

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, LETRAS E ARTES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

TULIO ROBERTO PAVELHAO

**VALORES ORIENTADORES DE QUALIDADE PARA METAIS
PESADOS EM SOLOS CULTIVADOS NO MUNICÍPIO DE
BANDEIRANTES - PR**

MARINGÁ-PR
2015

TULIO ROBERTO PAVELHAO

**VALORES ORIENTADORES DE QUALIDADE PARA METAIS
PESADOS EM SOLOS CULTIVADOS NO MUNICÍPIO DE
BANDEIRANTES – PR**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual de Maringá, como requisito para a obtenção do título de Doutor na área de concentração Análise Ambiental.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Maria Teresa de Nóbrega

MARINGÁ-PR
2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá, PR, Brasil)

P337v Pavelhão, Tulio Roberto
Valores orientadores de qualidade para metais pesados em solos cultivados no município de Bandeirantes-PR / Tulio Roberto Pavelhão. -- Maringá, 2015.
156 f. : il. color., figs., tabs.

Orientadora: Profa. Dra. Maria Teresa de Nóbrega.
Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2015.

1. Solos - Metais pesados - Bandeirantes (PR)
Solos - Qualidade - Bandeirantes (PR). Solos - Contaminação - Bandeirantes (PR). Proteção ambiental - Bandeirantes (PR). I. Nóbrega, Maria Teresa, orient. II. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes. Programa de Pós-Graduação em Geografia. III. Título.

CDD 21.ed.577.27

631.4

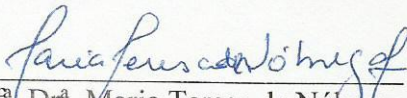
ECSL


VALORES ORIENTADORES DE QUALIDADE PARA METAIS PESADOS EM SOLOS
CULTIVADOS NO MUNICÍPIO DE BANDEIRANTES - PR

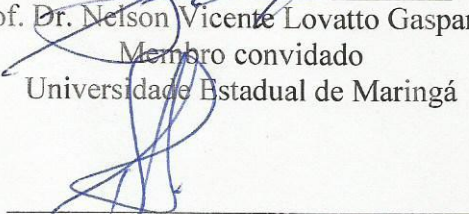
Tese de Doutorado apresentada a Universidade Estadual de
Maringá, como requisito parcial para obtenção do grau de
Doutor em Geografia, área de concentração: Análise
Regional e Ambiental, linha de pesquisa Análise Ambiental

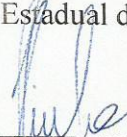
Aprovada em 03 de setembro de 2015.

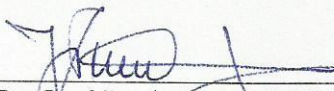
BANCA EXAMINADORA


Prof.^a Dr.^a Maria Teresa de Nóbrega
Orientadora - UEM
Universidade Estadual de Maringá


Prof. Dr. Nelson Vicente Lovatto Gasparetto
Membro convidado
Universidade Estadual de Maringá


Prof. Dr. Hélio Silveira
Membro convidado
Universidade Estadual de Maringá


Prof. Dr. José Edézio da Cunha
Membro convidado
UNIOESTE/MCR


Prof. Dr. José Paulo Recchini Pinese
Membro convidado
UEL

DEDICATÓRIA

A Deus, por ter aberto as portas e mostrado o caminho.

À natureza que nos deu a oportunidade e os meios necessários para nós concluirmos este trabalho.

À minha esposa Augusta, aos meus netos e aos pais deles.

Aos pioneiros do município de Bandeirantes pelo amor que demonstraram pela nossa cidade.

AGRADECIMENTOS

A Deus, à natureza e aos meus pais que me possibilitaram a vida.

À Prof.^a Dr.^a Maria Teresa de Nóbrega pela amizade, orientação e resignação.

Aos Servidores da Universidade Estadual de Maringá, em especial aos do Departamento de Geografia, pela acolhida e amizade demonstrada durante o curso.

À Universidade Estadual do Norte do Paraná pela oportunidade de fazer o curso de doutorado.

Aos Professores Dr. Nelson Vicente Lovatto Gasparetto, Dr. Hélio Silveira, Dr. Francisco Carlos Mainardes da Silva, Dr. Luís Guilherme Sachs e ao Dr. Antenor Zanardo pelas mudanças sugeridas.

Aos Amigos e Professores, Dr. Luis Carlos Reis, Me. Mauro Januario, Me. Gilberto Demétrio, Dr. Fábio Rodriguês Ferreira Seiva, Esmeralda A. S. Garcia, Thayny de Almeida e Valter de Oliveira pelo apoio técnico dado às atividades do curso e ao presente trabalho.

Aos amigos Elielson Barbosa de Souza e Adriano Lucio Alboneti pela contribuição aos trabalhos gráficos e de campo, respectivamente.

Aos Colegas e Professores do Curso de Doutorado em Geografia na UEM e, em especial ao Carlos Henrique Graça pela confiança e amizade.

Aos integrantes da minha família, da família Dias, em especial ao Santo, Hilário, Paulo, Pedro, Francisco (Chico) e José Carlos pela valiosa ajuda que me proporcionaram e em especial ao Dr. Adilson Francisco Matheus e família pelo incentivo.

Ao Dr. Ademar Dias Matheus, à Fabiane K. Pelegrini Matheus e aos meus netos, em especial ao Caio que eu amo, pela constante companhia e pelas brincadeiras de criança.

À Augusta, minha esposa, que eu também amo, pelo apoio durante esses anos.

À Fundação Araucária de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Estado do Paraná pelo apoio financeiro dado durante o curso.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

*Quando não se pode
voltar, só devemos ficar
preocupados com a
melhor maneira de
seguir em frente.*

De: *O Alquimista*
Paulo Coelho

PAVELHAO, T.R. **Valores orientadores de qualidade para metais pesados em solos cultivados no município de Bandeirantes-PR.** 2015. 156 f. Tese – Universidade Estadual de Maringá, Maringá.

RESUMO

O crescimento populacional tem exigido da sociedade um aumento da produtividade agrícola que pode ser obtida através de várias práticas agronômicas entre as quais podem ser citadas: gessagem, calagem, adubação, controle químico de plantas daninhas, utilização de sementes geneticamente modificadas, etc. Muitas dessas práticas requerem a incorporação nos solos dos mais variados materiais terrestres naturais ou industrializados. A incorporação desses materiais podem contaminar os solos. Neste contexto, as agências de proteção ambiental vêm dependendo esforços para o estabelecimento de índices que possam identificar áreas suspeitas de contaminação. A Resolução N°. 420 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) 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. Os principais objetivos deste trabalho foram determinar as concentrações das substâncias inorgânicas preconizadas pelo CONAMA naturalmente presentes nos solos sob fragmentos florestais e em solos antropizados por cultivos no município de Bandeirantes-PR. A Resolução N°. 460 do CONAMA obriga os Estados a estabelecerem os Valores de Referência da Qualidade dos solos (VRQs) para substâncias inorgânicas até dezembro de 2014, portanto o presente trabalho objetiva também contribuir para o avanço das discussões referentes à determinação dos valores orientadores de qualidade de solos para substâncias inorgânicas em âmbitos nacional e estadual. Foram objetivos também desse trabalho estabelecer correlações entre os metais pesados e vários atributos químicos dos solos, além de formular equações de regressão linear para as correlações fortes. Para atingir os objetivos, o município de Bandeirantes-PR foi dividido em três compartimentos em função da geomorfologia e procurou-se coletar amostras de solos em duas profundidades (0-20 e 20-40 cm) sob cultivos e sob fragmentos de floresta. Determinou-se o complexo sortivo, pH e matéria orgânica das amostras de solos conforme métodos preconizados pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA); os metais pesados foram extraídos por água regia e a determinação foi efetuada ICP-AES. Foram determinados os percentis 75 e 90 relativos aos metais pesados e os dados obtidos foram comparados aos valores orientadores de qualidade dos solos propostos pelo CONAMA. No geral, os solos analisados não estão contaminados por metais pesados; entretanto, observou-se que os teores de cobalto, cobre, níquel e bário não estão dentro dos limites de prevenção e investigação propostos pelo CONAMA; os solos analisados apresentam constituição química herdada do material de origem (basalto toleítico). Correlações foram estabelecidas entre os metais e entre atributos químicos; observou-se que a CTC, CETC, saturação por bases e matéria orgânica apresentaram forte correlações com vários metais pesados dentre os quais o Ba, Co, Zn e Ni.

Palavras-chave: Proteção ambiental. Contaminação. Qualidade do solo. Metais pesados.

PAVELHAO, T.R. **Guiding quality values for heavy metals in soils in the city of Bandeirantes.** 2015. 156 f. Thesis – Universidade Estadual de Maringá, Maringá.

ABSTRACT

Population growth has required the company increased agricultural productivity that can be achieved through various agronomic practices among which may be mentioned: gypsum, lime, fertilizer, chemical weed control, use of genetically modified seeds, etc. Many of these practices require incorporation into the soil of various natural or industrial earth materials. The incorporation of these materials can contaminate soil. In this context, environmental protection agencies are expending efforts to establish data which can identify suspicious areas of contamination. Resolution N° 420 of the Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) has on criteria and guiding soil quality values for the presence of chemical substances and establishes guidelines for environmental management of areas contaminated by these substances as a result of human activities. The main objectives of this study were to determine the concentrations of inorganic substances recommended by the CONAMA naturally present in different types of forest fragments in soils and anthropogenic soils for crops in Bandeirantes-PR municipality. Resolution N° 460 CONAMA requires states to establish the Soil Quality Reference Values (VRQs) to inorganic substances by December 2014, so the present study aims also to contribute to the progress of discussions concerning the determination of the guiding values of quality soils for inorganic substances at the national and state levels. There were also purpose of this work to establish correlations between heavy metals and various chemical properties of soils, in addition to formulating linear regression equations for strong correlations. To obtain the purpose, the city of Bandeirantes-PR was compartmentalized according to altitudes and sought to collect soil samples at two depths (0-20 and 20-40 cm) in crops and in forest fragments. The exchangeable cations, pH and organic matter of soil samples was determined as methods suggested by Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA); heavy metals were extracted by aqua regia and the determination was made ICP-ES. The percentiles 75 and 90 for the heavy metals and the data were compared to the guiding values of soil quality proposed by CONAMA. In general, the analyzed soils are not contaminated by heavy metals; however, it was observed that cobalt, copper, nickel and barium are not within the limits proposed by preventing and detecting CONAMA; the analyzed soils are chemically inherited from the source material (tholeiitic basalt). Correlations were established between the metals and chemical properties between; it was observed that the CEC, CETC, base saturation and organic matter showed strong correlations with various heavy metals among which Ba, Co, Zn and Ni.

Keywords: Environmental protection. Contamination. Soil quality. Heavy metals.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Interação e interconexão dos grandes subsistemas da Terra	22
Figura 2 – Inter-relações representadas pelo tetraedro.....	45
Figura 3 – Localização do município de Bandeirantes – PR	49
Figura 4 – Geologia do município de Bandeirantes.....	51
Figura 5 – Hipsometria do município de Bandeirantes-PR.....	55
Figura 6 – Principais classes de declive do município de Bandeirantes-PR	55
Figura 7 – Principais solos presentes no município de Bandeirantes-PR.	56
Figura 8 – Climograma do município de Bandeirantes de 1977 até 2014.....	58
Figura 9 – Temperatura absoluta máxima no município de Bandeirantes–PR de 1977 a 2014	60
Figura 10 – Temperatura absoluta mínima no município de Bandeirantes–PR de 1977 a 2014.....	60
Figura 11 – Divisão compartimental e pontos de coleta de amostras de solos.	67
Figura 12 – Panorama do compartimento I	67
Figura 13 – Panorama do compartimento II	68
Figura 14 – Panorama do compartimento III	68
Figura 15 – Fotografia obtida do ano de 1931 ilustrando o início do povoamento “Bandeirantes”	77
Figura 16 – Uso da terra no município durante o ano de 1985	81
Figura 17 – Área plantada das culturas de 1980 a 2011	82
Figura 18 – Uso da terra no município durante o ano de 2013	83
Figura 19 – Evolução da população residente no município de Bandeirantes-PR....	84
Figura 20 – Regressão linear entre vários atributos químicos e determinação do R^2 (0-20 cm)	105
Figura 21 – Regressão linear entre vários atributos químicos e determinação do R^2 (0-20 cm)	106
Figura 22 – Regressão linear entre vários atributos químicos e determinação do R^2 (20-40 cm)	107

Figura 23 – Regressão linear entre vários atributos químicos e determinação do R^2 (20-40 cm)	108
Figura 24 – Diagrama TAS (SiO_2 versus álcalis) de Zanettin (1984) e Le Bas et al. (1986). A linha tracejada separa os campos das rochas alcalinas das subalcalinas (Irvine; Baragar, 1971).	120
Figura 25 – Diagrama AFM (A= $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$; F= $\text{Fe}_2\text{O}_{3(t)}$; M = MgO), mostrando o caráter toleítico dos basaltos estudados (Irvine; Baragar, 1971)	120

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Raios iônicos e teores médio de elementos principais e menores (traços) em duas séries de rochas.....	26
Tabela 2 – Composição média de basalto toleítico (valores em % em peso)	27
Tabela 3 – Área superficial específica (ASE) de alguns componentes da fração argila do solo.....	29
Tabela 4 – Características das cargas de coloides sobre condições de pH 7.....	30
Tabela 5 – Alguns cátions e ânions mais comumente adsorvidos aos coloides do solo e importantes para a nutrição das plantas e a qualidade ambiental .	32
Tabela 6 – Localizações e usos dos solos do compartimento I.....	69
Tabela 7 – Localizações e usos dos solos do compartimento II.....	70
Tabela 8 – Localizações e usos dos solos do compartimento III.....	71
Tabela 9 – Evolução da população residente no município de Bandeirantes-PR	84
Tabela 10 – Complexo sortivo, MOS e pH das amostras de solos do compartimento I	86
Tabela 11 – Teores dos metais extraídos das amostras de solos por HNO ₃ e HCl (USEPA, 3050B) no compartimento I	87
Tabela 12 – Complexo sortivo, MOS e pH dos solos no compartimento II.....	88
Tabela 13 – Teores dos metais extraídos das amostras de solos por HNO ₃ e HCl (USEPA, 3050B) no compartimento II	89
Tabela 14 – Complexo sortivo, MOS e pH dos solos no compartimento III.....	90
Tabela 15 – Teores dos metais extraídos das amostras de solos por HNO ₃ e HCl (USEPA, 3050B) no compartimento III	91
Tabela 16 – Média dos atributos químicos	92
Tabela 17 – Comparação dos valores orientadores da qualidade dos solos propostos pelo CONAMA com os valores obtidos em Bandeirantes (0-20 cm) nos percentis 75 e 90	94
Tabela 18 – Comparação entre Latossolos e Nitossolos em diferentes profundidades (0-20 cm e 20-40 cm) nos compartimentos e sob diferentes usos	96
Tabela 19 – Coeficientes de correlação linear de Pearson (r) entre teores de metais e propriedades dos solos nas camadas superficial e subsuperficial dos solos de Bandeirantes-PR.....	100

Tabela 20 – Síntese dos valores de R^2 em função dos pares de atributos nas camadas superficial (0-20 cm) e subsuperficial (20-40 cm)	109
Tabela 21 – Comparação entre os usos e atributos químicos em todos os compartimentos na camada superficial (0-20 cm)	110
Tabela 22 – Comparação entre os usos e atributos químicos em todos os compartimentos na camada subsuperficial (20-40 cm)	112
Tabela 23 – Comparação entre os compartimentos e atributos químicos na camada superficial (0-20 cm)	114
Tabela 24 – Comparação entre os compartimentos e atributos químicos na camada subsuperficial (20-40 cm)	115
Tabela 25 – Teores aproximados dos constituintes das rochas do município.....	116

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACMELABS	Laboratório de Análise Acme (Vancouver – Canadá)
ACMELABS	Laboratório de Análise Acme (Pudahuel - Chile)
AFM	Teor de Álcalis, Teor de Óxidos de Ferro e Óxidos de Magnésio
ASE	Área de Superfície Específica
ATSDR	Agência para Substâncias Tóxicas e Registro de Doenças
CDA	Cana-de-acúcar
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (SP)
Cfa	Clima temperado úmido com verão quente
cmol/kg	Centimol de cargas por quilograma
cmol/dm ³	Centimol de cargas por decímetro cúbico
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CTC	Capacidade de Troca Catiônica Total
CETC	Capacidade de Troca Catiônica Efetiva
CI	Compartimento I
CII	Compartimento II
CIII	Compartimento III
DOU	Diário Oficial da União
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EP	Erro Padrão
AES	Espectrografia de Emissão Atômica
F	Floresta
FF	Fragmento florestal
FFALM	Fundação Faculdade de Agronomia Luiz Meneghel
GLOVIS	Visualizador de Observação Global
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICP	Plasma Acoplado Indutivamente
IARC	Agência Internacional de Pesquisa sobre Câncer
IAPAR	Instituto Agrônômico do Paraná
INPE	Instituto Nacional de Pesquisa Espacial
INMET	Instituto Nacional de Medidas Técnicas

IPARDES	Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social
ITCG	Instituto de Terras, Cartografia e Geociências
L	Latossolo
LOI	Perda ao fogo
MAXVER	Máxima Verossimilhança
MDT	Modelo Digital do Terreno
MOS	Matéria Orgânica do Solo
M-S	Miho/Soja
mol L ⁻¹	Molécula por litro
N	Nitossolo
NASA	Administração Nacional do Espaço e da Aeronáutica
OMS	Organização Mundial da Saúde
PC	Plantio convencional
PD	Plantio direto
PR	Paraná
R	Coeficiente de determinação
S	Soma das Bases
SAAE	Serviço Autônomo de Água e Esgoto
SAD	Dados da América do Sul
SB	Soma de bases
Sci.	Science
SRTM	Missão Topográfica Radar Shuttle
SMP	Shoemaker, Mac lean e Pratt
SP	São Paulo
SIG	Sistema de Informação Geográfica
RGB	Vermelho, Verde, Azul
T	Capacidade de Troca Catiônica Total
TAS	Total-Álcalis vs. Sílica
TFSA	Terra Fresca Seca ao Ar
TIN	Rede Triangular Irregular
TIRS	Sensor Infravermelho Termal
TM	Mapeador Temático
TOPODATA	Banco de dados Geomorfométricos do Brasil
UENP	Universidade Estadual do Norte do Paraná

USA	Estados Unidos da América
USIBAN	Usina Bandeirantes
USP	Universidade de São Paulo
USDA	Departamento de Agricultura dos Estados Unidos
USEPA	Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos
USGS	Serviço Geológico dos Estados Unidos
UTM	Unidades Transversais de Mercator
V(%)	Porcentagem por Saturação por Bases
VRQs	Valores de Referência de Qualidade dos Solos
VI	Valor de Investigação
VP	Valor de Prevenção
VO	Valor Orientador
WGS	Sistema Geodésico Mundial
W Gr	Oeste de Greenwich

LISTA DE SÍMBOLOS

Ag	Prata
Al	Alumínio
As	Arsênio
Fe	Ferro
Hg	Mercúrio
K	Potássio
C	Carbono
Cd	Cádmio
Cl	Cloro
Co	Cobalto
CO ₂	Dióxido de carbono
Cu	Cobre
Ca	Cálcio
Cr	Cromo
Cs	Césio
V	Vanádio
Pb	Chumbo
Rb	Rubídio
Mg	Magnésio
Mn	Manganês
Na	Sódio
Ti	Titânio
Li	Lítio
Si	Silício
O	Oxigênio
OH	Hidroxila
F	Flúor
Ga	Gálio
P	Fósforo
Zr	Zircônio
Sc	Escândio

Sr	Estrôncio
Ba	Bário
SiO ₂	Sílica
TiO ₂	Óxido de titânio
Al ₂ O ₃	Alumina
Fe ₂ O ₃	Óxido férrico
MnO	Óxido de manganês
FeO	Óxido ferroso
MgO	Óxido de magnésio
CaO	Óxido de cálcio
Na ₂ O	Óxido de sódio
K ₂ O	Óxido de potássio
Cr ₂ O ₅	Óxido de cromo III
µm	Micrometro
H ₂ O	Água
P ₂ O ₅	Pentóxido de fósforo
Zn	Zinco
Mo	Molibdênio
Ni	Níquel
m	metro
g	grama
NH ⁴⁺	Amônia
N	Nitrogênio
B	Boro
H	Hidrogênio
Zn	Zinco
KCl	Cloreto de potássio
HCl	Ácido clorídrico
ΔpH	Diferença do pH em KCl e água
Sb	Antimônio
LiBO ₂	Metaborato de lítio
Li ₂ B ₄ O ₇	Tetraborato de lítio
H ₂ SO ₄	Ácido Sulfúrico
H ₂ O ₂	Água oxigenada

g kg^{-1}	Gramma por quilograma
mg kg^{-1}	Miligramma por quilograma
S	Enxofre
mm	Milímetro
pH	Potencial hidrogeniônico
HNO_3	Ácido nítrico
km^2	Quilometro quadrado
mesh	Malha
ha	hectare
P75	Percentil 75
P90	Percentil 90

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
2 OS METAIS PESADOS NOS SOLOS E SUAS IMPLICAÇÕES AMBIENTAIS	22
2.1 INTEMPERISMO: IMPORTÂNCIA AMBIENTAL	22
2.2 SOLOS: PRODUTOS DA INTEMPERIZAÇÃO DE ROCHAS.....	24
2.3 MINERALOGIA DA FRAÇÃO ARGILA DOS SOLOS	28
2.4 IMPORTÂNCIA DOS METAIS PESADOS NO AMBIENTE	32
2.5 RESPONSABILIDADE SOCIOECONÔMICA DO USO DAS TERRAS.....	44
2.6 LEGISLAÇÃO VIGENTE.....	45
3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	49
3.1 LOCALIZAÇÃO	49
3.2 GEOLOGIA REGIONAL.....	50
3.3 GEOMORFOLOGIA	53
3.4 SOLOS REGIONAIS	56
3.5 CLIMA	58
3.6 VEGETAÇÃO	61
4 MATERIAL E MÉTODOS	63
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	75
5.1 OCUPAÇÃO E EVOLUÇÃO DO USO DA TERRA: resgatando a história.....	75
5.2 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DAS AMOSTRAS DE SOLOS	85
5.3 COMPARAÇÃO DOS VALORES ORIENTADORES PROPOSTOS PELO CONAMA COM OS VALORES OBTIDOS NOS SOLOS DO MUNICÍPIO DE BANDEIRANTES NOS PERCENTIS 75 E 90.....	93
5.4 COMPARAÇÕES ENTRE LATOSSOLOS E NITOSSOLOS	95
5.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA VISANDO ESTABELECEER CORRELAÇÕES.....	99
5.6 COMPARAÇÕES ENTRE USOS E ATRIBUTOS QUÍMICOS.....	110
5.7 COMPARAÇÕES ENTRE COMPARTIMENTOS E ATRIBUTOS QUÍMICOS	113
5.8 ROCHAS AFLORANTES EM BANDEIRANTES	115
CONSIDERAÇÕES FINAIS	122
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	124
APÊNDICE A – Relatório de controle da qualidade das análises dos solos	133
APÊNDICE B – Relatório de controle de qualidade em rochas	135
ANEXO A – Resolução nº 420 do CONAMA - 2009.....	137
ANEXO B – Resolução nº 460 do CONAMA - 2013.....	149

1 INTRODUÇÃO

A evolução do uso da terra tem atraído a atenção de pesquisadores de diferentes áreas do conhecimento. A complexidade dessa evolução e as mudanças da cobertura terrestre têm instigado a comunidade acadêmica a desenvolver trabalhos que invariavelmente coloca o homem no foco da questão como sendo o grande catalisador dessas transformações; sumariamente e segundo pesquisas recentes, essas mudanças da cobertura terrestre estão relacionadas ao desmatamento com propósitos de se aumentar as áreas de plantio agrícola, pastagens, urbanização, estradas de rodagem, entre outros.

A Terra é um planeta que está em contínua transformação. Muitas dessas transformações devem-se tão somente à dinâmica interna da Terra como vulcanismo, tectonismo, etc. A busca do equilíbrio energético e das relações de intersecções, muito certamente acarretam, na superfície terrestre, zonas de inter-relações entre a dinâmica endógena, a princípio comandada pela energia interna da Terra e a dinâmica externa comandada pelos fenômenos atmosféricos (clima). Entretanto, as ações antrópicas, que antecederam até mesmo o surgimento da escrita por volta de 6,5 mil anos atrás, têm sido as grandes vilãs e catalisadoras de processos que têm transformado a superfície da Terra.

Vários autores têm comprovado que a composição química e mineralógica do material de origem influenciam profundamente o intemperismo químico propiciando as mais variadas propriedades do solo e que a retirada da cobertura vegetal original e a implantação de culturas, aliadas às práticas de manejo inadequadas, promovem o desequilíbrio entre o solo e o meio ambiente, provocando contaminação que pode ser comprovada pelas análises dos solos e das águas, sendo esta a principal hipótese do presente trabalho.

O desmatamento ainda provoca a denudação das vertentes, produzida pelos processos de erosão que removem grandes volumes de solo. É responsável, também, pelo maior aquecimento da superfície do solo, aumentando a oxidação da matéria orgânica que se transforma rapidamente em material inorgânico solúvel ou facilmente solubilizado.

Estimativas dão conta que o mundo teria perdido desde a metade do século passado, um quinto da superfície cultivável e um quinto das florestas tropicais

e que a cada ano são perdidos bilhões de toneladas de húmus por efeito da erosão, salinização e outros processos de degradação dos solos.

A alteração do ecossistema natural ocorre na medida em que ele vai sendo substituído por atividades voltadas para fins industriais ou na produção de alimentos.

Mudanças na cobertura terrestre têm causado alterações significativas no clima terrestre, influenciando o ciclo hidrológico, contribuindo para o aquecimento global e acelerando a extinção de inúmeras espécies de animais e vegetais entre outros efeitos catastróficos.

Ao estudar os solos com vegetação nativa, tornam-se conhecidas suas propriedades; quando certa região é desmatada e manejada pelo homem outras características são adicionadas aos solos. O presente trabalho nos deu oportunidade de promover uma revisão da ação antrópica no município de Bandeirantes-PR e verificar as condições químicas que os solos cultivados com cana-de-açúcar em sistema convencional e com soja-milho em semeadura direta (plantio direto) apresentam atualmente, após vários anos de uso.

O presente estudo teve a finalidade também de construir um banco de dados que poderá ser utilizado pelos agricultores, Cooperativas e Poder Público na melhoria da produtividade e dos parâmetros adotados na legislação ambiental, haja vista que tanto os macro quanto os micronutrientes dos solos serão analisados.

Outros aspectos que justificam este trabalho diz respeito à área agrícola, modalidade de plantio e culturas; 75% da área territorial de Bandeirantes, ou seja, 33.685 hectares são utilizados na agricultura como lavouras temporárias. Desses 33.685 hectares, são utilizados com cultivo convencional de cana-de-açúcar e soja-milho em plantio direto por volta de 25.000ha.

Essas culturas são manejadas de formas diferenciadas o que implica em diferentes produtos utilizados pelo homem. Existem trabalhos publicados que afirmam que determinados adubos e pesticidas podem conter impurezas de metais pesados e quando aplicados nos solos podem provocar poluição nos mesmos e/ou nas águas.

Os cultivos da cana-de-açúcar e soja-milho são práticas agrícolas de grande representatividade nos aspectos socioeconômicos, pois além de empregarem milhares de indivíduos geram riquezas ao município, ao estado e à nação.

Bandeirantes, município do Estado do Paraná, não foi diferente daquilo mencionado acima. Há oitenta anos, a superfície terrestre municipal estava sob floresta. A urbanização, a expansão agrícola e outras práticas antrópicas transformaram a superfície e a qualidade dos solos cultivados por cana-de-açúcar e soja-milho pode estar comprometida.

Os objetivos deste trabalho foram: compartimentar o município de Bandeirantes levando-se em conta a geomorfologia; determinar os teores de metais pesados extraídos por HNO_3 e HCl segundo o método 3050B (USEPA, 1996) nos Latossolos e Nitossolos cultivados com cana-de-açúcar, milho/soja e sob fragmentos florestais em duas profundidades (0-20 e 20-40 cm); confrontar os dados obtidos com os valores orientadores de qualidade do solo propostos pela Resolução N° 420/2009, modificada pela N° 460/2013 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), visando detectar prováveis áreas contaminadas com substâncias inorgânicas em decorrência de atividades agrícolas; analisar os teores de matéria orgânica e avaliar o complexo sortivo dos solos em estudo; estabelecer correlações de Pearson entre vários atributos químicos e metais pesados determinando as equações de regressão linear para as mais fortes; comparar os atributos químicos determinados entre os compartimentos, usos e tipos de solos.

