. Mas, apesar de pouco móvel, verifica-se que nos solos estudados os metais se movimentaram verticalmente no perfil, devido certamente a translocação de materiais de solo pelos espaços abertos nas fendas, características de solos vérticos. Exceção foi observada no perfil 3, onde as maiores concentrações foram encontradas em subsuperfície, na camada de escória que foi depositada na área e depois recoberta com uma camada de solo do entorno.

Segundo Alloway (1990), no perfil do solo, Ag, As, Cd, Cu, Hg, Pb, Sb e Zn estão concentrados no horizonte superficial, como resultado da ciclagem feita pela vegetação, da deposição atmosférica e da adsorção pela matéria orgânica do solo. Esses resultados são semelhantes àqueles relatados por Matos et al. (1996), que relataram que estudos de mobilidade têm demonstrado que os metais pesados Pb, Cr e Cu apresentam baixa mobilidade, acumulando-se nas camadas superficiais do solo, enquanto Zn, Mn, Ni e Cd são, respectivamente, mais móveis. Para Rocha et al. (2004), este comportamento é explicado devido estes elementos se comportarem como ácidos moles e assim ligarem-se preferencialmente aos quelantes orgânicos de superfície que podem apresentar um comportamento de base mole.

Correlacionando os teores de metais encontrados nos solos com os valores de referência sugeridos por CONAMA (2009), verifica-se que o perfil 1 apresenta valor para cádmio (5,99 mg Kg<sup>-1</sup>) no horizonte A superior ao indicado para intervenção agrícola; para chumbo os valores (422,65 a 1.387,95 mg Kg<sup>-1</sup>) são superiores a intervenção residencial, sendo que para o horizonte A o valor encontrado é superior ao indicado para intervenção industrial. Para zinco os valores estão abaixo do limite de prevenção.

No perfil 2 apesar dos baixos valores encontrados para cádmio e zinco (abaixo dos valores de prevenção), os teores de chumbo em todos os horizontes estão acima do indicado para intervenção residencial; no perfil 3 os valores encontrados, para todos os metais avaliados, estão próximos ou acima do valor indicado para intervenção industrial; no perfil 4 os valores mais elevados de Cd, Pb e Zn se concentraram nos horizontes superficiais (A e AB) com valores próximos ou acima da intervenção industrial.

O perfil 5, provavelmente por apresentar textura mais arenosa, fato que contribui para uma maior mobilidade e, conseqüentemente, perda de elementos, apresentou baixos teores de Zn (abaixo do valor referência de qualidade) e ausência de Cd. Mas os teores de Pb, até a profundidade de 132 cm, estão entre os valores indicados para intervenção agrícola e residencial. Abaixo desta profundidade os metais apresentaram-se em baixa concentração (Zn) ou ausentes (Cd e Pb), o que pode demonstrar um limite entre o período, relativamente, recente da contaminação, com a instalação da fábrica na região e o período anterior, sem contaminação, uma vez que este solo é formado por deposições sucessivas de materiais colúvio-aluvionar. Além disso, abaixo da referida profundidade o material de solo, mais arenoso e apresentando estratificações cruzadas, parecem ser, em sua maioria, oriundo de deposição fluvial, portanto com menor influência dos resíduos da fábrica. Apesar desta afirmação, estudos mais detalhados, baseado em sedimentação de materiais colúvio-aluvionar e datação isotópica, são necessários para comprova-la.

### **Classificação dos Solos**

A partir dos atributos morfológicos, físicos e químicos obtidos neste trabalho, os solos foram classificados até o 6º nível categórico (série), conforme o atual Sistema Brasileiro de Classificação de Solos-SiBCS (EMBRAPA, 2013) como: Vertissolo Háplico Órtico típico, contaminado, moderadamente drenado (perfis 1 e 2); Neossolo Rególítico Eutrófico típico fortemente contaminado antrópico (perfil 3); Vertissolo Háplico Órtico gleissólico fortemente contaminado imperfeitamente drenado (perfil 4) e Neossolo Flúvico Ta Eutrófico típico contaminado bem drenado.

Devido à presença marcante de metais pesados (Pb, Cd e Zn) sugeriu-se para todos os solos estudados o termo contaminado no quinto nível categórico. Devido à importância desta característica para a saúde de plantas, animais e, conseqüentemente, da população onde este problema ocorre, sugere-se uma revisão no atual SiBCS para que esta característica possa ser contemplada em níveis mais elevados, o que garantiria que esta informação, de relevante importância para o uso e manejo dos solos, seja devidamente contemplada, inclusive em levantamentos de solos realizados em escalas menores. Vale ressaltar que a ocorrência de solos contaminados por processos naturais (presença de contaminantes no material de origem) ou atividades antrópicas não são incomuns no território brasileiro.