2 OS METAIS PESADOS NOS SOLOS E SUAS IMPLICAÇÕES AMBIENTAIS

2.1 INTEMPERISMO: IMPORTÂNCIA AMBIENTAL

O Sistema Terra é constituído por todas as partes do planeta e suas interações. As atividades da Terra são governadas por dois mecanismos térmicos: um interno e o outro externo. A dinâmica interna da Terra é governada pela energia térmica aprisionada durante a origem cataclísmica do planeta e gerada pela radioatividade em seus níveis mais profundos. O calor interior controla os movimentos no manto e no núcleo, suprindo energia para fundir rochas, mover continentes e soerguer montanhas. A dinâmica externa da Terra é controlada pela energia solar; o calor do sol que energiza a atmosfera, a hidrosfera e a litosfera é responsável pelo clima (PRESS et al., 2008). A biosfera surge da interação entre a litosfera, hidrosfera e atmosfera (Figura 1)

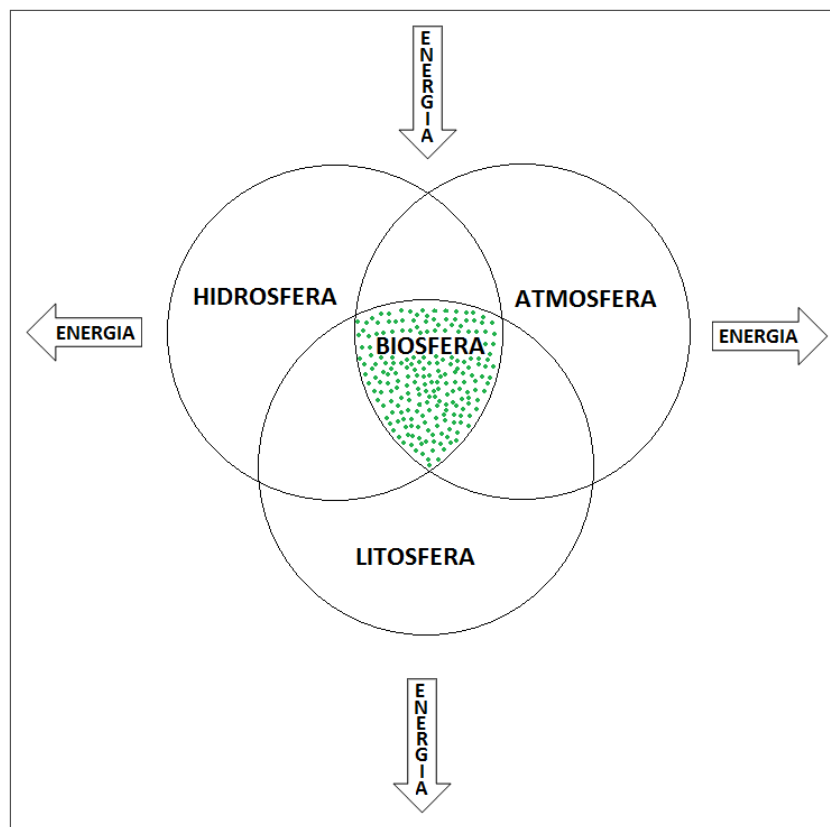


Figura 1 – Interação e interconexão dos grandes subsistemas da Terra
 Fonte: Drew, 2010

A Terra opera, desse modo, como uma hierarquia de sistemas, todos parcialmente independentes, mas firmemente vinculados entre si. A intervenção humana não pode afetar de maneira significativa a atividade dos sistemas em escala

global, como o sistema atmosférico, mas os sistemas de ordem inferior, sobretudo aqueles que envolvem seres vivos (ecossistemas) são vulneráveis às mudanças feitas pelo homem (DREW, 2010).

Os ciclos do nitrogênio, fósforo e mercúrio são exemplos de subsistemas em escala global em que houve certo grau de intervenção humana e, portanto, de modificação da atuação do sistema, haja vista a utilização desses elementos na fabricação de vários compostos industriais e adição dos mesmos no meio ambiente (DREW, 2010).

O homem habita a superfície da Terra e depende, para viver, dos materiais disponíveis; estes, em sua maior parte, são produtos das transformações que a litosfera sofre na interação com a atmosfera, a hidrosfera e a biosfera, ou seja, são produtos do intemperismo. Constituem a base de importantes atividades humanas, relacionadas, por exemplo, ao cultivo do solo e ao aproveitamento dos depósitos minerais na construção civil e na indústria.

O intemperismo, processo geológico exógeno, é o primeiro passo para inúmeros outros processos geológicos, geomorfológicos e biogeoquímicos e é especialmente importante em dois outros processos de dinâmica externa do globo: a formação das rochas sedimentares e a gênese dos solos.

O intemperismo relaciona-se diretamente com diversas características dos saprolitos e dos solos formados na superfície da litosfera, conforme a sua intensidade de atuação e a natureza das rochas e dos minerais envolvidos. Com isto, ele é um processo que pode, parcialmente, desde controlar a fertilidade natural dos solos, pelo suprimento de nutrientes, até atuar como agente tamponante, contra diversos problemas ambientais preocupantes nos dias de hoje, como: (I) impacto da chuva ácida em solos; (II) relação entre níveis de CO₂ na atmosfera e intemperismo de minerais silicatados ricos em Ca; (III) interação de metais pesados e contaminantes orgânicos com produtos do intemperismo (WILSON, 2004).

Ainda em termos de meio ambiente, o intemperismo tem influência significativa na drenagem ácida, que é um problema ambiental relativamente sério, capaz de comprometer a qualidade dos recursos hídricos de uma região. O processo inicia-se quando minerais, como a pirita e outros sulfetos, são expostos ao ar atmosférico e, na presença de oxigênio e água, sofrem oxidação e produzem soluções de reação fortemente ácida, com a possibilidade de elementos tóxicos

como Al, As, Cd, Cu, Hg, Pb, etc., serem solubilizados na água de drenagem (EVANGELOU; ZHANG, 1995).

O intemperismo ultrapassou as fronteiras da dinâmica externa do globo terrestre para se firmar como um fenômeno com implicações na agricultura, na mineração e nas ciências ambientais (PRESS et al., 2008). Ainda segundo Press et al. (2008), os solos originados pelo intemperismo das rochas ocasionam nos sedimentos propriedades importantes para a manutenção da qualidade da vida e a ação antrópica, visando obter uma maior produtividade agrícola, poderá contaminar os solos e as águas. Sendo assim, as propriedades dos solos agrícolas tornam-se importantes e merecedor de mais estudos nas Ciências da Terra.

2.2 SOLOS: PRODUTOS DA INTEMPERIZAÇÃO DE ROCHAS

Os solos apresentam conceitos diferenciados para diferentes profissionais. Para o agricultor ou o fazendeiro, o solo é o meio para as plantas crescerem; para o engenheiro o solo é um material que deve ser retirado ou removido para que a construção seja efetivada ou pode ser o material usado como substrato para as estradas (SCHAETZL; ANDERSON, 2005).

Para o pedólogo ou geógrafo, no entanto, o solo é um corpo tridimensional formado na superfície terrestre, através da interação de cinco fatores: material de origem, clima, organismos, relevo e tempo (SCHAETZL; ANDERSON, 2005). Dessa forma, as características dos solos dependem da inter-relação desses cinco fatores e cada um deles contribui de forma diferente.

Segundo Reichardt e Timm (2008), da combinação dos quatro últimos fatores (clima, organismos, relevo e tempo) atuando em diferentes intensidades sobre o mesmo material de origem, pode resultar diferentes tipos de solos.

Os solos funcionam como uma interface entre a hidrosfera, atmosfera, biosfera e litosfera e faz parte do ecossistema (CACHADA, 2007). O solo atua como um filtro, tendo a capacidade de adsorver grande parte dos poluentes nele depositados. Entretanto, essa capacidade é limitada, podendo ocorrer alteração da qualidade do solo em virtude do efeito cumulativo da deposição de poluentes atmosféricos e resíduos sólidos urbanos, industriais e radioativos e da aplicação de fertilizantes e outros produtos agrícolas (LOURENÇO; LANDIM, 2005).

O solo é um meio complexo e heterogêneo, produto de alteração, remanejamento e da organização do material original (rocha, sedimento ou outro

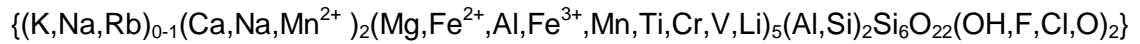
solo) sob a ação da atmosfera, hidrosfera, biosfera e das trocas de energia que se inter-relacionam, constituindo-se por quantidades variáveis de minerais, matéria orgânica, água da zona não saturada e saturada, ar, e organismos vivos, incluindo plantas, bactérias, fungos, protozoários, invertebrados e outros animais. São funções do solo: sustentação da vida e do “habitat” para pessoas, animais, plantas e outros; manutenção do ciclo da água e dos nutrientes; proteção da água subterrânea; manutenção do patrimônio histórico, natural e cultural; conservação das reservas minerais e de matérias primas; produção de alimentos e meio para manutenção da atividade socioeconômica (BRADY; WEIL, 2013).

O solo não é somente um componente, mas sim a base dos ecossistemas, cujas mais importantes funções para a sociedade e para o meio ambiente são: controlar os ciclos biogeoquímicos e a energia nos diferentes compartimentos do ambiente; suportar plantas, animais e o homem; atuar como recurso base para a produção de alimentos, fibras e biomassa de qualquer natureza; atuar como portador de aquíferos subterrâneos e de depósitos minerais e atuar como depósito genético na medida em que mantém a biodiversidade (ALLOWAY, 1990).

A qualidade do solo determina, de forma significativa, a natureza dos ecossistemas das plantas e a capacidade da Terra em sustentar a vida animal e a dos seres humanos. O solo proporciona o ambiente onde as raízes podem crescer, fornecendo-lhes os nutrientes essenciais para a planta como um todo. As propriedades do solo geralmente determinam a natureza da vegetação presente e, indiretamente, a quantidade e a diversidade de animais (incluindo os humanos) que essa flora pode sustentar (BRADY; WEIL, 2013).

As propriedades dos solos dependem, entre outros fatores, dos constituintes do material de origem e dos sedimentos originados pelo intemperismo; estes sedimentos apresentam, em sua grande maioria, estrutura cristalina que é regida pelo princípio da coordenação; este princípio estabelece que íons de cargas opostas, quando se unem para formar uma estrutura cristalina, tendem a aglutinar ao seu redor, ou coordenar, tantos íons quanto permitir o seu tamanho, de forma que todos tangenciem-se ou seus orbitais externos interpenetrem-se constituindo poliedros mais ou menos regulares (DANA; HURLBUT, 1978; ZANARDO; MARQUES JUNIOR, 2009). Assim, em cristais de composição muito complexa, íons diferentes ocupam a mesma posição estrutural e, nesse caso, são considerados “constituintes”

únicos, por apresentarem dimensões similares; um exemplo de mineral que justifica essa afirmativa é a hornblenda (anfíbólio), cuja a composição química, segundo Zanardo e Marques Junior (2009), pode ser expressa da seguinte forma:



Assim, segundo Zanardo e Marques Junior (2009), determinados íons podem substituir ou serem substituídos por outros nos poliedros a partir do fenômeno isomorfismo; este fenômeno pode ocorrer pelo fato de os raios dos íons apresentarem dimensões similares, de tal forma que minerais isomórficos apresentam estrutura cristalina semelhante, mas composições químicas diferentes ou variáveis dentro de certos limites. Sendo assim, existe sempre a possibilidade dos elementos principais e traços coexistirem nas rochas e nos solos, apesar do predomínio dos principais: O, Si, Al, Fe, Ca, Mg, K e Na (Tabela 1).

Tabela 1 – Raios iônicos e teores médio de elementos principais e menores (traços) em duas séries de rochas

	Raios iônicos (Å)	Médias mundiais	
		Rochas máficas	Basalto toleítico
		(%)	
Si ⁴⁺	0,42	24,0	24,3
Al ³⁺	0,51	8,8	7,5
Fe ³⁺	0,65		1,8
Fe ²⁺	0,78	8,6	6,5
Mg ²⁺	0,72	4,5	3,5
Ca ²⁺	1,00	6,7	7,1
Na ⁺	0,99	1,9	1,9
K ⁺	1,38	0,8	0,9
		mg.kg ⁻¹	
Cr ³⁺	0,63	200	150
Ni ²⁺	0,69	160	50
Co ²⁺	0,72	45	110
V ³⁺	0,67	200	750
Zr ⁴⁺	0,79	100	700
Mn ⁴⁺	0,83	2000	1360
Cu ²⁺	0,96	100	180
Pb ²⁺	1,20	8	25
Ba ²⁺	1,34	300	1350

Fonte: Alleoni et al. (2009) e Krauskopf (1972); adaptação pelo autor (2014)

Os dados das composições das rochas magmáticas básicas mais comuns são apresentados na literatura em forma de óxidos e os valores em % em peso (Tabela 2).

Tabela 2 – Composição média de basalto toleítico (valores em % em peso)

Componente	Basalto (toleítico)
SiO ₂	50,83
TiO ₂	2,03
Al ₂ O ₃	14,07
Fe ₂ O ₃	2,88
FeO	9,06
MnO	0,18
MgO	6,34
CaO	10,42
Na ₂ O	2,23
K ₂ O	0,82
H ₂ O	0,91
P ₂ O ₅	0,23

Fonte: Nockolds (1954)

Os valores das tabelas acima fornecem dados importantes sobre as composições dos basaltos comuns que podem ocorrer na Terra e as amplas possibilidades de trocas iônicas (isomórficas) que os mesmos podem sofrer a partir do conhecimento dos raios iônicos. Minerais isomórficos apresentam estrutura cristalina semelhante, mas composições químicas diferentes ou variáveis dentro de certos limites e o principal quesito para a ocorrência do isomorfismo é que os raios dos íons apresentem dimensões similares (ZANARDO; MARQUES JUNIOR, 2009; KRAUSKOPF, 1972).

As rochas basálticas, independentemente da composição, quando expostas aos agentes do clima, tendem a promover reações com os componentes do ar e da água, que se realizam na superfície da Terra ou nas proximidades desta; este fenômeno é denominado de intemperismo e apresenta importância significativa para os produtos desta climatização que são denominados de sedimentos.

Os sedimentos derivados da climatização apresentam comportamento geoquímicos diferentes; habitualmente ocorrem perdas rápidas de sódio, cálcio e magnésio; silício e potássio são perdidos mais lentamente e a perda mais lenta ainda de alumínio e ferro são, naturalmente, reflexos da sensibilidade dos vários minerais à climatização.

2.3 MINERALOGIA DA FRAÇÃO ARGILA DOS SOLOS

A fração sólida dos solos pode ser subdividida em componentes minerais (inorgânicos) e orgânicos. Com exceção dos solos orgânicos, a maior parte do arcabouço sólido do solo é composta de partículas minerais. Excluindo os calhaus e cascalhos que podem fazer parte da constituição dessa fração sólida, as partículas do solo variam em tamanho compondo as frações granulométricas: areia (2,0mm a 0,05); silte (0,05 a 0,002mm); argila (<0,002mm). As menores partículas de argila (<0,001mm) e partículas orgânicas de tamanho similar têm propriedades coloidais e podem ser vistas apenas com auxílio de um microscópio eletrônico (BRADY; WEIL, 2013).

A fração grosseira é constituída predominantemente por minerais primários herdados do material de origem e apresenta granulometria da areia e do silte. Segundo Resende et al. (2007), é principalmente na fração grosseira (areia e silte), que se encontram os minerais capazes de fornecer, após intemperização, nutrientes para as plantas; entretanto solos tropicais, bastantes intemperizados e situados em superfícies antigas e/ou estáveis na paisagem, perderam os minerais primários facilmente intemperizados, ficando como produtos finais a argila e uma fração arenosa constituída de quartzo, concreções argilosas e ferruginosas, magnetita e outros componentes que não fornecem nutrientes para as plantas ou, se o fazem, é de forma muito lenta.

Em razão disso, a análise mineralógica da fração grosseira pode permitir uma estimativa do potencial do solo em fornecer nutrientes em longo prazo. Assim, por exemplo, nos solos originados de rochas máficas, a magnetita contém micronutrientes (Cu, Zn, Fe, Mn) cujo suprimento às plantas, ainda que muito lento, deve ser considerado (CURI; FRANZMEYER, 1987).

As partículas de argila apresentam área superficial específica muito grande, variável em função do tipo de argilomineral que as compõem, o que lhes dá uma enorme capacidade de adsorver água e outras substâncias (Tabela 3). Essa grande superfície adsortiva faz com que partículas de argila formem uma massa coesa quando seca. Quando úmida, a argila é pegajosa e pode facilmente ser moldada, pois apresenta alta plasticidade.

Tabela 3 – Área superficial específica (ASE) de alguns componentes da fração argila do solo

Componentes da fração argila	ASE (m² g⁻¹)
Vermiculita ⁽¹⁾	400 – 800
Montmorilonita ⁽¹⁾	600 – 800
Mica hidratada(ilita) ⁽¹⁾	60 – 200
Caulinita ⁽¹⁾	7 – 30
Húmus	700 – 800
Óxidos de Fe e de Al ⁽¹⁾	5 - 70

⁽¹⁾ – Variável em função da temperatura e do grau de cristalinidade.

FONTE: Alleoni; Mello; Rocha, 2009

Uma vez que a superfície dos coloides do solo (tanto minerais como orgânicos) apresenta cargas eletromagnéticas que atraem íons positivos e negativos, bem como a água, esta fração do solo é a sede da maior parte das suas atividades físico-químicas (BRADY; WEIL, 2013).

A matéria orgânica do solo consiste em uma grande variedade de substâncias orgânicas (ou carbonáceas), incluindo os organismos vivos (ou biomassa) do solo, restos de organismos que em algum momento ocuparam o solo e compostos orgânicos produzidos pelo metabolismo atual e passado ocorrido no solo. Os restos de plantas, animais e micro-organismos são continuamente decompostos no solo e novas substâncias são sintetizadas por outros micro-organismos (BRADY; WEIL, 2013).

O húmus é um conjunto de compostos orgânicos complexos que se acumulam no solo porque são relativamente resistentes à decomposição. Por causa de suas superfícies com cargas elétricas, tanto o húmus como a argila atuam como ligantes entre as partículas maiores do solo e, por isso, ambos têm um papel importante na formação da sua estrutura. As cargas na superfície do húmus, como as da argila, atraem e mantêm unidos tanto os íons nutrientes como os não nutrientes e até mesmo moléculas de água (BRADY; WEIL, 2013).

A interação entre as cargas superficiais dos coloides e os íons presentes na solução é um dos principais itens da pesquisa em química do solo. A maioria dos coloides apresenta carga elétrica líquida predominantemente negativa. Íons de carga positiva, que estão normalmente dissolvidos na solução do solo, tendem a

permanecer na vizinhança destes coloides, atraídos pelo campo elétrico formado pelas cargas elétricas da superfície (ALLEONI; MELLO; ROCHA, 2009).

A carga elétrica das partículas do solo influencia a adsorção de cátions e ânions, sendo a quantidade de íons adsorvidos dependente da densidade de cargas, que está relacionada com a superfície do coloide. A superfície de exposição das cargas varia entre solos, pois depende do tipo e do teor de seus constituintes minerais e orgânicos (ALLEONI; MELLO; ROCHA, 2009).

Os constituintes dos solos, segundo Brady e Weil (2013), podem ser classificados em dois grupos: 1) aqueles com cargas permanentes ou constantes, principalmente argilas silicatadas 2:1, trilaminados. 2) aqueles com cargas variáveis (caulinita, óxidos de Fe e de Al e compostos orgânicos). As cargas permanentes (constantes) estão sempre operantes, pois são produtos de substituições iônicas (isomórficas) nas estruturas dos minerais, enquanto as cargas variáveis são dependentes, dentre outros atributos, do pH e da força iônica do meio (Tabela 4).

Tabela 4 – Características das cargas de coloides sobre condições de pH 7

Tipo de coloide	Cargas negativas			Cargas positivas
	Total (cmol _e /kg)	Constante %	Dependente do pH %	Dependente do pH (cmol _e /kg)
Orgânicos	200	10	90	0
Esmectita	100	95	5	0
Vermiculita	150	95	5	0
Micas de granulação fina	30	80	20	0
Clorita	30	80	20	0
Caulinita	8	5	95	2
Gibbsita (Al)	4	0	100	3
Goethita (Fe)	4	0	100	3
Alofana	30	10	90	15

FONTE: Brady; Weil (2013).

Os óxidos podem desenvolver cargas positivas e negativas em sua superfície, por meio de protonação (adsorção de H⁺) ou desprotonação (dessorção de H⁺), dependendo do pH do meio. Na matéria orgânica, as cargas negativas desenvolvem-se a valores de pH bem mais baixos do que nos óxidos, e raramente há condições para ocorrência de cargas positivas nesses materiais (RAIJ, 1981).

Os coloides mais importantes nos solos podem ser agrupados em quatro classes, segundo BRADY e WEIL (2013):

Argilas silicatadas bem cristalizadas: arranjo ou combinação de folhas ou lâminas tetraédricas e octaédricas. Embora apresentem, em sua maioria, cargas negativas, as argilas silicatadas diferem significativamente com relação a formato das partículas, intensidade de cargas, pegajosidade, plasticidade e capacidade de expansão e contração.

Argilas silicatadas não-cristalinas: arranjo desordenado de íons de Si, Al, O e OH fortemente ligados. Elas apresentam grandes quantidades de cargas positivas e negativas e alta retenção de água. Embora maleáveis (plásticas) quando úmidas, essas argilas apresentam grau de pegajosidade muito baixa.

Óxidos de ferro e alumínio: esses óxidos são encontrados em muitos solos, mas são especialmente importantes nos solos altamente intemperizados das regiões tropicais quentes e úmidas, como exemplos os Latossolos e Nitossolos. Eles são formados principalmente de íons de alumínio ou de ferro coordenados com íons de oxigênio e hidroxila. Os coloides oxídicos apresentam pouca plasticidade e pegajosidade. A carga líquida varia de moderadamente positiva a levemente negativa.

Orgânicos (húmicos): os coloides orgânicos são importantes em quase todos os solos, especialmente nas porções mais superiores dos perfis. Esses coloides não são minerais, nem apresentam estrutura cristalina. Em vez disso, consistem em cadeias e anéis de átomos de carbono ligados a átomos de hidrogênio, oxigênio e nitrogênio. As partículas de húmus estão, frequentemente, entre os menores coloides do solo e possuem alta capacidade de adsorver água, mas quase não apresentam plasticidade ou pegajosidade. Devido ao fato do húmus não ser coesivo, os solos compostos principalmente por essa substância possuem baixíssima capacidade de suporte e, por isso, são inaptos para a construção de edifícios ou de estradas. O húmus possui elevadas quantidades de cargas negativas e positivas por unidade de área, mas a carga líquida é sempre negativa e varia com o pH do solo.

No solo, as superfícies com cargas negativas e positivas existentes sobre os coloides atraem e mantêm uma complexa multidão de cátions e ânions. A adsorção desses íons pelos coloides do solo afeta grandemente as suas disponibilidades biológicas e mobilidades, influenciando tanto a fertilidade do solo quanto a qualidade ambiental (Tabela 5).

É importante observar que a solução do solo e as superfícies coloidais da maioria dos solos são dominadas principalmente por apenas alguns tipos de cátions e ânions, sendo outros tipos encontrados em quantidades menores ou apenas em situações especiais, como nos solos contaminados.

Nas últimas quatro décadas, inúmeras pesquisas vem sendo realizadas com a finalidade de avaliar o possível potencial de contaminação do solo por metais pesados; a presença de metais pesados é generalizada nos solos em condições naturais em função do material de origem, entretanto atividades antrópicas podem adicionar ao ambiente materiais que contêm metais pesados (ALLEONI; BORBA; CAMARGO, 2005).

Tabela 5 – Alguns cátions e ânions mais comumente adsorvidos aos coloides do solo e importantes para a nutrição das plantas e a qualidade ambiental

Cátion	Fórmula	Observações	Ânion	Fórmula	Observações
Alumínio	Al ³⁺ etc. ⁽¹⁾	Tóxico para muitas plantas	Arsenato	(AsO ₄) ³⁻	Tóxico para animais
Amônia	(NH ₄) ⁺	Nutriente das plantas	Bicarbonato	(HCO ₃) ⁻	Tóxico em solo com pH elevado
Cádmio	Cd ²⁺	Poluente tóxico	Borato	{B(OH ₄) ⁻ }	Nutriente das plantas (pode ser tóxico)
Cálcio ⁽²⁾	Ca ²⁺	Nutriente das plantas	Carbonato ⁽²⁾	(CO ₃) ²⁻	Forma ácido fraco
Césio	Cs ⁺	Contaminante radioativo	Cloreto ⁽²⁾	Cl ⁻	Nutriente das plantas (tóxico em grandes quantidades)
Chumbo	Pb ²⁺	Tóxico das plantas e animais	Cromato	(CrO ₄) ²⁻	Poluente tóxico
Cobre	Cu ²⁺	Nutriente das plantas (poluente tóxico)	Fluoreto	Fl ⁻	Tóxico, natural e poluente
Estrôncio	Sr ²⁺	Contaminante radioativo	Fostato	(HPO ₄) ²⁻	Nutriente das plantas (poluente nas águas)
Ferro	Fe ²⁺	Nutriente das plantas	Hidroxila ⁽²⁾	(OH) ⁻	Fator de alcalinidade
Hidrogênio ⁽²⁾	H ⁺	Causa acidez	Molibdato	(MoO ₄) ²⁻	Nutriente das plantas (pode ser tóxico)
Magnésio ⁽²⁾	Mg ²⁺	Nutriente das plantas	Nitrato ⁽²⁾	(NO ₃) ⁻	Nutriente das plantas (poluente nas águas)
Manganês	Mn ²⁺	Nutriente das plantas	Selenato	(SeO ₄) ²⁻	Nutriente dos animais (poluente tóxico)
Níquel	Ni ²⁺	Nutriente das plantas (poluente tóxico)	Selenito	(SeO ₃) ²⁻	Nutriente dos animais (poluente tóxico)
Potássio ⁽²⁾	K ⁺	Nutriente das plantas	Silicato ⁽²⁾	(SiO ₄) ⁴⁻	Produto de intemperismo de minerais usado pelas plantas
Sódio ⁽²⁾	Na ⁺	Utilizado por animais e algumas plantas (pode danificar o solo)	Sulfato ⁽²⁾	(SO ₄) ²⁻	Nutriente das plantas
Zinco	Zn ²⁺	Nutriente das plantas (poluente tóxico)	Sulfito	S ²⁻	Em solos anaeróbicos, forma ácido no estado de oxidação

⁽¹⁾ Os importantes cátions de alumínio incluem Al³⁺, [Al(OH)₂]⁺ e [Al(OH)]²⁺. ⁽²⁾ São predominantes na maioria das soluções de solo.

FONTE: Brady; Well (2013).

2.4 IMPORTÂNCIA DOS METAIS PESADOS NO AMBIENTE

O solo, por ser um importante compartimento do meio ambiente com capacidade de acumular muitos poluentes, apresenta grande risco de contaminação, uma vez que, se o seu poder-tampão for excedido, as águas subterrâneas e a biosfera passam a ter sérios riscos mediante a transferência de poluentes. Dentre esses poluentes, destacam-se os metais pesados que, por serem bastante estáveis

na natureza, são passíveis de serem acumulados no solo e em sistemas biológicos ao longo do tempo (AMARAL SOBRINHO; BARRA; LÃ, 2009).

O termo metal pesado, embora não seja de fácil definição, é reconhecido e utilizado mundialmente. Esse termo é adotado para um grupo de metais e metaloides que estão associados com poluição e toxidez, incluindo neste termo alguns elementos que, em baixa concentração, são essenciais aos organismos vivos. Metal tóxico é um termo alternativo a metal pesado, mas é aplicado somente a elementos não essenciais, tais como Pb, Cd, Hg, As (KABATA-PENDIAS, 2001) e não é aplicado para elementos essenciais biologicamente, tais como Co, Cu, Mn, Se e Zn (ALLOWAY, 1990).

Os metais pesados formam um grupo de elementos com particularidades relevantes e de ocorrência natural no ambiente, como elementos acessórios na constituição de rochas. Esses elementos, apesar de associados à toxidez, exigem tratamento diferencial em relação aos xenobióticos, uma vez que diversos metais possuem essencialidade (Fe, Mn, Ni, Cu e Zn) e benefício (Co) comprovado para as plantas (BIONDI et al., 2011). Sendo assim, o conhecimento dos teores desses metais torna-se duplamente relevante, uma vez que possibilita definir valores orientadores de qualidade do solo, com a geração de valores de referência de qualidade, a serem aplicados em atividades de monitoramento e, por outro lado, possibilita avaliar o potencial do solo em suprir de elementos importantes ao metabolismo vegetal, a médio e longo prazo (BIONDI et al., 2011).

Os metais se encontram distribuídos pela natureza principalmente na crosta terrestre, nos solos, na biosfera e na hidrosfera. Quando nos solos, os metais são originários da rocha de origem e/ou de práticas antrópicas agrícolas ou não (ALLOWAY, 1990). Ainda segundo Alloway (1990), as principais formas de ocorrências dos metais pesados nos solos são: solúveis, trocáveis, quimiossorvidos, ligados a materiais orgânicos insolúveis e em precipitados.

A concentração total natural de metais pesados depende principalmente do tipo de material de origem sobre o qual o solo foi formado, dos processos de formação e da composição e proporção dos componentes da fase sólida do solo. Sua relação com o material de origem é evidenciada quando o solo é formado *in situ*, ou seja, diretamente sobre a rocha matriz, tornando-se possível encontrar correlações positivas entre o conteúdo de determinados elementos na rocha e os seus teores no solo (FADIGAS et al., 2002).

Desde quando o homem começou a trabalhar com os metais, a qualidade dos solos foi afetada. A contaminação do solo geralmente ocorre de maneira localizada afetando basicamente regiões industrializadas, concentrações urbanas ou de agricultura intensa (MECHI; SANCHES, 2010). Ainda segundo Mechi e Sanches (2010), dependendo do tipo de solo, pode ocorrer uma acumulação das substâncias nocivas introduzidas no solo; ali permanecem e lentamente podem poluir lençóis de água subterrânea, ou mesmo mananciais superficiais, e afetar a biota.

As atividades antrópicas podem adicionar materiais que contêm metais pesados aos solos, os quais podem atingir concentrações muito altas, que comprometem a qualidade dos ecossistemas (CHEN et al., 1999; HOLMGREN et al., 1993).

Uma das formas de avaliação dos teores naturais e da variabilidade dos teores de metais em uma região é a utilização de classes de solos representativas da região, como, por exemplo, quando se dispõe de um banco de dados de referência: conjunto de solos com representativa extensão, podendo o conhecimento de suas propriedades e comportamento ser aplicado para compreensão e interpretação de solos com propriedades semelhantes, segundo USDA (2010 apud BIONDI et al., 2011).

No Brasil, as principais classes de solos, especialmente os Latossolos (42%) e Argissolos (27%), em condições naturais, obtidos da soloteca da Embrapa Solos (RJ), correspondendo a horizontes A e B de 81 perfis, foram caracterizados quanto aos teores de metais pesados (Cu, Zn, Co, Fe, Mn, Cd, Cr, Ni) na tentativa de correlacionar esses teores com algumas propriedades do solo (FADIGAS et al., 2006). Em geral, os teores médios totais dos metais foram inferiores aos valores médios encontrados em referências bibliográficas internacionais, com exceção de Cd, e inferiores aos valores considerados tóxicos para as plantas, inclusive para o Cd (FADIGAS et al., 2006).

Fádigas et al. (2006) agrupou também amostras semelhantes de solos utilizando-se como variáveis os teores de argila, silte, Mn, Fe e a Capacidade de Troca Catiônica. A partir desse agrupamento, foi possível definir faixas de teores das variáveis nos grupos de solos, como também obter uma aproximação dos teores naturais dos metais pesados para outras amostras de solos com características similares a cada grupo.

Os fertilizantes, utilizados na agricultura com a finalidade de fornecer nutrientes às plantas e corrigir deficiências nutricionais podem representar, segundo Brady e Weil (2013), uma fonte difusa de contaminação dos solos por metais pesados ou, como na atualidade é mais frequentemente designado, elementos-traço. Esses elementos são chamados também de elementos menores, uma vez que ocorrem naturalmente nos solos em menor quantidade.

Sendo assim, o uso contínuo desses adubos tem causado aumento do teor desses elementos no solo, introduzindo-os na cadeia alimentar, conforme comprovado em plantas de tomate (SANTOS et al., 2002) de feijão (SANTOS et al., 2003) e de pimentão (NUÑEZ et al., 2006).

Segundo Rajj (2011),

Diversos elementos químicos são indispensáveis à vida vegetal, porquanto, sem eles, as plantas não conseguem completar seu ciclo de vida. Esse é um dos critérios lembrados por Epstein em 1975 para caracterizar se um elemento é essencial. Outro critério de essencialidade baseia-se na exigência de o elemento fazer parte de um componente ou metabólito essencial para as plantas. Existe diferença na conceituação de nutrientes do ponto de vista de fisiologia vegetal e fertilidade do solo. Do ponto de vista fisiológico, todos os elementos essenciais são nutrientes. Do ponto de vista da fertilidade do solo, carbono, hidrogênio e oxigênio não são incluídos e os demais elementos são denominados nutrientes minerais, que são os considerados em estudo de adubação. Os elementos considerados essenciais para as plantas superiores são: macronutrientes (C, H, O, N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni e Zn); embora não estejam presentes nessa lista, sódio, silício e cobalto que são considerados elementos essenciais, mas apenas para algumas espécies (RAIJ, 2011, p. 81).

Malavolta et al. (2006) mencionaram que vários micronutrientes, essenciais para a planta e para o homem, são metais pesados. Há outros elementos classificados como tóxicos que aparecem na análise da planta e que foram absorvidos pela raiz ou pela folha (ou ambas) porque, como ensinava Aristóteles, “as plantas não têm alma para pensar”, isto é, absorvem do meio em que vivem, elementos que podem eventualmente envenená-las. Exemplos de metais pesados tóxicos para a planta: arsênio, cádmio, chumbo, mercúrio, antimônio, bário, berílio, tálio, estanho e titânio; deve-se ter presente que qualquer macro ou micronutriente pode tornar-se tóxico quando em concentração excessiva no tecido: “a dose faz o veneno”, ensinava o alquimista Paracelso há uns 500 anos mais ou menos (RAIJ, 2011).

Ainda segundo Rajj (2011), os elementos presentes na composição da planta se classificam em essenciais (sem eles as plantas não vivem), benéficos e

tóxicos. São tidos como essenciais, os seguintes elementos: C, H, O, N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cl, Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Se e Zn. Como benéficos (sem eles a planta vive), podem ser citados o Na e o Si, entretanto, em determinadas condições, podem melhorar o crescimento e aumentar a produção. Os elementos tóxicos não são essenciais e nem benéficos às plantas. No geral são classificados de acordo com a origem predominante:

- **naturais:** quando presentes no solo (ou na atmosfera) de onde passam à planta e desta ao animal, inclusive ao homem;
- **antropogênicos:** no caso em que o homem coloca no solo direta ou indiretamente.

A importância dos nutrientes essenciais, benéficos e tóxicos na nutrição das plantas, ganhou compreensão crescente nos últimos anos. Existem vários trabalhos desenvolvidos que comprovam uma relação de determinada dieta com efeitos na saúde humana e animal.

Plumlee e Ziegler (2005) afirmaram que determinados materiais geológicos afetam a saúde ao interagir com o corpo através de interfaces-chave como o trato respiratório, trato gastrointestinal, pele e olhos. Esses materiais reagem quimicamente com os fluidos do corpo, tais como os do pulmão, os gastrointestinais, saliva, plasma ou sangue. Assim sendo, uma grande variedade de elementos encontrados em materiais geológicos e nos solos podem ser associados a problemas de saúde.

O cobalto (Co) é encontrado primariamente nas rochas e a partir do intemperismo é comum a presença nos solos e nas águas. Embora o cobalto seja considerado um micronutriente para as plantas, o excesso do mesmo pode ser prejudicial. Alguns tipos de depósitos de minérios de níquel ou prata, resíduos de mineração provenientes da fundição e subprodutos podem acarretar contaminantes no meio ambiente. Os principais efeitos na saúde podem ser descritos a partir da ingestão podendo ocasionar cardiomiopatia, hipotireoidismo, policetemia e cancro; através da inalação pode ocorrer irritação respiratória (pneumoconiose “metal duro”) e por contato pode gerar dermatite alérgica (PLUMLEE; ZIEGLER, 2005).

Tal como o cobalto, o cobre é encontrado associado a minerais acessórios presentes nas rochas magmáticas básicas. Com o intemperismo o cobre poderá estar presente nos solos e na água. Embora, o cobre seja um elemento essencial tanto para as plantas quanto para o homem, a ingestão em demasia e/ou

inalação podem ocasionar a doença de Wilson, inflamação intestinal e hepática, hemólise e hiperglicemia (PLUMLEE; ZIEGLER, 2005).

Da mesma forma, o chumbo, quando ingerido ou inalado em demasia pode levar a uma encefalopatia aguda, insuficiência renal e desconforto intestinal entre outras doenças (PLUMLEE; ZIEGLER, 2005).

Segundo a CETESB (2013), as principais vias de exposição da população ao chumbo são oral e inalatória. Mais de 80% do chumbo que ingressa no organismo é oriundo da ingestão de alimentos, sujeiras e poeiras contendo o metal. O chumbo pode afetar quase todos os órgãos, sendo o sistema nervoso central mais sensível, tanto em crianças quanto em adultos.

Ainda, segundo a CETESB (2013),

O bário ocorre na natureza somente na forma combinada e as principais são a barita (sulfato de bário) e witherita (carbonato de bário). A barita é a principal fonte de obtenção de bário metálico que, juntamente com seus compostos, são usados na fabricação de diversos produtos industriais, como plásticos, vidros, cerâmicas, eletrônicos, têxteis, lubrificantes, ligas metálicas, sabão e borracha. O sulfato de bário é usado na clínica médica como contraste em radiografias. O bário ocorre naturalmente na maioria das águas superficiais e sua concentração depende do teor de bário lixiviado das rochas e dos solos. Emissões antropogênicas de bário podem ocorrer a partir da mineração, refino e tratamento de minérios de bário. A queima de combustíveis fósseis também pode liberar o metal. O tempo de permanência das partículas no ar depende do tamanho, mas invariavelmente estas acabam se depositando no solo. O bário é encontrado em muitos alimentos e a maioria contém menos de 3mg/100g, exceto castanhas do Brasil que podem conter altas concentrações do metal (150-300mg/100g). O bário não é um elemento essencial ao ser humano. A toxicidade do metal é produzida pelo cátion livre e os compostos muito solúveis são mais tóxicos que os insolúveis, como o sulfato de bário. A principal via de exposição da população geral é a ingestão de água e alimentos. O pão é considerado a principal fonte alimentar de bário, contribuindo com cerca de 20% do ingresso total. A ingestão de pequenas quantidades de bário em curtos períodos de tempo pode provocar vômito, cólica estomacal, diarreia, dificuldade respiratória, alteração da pressão sanguínea, adormecimento da face e debilidade muscular. A ingestão de altas quantidades de compostos solúveis de bário em água ou no conteúdo estomacal pode causar alterações no ritmo cardíaco, paralisia e levar a óbito se não houver tratamento.

A Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) incluiu o Ba na lista de substâncias perigosas, sendo também regulamentado pela legislação ambiental de diversos países quanto aos valores orientadores de qualidade do solo. O Canadá indica 750mg kg^{-1} para cenário agrícola e até mesmo no cenário residencial, para o qual essa legislação impõe limite mais rigoroso – o valor proposto é de 500mg kg^{-1} . A Holanda possui um valor de intervenção de 650mg kg^{-1} para cenário multifuncional (CETESB, 2014).

Os feldspatos formam um dos grupos minerais mais importantes. São silicatos de alumínio com potássio, sódio e cálcio e, raramente, bário. Por sua composição química, formam três grupos principais: os feldspatos potássicos, os feldspatos calcosódicos (plagioclásios) e os feldspatos báricos (DANA; HURLBUT, 1978). Sendo assim, as principais fontes de bário são: barita e whiterita anteriormente citadas e os feldspatos báricos (celsianas).

Segundo Dana e Hurlbut (1978), o bário é constituinte de carbonatos, sulfatos e silicatos e ocorre em minerais através de substituições isomórficas de elementos como Ca e K. O bário, quando disponível em elevados teores no solo, pode causar toxidez a plantas e invertebrados, além de interferir na disponibilidade de S, devido à formação de sulfatos de baixa solubilidade. Em animais, apenas cerca de 2% do Ba ingerido na dieta é absorvido pelo organismo, tendendo acumular nos ossos em substituição ao Ca (COSCIONE; BERTON, 2009).

O cádmio (Cd) é um elemento potencialmente tóxico para as plantas, animais e homens. O Cd é particularmente perigoso devido à sua mobilidade relativamente alta em solos e transferência para as plantas. Além disso, plantas que crescem em solos contaminados podem acumular Cd nos tecidos comestíveis em grandes quantidades sem qualquer sintoma visível de toxicidade. O Cd tem recebido atenção especial por sua associação com diversos problemas na saúde humana (NOGUEIRA, 2012).

O cromo não é considerado elemento essencial para as plantas. Muito frequentemente, ele é encontrado em rochas básicas e depósitos de minério associados. O principal mineral, presente nessas rochas básicas, é a cromita que é relativamente insolúvel. As principais formas de contaminação dos solos e da água provêm de atividades antropogênicas originadas por atividades industriais entre as quais a galvanoplastia. Os principais efeitos na saúde estão associados à inalação, ingestão e absorção percutânea ocasionando irritação e formação de lesões na pele, trato respiratório, mucosa gástrica e intestinal, dermatite de contato, edema pulmonar, insuficiência renal aguda, risco a longo prazo para os cânceros de pulmão, pneumoconiose de exposição a pó de minério de cromo (PLUMLEE; ZIEGLER, 2005).

O zinco é um elemento essencial tanto para as plantas quanto para o homem. A principal fonte de zinco ocorre na forma de mineral acessório nos basaltos e, portanto o mesmo poderá estar presente nos solos e nas águas após o

intemperismo. É um elemento importante na metalurgia embora esta prática possa contaminar o meio ambiente; a ingestão em excesso pode ocasionar anemia hipercrônica e a inalação de fumaças provoca febre dos fumos metálicos (PLUMLEE; ZIEGLER, 2005).

O níquel ocorre predominantemente como integrante de mineral acessório das rochas máficas a ultramáficas. Tal como o zinco, o níquel é um elemento essencial para as plantas e o homem. Atividades antropicas podem enriquecer o meio ambiente nesse elemento podendo ocasionar efeitos nocivos à saúde humana. A inalação origina bronquite crônica, enfisema e cancro dos pulmões, enquanto a ingestão em excesso pode levar a óbito, ocasionar danos gastrointestinais (náuseas, cólicas, vômitos, diarreia), efeitos no sangue, fígado e rins; os efeitos neurológicos (cansaço) também são comuns às pessoas que consomem níquel em demasia (PLUMLEE; ZIEGLER, 2005).

O arsênio é um semi-metal (metaloide) que ocorre naturalmente na crosta terrestre e está presente em mais de 200 minerais. O arsênio é liberado ao ambiente por fontes naturais (poeiras e vulcões) e antropogênicas, como mineração de metais não ferrosos e fundição, aplicação de agrotóxicos, combustão de carvão e madeira e incineração de lixo. O transporte e distribuição do arsênio na água depende de sua forma química e de interações com os materiais presentes no meio. O arsênio é introduzido na água por dissolução de rochas e minérios, e fluentes industriais incluindo resíduos de mineração e via de posição atmosférica. A exposição não ocupacional ao arsênio ocorre principalmente por ingestão de alimentos e água. A exposição ambiental por via inalatória é considerada mínima. O arsênio está presente em quantidades-traço em todos os alimentos e as concentrações mais elevadas geralmente são encontradas em frutos do mar, carnes e grãos, com teores mais baixos em derivados do leite, vegetais e frutas. O arsênio não é um elemento essencial ao ser humano. Os sinais e sintomas clínicos iniciais da intoxicação aguda são: dor abdominal, vômito, diarreia, vermelhidão da pele, dor muscular e fraqueza. Esses efeitos frequentemente são seguidos por dormência e formigamento das extremidades, câibras e pápula eritematosa. Estudos relatam lesões dérmicas, como hiper e hipopigmentação, neuropatia periférica, câncer de pele, bexiga e pulmão e doença vascular periférica em populações que consumiram água contaminada com arsênio por longos anos (CETESB, 2014).

O vanádio é um metal que não ocorre livre na natureza, mas combinado com outros elementos, como oxigênio, enxofre, cloro e presente nos minerais silicatados; ele é encontrado em rochas magmáticas, fosfáticas e determinados minérios, estando presente na crosta terrestre em concentração média de $100\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; seu teor no solo varia de 3 a 600 mg/kg e está associado com as rochas que formam o solo. A principal via de exposição da população ao vanádio é a alimentação e ingestão de água. A maioria dos alimentos apresenta baixas concentrações do metal, com valores mais elevados em mariscos. O vanádio, como sulfato de vanádio, também pode ser encontrado em suplementos nutricionais e polivitamínicos. O consumo de alguns desses suplementos poderia resultar em um ingresso de vanádio excedendo o ingresso por água e alimento. A exposição crônica à poeira de pentóxido de vanádio resulta em renite, faringite, bronquite, tosse crônica, respiração ofegante, falta de ar e fadiga. A Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC) classifica o pentóxido de vanádio como possível carcinógeno humano, com base em evidências inadequadas de carcinogenicidade para o ser humano e evidências suficientes de carcinogenicidade em animais de experimentação (CETESB, 2014).

O manganês é um metal cinza claro que não ocorre na forma elementar, mas combinado com outros elementos como oxigênio, enxofre, cloro e seus compostos podem existir na atmosfera na forma de partículas em suspensão, resultantes da erosão do solo, emissões industriais e vulcânicas, assim como da queima de gasolina. O manganês é um nutriente essencial em pequenas quantidades para muitos organismos vivos, incluindo o ser humano, principalmente nos processos reprodutivos, manutenção da estrutura óssea e funcionamento do sistema nervoso. Trabalhadores expostos cronicamente a aerossóis e poeiras contendo altas concentrações do metal apresentaram tosse, náuseas, cefaleias, fadiga, perda de apetite, insônia e inflamação nos pulmões que podem levar à pneumonia química (CETESB, 2014).

O mercúrio é um elemento metálico encontrado naturalmente no ambiente e existe em três formas com diferentes propriedades, usos e toxicidades, denominadas: mercúrio elementar (metálico), compostos inorgânicos de mercúrio e compostos orgânicos de mercúrio. O mercúrio metálico é um líquido a temperatura ambiente usado em termômetro, amálgama odontológico, lâmpada fluorescente, interruptor elétrico, mineração e em alguns processos industriais. Os compostos

inorgânicos de mercúrio são formados quando o mercúrio combina-se com outros elementos, como enxofre e oxigênio, formando compostos ou sais, e podem ocorrer naturalmente no ambiente. São usados em alguns processos industriais e na produção de outras substâncias químicas (CETESB, 2014).

O mercúrio pode ser ainda usado como conservante de vacinas, em cosméticos, sabões clareadores e na forma de agrotóxicos. Estes usos estão proibidos no Brasil, sendo apenas permitido o uso de mercúrio como anti-séptico, na forma de timerosal (etilmercúrio tiosalicilato de sódio) para conservação de algumas vacinas (CETESB, 2014).

O mercúrio é relativamente incomum na crosta terrestre e a sua liberação ocorre por processos naturais (erosão e atividade vulcânica) e mineração. As atividades antropogênicas são as principais fontes de contaminação do ambiente. Uma vez liberado, o mercúrio permanece no ambiente, onde assume diversas formas químicas. As emissões para o ar ocorrem principalmente na forma de mercúrio elementar, que é muito estável e pode permanecer na atmosfera por muito tempo, possibilitando seu transporte a longas distâncias (CETESB, 2014).

O vapor de mercúrio presente na atmosfera pode se depositar ou ser convertido na forma solúvel retornando à superfície terrestre nas águas da chuva. O metal pode ser convertido novamente em vapor de mercúrio e retornar à atmosfera, ou ser "metilado" por microrganismos presentes nos sedimentos da água, se transformando em metilmercúrio (MeHg), o qual pode ser bioconcentrado em animais e acumular-se na cadeia alimentar (CETESB, 2014)

O consumo de grandes quantidades de metilmercúrio durante semanas ou meses pode causar dano no sistema nervoso, em áreas sensoriais e de coordenação, com o surgimento de formigamento nas extremidades e ao redor da boca, falta de coordenação e diminuição do campo visual. Crianças nascidas de mães contaminadas com MeHg apresentaram anormalidades no desenvolvimento e paralisia cerebral. Cabe ressaltar que os riscos por consumo de pescados e mariscos dependem da quantidade ingerida e dos níveis de mercúrio presentes nos organismos (CETESB, 2014).

A inalação de altas concentrações de vapor de mercúrio metálico pode causar rápido dano aos pulmões. A inalação crônica de baixas concentrações dos vapores pode produzir distúrbios neurológicos, problemas de memória, erupções cutâneas e insuficiência renal. A ingestão de grandes quantidades de determinados

compostos inorgânicos de mercúrio pode produzir irritação e corrosão no sistema digestivo. A ingestão ou a aplicação dérmica desses compostos por longo período pode causar efeitos similares aos observados na exposição crônica ao vapor de mercúrio metálico (CETESB, 2014).

O antimônio é um metalóide encontrado naturalmente na crosta terrestre em baixas concentrações e a sua emissão ocorre principalmente por atividade antropogênica. A emissão natural ocorre por erupção vulcânica e a antropogênica durante a queima de carvão em usinas de energia elétrica, incineração de resíduos, refino e fundição de minérios contendo Sb. No ar, o antimônio encontra-se ligado a pequenas partículas, que permanecem por muitos dias; a maior parte acumula-se no solo ligando-se fortemente a partículas contendo ferro, manganês ou alumínio. Atualmente a concentração do metal no ar é menor uma vez que a introdução de filtros para poeiras reduziu as emissões industriais (CETESB, 2014).

A abrasão do antimônio (e outros metais) de freios, pneus, superfícies das ruas e escapamento de veículos é a principal fonte de antimônio na poeira fina urbana. O metal pode ser transportado em rios e córregos por intemperismo do solo, uma vez que é um constituinte natural do solo, e por fontes antropogênicas. O Sb tem baixa ocorrência em ambientes aquáticos, e as formas e processos químicos e bioquímicos que ocorrem nesses ambientes não são bem compreendidos. O antimônio pode ser reduzido e metilado por microrganismos de sedimentos anaeróbios, liberando compostos voláteis de antimônio metilado para a água. As formas solúveis de antimônio apresentam pouca mobilidade na água, enquanto as espécies solúveis são adsorvidas nas argilas dos solos e dos sedimentos (CETESB, 2014).

A população geral está exposta a baixos níveis de antimônio na água e alimentos. A exposição aguda por inalação resulta em efeitos na pele e olhos. Os efeitos respiratórios, como inflamação nos pulmões, bronquite e enfisema crônicas são os principais efeitos na exposição a longo prazo por via inalatória. Os sais solúveis de antimônio, após ingresso oral, exercem forte efeito irritante na mucosa gástrica e provocam vômito, além de cólica abdominal, diarreia e toxicidade cardíaca (CETESB, 2014).

O alumínio é o elemento metálico mais abundante na crosta terrestre. Ocorre naturalmente no ambiente como silicatos, óxidos e hidróxidos e como complexos com matéria orgânica. O metal é utilizado na indústria automobilística,

construção civil, aeroespacial, elétrica e eletrônica, na fabricação de ligas metálicas, utensílios domésticos e embalagens para alimentos. Os compostos de alumínio são usados como antiácidos, antiperspirantes e adstringentes. Os sais de alumínio são também muito empregados como coagulantes no tratamento da água para reduzir matéria orgânica, cor, turbidez e microrganismos (CETESB, 2014).

As principais vias de exposição humana ao alumínio (Al) são oral e inalatória. A ingestão de alimentos contendo o metal, especialmente aqueles contendo compostos de Al usados como aditivos em alimentos, representa a principal via de exposição para a população geral, excluindo as pessoas que usam regularmente antiácidos e analgésicos tamponados contendo alumínio. Existe pouca indicação de que o alumínio é tóxico por via oral na exposição por curto prazo, apesar de sua ampla ocorrência em alimentos, água potável e muitas fórmulas antiácidas. Estudos apontam que a utilização de utensílios e recipientes de alumínio pode aumentar a quantidade do metal nos alimentos. Porém, há controvérsia sobre o risco envolvido nessa prática, pois muitos trabalhos consideram esse aumento não significativo do ponto de vista biológico (CETESB, 2014).

Estudos epidemiológicos sugerem uma possível associação entre Mal de Alzheimer e alumínio na água, como um fator de risco para o desenvolvimento ou aceleração da doença, entretanto outros estudos não confirmam esta associação. Tais estudos não apresentaram informações da ingestão de Al via alimentos e como as concentrações do metal afetam a associação. A Organização Mundial da Saúde (OMS) está reavaliando as informações quanto a presença de alumínio na água potável e possível risco à saúde humana. Pesquisadores acreditam que a doença resulta mais da combinação de diferentes fatores do que de uma causa só para a maioria dos indivíduos (CETESB, 2014).

A Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC) classifica a produção de alumínio no Grupo 1 (cancerígena para o ser humano), como redução eletrolítica da alumina para Al e processos de fundição de Al em lingotes, devido aos casos de câncer de pulmão e bexiga entre trabalhadores envolvidos nestes processos (CETESB, 2014)

O selênio é considerado elemento essencial para o homem devido a uma série de funções metabólicas e, em particular, como componente de enzimas com ações anti-oxidantes e preventivas de doenças degenerativas de membranas biológicas. Doses diárias menores de 0,04 mg são consideradas insuficientes,

enquanto que doses superiores a 0,1 mg podem ser consideradas tóxicas. O selênio é envolvido na origem de várias doenças, como o câncer, a esclerose muscular e a distrofia muscular. Há relação clara entre selênio e doenças degenerativas dos ossos e do coração. A síndrome de Keshan, comum em várias regiões da China, é uma cardiomiopatia crônica provavelmente devido à deficiência em selênio. Por outro lado, o selênio parece retardar o envelhecimento e estimular o sistema imunológico. Pesquisas recentes sobre a AIDS sugerem que a estrutura genética do vírus HIV contém gem cujo funcionamento depende da disponibilidade de selênio, de forma que o aparecimento de patologias devido ao vírus HIV pode ser retardada com ingestão de alimentos pobres em selênio (PLUMLEE; ZIEGLER, 2005).

O molibdênio é um micronutriente aniônico originado a partir de decomposição de rochas onde seu principal mineral é a molibdenita. O excesso de molibdênio no organismo está associado à hipercolesterolemia, à gota, à hipertensão, ao hipoparatiroidismo, à baixa relação entre estrógenos e progesterona quando há deficiência de cobre, à perda de elasticidade de tendões e a níveis elevados de ácido úrico (PLUMLEE; ZIEGLER, 2005).

2.5 RESPONSABILIDADE SOCIOECONÔMICA DO USO DAS TERRAS

Resende et al. (2007) visualizam o solo como fator ecológico, pois a ecologia é o estudo das relações entre os organismos e o meio ambiente; as plantas que nos fornecem alimentos, fibras, madeiras e substâncias medicinais dependem dos fatores ecológicos: clima, solo e biota (organismos). Neste último fator está inclusa a atividade humana. O solo, por sua vez, é resultado de combinações de clima, organismos, material de origem (rocha) e tempo. Como o solo é considerado um corpo tridimensional, subentende-se que o relevo faz parte dele e que existem inter-relações de dependência desses fatores mencionados que podem ser visualizadas esquematicamente através de um tetraedro.

Ainda segundo Resende et al. (2007), os vértices da base do tetraedro representam os fatores ecológicos; clima, solo e organismos; o vértice superior indica os aspectos socioeconômicos que se relacionam aos três fatores da base; ademais, desnecessário afirmar, as inter-relações existentes entre as arestas e as faces do tetraedro culminam com os aspectos socioeconômicos, tendo como referência maior, o homem (Figura 2).

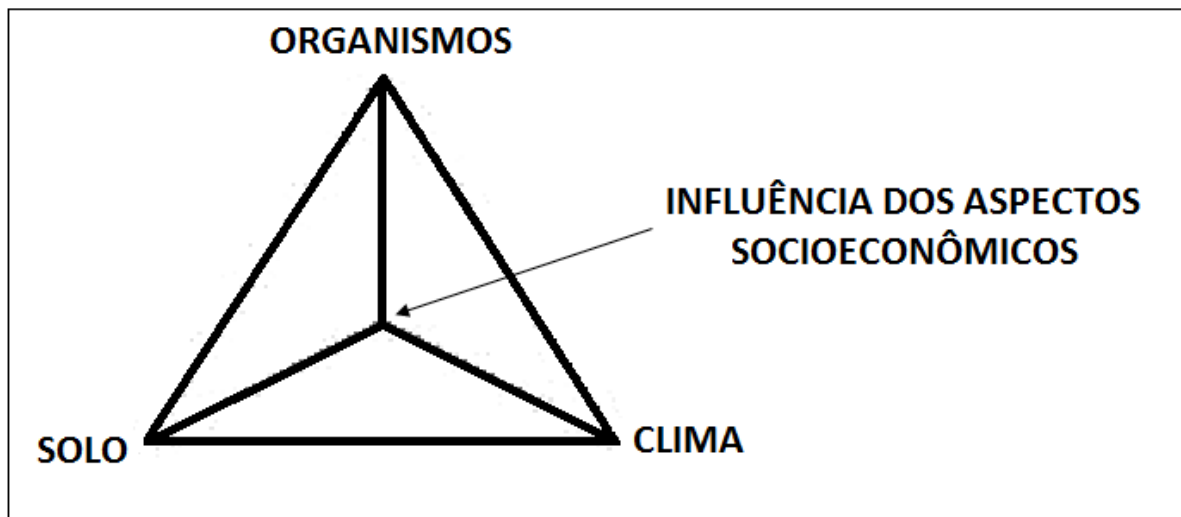


Figura 2 – Inter-relações representadas pelo tetraedro

Fonte: Resende et al. (2007)

O conhecimento sobre o uso da terra ganha destaque pela necessidade de garantir sua sustentabilidade diante das questões ambientais, sociais e econômicas a ele relacionadas e trazidas à tona no debate sobre o desenvolvimento sustentável (IBGE, 2013).

Assim como, o conhecimento da ocupação do solo e da sua localização em uma determinada região fornecem elementos para o planejamento de uso ambiental e de extração de recursos naturais visando a melhoria da qualidade de vida da população (CAMPOS et al., 2004), há exemplos na literatura em que a intervenção humana teria adicionado determinados elementos químicos tóxicos que modificaram o ambiente de forma negativa:

Politano et al. (1980) afirmaram que o conhecimento da ocupação do solo quanto a sua natureza, localização, forma de ocorrência e mudanças ocorridas em determinados períodos são de grande valia para a programação de atividades que visam o desenvolvimento agrícola, econômico e social da região.

A identificação, o mapeamento e a quantificação das ocupações do solo com análise visual da imagem de satélite são de fundamental importância para os profissionais que dependem de um levantamento mais detalhado de alvos (CAMPOS et al., 2004).

2.6 LEGISLAÇÃO VIGENTE

O solo foi considerado por muito tempo um receptor ilimitado de substâncias nocivas descartáveis, como o lixo doméstico e os resíduos industriais,

com base no suposto poder tampão e potencial de autodepuração, que leva ao saneamento dos impactos criados. Porém essa capacidade, como ficou comprovado posteriormente, foi superestimada e, somente a partir de 1970, foi direcionada maior atenção à sua proteção.

O conceito de "áreas contaminadas", como sendo um local cujo solo sofreu dano ambiental significativo que o impede de assumir suas funções naturais ou legalmente garantidas, é relativamente recente na política ambiental dos países desenvolvidos, o mesmo ocorrendo no Brasil.

Segundo Santos (2005), a contaminação, geralmente, é consequência da atividade humana e transformou-se em grande problema ambiental, uma vez que interfere no ambiente da área afetada (solo, águas superficiais e subterrâneas, ar, fauna e vegetação), podendo ocasionar problemas de saúde pública. Ainda segundo Santos (2005), a preocupação com as consequências da contaminação do solo, das águas subterrâneas e com a vulnerabilidade dos ecossistemas é recente no Brasil.