Além disso, sugere-se a inclusão em nível categórico mais elevado do termo antrópico para solos com processos de formação parecidos aos observados no perfil 3 do presente estudo. Para o sistema mundial de classificação de solos (World Reference Base - WRB, 2006), solos que sofrem ações antrópicas são classificados como Antrossolos ou Tecnosolos. Mas, apesar de ocorrer em diferentes regiões do país, o SiBCS ainda não contempla em nível de ordem, solos desta natureza, ficando restrita apenas ao nível de subgrupo para representar as antigas terras pretas de índio (Latossolo Amarelo Distrocoeso ou Distrófico Antrópico), pela presença de horizonte A antrópico. Segundo Embrapa (2013) trata-se de um horizonte formado ou modificado pelo uso contínuo do solo pelo homem, por períodos prolongados, com adição de matéria orgânica, em mistura ou não com material mineral, e contendo fragmentos de cerâmica e, ou artefatos líticos e, ou restos de ossos e, ou conchas. Esta condição impossibilita a denominação de horizonte A antrópico para o primeiro horizonte do perfil 3, avaliado no presente estudo, uma vez que a formação do mesmo se deu apenas por uso com atividades de mineração.

## CONCLUSÕES

1. Os solos estudados foram classificados como Vertissolo Háptico Órtico típico contaminado moderadamente drenado (perfis 1 e 2), Neossolo Regolítico Eutrófico típico fortemente contaminado antrópico (perfil 3), Vertissolo Háptico Órtico gleissólico, fortemente contaminado imperfeitamente drenado (perfil 4), Neossolo Flúvico Ta Eutrófico típico contaminado bem drenado (perfil 5).

2. Os solos situados na área da antiga fábrica Plumbum Mineração e Metalúrgica, avaliados neste estudo, apresentaram influência antrópica no processo de formação, que provocou inclusive, uma descontinuidade na sequência dos solos normalmente caracterizados na região, principalmente, pela adição de contaminantes metálicos.

3. Todos os perfis dos solos estudados foram classificados como contaminados, por apresentar concentrações elevadas de metais pesados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLOWAY, B. J. **Heavy metals in soils**. New York: J. Willey, 1990. p.100-121.

ALMEIDA NETO, O. B. de. **Dispersão de argila e condutividade hidráulica em solos com diferentes mineralogias, lixiviados com soluções salino-sódicas**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 83 f, 2007.

ANDRADE, M. F. de; MORAES, L. R. S. Contaminação por chumbo em Santo Amaro desafia décadas de pesquisas e a morosidade do poder público. **Ambient. soc.**, São Paulo, v. 16, n. 2, Jun 2013. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1414-753X2013000200005&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1414-753X2013000200005&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 02 Fev. 2014.

ANDRÉA, M. M. O uso de minhocas como bioindicadores de contaminação de solos. **Acta Zoológica Mexicana** (nueva serie). Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, México 26(2):95-107, 2010

ANJOS, J. A. S. A. **Estratégias para remediação de um sitio contaminado por metais pesados—estudo de caso**. São Paulo, 1998. 157p. Dissertação (Mestrado)- Escola politécnica, Universidade de São Paulo.

ARAÚJO, W. S. et al. Relação entre adsorção de metais pesados e atributos químicos e físicos de classes de solo do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 26(1):17-27, 2002.

ARAÚJO, W. S.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B. Influência das propriedades físicas e químicas de solos intemperizados na adsorção de chumbo, cobre e zinco. **Floresta e Ambiente, Seropédica**, 7(1):167-180, 2000.

BARONA, A.; ROMERO, F.. Distribution of metals in soils relationships among fractions by principal component analysis. **Soil Technology**, 8:303-319, 1996.

BASTOS, A. C. S.; FREITAS, A. C. Agentes e processos de interferência, degradação e dano ambiental. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (Org.) **Avaliação e perícia ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.17-75 p.

BOMFIM, M. R. **Características de ecossistemas manguezais contaminados por metais traços**. Tese (Doutorado em Geologia) Instituto de Geociências – UFB, Salvador-BA, 108 f, 2014.

BRADY, N. C. **The nature and properties of soil**. 13 th ed. New Jersey: Prentice Hall, 2002, 960 p.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. **Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 31 ago. 1981. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l6938.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm).>. Acesso em: 11 mai. 2014.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. **Projeto RADAMBRASIL Folha SD. 24** Salvador: Potencial dos Recursos Hídricos (Suplemento). MME/SG/Projeto RADAM BRASIL, Rio de Janeiro, 1999.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. **Projeto RADAMBRASIL Folha SD. 24 Salvador**: Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. MME/SG/Projeto RADAM BRASIL, Rio de Janeiro, 1981.

CASTILHOS JUNIOR, A. B. (Coord.) **Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte**. Rio de Janeiro : ABES, RIMA, 2003. 294 p.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo**. São Paulo, 2001.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 2008. Disponível em <http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/vegetacao/poluicao.asp>. Acesso em: 29 jul. 2014.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009. **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, 2009. 20p.

CORRÊA, M. M. et al. Atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos da região das Várzeas de Sousa (PB). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27(2), 2003.