Beaulieu (1998) descreve que o mundo industrializado começou a se conscientizar dos problemas causados pelas áreas contaminadas no final dos anos de 1970 e início de 1980, após a ocorrência de "casos espetaculares", como "Love Canal", nos Estados Unidos; "Lekkerkerk", na Holanda; e "Ville la Salle", no Canadá. Após esses eventos foram criadas políticas e legislações em vários países, províncias e estados.

No Brasil, o CONAMA fez publicar no Diário Oficial da União nº 249, de 30/12/2009 a Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009 e posteriormente a Resolução nº 460, de 30 de dezembro de 2013, que 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 (Anexo A).

Valores Orientadores são concentrações de substâncias químicas que fornecem orientação sobre a qualidade e as alterações do solo e da água, conforme a Resolução nº 420 do CONAMA.

Segundo essa resolução, no anexo A, item 4, cada Estado da Federação poderá estabelecer, por substância, um único VRQ (Valor de Referência da Qualidade) ou um VRQ para cada tipo de solo; o VRQ é a concentração de determinada substância que define a qualidade natural do solo, sendo determinado com base em interpretação estatística de análises físico-químicas de amostras de

diversos tipos de solos; estes VRQs para metais pesados em solos, em âmbito mundial, são bastantes heterogêneos. No Brasil, poucos estudos para estabelecer esses valores foram concluídos (PAYE et al., 2010). Ainda segundo Paye et al., (2010), para atender aos requisitos impostos pela legislação vigente, os organismos de monitoramento ambiental necessitam de indicadores capazes de servir como referências para a avaliação continuada dos impactos ambientais causadas pelas atividades antrópicas sobre os solos.

A legislação brasileira estabelece três valores orientadores distintos: os Valores Orientadores de Referência de Qualidade (VRQs), os de Prevenção (VP) e os de Investigação (VI) como pode ser observado na Resolução nº 420 do CONAMA, Art. 6º, incisos XXII, XXIII e XXIV (Anexo A). Ainda segundo a referida resolução, os valores de investigação são variáveis em função dos usos dos solos que podem ser assim citados: residencial, industrial e agrícola.

Os VRQs são definidos pelos estados da Federação e devem ser baseados na análise de dados sob condição natural e em análise de risco; preliminarmente a Resolução nº 420 no Capítulo II, Art. 8º, determinava que estes Valores Orientadores deveriam ser estabelecidos até dezembro de 2013; entretanto, a Resolução 460 alterou para dezembro de 2014.

Valores Orientadores são valores preestabelecidos que permitem determinar a ausência da contaminação ou conhecer o nível desta em um solo. Em todo o mundo, utilizam-se várias terminologias para essa definição, estabelecendo, geralmente, faixas de valores indicativos dos diferentes níveis de contaminação dos metais nos solos (BIONDI et al., 2011).

Segundo Baize e Sterckeman (2001), a determinação dos teores naturais, em cada unidade da Federação, como indicado pelo CONAMA, é o primeiro passo para a definição de valores orientadores de situações de contaminação, essencial para a construção de uma legislação voltada para o monitoramento e intervenção legal condizentes com a realidade local, evitando intervenções inadequadas que incorram em prejuízos financeiros e sociais.

Os VRQs, para os teores de metais pesados extraídos por HNO₃ e HCl nos solos originados de basaltos, são maiores quando comparados com solos derivados de outros tipos de rochas (ALTHAUS et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2011; BIONDI et al., 2011). Ainda segundo Biondi et al. (2011), foram obtidas correlações

significativas entre metais (Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, e Co) com a fração argila do solos, indicando a associação comum da maioria dos metais a solos mais argilosos.

Alguns autores têm utilizado o termo de “teor pseudototal” para metais extraídos por água régia; entretanto, o teor pseudototal não é, necessariamente, uma boa medida de biodisponibilidade e não é uma ferramenta muito útil para quantificar a contaminação e os riscos potenciais ao ambiente e à saúde humana, uma vez que este teor inclui não apenas os íons metálicos facilmente trocáveis entre a fase sólida e a solução, mas também os fortemente ligados à fase sólida do solo que não estão disponíveis para o transporte ou absorção das plantas e organismos (BOIM, 2014).

Por biodisponibilidade, entende-se a porção de uma espécie química que está disponível para ingestão, inalação ou assimilação por um organismo vivo.

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 LOCALIZAÇÃO

A área de estudo corresponde ao município de Bandeirantes que está inserido na mesorregião geográfica Norte Pioneiro Paranaense e na microrregião de Cornélio Procópio (IPARDES, 2013), cujo retângulo envolvente é dado pelas coordenadas UTM, N = 7453147; E = 553564 e N = 7425807; E = 580939, SAD 69, Meridiano Central 51° W Gr (Figura 3).

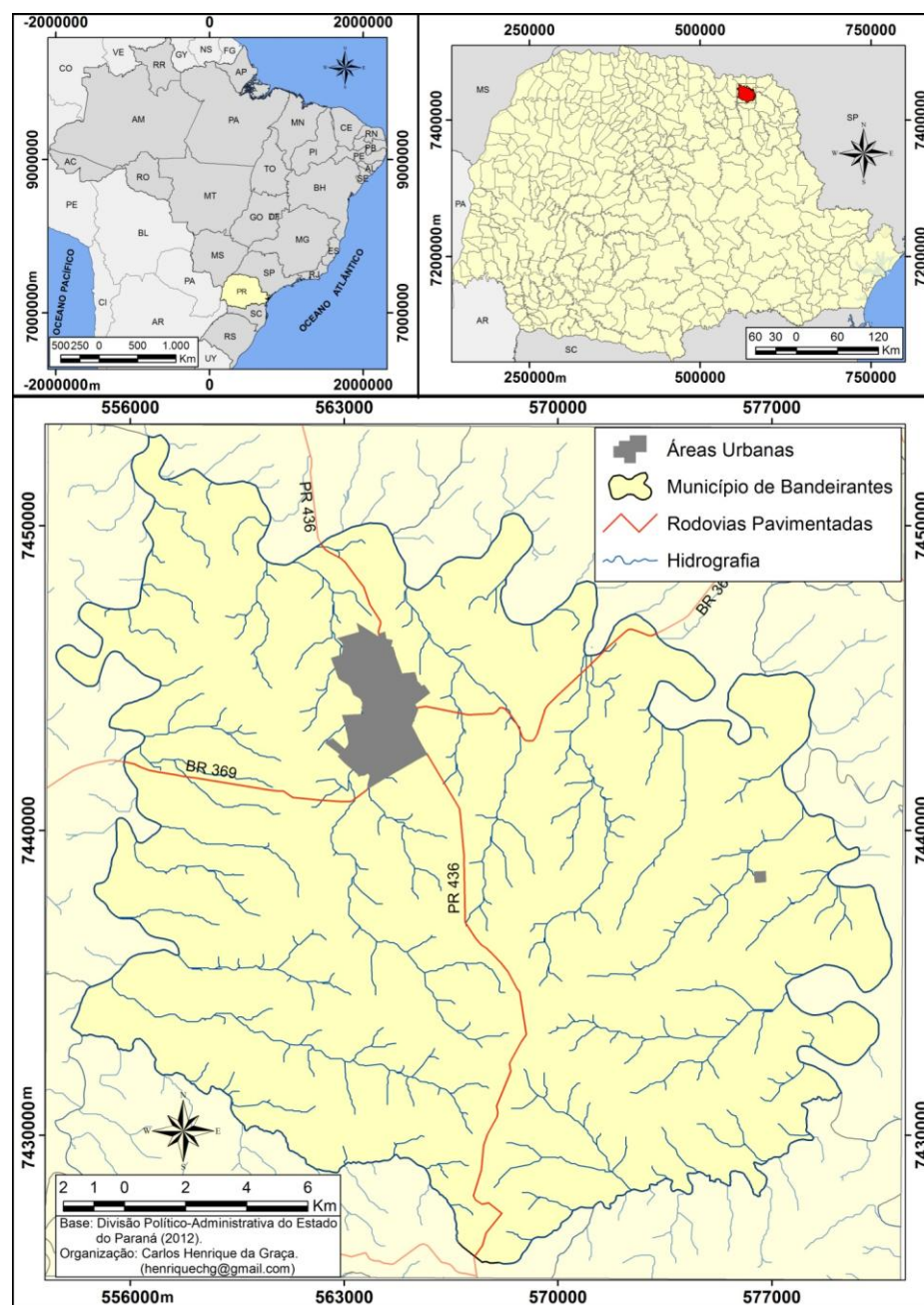


Figura 3 – Localização do município de Bandeirantes – PR

O município abrange a superfície de 446,301 km² ou 446,301 ha, tendo como municípios limítrofes: Itambaracá, Andirá, Barra do Jacaré, Santo Antonio da Platina, Abatiá, Santa Amélia, Santa Mariana e Cornélio Procópio.

Uma das principais vias de acesso a Bandeirantes é através da BR-369 que corta a cidade nos quilômetros de 54 a 64. A distância de Ourinhos-SP a Bandeirantes pela BR-369 totaliza 54 quilômetros e de Londrina, norte do Paraná, a distância é de 100 quilômetros, aproximadamente, por esta BR.

3.2 GEOLOGIA REGIONAL

A geologia do estado do Paraná é resultado de diferentes ciclos tectônicos que envolveram a Terra em diferentes épocas geológicas.

Maack (2002), com base em algumas assertivas mais antigas, subdividiu o Paraná em cinco unidades macrogeomorfológicas: Litoral, Serra do Mar, Primeiro Planalto, Segundo Planalto e Terceiro Planalto. Na geografia do território paranaense, a bacia sedimentar do Paraná, corresponde aos Segundo Planalto e Terceiro Planalto.

Diversos autores, entre eles Milani et al. (1994) e Zalán et al. (1990 apud PINESE, 2002), afirmam que na sequência juro-cretácica, a Formação Botucatu registra um grande deserto de dunas de areia que recobriu a bacia sedimentar do Paraná e áreas do embasamento; em seguida, a bacia foi recoberta por derrame de lavas que originaram os basaltos da Formação Serra Geral.

Os basaltos da Formação Serra Geral foram recobertos, predominantemente, por arenitos da Formação Caiuá; essas duas formações geológicas constituem o substrato geológico do Terceiro Planalto Paranaense (MINEROPAR, 2005). Fernandes (1998) sugeriu que a Formação Caiuá fosse promovida a Grupo que é constituído pelas seguintes formações geológicas: Santo Anastásio, Rio Paraná e Goioerê.

Bandeirantes está inserido no Terceiro Planalto Paranaense; as rochas aflorantes no município são os basaltos da Formação Serra Geral que engloba rochas relacionadas com o *trapp* basáltico, caracterizado pelas rochas efusivas básicas toleíticas, com basaltos maciços e amigdaloides, afaníticos cinzentos a pretos, raramente andesíticos, e entre dois derrames consecutivos, geralmente encontra-se intercalados material sedimentar (arenitos e siltitos) denominados intratrapianos (Figura 4) (MINEROPAR, 2006).

O sul do Brasil foi palco da maior atividade de vulcanismo fissural sobre a superfície da Terra. Esse intenso vulcanismo fissural é uma característica comum das bacias cratônicas sul-americanas que teria ocorrido no Mesozoico; foi a maior manifestação ígnea não-oceânica durante o Fanerozoico e uma importante contribuição à geração da crosta continental do planeta (MILANI et al., 2007).

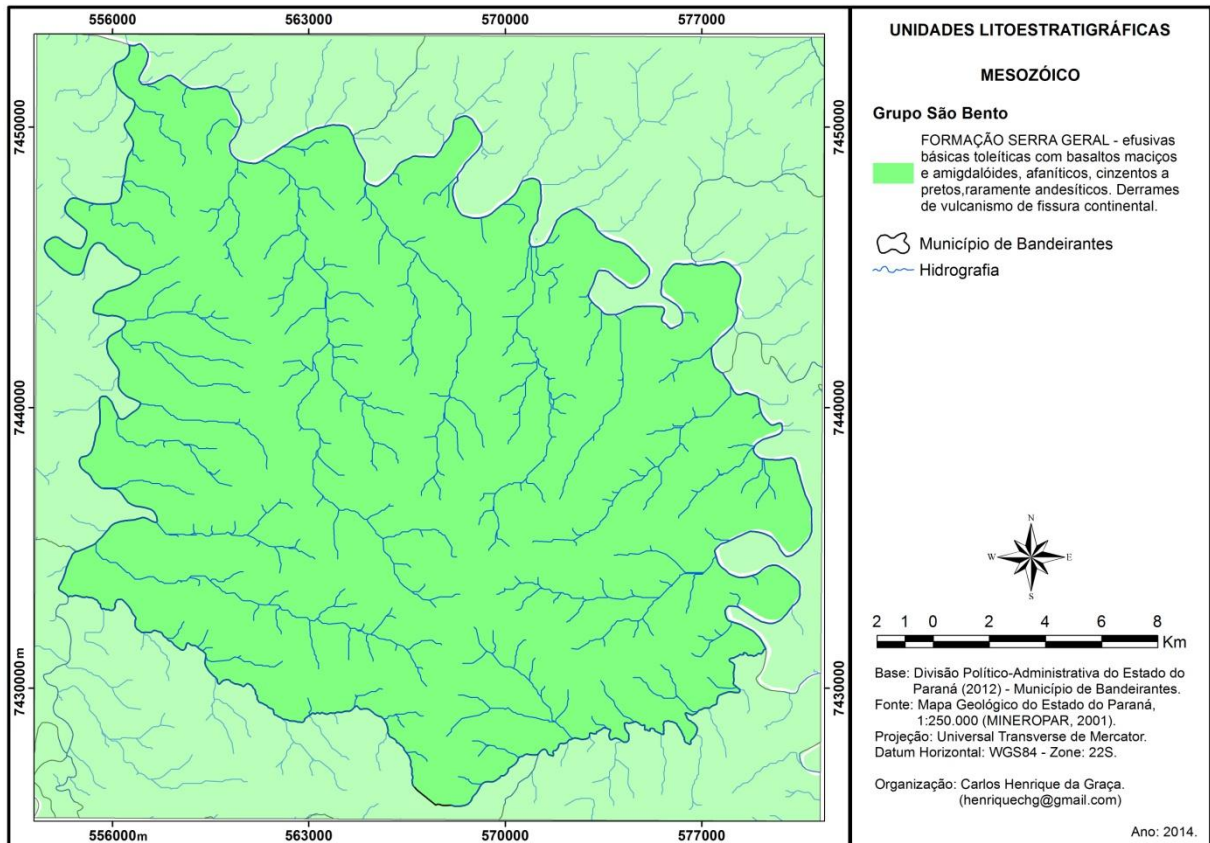


Figura 4 – Geologia do município de Bandeirantes

Ainda segundo Milani et al. (2007), praticamente nenhuma região da bacia foi poupada pela invasão magmática e, hoje, após mais de 100 milhões de anos de retrabalhamento erosivo, ainda restam cerca de três quartos da área total da bacia recoberto pelas rochas ígneas da Formação Serra Geral, com uma espessura remanescente que se aproxima dos 2000 metros na região do Pontal do Paranapanema (SP).

De maneira generalizada, a Formação Serra Geral é constituída por basaltos toleíticos e andesitos basálticos, ocorrendo subordinadas quantidades de riolitos e riodacitos (PEATE et al., 1992).

Corroborando tais assertivas, Leinz et al. (1966) e Melfi, Piccirillo e Nardy (1988), afirmam que as rochas eruptivas da Formação Serra Geral compreendem, predominantemente, um conjunto de derrames de basaltos toleíticos e, subordinadamente, um conjunto de derrames de riolitos, dacitos e riodacitos. Estes últimos, associados às ocorrências de basaltos pórfiros, constituem segundo a Mineropar (1989), uma subunidade estratigráfica designada Membro Nova Prata.

Os derrames e sills básicos da Formação Serra Geral da Bacia do Paraná representam um dos mais volumosos vulcanismos continentais do planeta, com uma área superior a 1.200.000 km², abrangendo regiões do sul e centro-oeste do Brasil e do Paraguai, Uruguai e Argentina, e também uma contraparte na África, áreas hoje separadas pelo oceano Atlântico. Os derrames foram gerados entre 133 e 129 milhões de anos atrás, sendo constituídos notadamente por lavas e deram origem aos basaltos (MINEROPAR, 2006).

A composição mineralógica primária dos basaltos da Formação Serra Geral de idade jurássico-cretácica é constituída predominantemente por plagioclásios e piroxênios, podendo conter olivina.

Em certos locais, os derrames sucessivos de lavas basálticas possuem centenas de metros de espessura, fato verificado na região central da bacia do Paraná, onde uma perfuração atravessou 1.700m de basaltos (Presidente Epitácio, SP). Na região de Bandeirantes constatou-se que, a partir de poços perfurados, a espessura do vulcanismo da Formação Serra Geral mede aproximadamente 400m.

A origem desse vulcanismo “Serra Geral” é ainda debatida, sendo creditada à presença de anomalias térmicas no manto (plumas), seguidas por ruptura da crosta continental, ou ainda à existência de fissuras profundas da crosta. Esse vulcanismo, por sua vez, associou-se à fragmentação do supercontinente Gondwana, que culminou com a formação do assoalho do oceano Atlântico, processo que continua até hoje (PRESS et al., 2008).

Esse vulcanismo que pertence ao Grupo São Bento, Formação Serra Geral, esta sob domínio da Bacia sedimentar do Paraná e representa, em volume, 90% de rochas básicas, 7% de rochas intermediárias e 3% de rochas ácidas, sendo que as últimas situam-se no topo dos pacotes vulcânicos da Formação Serra Geral em sobreposição às rochas básicas (BELLIENI et al., 1986).

Comparativamente às rochas de natureza básica, as rochas de natureza ácida ocorrem em altitudes mais elevadas quando se verifica as médias regionais,

definindo platôs que se destacam no relevo (BELLIENI et al., 1986). Entretanto, Pinese e Nardy (2003) verificou nos trabalhos de campo e nas análises litogeoquímicas que nem todos aqueles corpos assinalados nos mapas geológicos da literatura correspondiam a rochas desta natureza; particularmente, ainda segundo Pinese e Nardy (2003), no estado do Paraná (regiões de Pitanga, Ivaiporã e Manuel Ribas), onde muitos platôs observados em altitudes acima de 800 metros apresentam apenas rochas de caráter básico.

O caráter básico, teor em sílica entre 45 a 52%, é definido por sequências de derrames de basaltos de natureza toleítica, de coloração cinza escura a negra, hipocristalinos, maciços ou vesiculares. Tais derrames constituem o segmento basal da Formação Serra Geral e via de regra assenta-se diretamente sobre os arenitos eólicos da Formação Botucatu/Piramboia, através de contato discordante e abrupto (PINESE; NARDY, 2003).

As porções basais das sequências de lavas, em geral apresentam granulação fina a muito fina e em alguns casos, feições estruturais típicas de fluxo como o acamamento ígneo; tratam-se de camadas finas, onde cada uma delas não ultrapassa 10cm de espessura. Também na seção basal, são observadas brechas caracterizadas por fragmentos arredondados de basaltos e de arenitos da Formação Botucatu que se distribuem por uma matriz fina a muito fina, maciça ou levemente amigdaloidal (PINESE; NARDY, 2003).

3.3 GEOMORFOLOGIA

As principais unidades geotectônicas presentes no estado do Paraná são: embasamento cristalino e a bacia sedimentar; a primeira unidade é constituída principalmente por rochas cristalinas pré-cambrianas e, subordinadamente por rochas eopaleozoicas afossilíferas que constituem a base litoestrutural do relevo do Primeiro Planalto, da Serra do Mar e da bacia sedimentar; a segunda unidade corresponde à Bacia Sedimentar, que no estado do Paraná, constitui uma ampla depressão preenchida por rochas do Fanerozoico; inicialmente teria depositado rochas paleozoicas que representam o Segundo Planalto e o arenito mesozoico da Formação Botucatu; posteriormente teria ocorrido intrusões e derrames nos períodos Neojurássico e Eocretáceo, derrames estes que foram recobertos pelas formações geológicas areníticas da Formação Caiuá. Segundo a Mineropar (2006),

as intrusões e derrames que constituem a Formação Serra Geral e os arenitos da Formação Caiuá representam o Terceiro Planalto Paranaense.

Segundo Ross (1990), a geomorfologia leva em consideração as influências do substrato geológico na configuração do relevo em unidades morfoestruturais, como também das relações entre a natureza das rochas e a ação intempérica resultando em unidades morfoesculturais.

O Terceiro Planalto Paranaense corresponde ao maior compartimento de relevo do estado do Paraná. Seus limites ocorrem entre o reverso de cuesta da Serra Geral a leste e a calha do rio Paraná a oeste, na divisa com o Mato Grosso do Sul.

O município de Bandeirantes situa-se na unidade morfoestrutural da Bacia Sedimentar do Paraná e na unidade morfoescultural do Terceiro Planalto do Estado do Paraná. Todo município está inserido na subunidade morfoescultural do Planalto de Londrina, apresentando um relevo com dissecação média, topos alongados, vertentes convexas e vales em "V", modelados em rochas da Formação Serra Geral (MINEROPAR, 2006).

Na porção sul, próximo da divisa com Abatiá ocorre uma região mais acidentada e elevada com altitudes variando de 550 a 650 m. Nesta região predomina colinas médias e morros.

A região norte do município de Bandeirantes que faz divisa com Itambaracá apresenta colinas amplas e altitudes próximas de 400 m.

A região intermediária do município apresenta colinas médias, uma maior dissecação e altitudes entre 550 a 450m.

As altitudes, portanto variam entre 350 a 650 m acima do nível do mar, sendo que as áreas mais altas estão na porção sul do município na divisa com Abatiá e as áreas mais baixas ao norte onde ocorre a confluência dos rios das Cinzas e Laranjinha e faz divisa com Itambaracá e Santa Mariana (Figura 5).

As áreas mais planas do município estão localizadas ao norte, onde predominam as classes de declividade que não ultrapassam 8% e está inserida a zona urbana; ao sul, na divisa com Abatiá, o relevo é mais dissecado e aí aparecem as classes de maior declividade, em alguns casos maior que 20%. O setor intermediário é bem menos dissecado, predominando declividades entre 3% e 8%. Entretanto, alguns setores com declividades entre 8 e 20% aparecem, ora no terço

inferior de determinadas vertentes, ora marcando rupturas pronunciadas próximo aos topos (Figura 6).

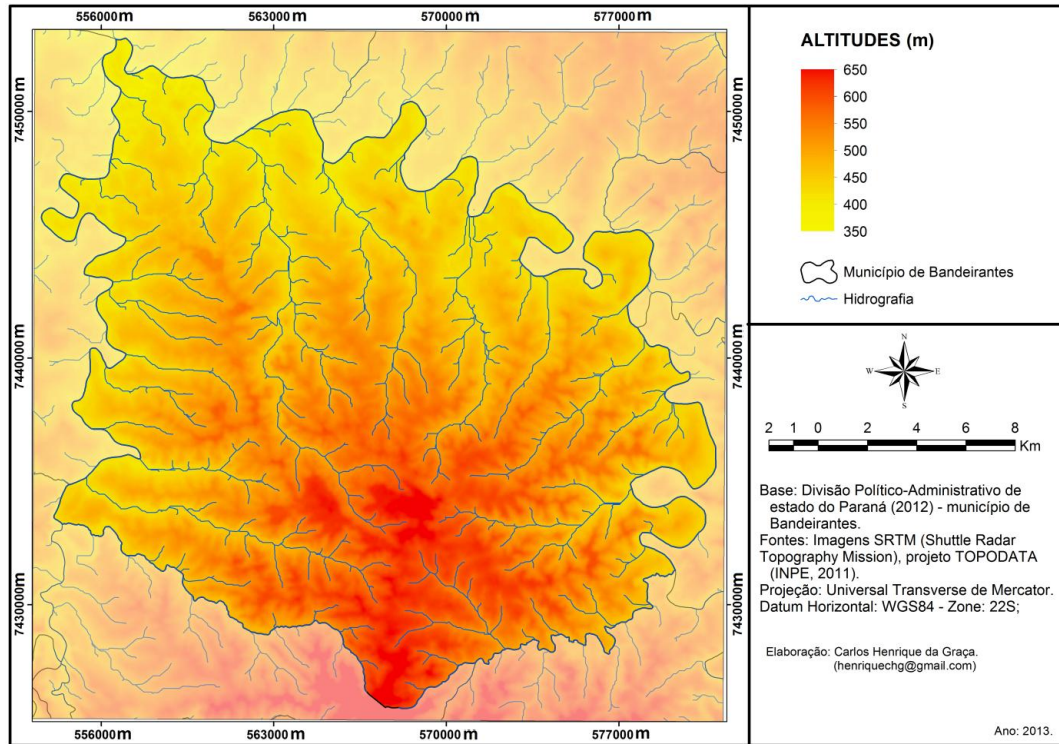


Figura 5 – Hipsometria do município de Bandeirantes-PR

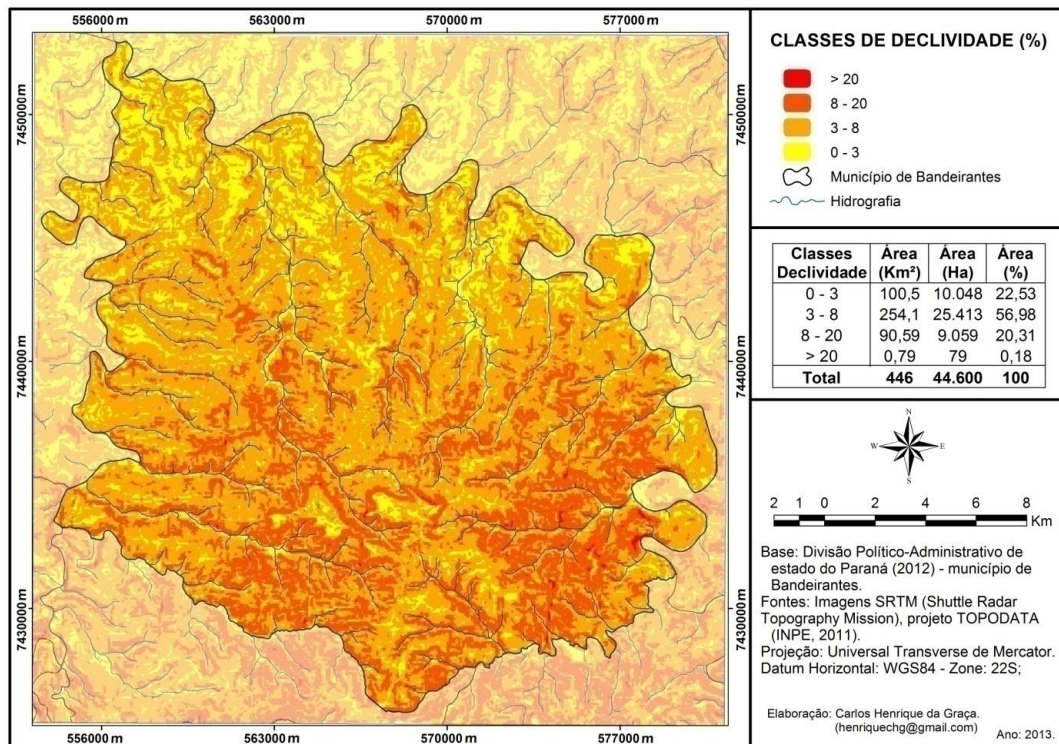


Figura 6 – Principais classes de declive do município de Bandeirantes-PR

3.4 SOLOS REGIONAIS

Os principais tipos de solos que ocorrem em Bandeirantes são: Nitossolos Vermelhos, Latossolos Vermelhos e Neossolos Litólicos, todos eutróféricos, de acordo com o Mapa de Solos do Estado do Paraná, elaborado pela Embrapa (2007), na escala 1:250 000.

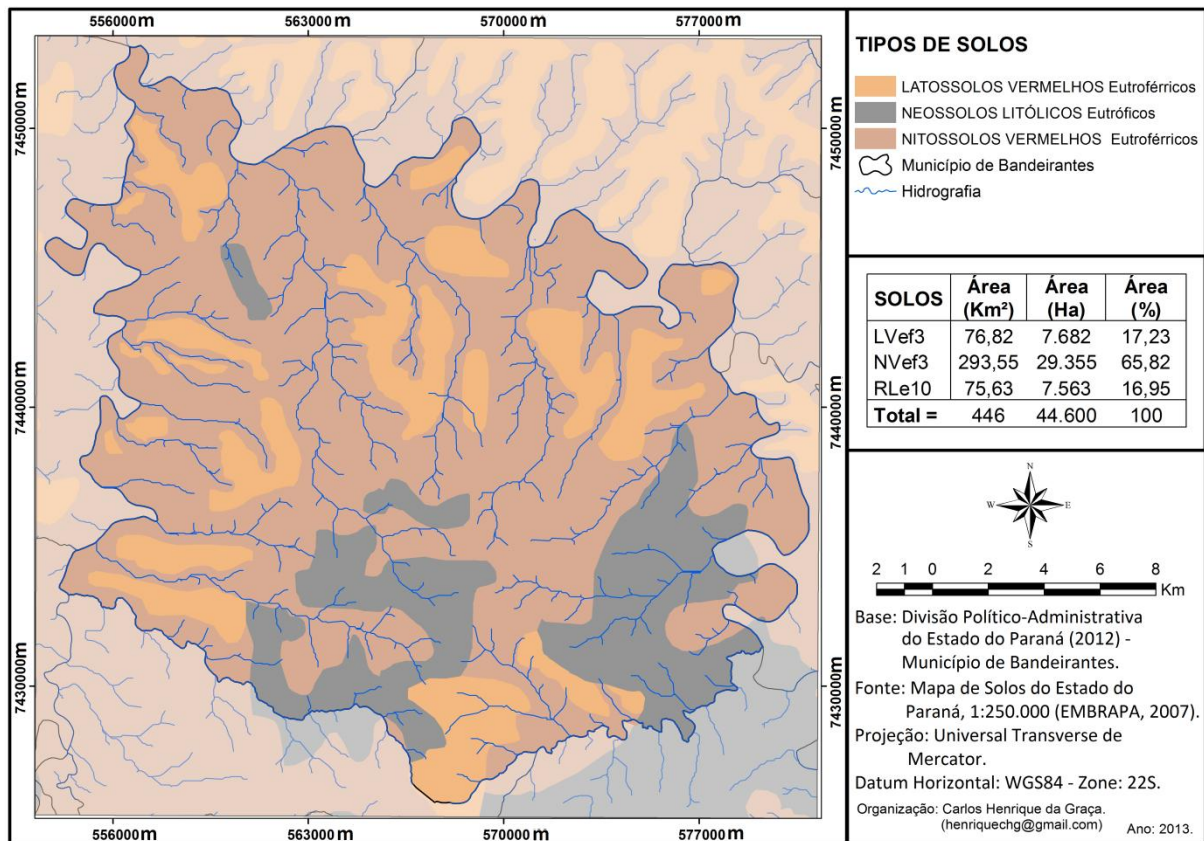


Figura 7 – Principais solos presentes no município de Bandeirantes-PR.

A classe dos Latossolos, segundo o primeiro nível hierárquico, perfaz no estado do Paraná uma área de 61 406,59 km², e equivale a 30,76% da superfície deste estado; os Latossolos são os mais comuns no estado paranaense (EMBRAPA, 2007). Entretanto, no município de Bandeirantes predominam os Nitossolos com 293,55 km² (65,82%) e os Latossolos perfazem 76,82 Km², o que representa 17,23% da área do município (Figura 7).

Os Latossolos ocupam os estratos superiores do município e em média a declividade varia de zero a 6%, apresentando menores dissecações em suas vertentes; são solos profundos, de sequência de horizontes A, B, C, com espessura de A+B normalmente superior a três metros, muito porosos e permeáveis, bem drenados, de textura comumente argilosa a muito argilosa e baixo gradiente textural

entre os horizontes (EMBRAPA, 2007). Uma das características mais importante dos Latossolos é a existência de um espesso horizonte subsuperficial altamente intemperizado que sofreu remoção da sílica dos minerais primários silicatados.

Segundo Silva (1985), o grau de coesão que une os pequenos agregados nos horizontes B nos Latossolos do município é muito fraco, mesmo em solo seco, transformando-se os torrões com muita facilidade em material pulverulento, conhecido vulgarmente como “pó de café”. As amostras dos Latossolos apresentam efervescimento quando em contato com água oxigenada, revelando teores relativamente elevados de óxidos manganês.

Os Nitossolos também ocupam os estratos superiores do município; entretanto, no geral ocorrem nas encostas apresentando em média declividade de 6 a 12%. São constituídos por material mineral com horizonte B nítico (reluzente) de argila de atividade baixa, textura argilosa ou muito argilosa e estrutura em blocos subangulares a angulares ou prismática moderada ou forte; apresenta agregados reluzentes relacionados à cerosidade e/ou à superfície de compressão. No município de Bandeirantes, os Nitossolos e Latossolos Vermelhos eutroférricos são derivados do intemperismo sobre rochas basálticas que são constituídas predominantemente por labradorita, piroxênios, e olivina e apresentam grânulos que são atraídos pelo ímã indicando a presença de magnetita nos sedimentos (EMBRAPA, 2006).

As características dos Latossolos e dos Nitossolos presentes no município de Bandeirantes dão-lhes condições desses solos serem utilizados na exploração de culturas mecanizadas e requerem pequenas práticas agrícolas como terraços, cordões de contorno e tanques de retenção de águas pluviais nos desníveis; entre as principais culturas podem ser destacadas: cana-de-açúcar, milho e soja que juntas perfazem aproximadamente 60% da área agrícola do município.

Os Neossolos Litólicos são solos rasos (<50cm). Geralmente, ocorrem em condições de topografia acidentada, relevo extremamente dissecado e declividade superior a 12%; apresentam um horizonte A sobre a rocha, ou tipo A-C-R, sendo C pouco espesso; ocupam áreas de intenso rejuvenescimento, podendo ser eutróficos, distróficos ou álicos (RESENDE et al.,2007). No caso de Bandeirantes esses solos são eutróficos.

3.5 CLIMA

Segundo Ayoade (1996), é feita uma distinção entre tempo e o clima. Tempo (*Weather*) é o estado médio da atmosfera em um determinado período e lugar. Clima é a síntese do tempo durante um período de 30 a 35 anos. Sendo assim, o clima pode ser definido como sendo as características da atmosfera, inferidas de observações contínuas durante um período de tempo, abrangendo um número maior de dados. O INMET, Instituto Nacional de Meteorologia, define normais como valores médios calculados para um período compreendendo no mínimo três décadas consecutivas e padrões climatológicos normais como médias de dados climatológicos calculadas para períodos consecutivos de 30 anos.

Os dados tabulados para a construção das normais climatológicas de Bandeirantes foram obtidos a partir da base de dados levantados na Estação Agrometeorológica do IAPAR, Instituto Agrônomo do Paraná, situada no *campus* Luiz Meneghel da Universidade Estadual do Norte do Paraná, localizada nas coordenadas Latitude: 23°06' S; Longitude: 50°21' W, a uma altitude de 440 metros.

A série histórica de dados compreende os anos de 1977 a 2014. Os dados utilizados levam em consideração os resumos anuais das temperaturas máximas, médias e mínimas.

Com o processamento dos dados utilizados foi possível obter a classificação climática do município (Figura 8).

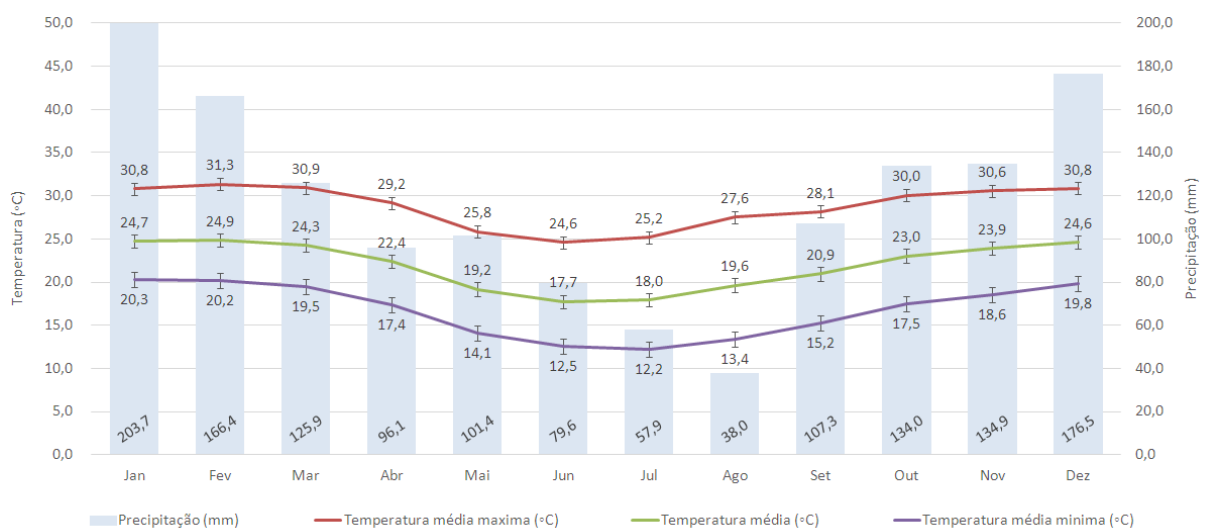


Figura 8 – Climograma do município de Bandeirantes de 1977 até 2014

Analisando os dados obtidos de Bandeirantes, pode-se afirmar que o clima é classificado como Cfa, conforme o sistema de classificação climática de Köppen-Geiger, conhecido também como Classificação Climática Köppen (1928); com essa classificação, uma zona pode ser identificada pela combinação de três letras: a primeira indica o clima principal, a segunda, o padrão de precipitação e a terceira exprime a temperatura.

A Classificação é inicializada pelo Grupo principal que apresenta a característica geral do clima de uma região, constituindo o indicador do grupo climático; segundo Alvares et al. (2013), Bandeirantes se enquadra na classificação “C”, definida por clima mesotérmico (temperado quente) obedecendo as condições de temperatura média do ar dos 3 meses mais frios compreendidas entre -3°C e 18°C , temperatura média do mês mais quente $> 10^{\circ}\text{C}$ e estações de verão e inverno bem definidas.

A segunda letra refere-se ao padrão de precipitação e o município se enquadra no padrão “f”, definido por não apresentar nenhuma estação seca, ocorrência de precipitação em todos os meses do ano e úmido o ano todo.

A última letra da classificação climática está relacionada à temperatura. Bandeirantes se enquadra na classificação “a” pois apresenta a temperatura média do mês mais quente acima dos 22°C . Sendo assim, o clima do município definida pela Classificação Climática Köppen é Cfa - Clima Subtropical Úmido.

Bandeirantes apresenta tendência de concentração das chuvas nos meses de verão e ocorrem ocasionalmente estiagens no inverno. No outono e inverno as geadas são pouco frequentes, a precipitação média anual é de 1400mm e a média do mês mais seco é menor que 40mm. Apresenta uma amplitude térmica média de $11,9^{\circ}\text{C}$ e as maiores variações ocorrem na estação de inverno.

A partir dos dados obtidos, foi possível analisar as temperaturas máximas absolutas para o município e o mês de novembro de 1985 foi o mês mais quente da série (Figura 9).

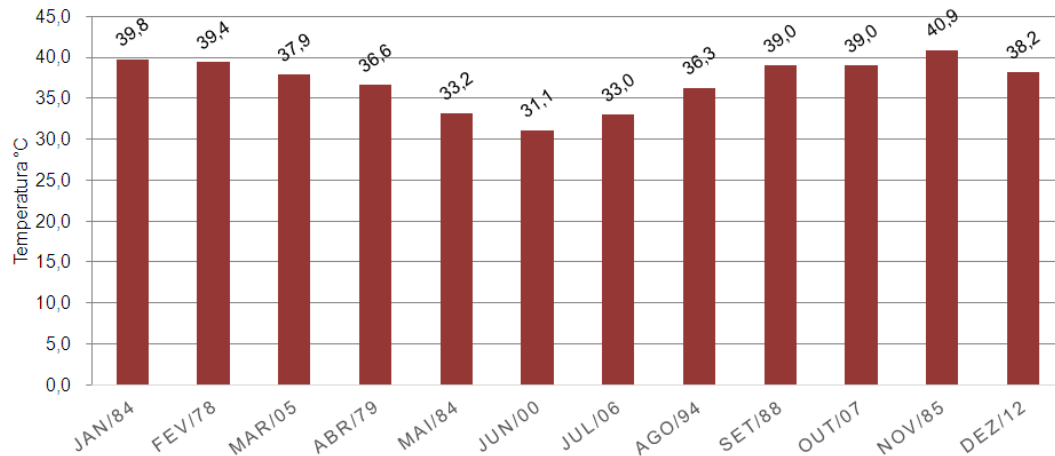


Figura 9 – Temperatura absoluta máxima no município de Bandeirantes-PR de 1977 a 2014

Obteve-se também, os dados de temperatura mínima absoluta que foi registrada em julho de 1981 (Figura 10); essa baixa temperatura está associada a uma geada ocorrida em 21 de julho de 1981. Segundo Fortune (1981), houve uma frente fria que atingiu o Paraná entre os dias 18 e 22, gerando algumas chuvas no sudeste; em contrapartida, essa frente fria se direcionou a oeste do Brasil, fazendo as temperaturas atingirem valores jamais visto até então, chegando a cruzar o Equador e atingindo o hemisfério norte.

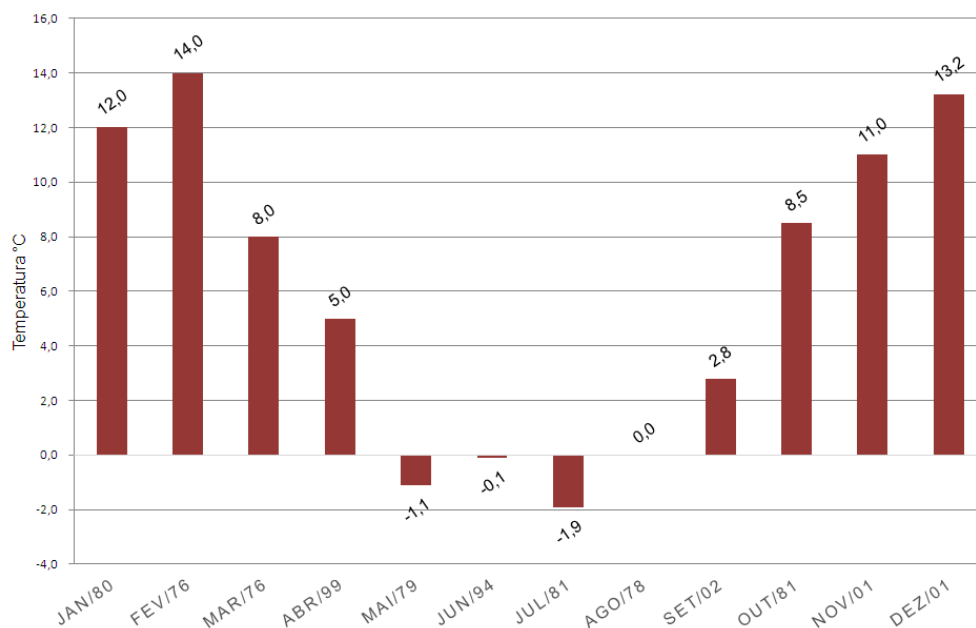


Figura 10 – Temperatura absoluta mínima no município de Bandeirantes-PR de 1977 a 2014

3.6 VEGETAÇÃO

Roderjan et al. (2002) afirmaram que a superfície original paranaense era coberta por florestas em 85% e o restante, 17%, era ocupado por formações não-florestais (campos e cerrados), vegetação pioneira de influência marinha (restingas), fluviomarinha (mangues) e fluviolacustre (várzeas), e pela vegetação herbácea do alto das montanhas (campo de altitude e vegetação rupestre).

O estado do Paraná pode ser dividido em cinco ecossistemas com flora e fauna características constituindo cinco grandes regiões fitogeográficas: Floresta Ombrófila Densa (floresta atlântica), Floresta Ombrófila Mista (floresta com araucária), Estepe Gramíneo-lenhosa (campos nativos), Savanas (cerrado) e Floresta Estacional Semidecidual (RODERJAN et al., 2002).

A Floresta Estacional Semidecidual, também conhecida por Floresta Estacional, está distribuída predominantemente nas regiões norte e oeste do Paraná onde concentra as temperaturas mais elevadas estando presente em áreas entre 800 a 200m de altitude. Sua flora está condicionada a um período de baixa precipitação pluviométrica, quando 20 a 50% das árvores do dossel da floresta perdem sua folhas, modificando fortemente a fisionomia da vegetação (RODERJAN et al., 2002).

Segundo Torezan (2002), a vegetação originalmente dominante no norte do Paraná era a floresta estacional semidecidual, a qual sofreu um processo intenso de fragmentação desde o século XIX, resultando numa paisagem composta por uma miríade de pequenos fragmentos, somando apenas 2 a 4% da área antes ocupada por florestas.

Ainda segundo Torezan (2002), nas áreas com solo profundo e bem drenado, observa-se uma fisionomia com sub-bosque menos denso – composto principalmente por *Actinostemon concolor* (Euohorbiaceae) e *Trichilia clausenii* (Meliaceae) com dossel mais alto, com poucas interrupções e emergentes acima dos 35m, como a peroba-rosa (*Aspidosperma polyneuron*, Apocynaceae) e o pau d’alho (*Gallesia intergrifolia*, Phytolacaceae) (TOREZAN, 2002).

Nas áreas de encosta com o solo raso, as clareiras são mais frequentes e maiores, com dossel frequentemente interrompido onde são comuns *Nectandra megapatamica* (Lauracaceae), *Cabralea canjerana* (Meliaceae) e *Parapiptadenia*

rígida (Fabaceae-mimosoideae) e onde há abundância de cipós (SILVEIRA, 1993 apud. TOREZAN, 2002).

Nas áreas com solo hidromórfico, em margens de rios sujeitos à inundação, há alterações na composição e na estrutura da floresta, levando a um dossel mais baixo, composto principalmente por *N. megapotamica* e *Compomanesia xantocarpa* (Myrtaceae), com sub-bosque dominado por *A. concolor*, segundo Kawakita (1995 apud. TOREZAN, 2002).

Ainda segundo Torezan (2002), em áreas mal drenadas, são comuns agrupamentos de baixa estatura (até 6-8m) de *Sebastiania commersoniana*, *S. brasiliensis* (Euphorbiaceae) e *Tabernaemontana meridionolis* (Apocynaceae).

Portanto, a variação da profundidade do solo e as condições de drenagem nas sequências determinaram fisionomias distintas da floresta estacional semidecidual. A fertilidade do solo parece ter significativa importância nesse processo. O município de Bandeirantes apresenta, predominantemente, solos eutróficos, férteis, originados do intemperismo das rochas vulcânicas básicas da Formação Serra Geral e o avanço das fronteiras agrícolas no Paraná, em meados do século XX, resultou numa rápida perda da cobertura florestal. As imagens de satélite e as fotografias aéreas associadas ao SIG, possibilitaram verificar o grau da fragmentação da cobertura florestal que corresponde a aproximadamente 5% da área do município.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do trabalho foram aplicados diversos procedimentos tecnometodológicos, envolvendo atividades de gabinete, campo e laboratório.

As informações para elaborar as bases cartográficas foram obtidas junto aos seguintes órgãos oficiais: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Instituto de Terras, Cartografia e Geociências (ITCG), Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE), U.S. Geological Survey (USGS - GLOVIS).

Os mapas temáticos relacionados à geologia, solos, geomorfologia e usos da terra foram organizados utilizando-se técnicas de geoprocessamento aplicadas no *software ArcGis*[®] (*ArcMap*) versão 10.1. Para cada mapa temático (solos, geologia, geomorfologia e usos da terra) foi preparado um diretório específico, onde criou-se um banco de dados SIG (Sistema de Informação Geográfica) que foi editado utilizando-se o sistema de projeção UTM (fuso 22 sul) e *Datum* horizontal WGS84, sendo que todos os mapas foram concluídos na escala 1: 100.000.

O recorte político-administrativo dos municípios do Paraná de 2012, desenvolvido e distribuído gratuitamente via *sítio* eletrônico do ITCG, no formato de arquivo *Shapefile* (*.shp), foi a base utilizada para a elaboração dos mapas de solos, geologia e geomorfologia presentes neste trabalho.

A localização da área de estudo, no caso o município de Bandeirantes, estado do Paraná, foi obtida no *sítio* eletrônico IBGE (2012), utilizando-se as bases da divisão administrativa do Brasil e da América do Sul.

O mapa hipsométrico foi obtido utilizando-se, como base, uma imagem SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), processada e distribuída gratuitamente via *sítio* eletrônico do projeto TOPODATA (INPE, 2011), reamostrada de 3" (90m) para 1" arco de segundo (30m) (VALERIANO, 2005). Essa imagem é resultado do projeto desenvolvido pela NASA no início do ano 2000, visando o mapeamento em três dimensões de todo o globo terrestre (ZYL, 2001). Para elaborar o mapa hipsométrico, a imagem SRTM foi recortada e trabalhada no *ArcMap*, onde foi submetida aos intervalos de classes de altitude com equidistância de 50 metros por meio da extensão *Layer Properties – Symbolology – Labeling – Interval Size – Generate*.

O mapa de declividade, assim como o hipsométrico, teve como base a imagem SRTM. Os intervalos de classificação da declividade utilizados foram os propostos pela EMBRAPA (2007), que considera as classes de 0 a 3% (relevo plano), 3 a 8% (relevo suave ondulado), 8 a 20% (relevo ondulado), 20 a 45 % (relevo forte ondulado), 45 a 75% (relevo montanhoso) e maior do que 75% (relevo escarpado). Esses intervalos foram aplicados sobre a imagem SRTM utilizando a extensão *Spatial Analyst Tools - Surface - Slope* no *ArcMap*.

A rede de drenagem do município foi extraída da imagem SRTM no *ArcMap* utilizando a extensão do *Spatial Analyst Tools – Hydrology*, posteriormente convertida do formato *raster* para o *vetorial*, onde foi realizado ajustes sobre uma imagem de satélite de alta resolução (29/05/2011) obtida no *software Google Earth* versão 6.2.

Os dados sobre os tipos de solos que ocorrem no município de Bandeirantes foram obtidos por meio do mapa solos do estado do Paraná editado na escala 1: 250.000, folha: MI 497 (EMBRAPA, 2007). A base digital (*.shp) utilizada foi obtida no *sítio* eletrônico do Geoportal Digital (EMBRAPA, 2013). Devido à generalizada escala da base utilizada foi necessário realizar algumas adequações para ajustar os tipos de solos à rede de drenagem e melhorar a escala final do mapa. Para os ajustes foi aplicada a técnica baseada em Hermuche *et al.* (2002) que se apoia nas características morfométricas do relevo.

Os produtos morfométricos foram extraídos a partir da imagem de radar SRTM, sendo esta interpolada para eliminar qualquer ausência de valores de altitude. Deste modo, foi gerado novo MDT pelo *TIN (Triangular Irregular Network)* no módulo *3D Analyst* do *ArcMap*. Em seguida foi possível extrair pelo *Spatial Analyst Tools* as variáveis morfométricas: declividade, aspecto e área de contribuição, com resolução espacial de 30m, e posteriormente convertido para o formato *raster* (HERMUCHE *et al.*, 2002; SILVA, ALVES; PAULINO, 2013).

As imagens geradas foram submetidas ao realce digital que visou elaborar uma composição colorida, combinando três imagens morfométricas com as três cores primárias que definem o sistema RGB (*Red, Green, Blue*). O propósito da composição colorida é sintetizar, numa única imagem, uma grande quantidade de informações referentes às feições, contribuindo na qualidade visual e discriminação do padrão de relevo e assim facilitando determinar as classes de solo (CÁRDENAS,

1999). Portanto, a composição colorida que melhor contribuiu na definição da classe de solo foi definida por: MDT (R), declividade (G) e área de contribuição (B).

As imagens morfométricas produzidas por composição colorida passaram pelo método de classificação supervisionada. Para cada classe de solo foram coletadas oito amostras de treinamento sobre a imagem composta das variáveis morfométricas para controlar as regiões homogêneas de interesse no processo de classificação (SILVA; ALVES; PAULINO, 2013). O algoritmo de classificação aplicado foi o MAXVER (*Máxima Verossimilhança*) e o resultado da classificação foi um mapa de classes de solo em formato matricial (*raster*) que posteriormente foi convertido para o formato vetorial a fim de possibilitar a inspeção e edição de classes de solo (EMBRAPA, 2007).

O mapa da cobertura vegetal e uso da terra foi obtido utilizando-se imagens de satélite LandSat 5 e 8, sensor TM e TIRS, respectivamente, correspondentes à órbita 222 e ponto 76, tomadas em 19/07/1985 e 01/05/2013, com resolução espacial de 30 metros (1 pixel= 900m²) e foram processadas (georreferenciadas) no formato de arquivo *.Geotif (USGS - GLOVIS).

As imagens foram trabalhadas no *ArcMap* e os procedimentos podem ser assim descritos: composição das bandas (3, 4, 5) na extensão *Image Analysis – Composite Bands*, aplicação da composição colorida (3B, 4R, 5G - falsa) e recorte da cena de interesse utilizando a extensão *Spatial Analyst Tools – Extraction – Extract by Mask*. Posteriormente ao processamento, as imagens foram submetidas à interpretação visual, segundo a forma, textura e cor dos objetos amostrados; nessa etapa, foram estipulados cerca de 30 pontos de treinamento por tipo de uso identificado; esse processo foi realizado utilizando a extensão *Image Classification – Training Sample Manager*. Os pontos de treinamento foram divididos em seis grupos de tipos de uso da terra, que são representados por:

1. Florestas Densas ou Matas;
2. Silvicultura (cultivo de eucalipto e pinos);
3. Lavouras Permanentes (cultivo de laranja e café);
4. Lavouras Temporárias (cultivo de cana-de-açúcar, soja, milho e trigo);
5. Pastagem (pastos e vegetação de brejo);
6. Áreas Urbanas.

A classificação da imagem foi procedida utilizando o método supervisionado *MAXVER (Máxima Verossimilhança)*. Segundo Florenzano (2002),

esse método de classificação utilizado é caracterizado como do tipo “*pixel a pixel*” porque utiliza apenas a informação espectral, isoladamente, de cada *pixel* para encontrar regiões homogêneas. Este algoritmo considera a ponderação das distâncias entre médias dos níveis digitais das classes, utilizando parâmetros estatísticos. Posteriormente a classificação, a imagem resultante foi submetida ao filtro de pós-classificação da extensão *Spatial Analyst Tools – Generation – Majority Filter* para diminuir os erros de identificação de cada *pixel*.

Os gráficos de linha relativos à evolução dos produtos agrícolas (cana-de-açúcar, milho e soja) foram elaborados a partir dos anos de 1980 a 2011 *versus* áreas de cultivo utilizando-se o aplicativo BrOffice Calc através dos dados obtidos no *site* do Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social (IPARDES, 2013).

Após a obtenção dos mapas temáticos e da base político-administrativa do município de Bandeirantes-PR, optou-se por dividi-lo em três compartimentos levando-se em consideração principalmente a geomorfologia: compartimento I (colinas amplas e, de um modo geral, menores altitudes); compartimento II (colinas médias, maior dissecção e altitudes médias predominantemente); compartimento III (dominância de maiores altitudes, morros e, secundariamente, colinas médias) (Figura 11).

A partir desta compartimentação, o trabalho de campo pode ser iniciado e foi feito em duas etapas. Primeiramente, a partir de informações obtidas de produtores rurais, procurou-se detectar áreas onde o plantio de determinadas culturas, no caso a cana-de-açúcar e o milho-soja, ocorriam há mais de 20 anos no mesmo lugar, verificando-se também os sistemas de plantio utilizados, ou seja, convencional para a cana-de-açúcar e semeadura direta com predomínio das culturas milho e soja; após a obtenção desses dados, foram feitas as coletas das amostras de solos seguindo as recomendações da Embrapa. Foram escolhidos 18 pontos por compartimento, tendo por base as relações entre as classes de solo (Nitossolos e Latossolos) e o tipo de uso. Desses 18 pontos, foram coletadas amostras de solos de superfície (0-20 cm) e subsuperfície (20-40 cm), sendo 6 pontos em solos sob cultivo de cana-de-açúcar, 6 pontos sob milho-soja e 6 pontos sob fragmentos florestais existentes no município. Assim, para cada tipo de uso dos solos, foram amostrados três pontos com Latossolos e três pontos com Nitossolos (Figuras 11 a 14; Tabelas 6 a 8).

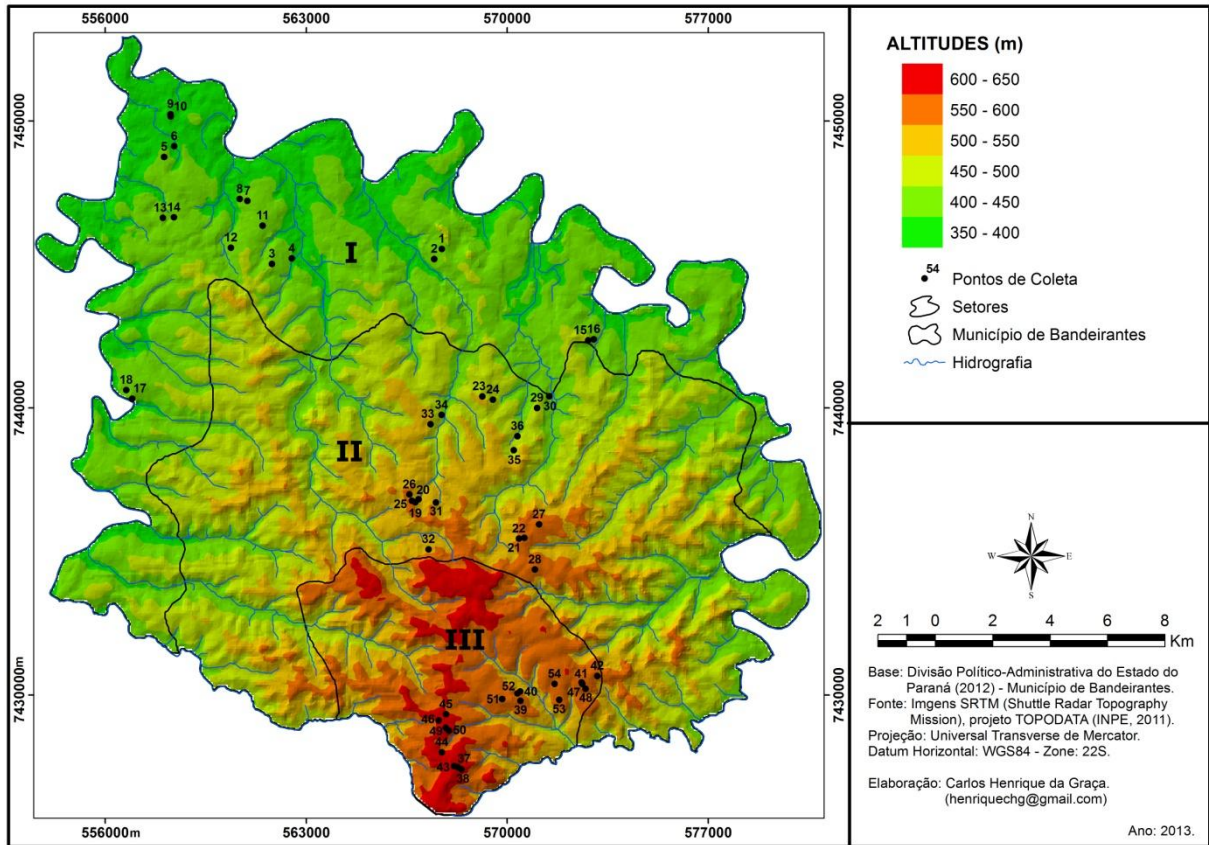


Figura 11 – Divisão compartimental e pontos de coleta de amostras de solos.