CURI, N.; KAMPF, N. Caracterização do Solo. In: KER, J.C.; CURI, N.; SCHAEFER, C. E. G. R.; VIDAL-TORRADO, P. V. eds. **Pedologia: Fundamentos**. Viçosa, MG, SBCS, 2012. 147-170 p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 1997. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos e análises de solo**. 2 ed. rev. atual. Rio de Janeiro: Embrapa - CNPS. 212p. (Documentos, 1).

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2000. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Estudo de correlação de solos para fins de classificação nas regiões do Recôncavo Baiano e microrregião de Irecê-Bahia**. Rio de Janeiro: Embrapa - CNPS. 49p. (Boletim de Pesquisa, 9).

FADIGAS, F. S. et al. Estimation of reference values for cádmium, cobalto, chromium, copper, lead and zinc in Brazilian soils. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 37:945-959, 2006.

FAO. **Topsoil characterization for sustainable land management. Water development division soil resources**, management and conservation service. Rome, 1998.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. **World reference base for soil resources – WBR**. 2.ed. Roma, 2006. 145p. (World Soil Resources Reports, 103).

FERNANDES, F. R. C.; BERTOLINO, L. C.; EGLER, S. G. (eds.) **Projeto Santo Amaro – BA**: aglutinando ideias, construindo soluções –diagnósticos. 2ªEd. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2012).

FREITAS, E. V. de S. et al. Indução da fitoextração de chumbo por ácido cítrico em solo contaminado por baterias automotivas. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 33:467-473, 2009.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades: **Banco de dados agregados**.2014.Disponível:<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=292860>. Acesso em: 02 fev. 2014.

Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos - INEMA. **Comitês de Bacias Hidrográficas Recôncavo Norte e Inhambupe**: Caracterização da bacia Disponível em: < <http://www.inema.ba.gov.br/gestao-2/comites-de-bacias/comites/cbh-reconcavo-norte-inhambupe/>>Acesso em: 02 fev. 2014.

JACOMINE, P.K.T. **Solos sob caatingas: características e uso agrícola**. In: ALVAREZ V., V.H.; FONTES, L.E.F.; FONTES, M.P.F. O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentável. Viçosa, SBCS-UFV, 1996. 95-111 p.

JUCKSCH, I. et al. Efeito da calagem na dispersão de um Latossolo Vermelho-Escuro. **Revista Ceres**, Viçosa, 33(189):456-460, 1986.

LADEIRA, F. S. B. A ação antrópica sobre os solos nos diferentes biomas brasileiros: Terras indígenas e solos urbanos. **Entre-Lugar**, Dourados, MS, ano 3, n.6, 2. semestre de 2012.

LEPSCH, I.F. **19 lições de pedologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 456p.

LIMA, G.K. **Caracterização de Vertissolos do nordeste brasileiro**. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 101 f, 2014.

MANZATTO, C. V. Uso agrícola dos solos brasileiros. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002.

MANZONI, P.; MINAS, R. **Poluição por chumbo em Santo Amaro da Purificação**. Instituto para o Desenvolvimento Ambiental, mar 2009. Disponível em:< <http://www.ida.org.br/poluicao-por-chumbo-em-santo-amaro>> **Acesso em: 02 fev. 2014.**

MARQUES, J. J. **Solo no contexto ambiental**. Lavras: UFLA/FAEPE. 2001. 134p.

NASCIMENTO, C. W. A.; XING, B. Phytoextraction: A review on enhanced metal availability and plant accumulation. **Scientia Agricola**, 63:299-311 p, 2006.

OLIVEIRA, J. B. **Pedologia aplicada**. 2.ed. Piracicaba, FEALQ, 2005. 574 p.

PACHECO, A. A. **Pedogênese e distribuição espacial dos solos da bacia hidrográfica do rio Alegre-ES**. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 104 f , 2011.

RAIJ, V. R. et al. **Análise Química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas. Instituto Agronomico, 2001.

RESENDE. M. et al. **Pedologia: bases para distinção de ambientes**. Editora UFLA, 2007. 322p.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa, MG, CFSEMG/UFV, 1999.

ROCHA, J. C.; ROSA, A. H.; CARDOSO, A. A. **Introdução à Química Ambiental**. Porto alegre: Bookman, 2004. 154 p.

SACRAMENTO, R. V. O. **Caracterizações dos solos, fitodisponibilidade e teores pseudo-totais de metais no sistema solo-planta em canaviais do Recôncavo Baiano**. Tese (Doutorado em Energia e Ambiente) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 220 f, 2010.

SILVA, A. P. **Avaliação de riscos à saúde humana por resíduos perigosos**. 2012. Apresentação realizada no Seminário Santo Amaro.

SILVA, E. O. Subaé, rio soturno. **Plurale em revista**. Mar/Abr, 2013. 20-21 p.

SEI – SISTEMA DE INFORMAÇÕES MUNICIPAIS. Disponível: <http://sim.sei.ba.gov.br/sim/tabelas.wsp#>>Acesso em: 02 ago.2014.

VINHAS, A. F. **Caracterização Pedológica de duas Toposseqüências Típicas da Bacia Hidrográfica do Rio Jacutinga**. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Meio Ambiente. Universidade Federal da Bahia. 20