Figura 12 – Panorama do compartimento I



Figura 13 – Panorama do compartimento II



Figura 14 – Panorama do compartimento III

As análises químicas dos solos referentes ao complexo sortivo, pH e matéria orgânica foram realizadas no Laboratório de Solos da Universidade Estadual do Norte do Paraná (UENP), *Campus* Luiz Meneghel empregando-se a metodologia preconizada pela EMBRAPA (1997).

Na determinação da capacidade de troca catiônica (CTC ou T) do solo, que é definida como sendo a soma total dos cátions que o solo pode reter na superfície coloidal prontamente disponível à assimilação pelas plantas, os cátions adsorvidos são removidos (extraídos) por soluções salinas de amônio, cálcio, potássio, bário e soluções de ácidos diluídas e posteriormente determinados por métodos volumétricos, de emissão ou absorção atômica.

Tabela 6 – Localizações e usos dos solos do compartimento I

Uso	Pontos (coleta)	Tipo de solo (prof. cm)	Local	Data da coleta	UTM		Alt.(m)
					E	N	
CANA-DE-AÇÚCAR	1	L ⁽¹⁾ 1(0-20)	USIBAN	13/07	567721	7445540	429
		L1(20-40)	USIBAN	13/07	567721	7445540	429
	2	N ⁽²⁾ 1(0-20)	USIBAN	13/07	567459	7445188	396
		N1(20-40)	USIBAN	13/07	567459	7445188	396
	3	L4(0-20)	SANTA RITA	15/07	561810	7445018	446
		L4(20-40)	SANTA RITA	15/07	561810	7445018	446
	4	N4(0-20)	SANTA RITA	15/07	562503	7445212	401
		N4(20-40)	SANTA RITA	15/07	562503	7445212	401
	5	L6(0-20)	SÍTIO YARA	15/07	558056	7448744	399
		L6(20-40)	SÍTIO YARA	15/07	558056	7448744	399
	6	N6(0-20)	SÍTIO YARA	15/07	558401	7449120	381
		N6(20-40)	SÍTIO YARA	15/07	558401	7449120	381
MILHO- SOJA	7	L2(0-20)	AGROCERES	13/07	560950	7447213	401
		L2(20-40)	AGROCERES	13/07	560950	7447213	401
	8	N2(0-20)	AGROCERES	13/07	560686	7447278	388
		N2(20-40)	AGROCERES	13/07	560686	7447278	388
	9	L3(0-20)	YARA	15/07	558273	7450235	381
		L3(20-40)	YARA	15/07	558273	7450235	381
	10	N3(0-20)	YARA	15/07	558286	7450154	374
		N3(20-40)	YARA	15/07	558286	7450154	374
	11	L5(0-20)	IBIÚNA	15/07	561479	7446354	429
		L5(20-40)	IBIÚNA	15/07	561479	7446354	429
	12	N5(0-20)	IBIÚNA	15/07	560378	7445583	416
		N5(20-40)	IBIÚNA	15/07	560378	7445583	416
FRAGMENTO DE FLORESTA	13	L7(0-20)	IBIÚNA	13/07	558015	7446622	400
		L7(20-40)	IBIÚNA	13/07	558015	7446622	400
	14	N7(0-20)	IBIÚNA	13/07	558396	7446637	384
		N7(20-40)	IBIÚNA	13/07	558396	7446637	384
	15	L8(0-20)	PADEIGIS	20/07	572818	7442353	457
		L8(20-40)	PADEIGIS	20/07	572818	7442353	457
	16	N8(0-20)	PADEIGIS	20/07	573021	7442395	433
		N8(20-40)	PADEIGIS	20/07	573021	7442395	433
	17	L9(0-20)	LARANJINHA	20/07	556946	7440325	398
		L9(20-40)	LARANJINHA	20/07	556946	7440325	398
	18	N9(0-20)	LARANJINHA	20/07	556737	7440623	390
		N9(20-40)	LARANJINHA	20/07	556737	7440623	390

L⁽¹⁾ – Latossolo Vermelho eutroférico N⁽²⁾ – Nitossolo Vermelho eutroférico

Tabela 7 – Localizações e usos dos solos do compartimento II

Uso	Pontos (coleta)	Tipo de solo (prof. cm)	Local	Data da coleta	UTM		Alt.(m)
					E	N	
CANA-DE-AÇÚCAR	19	L ⁽¹⁾ 10(0-20)	TABULETA	16/07	566798	7436717	536
		L10(20-40)	TABULETA	16/07	566798	7436717	536
	20	N ⁽²⁾ 10(0-20)	TABULETA	16/07	566914	7436813	528
		N10(20-40)	TABULETA	16/07	566914	7436813	528
	21	L13(0-20)	SERTÃOZINHO	16/07	570600	7435476	568
		L13(20-40)	SERTÃOZINHO	16/07	570600	7435476	568
	22	N13(0-20)	SERTÃOZINHO	16/07	570412	7435447	552
		N13(20-40)	SERTÃOZINHO	16/07	570412	7435447	552
	23	L14(0-20)	SANTA CRISTINA	16/07	569135	7440402	500
		L14(20-40)	SANTA CRISTINA	16/07	569135	7440402	500
	24	N14(0-20)	SANTA CRISTINA	16/07	569499	7440290	490
		N14(20-40)	SANTA CRISTINA	16/07	569499	7440290	490
MILHO- SOJA	25	L11(0-20)	TABULETA	16/07	566683	7436765	542
		L11(20-40)	TABULETA	16/07	566683	7436765	542
	26	N11(0-20)	TABULETA	16/07	566593	7436985	539
		N11(20-40)	TABULETA	16/07	566593	7436985	539
	27	L12(0-20)	SERTÃOZINHO	16/07	571109	7435941	569
		L12(20-40)	SERTÃOZINHO	16/07	571109	7435941	569
	28	N12(0-20)	SERTÃOZINHO	16/07	570963	7434369	551
		N12(20-40)	SERTÃOZINHO	16/07	570963	7434369	551
	29	L15(0-20)	FAZ. 6 ANOS	16/07	571038	7440000	461
		L15(20-40)	FAZ. 6 ANOS	16/07	571038	7440000	461
30	N15(0-20)	FAZ. 6 ANOS	16/07	571473	7440403	420	
	N15(20-40)	FAZ. 6 ANOS	16/07	571473	7440403	420	
FRAGMENTO DE FLORESTA	31	L16(0-20)	MATA PAPA	18/07	567518	7436703	536
		L16(20-40)	MATA PAPA	18/07	567518	7436703	536
	32	N16(0-20)	MATA PAPA	18/07	567261	7474499	495
		N16(20-40)	MATA PAPA	18/07	567261	7474499	495
	33	L17(0-20)	MATA TANAKA	18/07	567330	7439436	483
		L17(20-40)	MATA TANAKA	18/07	567330	7439436	483
	34	N17(0-20)	MATA TANAKA	18/07	567712	7434757	463
		N17(20-40)	MATA TANAKA	18/07	567712	7434757	463
	35	L18(0-20)	MATA 6 ANOS	18/07	570226	7438526	467
		L18(20-40)	MATA 6 ANOS	18/07	570226	7438526	467
36	N18(0-20)	MATA 6 ANOS	18/07	570361	7439017	461	
	N18(20-40)	MATA 6 ANOS	18/07	570361	7439017	461	

L⁽¹⁾ – Latossolo Vermelho eutroférico N⁽²⁾ – Nitossolo Vermelho eutroférico

Tabela 8 – Localizações e usos dos solos do compartimento III

Uso	Pontos (coleta)	Tipo de solo (prof. cm)	Local	Data da coleta	UTM		Alt.(m)
					E	N	
CANA-DE-AÇÚCAR	37	L ⁽¹⁾ (19(0-20)	SÃO SALVADOR	17/07	568275	7427487	622
		L19(20-40)	SÃO SALVADOR	17/07	568275	7427487	622
	38	N ⁽²⁾ 19(0-20)	SÃO SALVADOR	17/07	568409	7427412	609
		N19(20-40)	SÃO SALVADOR	17/07	568409	7427412	609
	39	L22(0-20)	PEROBAS	17/07	570459	7429792	576
		L22(20-40)	PEROBAS	17/07	570459	7429792	576
	40	N22(0-20)	PEROBAS	17/07	570453	7430117	554
		N22(20-40)	PEROBAS	17/07	570453	7430117	554
	41	L23(0-20)	SÃO DOMINGOS	17/07	572593	7430439	576
		L23(20-40)	SÃO DOMINGOS	17/07	572593	7430439	576
42	N23(0-20)	SÃO DOMINGOS	17/07	573138	7430663	549	
	N23(20-40)	SÃO DOMINGOS	17/07	573138	7430663	549	
MILHO- SOJA	43	L20(0-20)	SÃO SALVADOR	17/07	568151	7427522	623
		L20(20-40)	SÃO SALVADOR	17/07	568151	7427522	623
	44	N20(0-20)	SÃO SALVADOR	17/07	567721	7428002	612
		N20(20-40)	SÃO SALVADOR	17/07	567721	7428002	612
	45	L21(0-20)	NOMURA	17/07	567866	7429322	600
		L21(20-40)	NOMURA	17/07	567866	7429322	600
	46	N21(0-20)	NOMURA	17/07	567616	7429110	594
		N21(20-40)	NOMURA	17/07	567616	7429110	594
	47	L24(0-20)	SÃO DOMINGOS	17/07	572617	7430384	571
		L24(20-40)	SÃO DOMINGOS	17/07	572617	7430384	571
48	N24(0-20)	SÃO DOMINGOS	17/07	572724	7430218	564	
	N24(20-40)	SÃO DOMINGOS	17/07	572724	7430218	564	
FRAGMENTO DE FLORESTA	49	L25(0-20)	MATA NILMAR	17/07	567861	7428858	616
		L25(20-40)	MATA NILMAR	17/07	567861	7428858	616
	50	N25(0-20)	MATA NILMAR	17/07	567966	7428760	609
		N25(20-40)	MATA NILMAR	17/07	567966	7428760	609
	51	L26(0-20)	KURIBAYASHI	17/07	569830	7429859	571
		L26(20-40)	KURIBAYASHI	17/07	569830	7429859	571
	52	N26(0-20)	KURIBAYASHI	17/07	570354	7430052	561
		N26(20-40)	KURIBAYASHI	17/07	570354	7430052	561
	53	L27(0-20)	PEROBAS	18/07	571808	7429827	566
		L27(20-40)	PEROBAS	18/07	571808	7429827	566
54	N27(0-20)	PEROBAS	18/07	571646	7430384	554	
	N27(20-40)	PEROBAS	18/07	571646	7430384	554	

L⁽¹⁾ – Latossolo Vermelho eutroférico N⁽²⁾ – Nitossolo Vermelho eutroférico

No presente trabalho, os cátions trocáveis Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ foram extraídos com solução de KCl com a concentração 1 mol L⁻¹ e quantificados por titulometria.

O teor de potássio (K^+) trocável foi obtido a partir da extração com solução de Mehlich 1 e posterior determinação por fotometria de chama utilizando a escala do aparelho.

A acidez potencial foi obtida através da determinação potenciométrica com solução SMP.

A soma das bases (S) e as capacidades de troca catiônica total (T) e efetiva (CETC) foram calculadas indiretamente a partir dos dados obtidos:

$$\begin{aligned} S(\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}) &= K^+ + Ca^{++} + Mg^{++} \\ T = CTC(\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}) &= K^+ + Ca^{++} + Mg^{++} + H^+ + Al^{3+} \\ CETC(\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}) &= K^+ + Ca^{++} + Mg^{++} + Al^{3+} \end{aligned}$$

A percentagem de saturação por bases (V) foi obtida indiretamente a partir da fórmula:

$$V(\%) = (S/T) \cdot 100$$

Para a determinação da matéria orgânica do solo (MOS) foi utilizada a metodologia descrita pela EMBRAPA (1997). Os princípios gerais do método podem ser assim descritos: oxidação da matéria orgânica via úmida com dicromato de potássio em meio sulfúrico e o excesso de dicromato, após a oxidação, é titulado com solução padrão de sulfato ferroso amoniacal. O teor de carbono orgânico, assim obtido, foi transformado em teor de matéria orgânica multiplicando-se por 1,724 (fator de conversão).

A Resolução n° 460, de 30 de dezembro de 2013, 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. As substâncias químicas inorgânicas que podem comprometer a qualidade do solo segundo a referida resolução são: alumínio, antimônio, arsênio, bário, boro, cádmio, chumbo, cobalto, cobre, cromo, ferro, manganês, mercúrio, molibdênio, níquel, prata, selênio, vanádio e zinco. Ainda segundo a resolução, cada unidade da Federação deverá estabelecer os valores orientadores da qualidade do solo até 31 de dezembro de 2014.

Para atender tal resolução, os teores dos metais supracitados presentes nos solos foram determinados no Laboratório Acme Labs, Acme Analytical

Laboratories (Chile). Nesse procedimento, a digestão foi feita utilizando-se a água-régia modificada (1:1:1), ou seja, $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{HCl}$, conforme o método 3050B, indicado pela United States Environmental Protection Agency (USEPA), determinando-se nos extratos os teores dos metais acima mencionados por Espectrometria de Emissão Atômica por Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-AES); esse método de digestão não é uma técnica de extração total para a maioria dos materiais analisados, pois o mesmo não dissolve metais ligados à estruturas silicatadas; entretanto, é uma digestão ácida forte que dissolve quase todos os elementos que poderiam tornar-se disponível ambientalmente, ou seja, este método não solubiliza totalmente a fração sólida dos solos, mas é um dos mais indicados para o estudo de contaminação do solo, pois representa o máximo potencialmente disponível de um dado poluente.

O controle de qualidade foi obtido através da correção e verificação dos resultados analíticos das amostras de solos (APENDICE A).

Após a obtenção dos teores dos metais acima mencionados, foram estabelecidos valores orientadores preconizados pela Resolução nº 460 do CONAMA; para tanto, e devido ao caráter comparador, utilizou-se do programa Microsoft Office Excel 2007 que forneceu um conjunto de ferramentas para fazer a análise estatística descritiva dos dados obtidos que possibilitaram as determinações dos percentis 75 e 90; além disto, o referido programa permitiu a confecção das correlações lineares de Pearson e dos diagramas de dispersão. Os dados foram analisados por meio do programa *SigmaPlot* 11 através do teste *t Student* para comparação das variáveis e o nível de significância adotado foi $\leq 0,05$.

Os metais pesados determinados neste estudo foram selecionados com base no grau de toxidez e naqueles mencionados com maior frequência como contaminantes em resíduos industriais e urbanos, insumos agrícolas ou subprodutos utilizados com a finalidade corretiva e nutricional na agricultura, segundo Malavolta (1994 apud PAYE et al., 2010).

Foram coletadas também amostras de rochas basálticas da Formação Serra Geral nos três compartimentos que foram analisadas quimicamente no laboratório Acme Labs, Acme Analytical Laboratories (Canadá) e os processos analíticos podem ser assim descritos: pulverização de 250g das amostras das rochas, peneiragem utilizando-se peneiras com 200 mesh e secagem a 60°C; deste montante, foi retirado uma alíquota de 0,2g, colocado em cadinho de grafite,

misturado com 1,5g de $\text{LiBO}_2/\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ e submetido a fusão a 980 °C por 30 minutos. Após o resfriamento, foi adicionado ao produto da fusão uma solução de HNO_3 diluída em água desmineralizada a 5%; em seguida, foram feitas análises por Espectrometria de Emissão Atômica por Plasma Acoplado Indutivamente, respeitando-se as soluções em branco que servem para a verificação das soluções padrões. Foram determinados os teores dos seguintes óxidos: Si, Al, Fe, Ca, Mg, K, Na, Mn, Ti, P e Cr; além desses óxidos foram determinados os teores dos seguintes elementos traços: nióbio, níquel, escândio, ítrio, zircônio, estrôncio e bário.

Utilizou-se também solução de água régia modificada para extrair os seguintes metais dos basaltos: Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, P, Ti, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Sr, Tl, V e Zn. Após a extração fez-se a leitura do extrato por Espectrometria de Emissão Atômica por Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-AES).

Os controles de qualidade foram obtidos através da correção e verificação dos resultados analíticos das amostras das rochas (APENDICE B).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 OCUPAÇÃO E EVOLUÇÃO DO USO DA TERRA: resgatando a história

Até o ano 1920, o município era um sertão bruto, sendo habitado apenas por índios Caingangues. O primeiro explorador do território de Bandeirantes foi o engenheiro Carlos Borromei, a quem se deve a divisão das terras que formam hoje os municípios de Bandeirantes e Cornélio Procópio. Cumprida a sua tarefa, o engenheiro Carlos Borromei retirou-se, coincidindo a data de sua retirada com a chegada dos primeiros colonos (IBGE, 1959).

A história de formação do município de Bandeirantes seguiu praticamente o mesmo contexto da colonização de outros vários municípios do norte pioneiro paranaense. Medina (1950), através da colaboração do Sr. Ozorio G. Nogueira, afirmou que:

A 24 de dezembro de 1926, em notas do tabelião Dr. A. Gabriel da Veiga, da capital de São Paulo, Dona Josefina Alves de Lima, proprietária de grande gleba de terras na divisão “Fazenda Laranjinha” vendera ao senhor João Manoel dos Santos, pelo preço de cinco mil e quinhentos cruzeiros, 10 alqueires de terra que se destinaram à fundação de um povoado que tomaria o nome de Invernada.

Por essa escritura a transmitente, Dona Josephina Alves de Lima impôs ao comprador senhor João Manoel dos Santos, a condição de ceder independente de pagamento, uma data de terras ao senhor João Cravo, seu agregado.

Data daí o início do povoado Invernada, onde, antes, já se achava o senhor João Cravo.

Demarcado o novo patrimônio e dada a circunstancia do avançamento da estrada de ferro São Paulo-Paraná, o seu desenvolvimento foi rápido, surgindo, além da gleba dividida pelo senhor João Manoel dos Santos, a vila Rezende, de propriedade do senhor Azarias Vieira de Rezende.

A 12 de abril de 1929, por influência do senhor Alberto Faria Cardoso, um dos primeiros batalhadores pelo progresso de Invernada, cria-se o distrito de Paz, cuja instalação deu-se a 8 de dezembro do mesmo ano.

Em julho de 1930, a São Paulo-Paraná, inaugura a sua estação a três quilômetros do patrimônio Invernada, a qual tomou o nome de “Bandeirantes”.

Por força da inauguração da estação, surge aí um povoado em terras do senhor Juvenal Mesquita, que tinha como procurador o senhor Euripedes Mesquita Rodrigues, que, mais tarde, adquiriu as terras adjacentes, onde hoje se encontra a cidade de Bandeirantes.

Em 1º de julho de 1931, inaugura-se a primeira escola no povoado da estação, tendo como professora a senhora Ismenia L. Nogueira.

Em 27 de setembro de 1931, o povoado da estação, que já contava com um núcleo de homens de boa vontade, inicia um trabalho de coligação em favor do desenvolvimento da estação e conseqüentemente a queda de Invernada, onde se encontrava, cartório de Registro Civil, Coletoria Estadual, grande comércio, hotéis, farmácia, correio, etc.

Em 19 de março de 1932, tendo frente o senhor Ozorio Gonçalves Nogueira, Euripedes Mesquita Rodrigues, José Gabelone, Antenor Moretti,

Pedro Rosa Luiz, Antonio e Vitorio Storer, Josué Aranha e muitos outros, iniciou-se a limpeza da quadra número 8, quarteirão 8, onde seria construído o primeiro rancho, que deveria servir para as primeiras cerimônias religiosas.

Em 1932, fundam-se na estação, os primeiros clubes recreativos e esportivos.

Em 3 de maio do mesmo ano, pelo padre João, hoje monsenhor vigário da paróquia de Cambará, foi celebrada a primeira missa no patrimônio da estação. E em 3 de outubro de 1933, foi inaugurada a primeira capela que deu origem a atual igreja, com a visita do Rev. Bispo de Jacarezinho, D. Fernando Tadei.

Neste mesmo ano, por iniciativa dos locais, o senhor Manoel Ribas, então Interventor Federal no Paraná, foi trazido de Cornélio Procópio, onde se achava em visita às obras do acampamento da estrada de ferro, para conhecer o progresso de Bandeirantes.---Já então animava o povo de Bandeirantes, o desejo de um município.---Em fins desse ano, verifica-se a queda de Invernada e com ela a unificação dos dois povos.

Não podemos esquecer, se quisermos ser honestos neste esboço da história de Bandeirantes, os nomes de lutadores incansáveis pela unificação dos dois povos: Ozorio Gonçalves Nogueira, Otacilio Arantes Carneiro, Euripedes Mesquita Rodrigues, José Pinhão, Hamilton de Oliveira, Joaquim Carreira, José Cabelone, Pompeu Tomasi, Vicente Forcinetti, Benedito Manso, Antenor Moretti, Josué Aranha, Guilherme Knoll e muitos outros, cujos nomes resplandecem nesta bela cidade de Bandeirantes.

Favoreceu extraordinariamente a mudança de Invernada, a decisão do senhor Euripedes Mesquita Rodrigues, em acordo com o senhor Ozorio Gonçalves Nogueira, de doar aos moradores de Invernada, uma data para edificação de suas casas que fossem arrancadas dentro de determinado tempo.

Em 15 junho de 1934, forma-se a primeira comissão que deveria ir a Curitiba, tratar junto a Interventoria Federal, da criação do município. Foram eleitos na ocasião, os senhores Ozorio Gonçalves Nogueira, Otacilio Arantes Carneiro, já falecido e Asdrubal de Figueredo Gizzi, também já falecido.

Em 20 de junho de 1934, como preâmbulo dos trabalhos de propaganda do município e mesmo para servir de documento ao processo de criação do município, foi, pelo senhor Ozorio Gonçalves Nogueira, publicada a primeira página sobre o distrito de Bandeirantes no jornal “Gazeta do Povo”, de Curitiba, onde o apoio do Dr. Raul Vaz, atual secretário da Justiça, foi incondicional.

Em 14 de novembro de 1934, o senhor Manoel Ribas, Interventor Federal no Estado, assina o decreto de criação do município de Bandeirantes; cuja instalação se deu a 5 de janeiro de 1935, sendo seu primeiro prefeito o engenheiro Dr. Rafael Antonacci, que teve a primazia de assinar o contrato de fornecimento de luz e força.

Bandeirantes, o povoado de 1931, em apenas três anos de vida já tem foros de cidade e seu comércio, a sua indústria inicial, bem como a sua vida social, melhora dia a dia para se tornar a bela cidade que hoje é possuidora de todos os meios que a levará a disputar o verdadeiro lugar que lhe cabe, como cidade civilizada, rica, próspera e grande no conserto dos municípios brasileiros.

O processo de colonização da região norte do Paraná está diretamente ligado à expansão da cultura cafeeira que se efetivou em três zonas sucessivas: Norte Pioneiro (Norte Velho), Norte Novo e Norte Novíssimo; a zona Norte Pioneiro, na qual Bandeirantes está inserido, compreende desde a divisa nordeste com São Paulo até Cornélio Procópio e foi colonizada entre 1860 e 1925 (PERARO, 1978).

As características principais de uma zona pioneira, segundo Peraro (1978), são as seguintes: preexistência de florestas virgens ou sertão bruto, construção de vias de transporte (estradas e ferrovias), crescimento rápido da população, expansão da área cultivada e preexistência de latifúndios em pleno sertão bruto adquiridos por particulares ou companhias de terras antes da chegada da estrada de ferro.

Interessante ressaltar a importância dada por Nicholls (1970) às estradas de ferro:

"Quando a estrada de ferro chegava em cada nova cidade, as florestas virgens das redondezas já haviam tombado face a rápida vaga dos colonizadores, e cada nova cidade estava em pleno florescimento criando as reputações de riqueza que acelerava cada nova invasão de recém-chegados. As magníficas florestas latifoliadas de folhas caducas, com árvores altas e predominantemente de madeira de lei, que originalmente cobriam a maior parte de São Paulo e quase metade do Paraná, estavam intimamente ligadas aos solos mais ricos da região. As do Paraná, limitadas as partes norte e ocidental por longo tempo despovoadas, tinham sido pouco tocadas até 1920. Porém, cobertos por elas durante uma eternidade tinham permanecido solos de terra roxa extremamente fértil muito mais extensos do que qualquer daqueles encontrados em São Paulo, inclusive na zona do Ribeirão Preto. Visto que a terra era o solo "por excelência para a cultura do café, sua atração magnética foi inevitável, logo que se soube de sua existência".



Figura 15 – Fotografia obtida do ano de 1931 ilustrando o início do povoamento “Bandeirantes”

O município de Bandeirantes apresentava na época da colonização, a partir de documentos comprobatórios e relatos de pioneiros, todas as características mencionadas por Peraro (Figura 15), tanto que em 1949, Bandeirantes apresentava 28.000 habitantes, 551 proprietários de terras e uma agricultura pujante (MEDINA, 1950).

Embora a cultura cafeeira tenha tido diversas fases em função da economia mundial, o município de Bandeirantes apresentou melhores resultados até

a geada de 1975 que dizimou praticamente toda lavoura cafeeira; após a geada, alguns agricultores bandeirantenses refizeram os cafezais; consta que no ano 1981 Bandeirantes apresentava aproximadamente 2000 ha de lavoura de café que decaiu a uma taxa de, aproximadamente, 50% por década e nos dias atuais o município apresenta aproximadamente 100ha de lavoura de café (IPARDES, 2013).

O pioneiro no cultivo da cana-de-açúcar foi João Affonso que veio para o Norte do estado do Paraná em 1927, chegando à região de Cambará para abrir e administrar a fazenda Santa Clementina; em 1928, atraído pelas boas informações sobre o desenvolvimento do bairro Invernada, resolve deixar o zona rural de Cambará e transferir-se para o que é hoje Fazenda Bandeirantes, na época conhecida como Fazenda do Ladeira.

João Affonso permaneceu pouco tempo na Fazenda do Ladeira, pois com muito sacrifício e trabalho adquiriu 20 alqueires de terra na Água da Fartura, região que também era pura mata, com pouquíssimos moradores e com a força do trabalho e uma boa dose de sorte adquiriu mais 10 alqueires, “batizando” a localidade Porteira Preta.

João Affonso, homem de grande visão, resolve inovar, investindo na cultura de cana-de-açúcar, engenho, alambique e industrialização dos derivados dessa cultura.

A maior utilizadora da cana-de-açúcar produzida no município e nas regiões vizinhas é a Usina Bandeirantes (USIBAN), que juridicamente é denominada por “Açúcar e Álcool Bandeirantes S/A”.

A USIBAN nasceu do sonho, obstinação e trabalho de um paulista de Piracicaba, Luiz Meneghel, e teve os alicerces lançado no município nos idos de 1941. Segundo informações verbais colhidas de pioneiros, a escolha de Bandeirantes como município sede da empresa deveu-se a uma sugestão de Domênico (Domingos) Zambon, cunhado do fundador da usina e pessoa a quem este muito considerava e estimava. A escolha primeira e depois preterida era Cambará.

Definido o local para instalar a indústria, (uma área às margens do córrego Água do Caixão, a 3 quilômetros da ainda jovem cidade de Bandeirantes), o passo seguinte foi o de lançar-se o trabalho para a implantação do complexo industrial e também incrementar o plantio da cana-de-açúcar.

Decorridos dois anos do lançamento dos alicerces da usina, ou seja, em 1943, a USIBAN realizava a sua primeira safra, produzindo 1.843 sacas de açúcar cristal. A destilação de álcool começou na safra seguinte, 1944.

Com uma demanda de 1000 a 1500 pessoas no período da safra e 700 a 1000 nos períodos de entressafra, a USIBAN é a maior geradora de empregos da região e de vital importância econômica na geração de divisas para a União, Estado e Município. Dentre muitos fatores que impulsionaram a economia de Bandeirantes, ganha destaque a FFALM (Fundação Faculdade de Agronomia Luiz Meneghel), hoje “*campus*” Luiz Meneghel da UENP (Universidade Estadual do Norte do Paraná) que oferece seis cursos de graduação, um de pós-graduação, atividades de pesquisa e extensão relevantes para o país, e cuja existência, sobretudo física se deve à USIBAN, mercê das vultuosas doações das famílias Meneghel e Zambon.

Segundo Medina (1950), além das lavouras de café e cana-de-açúcar, o município de Bandeirantes cultivava alfafa, milho, algodão, feijão, diversas frutas, entre outros produtos agrícolas; no que diz respeito à alfafa, Bandeirantes produziu 180 000 toneladas de alfafa no ano de 1959 (MEDINA, 1950). Segundo relatos de pioneiros, de um modo geral, todos os proprietários de terras cultivavam alfafa nos lugares alto e plano tendo em vista que esta cultura permite 8 cortes por ano, de tal forma que a cada 45 dias era possível obter renda com a venda de alfafa.

Com a criação de várias algodozeiras no município de Bandeirantes, pós 1950, o município aumentou a produção de algodão atingindo o ápice em 1985 onde foram cultivados aproximadamente 9.500 hectares; a produção de algodão decaiu drasticamente a partir de 1992, sendo cultivado neste ano 7.000 ha e em 1997 apenas para 2000 ha; a partir de 1998, praticamente, não houve plantio de algodão no município (IPARDES, 2013).

Segundo as imagens de satélite e dados obtidos do IPARDES (2013), foi possível obter informações referentes ao uso das terras no município de Bandeirantes no ano de 1985 e 2013.

Em 1985, a maior parte do município estava coberto por lavouras temporárias representadas principalmente por algodão, cana-de-açúcar, milho e secundariamente por soja; segundo o IPARDES (2013), em 1985, o algodão teria sido cultivado em aproximadamente 9 500 ha e as lavouras de cana-de-açúcar e milho ocupavam aproximadamente as mesmas áreas que juntas perfaziam 12000 ha; a lavoura de soja, que teria iniciado no final da década de 1970, apresentava

uma área de plantio por volta de 2000 ha. Sendo assim, pode-se afirmar que aproximadamente 52% da área do município, aproximadamente 23000 ha, apresentava cobertura vegetal e usos da terra por lavouras temporárias (Figura 16).

Ainda em 1985, a área de pastagem compreendia em aproximadamente 42% do município, perfazendo aproximadamente 19000 ha. No geral, a área de pastagem era dominante nos compartimentos II e III, ou seja, nas regiões de maior altitude e relevo mais acidentado.

As lavouras permanentes dentre as quais pode-se destacar as culturas do café e alfafa ocupavam em 1985 uma área pequena que representou 0,71%, ou seja, 316 ha. A vegetação densa ou mata estava presente em 4,61% da área do município que representa aproximadamente 2057 ha (Figura 16).

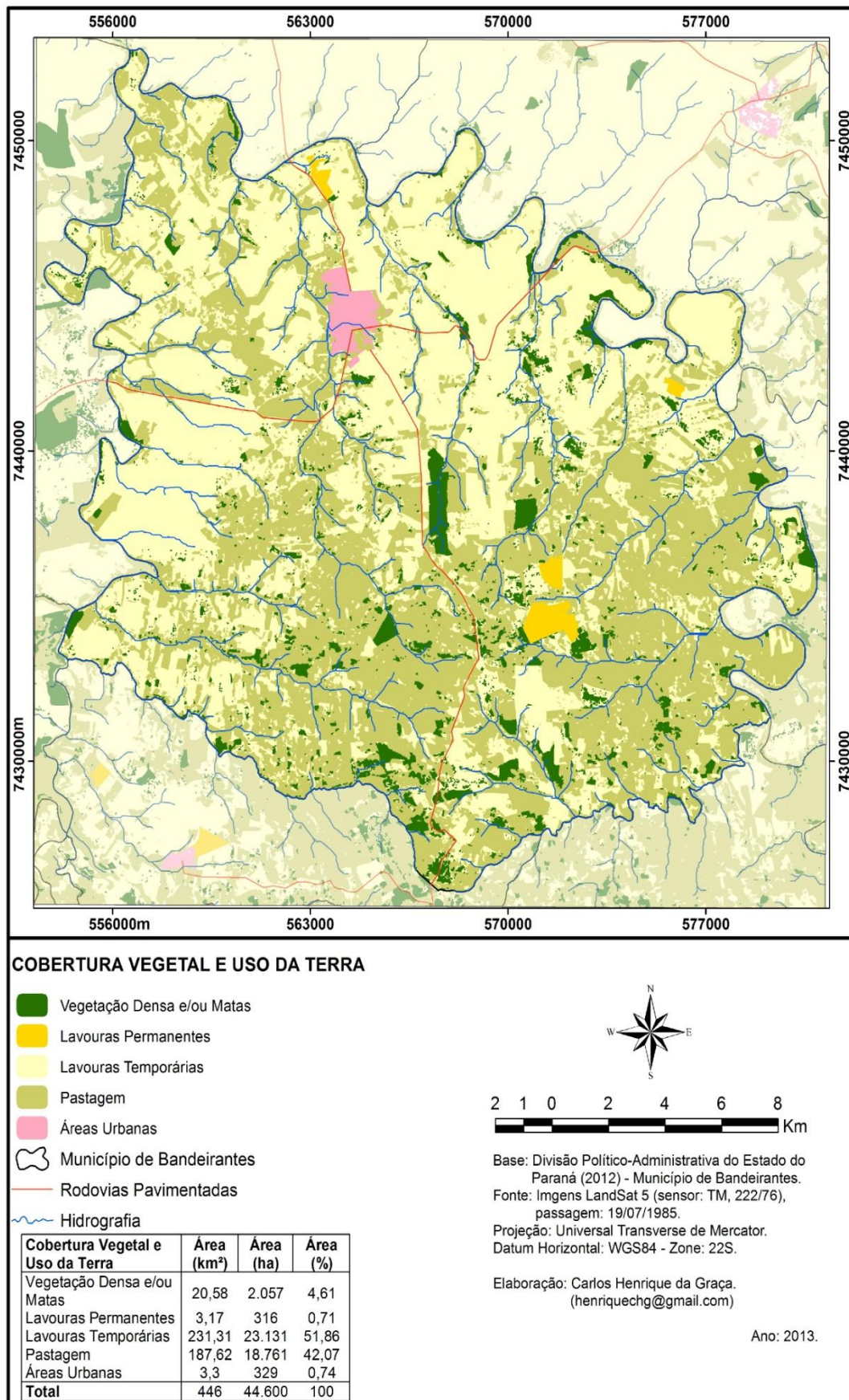


Figura 16 – Uso da terra no município durante o ano de 1985

A figura 17 sintetiza a evolução das culturas da cana-de-açúcar, soja e milho no município de Bandeirantes de 1980 a 2011, segundo o IPARDES (2013). Pode-se observar que, atualmente, a área ocupada pelo plantio de soja é predominante no município; embora a cultura da soja tenha tido uma pequena retração e o plantio da cana-de-açúcar um aumento da área plantada no ano 2006, a lavoura de soja desde o início da década de 1980 tem apresentado uma área crescente de plantio.

A área de plantio da cana-de-açúcar tem variado significativamente. De 1995 a 2003, mais de 11000 ha do município apresentava cultivo de cana-de-açúcar (Figura 17). Muito provavelmente, estas variações das áreas de plantio da cana-de-açúcar se devem a políticas governamentais inconsistentes.

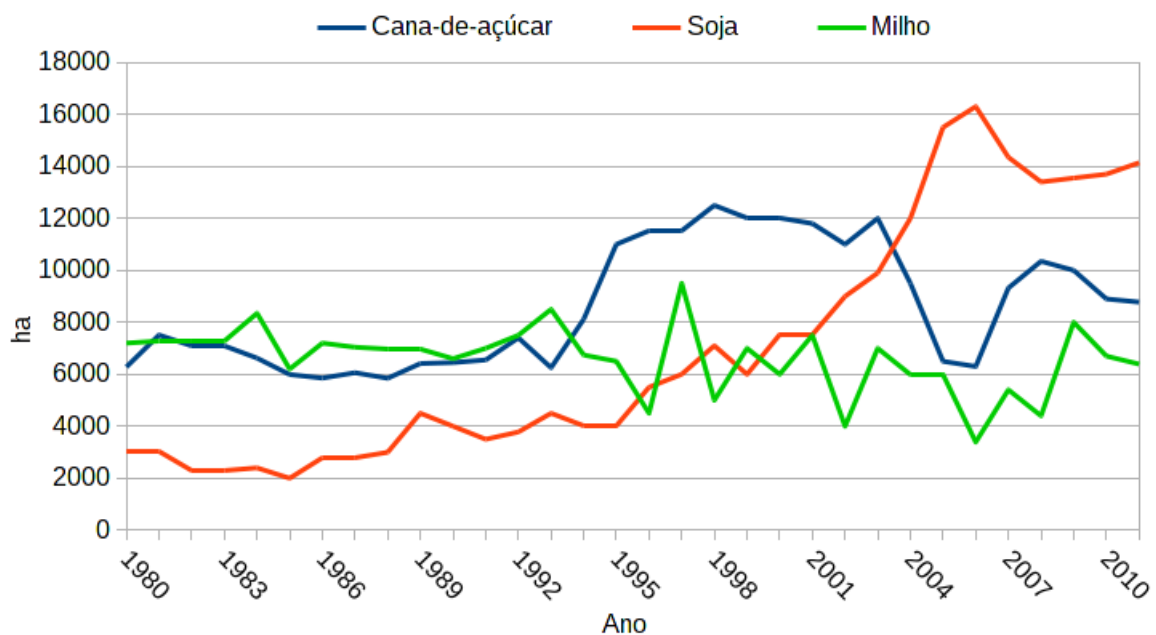


Figura 17 – Área plantada das culturas de 1980 a 2011
Fonte: IPARDES (2013)

Em 2013, a área ocupada por lavouras temporárias aumentou consideravelmente perfazendo aproximadamente 75% da área do município, equivalente a 33685 ha, enquanto que a área de pastagem diminuiu para 16,2%, totalizando 7227 ha; no geral, a área de pastagem está concentrada no compartimento III, onde ocorre as maiores altitudes e o relevo é mais dissecado (Figura 18). Constata-se, portanto, que no município, o compartimento I é o mais antigo em termos de ocupação com culturas e que estas só se estenderam para o

compartimento II depois de 1985 (Figuras 17 e 18). A ampliação das culturas no compartimento III, também ocorreram nesse período.

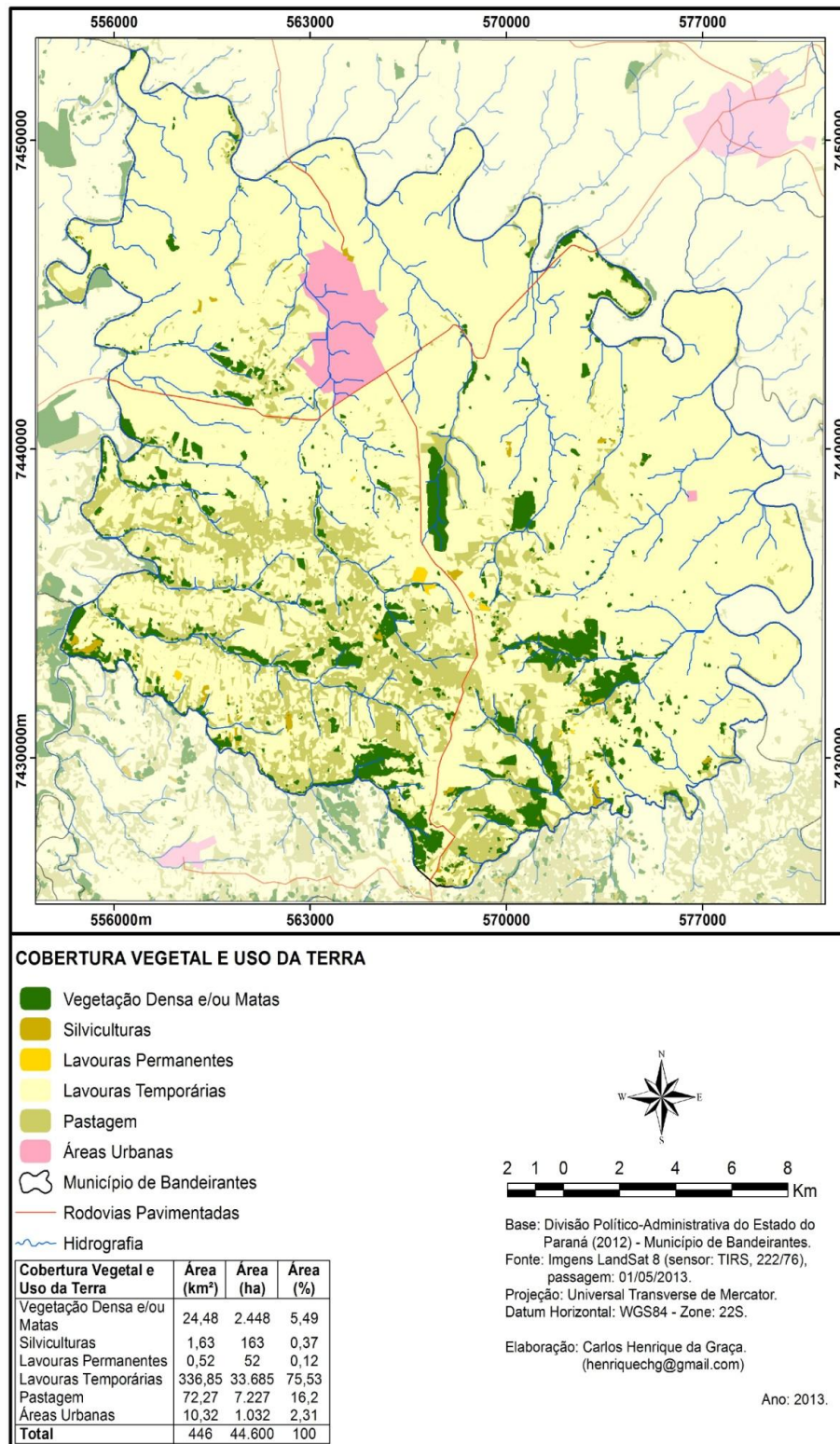


Figura 18 – Uso da terra no município durante o ano de 2013

Bandeirantes tem uma população estimada em 2014 de 32.718 habitantes (IBGE, 2013).

A partir dos dados da figura 19, pode-se analisar que o êxodo rural bandeirantense não foi diferente da maioria das regiões brasileiras; nos anos de 1960 a 1970, ou seja, por volta de 1970 a população rural era muito maior que a urbana. Praticamente, houve uma inversão dos números no que diz à percentagem dos habitantes que tinham domicílio rural, considerando-se a distribuição atual da população (Figura 19 ou Tabela 9).

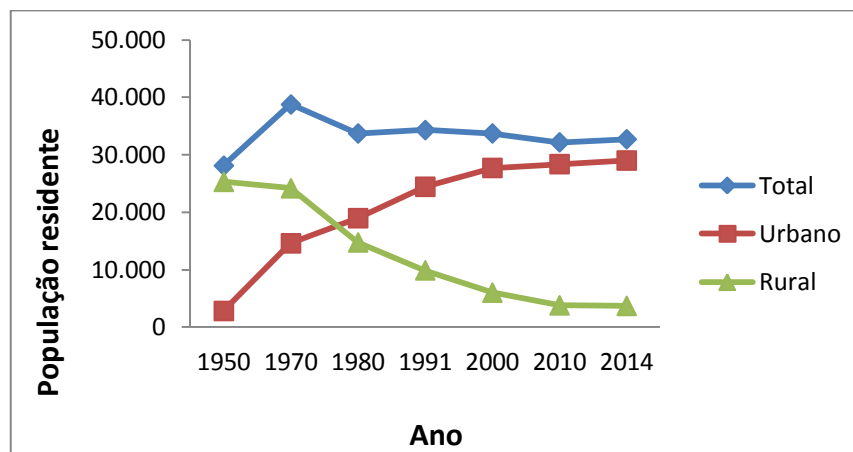


Figura 19 – Evolução da população residente no município de Bandeirantes-PR
Fonte: IBGE/SIDRA (2015); Medina (1950).

Bandeirantes foi criado município a 14 de novembro de 1934, conforme citado anteriormente. Em pouco mais de 15 anos a população era de 28.115 habitantes, sendo que 90% residia na zona rural. Com o passar dos anos a situação inverteu; hoje, aproximadamente 89% reside na zona urbana (Tabela 9).

Tabela 9 – Evolução da população residente no município de Bandeirantes-PR

Ano	População Total	Zona		Porcentagem	
		Urbana	Rural	Urbana	Rural
1950	28.115	2.811	25.304	10,00	90,00
1970	38.773	14.591	24.182	37,64	62,36
1980	33.726	18.974	14.752	56,25	43,75
1991	34.310	24.442	9.888	71,20	28,80
2000	33.732	27.720	6.012	82,18	17,82
2010	32.184	28.384	3.800	88,20	11,80
2014	32.718	29.018	3.700	88,70	11,30

Fonte: IBGE/SIDRA (2015); Medina (1950).

5.2 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DAS AMOSTRAS DE SOLOS

As tabelas 10 a 16 apresentam os resultados químicos obtidos nas amostras superficiais (0-20 cm) e subsuperficiais (20-40 cm) dos Latossolos e Nitossolos presentes nos diferentes compartimentos e submetidos à vários usos no município de Bandeirantes.

De um modo geral, observa-se maiores valores de capacidade de troca total (CTC), capacidade de troca efetiva (CETC), saturação por bases (V%) e pH em H₂O nos solos sob fragmentos de floresta; provavelmente, esses fatos são devidos à maior reciclagem que ocorre nos fragmentos de floresta quando comparado aos solos sob cultivos (Tabelas 10, 12,14 e 16).

Os solos presentes na USIBAN e sob cultivo de cana-de-açúcar apresentam maiores teores de matéria orgânica (MOS) e potássio (K⁺) trocável quando comparado aos demais solos; isto se deve ao fato da adição de vinhaça que esses solos são submetidos anualmente (Tabelas 10, 12,14 e 16).

Pode-se observar também, que esses solos não apresentam alumínio (Al³⁺) trocável e conseqüentemente a saturação por bases (V%) é maior que 50%; estes fatos refletem o caráter eutrófico e boa qualidade química que esses solos apresentam quando vistos sob a fertilidade dos mesmos (Tabelas 10, 12, 14 e 16).

Em relação aos teores dos metais extraídos por HNO₃ + HCl segundo o método 3050B da USEPA, observa-se o predomínio de Fe nos três compartimentos evidenciando, provavelmente, a natureza do material de origem; o segundo metal mais abundante é o Al que, além de ser o metal mais abundante da crosta terrestre, é integrante de inúmeros óxidos e hidróxidos presentes nos minerais dos solos (Tabelas 11, 13 e 15).

Os elementos As, Ag, B, Cd, Mo, Hg e Sb apresentaram teores abaixo dos limites de detecção do método em todos os compartimentos e, no geral, os teores são menores que os limites de prevenção sugeridos pelo CONAMA (Tabelas 11, 13 e 15).

Os demais elementos (Ba, Co, Cu, Mn, Ni, Pb, V e Zn) presentes nas tabelas 11, 13 e 15 apresentam interesse ambiental e serão discutidos pormenorizadamente em uma seção posterior.

Tabela 10 – Complexo sortivo, MOS e pH das amostras de solos do compartimento I

SOLOS	AMOSTRA	USO	PROF.	pH		MOS ⁽⁴⁾	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Al ³⁺	H ⁺ +Al ³⁺	S ⁽⁵⁾	CTC ⁽⁶⁾	CETC ⁽⁷⁾	V ⁽⁸⁾		
			(cm)	H ₂ O	KCl	g/kg	----- cmol _c /dm ³ -----					%					
LATOSSOLOS	1	USIBAN	CDA ⁽¹⁾	0-20	6,5	3,3	47	2,7	9	2,4	0	4,02	14	18,12	14,1	77,8	
	2	USIBAN	CDA	20-40	6,8	3,6	40,3	2,5	5,5	1,6	0	2,57	9,6	12,17	9,6	78,9	
	5	Santa Rita	CDA	0-20	5,2	2,6	24,2	0,3	3,8	1,5	0,6	6,09	5,6	11,66	6,17	47,8	
	6	Santa Rita	CDA	20-40	5,4	2,8	8,1	0,1	4,6	1,7	0,2	4,23	6,4	10,62	6,59	60,2	
	9	Sítio Yara	CDA	0-20	5,7	2,9	14,8	0,2	3,5	1,3	0,1	4,84	5	9,87	5,13	51	
	10	Sítio Yara	CDA	20-40	5,8	3,2	9,4	0,1	3,4	1,1	0	3,05	4,6	7,6	4,55	59,9	
	13	AGROCERES	M-S ⁽²⁾	0-20	6,3	3,3	22,8	0,8	6	2,4	0	3,12	9,2	12,36	9,24	74,8	
	14	AGROCERES	M-S	20-40	6	3,2	16,1	0,5	4	1,5	0	3,57	6	9,54	5,97	62,6	
	17	Sítio Yara	M-S	0-20	5,3	2,8	20,1	0,1	4	1,5	0,3	4,49	5,6	10,06	5,87	55,4	
	18	Sítio Yara	M-S	20-40	5,9	3,3	9,4	0	4,5	1,9	0	3,34	6,4	9,77	6,43	65,8	
	21	Ibiúna	M-S	0-20	5,3	2,9	22,8	0,1	4,9	1,8	0	4,39	6,8	11,23	6,84	60,9	
	22	Ibiúna	M-S	20-40	5,8	3,2	14,8	0	4,8	1,8	0	2,92	6,6	9,56	6,64	69,5	
	25	Ibiúna	FF ⁽³⁾	0-20	5,7	3,5	40,3	0,6	8,3	1,9	0	3,05	11	13,8	10,75	77,9	
	26	Ibiúna	FF	20-40	5,7	3,1	20,1	0,2	3,9	1,5	0	3,51	5,6	9,11	5,6	61,5	
	29	Macuco	FF	0-20	6,9	3,8	36,2	0,5	15	2,3	0	2,59	17	20,06	17,47	87,1	
	30	Macuco	FF	20-40	6,9	3,5	16,1	0,2	11	2,2	0	2,52	13	15,73	13,21	84	
	33	Laranjinha	FF	0-20	7,6	4,1	53,7	0,3	16	2,9	0	1,48	19	20,96	19,48	92,9	
	34	Laranjinha	FF	20-40	7,1	3,6	16,1	0,2	9,5	1,9	0	2,12	12	13,69	11,57	84,5	
	NITOSSOLOS	3	USIBAN	CDA	0-20	6,6	3,4	32,2	2,4	8,2	2,8	0	3,65	13	17,05	13,4	78,6
		4	USIBAN	CDA	20-40	6,5	3,5	13,4	2,2	5,3	1,8	0	3,26	9,3	12,56	9,3	74
		7	Santa Rita	CDA	0-20	5,3	2,7	24,2	0,1	3,7	1,5	0,4	6,56	5,3	11,89	5,73	44,8
		8	Santa Rita	CDA	20-40	5,7	3	13,4	0,1	3,8	1,4	0	3,26	5,3	8,52	5,26	61,7
		11	Sítio Yara	CDA	0-20	5,7	3	17,4	0,1	4,9	2,1	0	4,7	7,1	11,76	7,06	60
		12	Sítio Yara	CDA	20-40	5,9	3,1	16,1	0	4,6	1,9	0	2,98	6,5	9,51	6,53	68,7
		15	AGROCERES	M-S	0-20	6,2	3,3	24,2	1	6,2	1,8	0	3,07	9	12,03	8,96	74,5
		16	AGROCERES	M-S	20-40	6,1	3,3	16,1	0,7	3,5	1,5	0	2,71	5,7	8,39	5,68	67,7
		19	Sítio Yara	M-S	0-20	5	2,7	17,4	0,3	3,5	1,3	0,4	5,29	5,1	10,35	5,46	48,9
		20	Sítio Yara	M-S	20-40	5,1	2,7	9,4	0,1	3,2	1,4	0,6	3,51	4,7	8,18	5,27	57,1
		23	Ibiúna	M-S	0-20	5,7	3	33,6	0,2	7,3	1,8	0	3,84	9,3	13,12	9,28	70,7
		24	Ibiúna	M-S	20-40	6	3,3	16,1	0,1	6,4	2,1	0	2,88	8,6	11,44	8,56	74,8
		27	Ibiúna	FF	0-20	6,2	3,4	29,5	0,3	9,2	2,6	0	3,22	12	15,28	12,06	78,9
		28	Ibiúna	FF	20-40	6	3,3	22,8	0,1	7,8	2,5	0	2,61	10	13,02	10,41	80
		31	Macuco	FF	0-20	6,9	3,9	33,6	0,6	10	2,6	0	2,61	13	15,79	13,18	83,5
		32	Macuco	FF	20-40	7	3,8	16,1	0,6	6,8	2,2	0	2,25	9,6	11,85	9,6	81
35	Laranjinha	FF	0-20	7,1	3,6	29,5	0,4	11	2,3	0	2,25	14	15,76	13,51	85,7		
36	Laranjinha	FF	20-40	6,4	3,2	17,4	0,3	7,5	1,8	0	2,32	9,6	11,96	9,64	80,6		

CDA⁽¹⁾: cana-de-açúcar; M/S⁽²⁾: milho/soja; FF⁽³⁾: fragmentos de floresta; MOS⁽⁴⁾: matéria orgânica do solos; S⁽⁵⁾: soma de bases; CTC⁽⁶⁾: capacidade de troca de cátions a pH 7,0; CETC⁽⁷⁾: capacidade efetiva de troca de cátions; V⁽⁸⁾: saturação por bases;

Tabela 11 – Teores dos metais extraídos das amostras de solos por HNO₃ e HCl (USEPA, 3050B) no compartimento I

SOLOS	AMOSTRA	PROF. (cm)	Al	Fe	Ag	As	B	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Sb	V	Zn
			----- % -----		----- mg.kg ⁻¹ -----															
			0,01	0,01	0,3	2	20	1	0,5	1	1	1	1	2	1	1	3	3	1	1
LATOSSOLOS	1	0-20	1,88	12,4	<0,3	<2	<20	160	<0,5	31	75	105	<1	1484	<1	21	21	<3	533	80
	2	20-40	2,68	13,4	<0,3	<2	<20	137	<0,5	36	73	124	<1	1592	<1	21	17	<3	548	60
	5	0-20	2,12	14,4	<0,3	<2	<20	175	<0,5	40	72	116	<1	2594	<1	22	18	<3	561	75
	6	20-40	2,35	14,2	<0,3	<2	<20	152	<0,5	35	64	118	<1	1967	<1	20	17	<3	538	62
	9	0-20	1,83	10,8	<0,3	<2	<20	43	<0,5	13	42	61	<1	1260	<1	10	20	<3	462	42
	10	20-40	1,91	11	<0,3	<2	<20	34	<0,5	11	43	63	<1	989	<1	9	17	<3	468	37
	13	0-20	1,6	12,2	<0,3	<2	<20	100	<0,5	14	70	66	<1	1597	<1	19	19	<3	532	64
	14	20-40	1,72	12,4	<0,3	<2	<20	61	<0,5	12	60	64	<1	1376	<1	15	18	<3	524	45
	17	0-20	1,42	10,4	<0,3	<2	<20	112	<0,5	44	33	160	<1	1930	<1	19	14	<3	420	82
	18	20-40	1,57	10,1	<0,3	<2	<20	69	<0,5	29	30	151	<1	1195	<1	13	12	<3	401	62
	21	0-20	1,68	12,9	<0,3	<2	<20	129	<0,5	23	68	77	<1	2026	<1	18	17	<3	489	60
	22	20-40	2,03	13,9	<0,3	<2	<20	85	<0,5	22	69	79	<1	1591	<1	15	18	<3	526	48
	25	0-20	1,62	9,88	<0,3	<2	<20	56	<0,5	10	41	58	<1	1330	<1	14	15	<3	426	41
	26	20-40	1,82	11,8	<0,3	<2	<20	36	<0,5	11	47	66	<1	1014	<1	10	18	<3	505	33
29	0-20	2,14	12,9	<0,3	<2	<20	154	<0,5	43	14	145	<1	1329	<1	22	12	<3	610	##	
30	20-40	2,93	13,4	<0,3	<2	<20	116	<0,5	29	13	140	<1	824	<1	18	13	<3	572	80	
33	0-20	1,87	8,65	<0,3	<2	<20	289	<0,5	38	70	79	<1	1773	<1	23	13	<3	381	82	
34	20-40	2,19	11,7	<0,3	<2	<20	125	<0,5	48	87	98	<1	1341	<1	22	13	<3	478	73	
NITOSSOLOS	3	0-20	2,22	14,9	<0,3	<2	<20	102	<0,5	33	48	122	<1	1872	<1	20	18	<3	622	69
	4	20-40	2,61	15,9	<0,3	<2	<20	82	<0,5	31	37	124	<1	1587	<1	19	17	<3	641	61
	7	0-20	2,29	15,3	<0,3	<2	<20	77	<0,5	26	50	89	<1	2045	<1	20	20	<3	652	57
	8	20-40	2,41	15,3	<0,3	<2	<20	59	<0,5	25	43	89	<1	1626	<1	17	17	<3	635	52
	11	0-20	1,49	8,31	<0,3	<2	<20	49	<0,5	9	38	53	<1	986	<1	11	17	<3	386	51
	12	20-40	1,84	8,99	<0,3	<2	<20	45	<0,5	5	37	65	<1	536	<1	7	15	<3	423	33
	15	0-20	1,9	11,1	<0,3	<2	<20	56	<0,5	10	57	69	<1	829	<1	10	15	<3	486	46
	16	20-40	1,77	11,6	<0,3	<2	<20	50	<0,5	11	55	62	<1	834	<1	9	15	<3	507	35
	19	0-20	1,53	8,15	<0,3	<2	<20	58	<0,5	21	31	107	<1	940	<1	9	13	<3	345	50
	20	20-40	1,75	8,42	<0,3	<2	<20	45	<0,5	11	31	104	<1	497	<1	7	12	<3	355	39
	23	0-20	2,19	12,2	<0,3	<2	<20	161	<0,5	45	68	95	<1	1892	<1	20	16	<3	532	72
	24	20-40	2,59	12,9	<0,3	<2	<20	119	<0,5	36	66	88	<1	1396	<1	17	15	<3	541	55
	27	0-20	1,51	9,58	<0,3	<2	<20	162	<0,5	23	45	66	<1	2487	<1	24	19	<3	465	81
	28	20-40	1,69	10,3	<0,3	<2	<20	125	<0,5	23	50	72	<1	2296	<1	20	20	<3	497	67
31	0-20	2,24	13,5	<0,3	<2	<20	145	<0,5	41	20	134	<1	2000	<1	21	15	<3	584	68	
32	20-40	2,77	13,8	<0,3	<2	<20	86	<0,5	32	16	126	<1	1243	<1	15	15	<3	580	52	
35	0-20	1,83	10,7	<0,3	<2	<20	175	<0,5	49	83	96	<1	1577	<1	23	13	<3	440	81	
36	20-40	2,4	11,2	<0,3	<2	<20	162	<0,5	42	79	95	<1	1155	<1	21	12	<3	414	64	

Tabela 12 – Complexo sortivo, MOS e pH dos solos no compartimento II

SOLOS	AMOSTRA		USO	PROF.	pH		MOS ⁽⁴⁾	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Al ³⁺	H ⁺ +Al ³⁺	S ⁽⁵⁾	CTC ⁽⁶⁾	CETC ⁽⁷⁾	V ⁽⁸⁾	
	LOCAL	(cm)		H ₂ O	KCl	g/kg	----- cmolc/dm ³ -----						%				
LATOSSOLOS	37	Tabuleta	CDA ⁽¹⁾	0-20	6,4	3,3	42,9	1,1	10,5	2,5	0	3,14	14,1	17,24	14,1	81,8	
	38	Tabuleta	CDA	20-40	6,1	3,2	16,1	0,24	9,5	1,9	0	3,22	11,64	14,86	11,64	78,3	
	41	Sertãozinho	CDA	0-20	6,5	3,2	56,4	0,37	8,2	2,4	0	3,73	10,97	14,7	10,97	74,6	
	42	Sertãozinho	CDA	20-40	5,9	3,3	16,1	0,05	7,3	1,8	0	2,71	9,15	11,86	9,15	77,2	
	45	Sta. Cristina	CDA	0-20	6,1	3,6	30,9	0,16	8,3	1,9	0	3,39	10,36	13,75	10,36	75,4	
	46	Sta. Cristina	CDA	20-40	6,5	3,2	26,8	0,03	6,4	1,7	0	3,36	8,13	11,49	8,13	70,7	
	49	Tabuleta	M-S ⁽²⁾	0-20	6,1	3,3	52,3	0,1	9,8	2,2	0	4,69	12,10	16,79	12,10	12,1	
	50	Tabuleta	M-S	20-40	6,3	3,1	24,2	0,04	8,9	2,1	0	3,79	11,04	14,83	11,04	74,5	
	53	Sertãozinho	M-S	0-20	5,8	3,3	26,8	0,11	5,3	1,9	0	3,79	7,31	11,10	7,31	65,9	
	54	Sertãozinho	M-S	20-40	6,2	3,1	20,1	0,03	6,6	2,2	0	4,33	8,83	13,16	8,83	67,1	
	57	Seis Anos	M-S	0-20	6,2	3,4	29,5	0,51	13	3,1	0	3,87	16,61	20,48	16,61	81,1	
	58	Seis Anos	M-S	20-40	6,5	4,9	26,8	0,12	10	2,6	0	2,52	12,72	15,24	12,72	83,4	
	61	Papa	FF ⁽³⁾	0-20	7,6	5,8	32,2	0,19	14	2,5	0	2,5	16,69	19,19	16,69	86,9	
	62	Papa	FF	20-40	6,4	6,9	16,1	0,06	10,8	2,2	0	2,98	13,06	16,04	13,06	81,4	
	65	Tanaka	FF	0-20	7,3	6,7	38,9	0,85	18,6	2,2	0	2,14	21,65	23,79	21,65	91	
	66	Tanaka	FF	20-40	7,1	6,1	18,8	1	10,6	2,5	0	2,01	14,10	16,11	14,10	87,5	
	69	Seis Anos	FF	0-20	7	5,4	37,6	0,27	16,5	1,9	0	4,08	18,67	22,75	18,67	82,1	
	70	Seis Anos	FF	20-40	6,2	5,8	24,2	0,21	17,8	2,1	0	3,62	20,11	23,73	20,11	84,7	
	NITOSSOLOS	39	Tabuleta	CDA	0-20	6,2	3,2	42,9	0,91	10,6	2,5	0	3,93	14,01	17,94	14,01	78,1
		40	Tabuleta	CDA	20-40	6,1	3,4	29,5	0,19	10	2,3	0	3,12	12,49	15,61	12,49	80
43		Sertãozinho	CDA	0-20	6,1	3,3	49,7	0,25	7,8	2,4	0	3,62	10,45	14,07	10,45	74,3	
44		Sertãozinho	CDA	20-40	5,9	3,6	21,5	0,13	6,9	2,2	0	2,85	9,23	12,08	9,23	76,4	
47		Sta. Cristina	CDA	0-20	6,2	3,4	36,2	0,43	10	2,6	0	3,73	13,03	16,76	13,03	77,7	
48		Sta. Cristina	CDA	20-40	6,3	3,1	33,6	0,07	11,4	2,3	0	3,44	13,77	17,21	13,77	80	
51		Tabuleta	M-S	0-20	5,6	3,4	29,5	0,31	8,1	2,5	0	3,34	10,91	14,25	10,91	76,6	
52		Tabuleta	M-S	20-40	6,2	3	16,1	0,09	10	2,4	0	2,69	12,49	15,18	12,49	82,3	
55		Sertãozinho	M-S	0-20	5,9	3,4	33,6	0,3	7,4	2,1	0	3,39	9,80	13,19	9,80	74,3	
56		Sertãozinho	M-S	20-40	6,4	3,1	14,8	0,06	7,6	2,2	0	2,5	9,86	12,36	9,86	79,8	
59		Seis Anos	M-S	0-20	7,1	5,1	32,2	0,86	9	2,2	0	4,39	12,06	16,45	12,06	73,3	
60		Seis Anos	M-S	20-40	7,1	6,2	16,1	0,43	11,5	2,5	0	3,65	14,43	18,08	14,43	79,8	
63	Papa	FF	0-20	7,6	5,2	45,6	0,61	16,6	2,4	0	1,98	19,61	21,59	19,61	90,8		
64	Papa	FF	20-40	7,7	6,9	14,8	1	5,5	2,3	0	3,65	8,8	12,45	8,8	70,7		
67	Tanaka	FF	0-20	6,5	5,8	37,6	0,82	20,4	2,7	0	2,71	23,92	26,63	23,92	89,8		
68	Tanaka	FF	20-40	6,8	5,5	20,1	0,8	16,5	1,8	0	3,05	19,10	22,15	19,10	86,2		
71	Seis Anos	FF	0-20	5,7	5	20,1	0,23	12,6	2,4	0	2,54	15,23	17,77	15,23	85,7		
72	Seis Anos	FF	20-40	5,6	4	10,7	0,07	8,6	2,4	0	3,99	11,07	15,06	11,07	73,5		

CDA⁽¹⁾: cana-de-açúcar; M/S⁽²⁾: milho/soja; FF⁽³⁾: fragmentos de floresta; MOS⁽⁴⁾: matéria orgânica do solos; S⁽⁵⁾: soma de bases; CTC⁽⁶⁾: capacidade de troca de cátions a pH 7,0; CETC⁽⁷⁾: capacidade efetiva de troca de cátions; V⁽⁸⁾: saturação por bases;

Tabela 13 – Teores dos metais extraídos das amostras de solos por HNO₃ e HCl (USEPA, 3050B) no compartimento II

SOLOS	AMOSTRA	PROF. (cm)	Al	Fe	Ag	As	B	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Sb	V	Zn
			----- % -----		----- mg.kg ⁻¹ -----															
			0,01	0,01	0,3	2	20	1	0,5	1	1	1	1	2	1	1	3	3	1	1
LATOSSOLOS	37	0-20	2,18	12,7	<0,3	<2	<20	306	<0,5	51	87	117	<1	2076	<1	24	13	<3	563	109
	38	20-40	2,91	12,2	<0,3	<2	<20	181	<0,5	38	79	94	<1	1166	<1	19	13	<3	508	74
	41	0-20	2,47	14,7	<0,3	<2	<20	293	<0,5	47	91	134	<1	2533	<1	24	19	<3	615	93
	42	20-40	2,94	13,9	<0,3	<2	<20	199	<0,5	32	80	104	<1	1332	<1	18	16	<3	553	64
	45	0-20	3,18	14,6	<0,3	<2	<20	207	<0,5	48	95	116	<1	1680	<1	22	16	<3	645	73
	46	20-40	3,3	13,9	<0,3	<2	<20	150	<0,5	42	85	95	<1	1285	<1	20	15	<3	613	63
	49	0-20	2,54	13,4	<0,3	<2	<20	305	<0,5	56	80	126	<1	2800	<1	24	16	<3	591	111
	50	20-40	2,87	13,2	<0,3	<2	<20	232	<0,5	46	73	114	<1	1972	<1	20	14	<3	566	82
	53	0-20	1,99	13,6	<0,3	<2	<20	186	<0,5	43	77	108	<1	3351	<1	25	16	<3	602	84
	54	20-40	1,98	12,8	<0,3	<2	<20	148	<0,5	37	74	105	<1	2534	<1	22	16	<3	562	65
	57	0-20	2,38	14,1	<0,3	<2	<20	306	<0,5	57	33	189	<1	2187	<1	27	13	<3	648	85
	58	20-40	3,95	14,2	<0,3	<2	<20	367	<0,5	49	32	151	<1	1768	<1	30	16	<3	593	76
	61	0-20	2,35	13,9	<0,3	<2	<20	315	<0,5	58	93	124	<1	2721	<1	27	17	<3	595	97
	62	20-40	2,83	13,8	<0,3	<2	<20	240	<0,5	49	87	116	<1	1983	<1	23	15	<3	558	75
65	0-20	2,07	13	<0,3	<2	<20	296	<0,5	68	72	129	<1	4214	<1	30	15	<3	603	115	
66	20-40	2,27	13,3	<0,3	<2	<20	258	<0,5	64	70	135	<1	3439	<1	27	14	<3	603	95	
69	0-20	1,74	9,47	<0,3	<2	<20	282	<0,5	46	67	103	<1	2060	<1	27	12	<3	476	119	
70	20-40	1,97	9,83	<0,3	<2	<20	274	<0,5	44	69	109	<1	1864	<1	28	12	<3	490	104	
NITOSSOLOS	39	0-20	2,86	15,1	<0,3	<2	<20	351	<0,5	60	87	133	<1	2784	<1	26	17	<3	589	116
	40	20-40	3,14	13,9	<0,3	<2	<20	300	<0,5	52	79	120	<1	2070	<1	24	16	<3	535	95
	43	0-20	2,88	15,1	<0,3	<2	<20	199	<0,5	54	97	125	<1	2259	<1	25	15	<3	629	93
	44	20-40	2,92	14,6	<0,3	<2	<20	186	<0,5	49	93	119	<1	2043	<1	24	18	<3	594	82
	47	0-20	2,73	13,2	<0,3	<2	<20	303	<0,5	60	110	131	<1	2789	<1	35	13	<3	674	112
	48	20-40	3,08	13,1	<0,3	<2	<20	244	<0,5	53	98	131	<1	2191	<1	30	15	<3	611	90
	51	0-20	2,34	13,8	<0,3	<2	<20	292	<0,5	59	81	120	<1	2784	<1	24	16	<3	594	106
	52	20-40	2,56	12,2	<0,3	<2	<20	164	<0,5	41	70	93	<1	1539	<1	18	13	<3	517	70
	55	0-20	2,1	12,8	<0,3	<2	<20	274	<0,5	47	90	120	<1	2657	<1	25	17	<3	562	92
	56	20-40	2,28	11,6	<0,3	<2	<20	153	<0,5	29	69	94	<1	1255	<1	16	13	<3	459	49
	59	0-20	2,12	13,4	<0,3	<2	<20	183	<0,5	67	32	195	<1	2404	<1	29	15	<3	727	111
	60	20-40	2,5	14,3	<0,3	<2	<20	187	<0,5	65	35	195	<1	2202	<1	26	14	<3	757	95
	63	0-20	2,04	13,2	<0,3	<2	<20	277	<0,5	57	90	125	<1	3288	<1	29	15	<3	615	112
	64	20-40	2,3	13,4	<0,3	<2	<20	225	<0,5	51	84	126	<1	2445	<1	24	14	<3	600	88
67	0-20	2,14	13,3	<0,3	<2	<20	290	<0,5	67	53	149	<1	2308	<1	31	13	<3	681	115	
68	20-40	2,55	12,2	<0,3	<2	<20	219	<0,5	50	45	146	<1	1512	<1	26	12	<3	593	85	
71	0-20	2,51	12,5	<0,3	<2	<20	118	<0,5	48	37	126	<1	1832	<1	17	13	<3	577	57	
72	20-40	2,5	13	<0,3	<2	<20	109	<0,5	50	38	122	<1	1932	<1	17	14	<3	597	55	

Tabela 14 – Complexo sortivo, MOS e pH dos solos no compartimento III

SOLOS	AMOSTRA	USO	PROF. (cm)	pH		MOS ⁽⁴⁾ g/kg	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Al ³⁺	H ⁺ +Al ³⁺	S ⁽⁵⁾	CTC ⁽⁶⁾	CETC ⁽⁷⁾	V ⁽⁸⁾ %	
				H ₂ O	KCl											
LOCAL		cmolc/dm ³														
LATOSSOLOS	73	S. Salvador	CDA ⁽¹⁾	0-20	5,6	4	18,8	0,04	7	2,6	0,2	5,02	9,64	14,66	9,84	65,8
	74	S. Salvador	CDA	20-40	5,9	5	12,1	0,02	5,6	2,2	0,2	4,14	7,82	11,96	8,02	65,4
	77	Perobas	CDA	0-20	6	5	18,8	0,05	6	1,8	0	4,52	7,85	12,37	7,85	63,4
	78	Perobas	CDA	20-40	6,4	5	12,1	0,02	6,8	1,8	0	2,94	8,62	11,56	8,62	74,6
	81	S. Domingos	CDA	0-20	6,2	5	18,8	0,08	5,6	1,7	0	2,92	7,38	10,3	7,38	71,7
	82	S. Domingos	CDA	20-40	6,4	5	9,4	0,04	5,1	1,7	0	3,34	6,84	10,18	6,84	67,2
	85	S. Salvador	M-S ⁽²⁾	0-20	6	5	21,5	0,55	7,7	2,3	0	3,34	10,5	13,89	10,5	76,0
	86	S. Salvador	M-S	20-40	6,5	5	13,4	0,08	8,5	1,8	0	2,98	10,4	13,36	10,4	77,7
	89	Nomura	M-S	0-20	6,7	6	25,5	0,9	8,6	1,8	0	3,14	11,3	14,44	11,3	78,3
	90	Nomura	M-S	20-40	6,8	6	18,8	0,78	5,8	1,6	0	3,36	8,18	11,54	8,18	70,9
	93	S. Domingos	M-S	0-20	6,6	5	20,1	0,12	5,8	1,7	0	3,81	7,62	11,43	7,62	66,7
	94	S. Domingos	M-S	20-40	7,2	5	8,1	0,03	4,8	2,2	0	3,1	7,03	10,13	7,03	69,4
	97	Nilmar	FF ⁽³⁾	0-20	6,1	6	38,9	0,23	7,8	1,8	0	3,39	9,83	13,22	9,83	74,4
	98	Nilmar	FF	20-40	6,8	5	17,4	0,07	1,7	2,2	0	3,03	3,97	7	3,97	56,7
	101	Kuribayashi	FF	0-20	6,7	6	38,9	0,01	5,1	1,9	0	2,32	7,01	9,33	7,01	75,1
	102	Kuribayashi	FF	20-40	6,5	6	13,4	0,05	0,2	2,4	0	1,42	2,65	4,07	2,65	65,1
105	Perobas	FF	0-20	6,4	6	56,4	0,1	17	2,2	0	1,46	19,3	20,76	19,3	93	
106	Perobas	FF	20-40	6,4	6	21,5	0,03	9,6	2,5	0	2,57	12,1	14,7	12,13	82,5	
NITOSSOLOS	75	S. Salvador	CDA	0-20	6,2	5	18,8	0,05	6,2	1,8	0,1	5,61	8,05	13,66	8,15	58,9
	76	S. Salvador	CDA	20-40	6,4	5	14,8	0,04	5,4	1,9	0	4,17	7,34	11,51	7,34	63,8
	79	Perobas	CDA	0-20	6,2	5	24,2	0,19	6,7	1,9	0	3,46	8,79	12,25	8,79	71,7
	80	Perobas	CDA	20-40	6,4	5	9,4	0,03	5,9	1,8	0	2,57	7,73	10,3	7,73	75
	83	S. Domingos	CDA	0-20	6,1	5	20,1	0,23	7,8	2,2	0	3,26	10,2	13,49	10,2	75,8
	84	S. Domingos	CDA	20-40	6,2	5	9,4	0,04	5,1	1,7	0	3,34	6,84	10,18	6,84	67,2
	87	S. Salvador	M-S	0-20	6,3	5	20,1	0,81	7,9	2,1	0	2,88	10,8	13,69	10,81	79
	88	S. Salvador	M-S	20-40	6,5	6	9,4	0,6	8	1,8	0	3,22	10,4	13,62	10,4	76,4
	91	Nomura	M-S	0-20	6	5	24,2	0,24	6,7	1,8	0	3,26	8,74	12	8,74	72,8
	92	Nomura	M-S	20-40	6,8	5	13,4	0,1	7,8	1,9	0	3,7	9,8	13,5	9,8	72,6
	95	S. Domingos	M-S	0-20	7,1	5	18,8	0,09	6	1,8	0	2,88	7,89	10,77	7,89	73,3
	96	S. Domingos	M-S	20-40	5,8	5	6,7	0,05	5,8	1,9	0	2,85	7,75	10,6	7,75	73,1
99	Nilmar	FF	0-20	6,5	5	32,2	0,15	7,1	1,8	0	4,33	9,05	13,38	9,05	67,6	
100	Nilmar	FF	20-40	6,8	4	13,4	0,05	2,2	2,3	1,1	3,34	4,55	7,89	5,65	57,7	
103	Kuribayashi	FF	0-20	7,6	7	53,7	0,23	17,2	2,4	0	1,3	19,8	21,13	19,83	93,8	
104	Kuribayashi	FF	20-40	7,4	6	26,8	0,15	12,8	2,2	0	1,47	15,2	16,62	15,15	91,2	
107	Perobas	FF	0-20	6,4	6	32,2	0,36	11,2	2,4	0	3,46	14	17,42	13,96	80,1	
108	Perobas	FF	20-40	6	6	16,1	0,05	8,2	2,2	0	2,46	10,5	12,91	10,45	80,9	

CDA⁽¹⁾: cana-de-açúcar; M/S⁽²⁾: milho/soja; FF⁽³⁾: fragmentos de floresta; MOS⁽⁴⁾: matéria orgânica do solos; S⁽⁵⁾: soma de bases; CTC⁽⁶⁾: capacidade de troca de cátions a pH 7,0; CETC⁽⁷⁾: capacidade efetiva de troca de cátions; V⁽⁸⁾: saturação por bases;

Tabela 15 – Teores dos metais extraídos das amostras de solos por HNO₃ e HCl (USEPA, 3050B) no compartimento III

SOLOS	AMOSTRA	PROF. (cm)	Al	Fe	Ag	As	B	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Sb	V	Zn
			---- % ----		----- mg.kg ⁻¹ -----															
			0,01	0,01	0,3	2	20	1	0,5	1	1	1	1	2	1	1	3	3	1	1
LATOSSOLOS	73	0-20	1,81	13,9	<0,3	<2	<20	192	<0,5	53	80	111	<1	2856	<1	25	18	<3	630	78
	74	20-40	2,26	13,9	<0,3	<2	<20	100	<0,5	31	69	96	<1	1449	<1	16	18	<3	573	53
	77	0-20	2,43	13,4	<0,3	<2	<20	187	<0,5	46	88	116	<1	2881	<1	23	17	<3	597	73
	78	20-40	2,72	13,7	<0,3	<2	<20	144	<0,5	43	85	108	<1	2527	<1	21	15	<3	599	68
	81	0-20	2,46	13,9	<0,3	<2	<20	184	<0,5	27	87	96	<1	2559	<1	24	17	<3	637	74
	82	20-40	2,85	13,6	<0,3	<2	<20	147	<0,5	20	74	84	<1	1573	<1	18	16	<3	570	55
	85	0-20	2,12	13,9	<0,3	<2	<20	412	<0,5	62	83	139	<1	3055	<1	30	17	<3	638	99
	86	20-40	2,48	12,8	<0,3	<2	<20	293	<0,5	49	71	115	<1	1937	<1	22	16	<3	567	68
	89	0-20	1,6	11,6	<0,3	<2	<20	151	<0,5	36	67	103	<1	2812	<1	21	16	<3	508	68
	90	20-40	1,84	13,4	<0,3	<2	<20	96	<0,5	33	67	93	<1	2098	<1	15	14	<3	546	49
	93	0-20	2,26	13,5	<0,3	<2	<20	125	<0,5	29	76	89	<1	2920	<1	23	17	<3	614	66
	94	20-40	2,58	13,9	<0,3	<2	<20	79	<0,5	25	68	90	<1	2012	<1	19	16	<3	579	54
	97	0-20	1,97	14,3	<0,3	<2	<20	367	<0,5	63	99	125	<1	3963	<1	34	16	<3	617	114
	98	20-40	2,33	13,8	<0,3	<2	<20	227	<0,5	52	89	123	<1	2668	<1	25	16	<3	572	76
	101	0-20	2,26	13,6	<0,3	<2	<20	99	<0,5	25	83	84	<1	3501	<1	25	18	<3	589	70
	102	20-40	2,49	13,5	<0,3	<2	<20	84	<0,5	21	80	73	<1	2050	<1	20	17	<3	590	58
105	0-20	3,1	12,5	<0,3	<2	<20	257	<0,5	41	87	118	<1	1354	<1	25	13	<3	571	92	
106	20-40	3,37	12,1	<0,3	<2	<20	176	<0,5	33	75	103	<1	852	<1	21	15	<3	520	65	
NITOSSOLOS	75	0-20	1,91	14,1	<0,3	<2	<20	115	<0,5	49	62	123	<1	2216	<1	21	17	<3	605	57
	76	20-40	1,89	14,1	<0,3	<2	<20	135	<0,5	57	71	125	<1	2806	<1	27	18	<3	650	71
	79	0-20	2,8	13,9	<0,3	<2	<20	271	<0,5	57	99	111	<1	3074	<1	27	18	<3	634	98
	80	20-40	3,16	13,5	<0,3	<2	<20	178	<0,5	46	87	96	<1	2105	<1	24	17	<3	573	74
	83	0-20	2,3	15	<0,3	<2	<20	245	<0,5	56	83	130	<1	2252	<1	27	16	<3	717	110
	84	20-40	2,81	14,1	<0,3	<2	<20	194	<0,5	41	67	128	<1	1475	<1	22	15	<3	611	78
	87	0-20	1,57	13,1	<0,3	<2	<20	303	<0,5	86	75	151	<1	4280	<1	40	14	<3	616	88
	88	20-40	1,9	11,7	<0,3	<2	<20	128	<0,5	48	58	111	<1	1937	<1	16	10	<3	511	49
	91	0-20	2,03	13,8	<0,3	<2	<20	268	<0,5	58	92	121	<1	3334	<1	23	16	<3	584	91
	92	20-40	2,38	13,3	<0,3	<2	<20	235	<0,5	48	83	109	<1	2427	<1	21	16	<3	549	71
	95	0-20	1,84	14,1	<0,3	<2	<20	99	<0,5	22	65	95	<1	1745	<1	22	16	<3	677	65
	96	20-40	1,89	14,8	<0,3	<2	<20	107	<0,5	22	61	103	<1	1586	<1	23	17	<3	678	65
	99	0-20	2,11	13,4	<0,3	<2	<20	72	<0,5	32	68	90	<1	2670	<1	19	19	<3	576	56
	100	20-40	2,26	14	<0,3	<2	<20	65	<0,5	28	68	85	<1	1809	<1	16	15	<3	598	49
	103	0-20	2,44	11,9	<0,3	<2	<20	278	<0,5	45	80	108	<1	2550	<1	23	16	<3	553	102
	104	20-40	2,72	13	<0,3	<2	<20	189	<0,5	45	80	107	<1	2320	<1	22	17	<3	556	75
107	0-20	1,87	12,7	<0,3	<2	<20	195	<0,5	24	88	77	<1	1455	<1	22	14	<3	617	76	
108	20-40	2,14	12,8	<0,3	<2	<20	149	<0,5	20	82	103	<1	1077	<1	19	14	<3	586	60	

Tabela 16 – Média dos atributos químicos

Uso	AQ ⁽⁴⁾	Compartimento I				Compartimento II				Compartimento III						
		LATOSSOLOS		NITOSSOLOS		LATOSSOLOS		NITOSSOLOS		LATOSSOLOS		NITOSSOLOS				
		Profundidade (cm)														
		0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40			
CDA ⁽¹⁾	pH	H ₂ O	5,8	6,0	5,9	6,0	6,3	6,2	6,2	6,1	5,9	6,2	6,2	6,3		
		KCl	2,9	3,2	3,0	3,2	3,4	3,2	3,3	3,4	4,6	5,1	4,7	5,00		
		Δ pH ⁽⁵⁾	-2,9	-2,8	-2,9	-2,8	-2,9	-3,0	-2,9	-2,7	-1,3	-1,1	-1,5	-1,3		
		MOS ⁽⁶⁾	g.kg ⁻¹		28,7	19,3	24,6	14,3	43,2	19,7	42,9	28,2	18,8	11,2	21,0	11,2
		K ⁺	1,07	0,88	0,86	0,76	0,54	0,11	0,53	0,13	0,06	0,03	0,16	0,04		
		Ca ⁺⁺	5,43	4,50	5,60	4,57	8,90	15,60	8,27	8,97	6,63	6,20	5,83	6,90		
		Mg ⁺⁺	1,73	1,47	2,13	1,70	2,27	1,80	2,50	2,27	2,03	1,90	1,97	1,80		
		Al ³⁺	cmol _c .dm ⁻³		0,23	0,07	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,07	0,03	0,00	
		H ⁺ +Al ³⁺	4,98	3,28	4,97	3,17	3,42	3,10	3,76	3,14	4,15	3,47	4,11	3,69		
		S ⁽⁷⁾	8,23	6,85	8,60	7,03	11,71	17,51	11,30	11,36	8,72	8,13	7,96	8,74		
		CTC ⁽⁸⁾	13,22	10,13	13,57	10,20	15,13	20,60	15,06	14,50	12,88	11,60	12,07	12,43		
		CETC ⁽⁹⁾	g.kg ⁻¹		8,47	6,91	8,73	7,03	11,70	17,50	13,30	11,40	8,79	8,19	7,99	8,74
		V ⁽¹⁰⁾	58,8	66,3	61,2	68,1	77,1	82,0	74,7	78,2	67,7	70,1	66,3	70,2		
	m ⁽¹¹⁾	%		3,9	1,0	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,7	0,4	0,0		
M-S ⁽²⁾	pH	H ₂ O	5,60	5,90	5,60	5,70	6,0	6,3	6,2	6,6	6,4	6,8	6,5	6,4		
		KCl	3	3,2	3	3,1	3,30	3,70	4,00	4,10	5,20	5,20	4,9	5,2		
		Δ pH	-2,6	-2,7	-2,6	-2,6	-2,7	-2,6	-2,2	-2,5	-1,2	-1,6	-1,6	-1,2		
		MOS	g.kg ⁻¹		21,9	13,4	25,1	13,9	30,0	23,7	31,8	15,7	22,4	13,4	21,0	9,8
		K ⁺	0,35	0,18	0,47	0,27	0,24	0,06	0,49	0,19	0,52	0,30	0,38	0,25		
		Ca ⁺⁺	4,97	4,43	5,67	4,37	9,67	8,37	9,50	8,17	6,50	6,10	7,07	7,17		
		Mg ⁺⁺	1,9	1,73	1,63	1,67	2,23	2,47	2,27	2,37	1,93	1,87	1,90	1,87		
		Al ³⁺	cmol _c .dm ⁻³		0,1	0	0,13	0,2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
		H ⁺ +Al ³⁺	4	3,28	4,07	3,03	4,12	3,55	3,71	2,95	3,43	3,15	3,01	3,26		
		S	7,22	6,35	7,77	6,3	12,14	10,90	12,26	10,73	8,96	8,26	9,35	9,28		
		CTC	11,2	9,62	11,8	9,34	16,26	14,44	15,96	13,67	12,39	11,41	12,35	12,54		
		CETC	g.kg ⁻¹		7,32	6,35	7,9	6,5	12,14	10,90	12,26	10,73	8,96	8,26	9,35	9,28
		V	63,7	65,9	64,7	66,5	74,7	74,5	76,3	78,6	71,8	72,2	75,3	74,0		
	m ⁽¹¹⁾	%		1,7	0,0	2,4	3,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
FF ⁽³⁾	pH	H ₂ O	6,7	6,6	6,7	6,5	7,3	6,6	6,6	6,7	6,4	6,6	6,8	6,7		
		KCl	3,8	3,4	3,6	3,40	6,00	6,30	5,30	5,50	5,80	5,40	6,20	5,5		
		Δ pH	-2,9	-3,2	-3,1	-3,1	-1,3	-0,3	-1,3	-1,2	-0,6	-1,2	-0,6	-1,2		
		MOS	g.kg ⁻¹		43,4	17,4	30,9	18,8	36,2	19,7	34,4	15,2	44,7	17,4	39,4	18,8
		K ⁺	0,43	0,19	0,41	0,35	0,48	0,37	0,68	0,49	0,11	0,05	0,25	0,08		
		Ca ⁺⁺	13,10	8,06	10,00	7,36	11,16	16,36	13,06	16,53	9,96	3,83	11,83	7,73		
		Mg ⁺⁺	2,36	1,86	2,50	2,16	2,20	2,26	2,50	2,16	1,96	2,37	2,20	2,23		
		Al ³⁺	cmol _c .dm ⁻³		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,36	
		H ⁺ +Al ³⁺	2,37	2,71	2,69	2,39	2,91	2,87	2,41	3,56	2,39	2,34	3,03	2,42		
		S	15,90	10,12	12,91	9,88	13,85	19,00	16,25	19,19	12,05	6,25	14,28	10,05		
		CTC	18,27	12,84	15,61	12,27	16,76	21,87	18,66	22,75	14,43	8,59	17,31	12,47		
		CETC	g.kg ⁻¹		15,90	10,12	12,91	9,88	13,85	19,00	16,25	19,19	12,04	6,25	14,28	10,41
		V	85,9	76,7	82,7	80,5	82,4	86,6	86,9	83,9	80,8	68,1	80,5	76,6		
	m ⁽¹¹⁾	%		0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,5			

CDA⁽¹⁾: Cana-de-açúcar; M-S⁽²⁾: Milho-Soja; FF⁽³⁾: Fragmento florestal; AQ⁽⁴⁾: Atributos químicos; Δ pH⁽⁵⁾: pH_{KCl} - pH_{H₂O}; MOS⁽⁶⁾: matéria orgânica do solos; S⁽⁷⁾: soma de bases; CTC⁽⁸⁾: capacidade de troca de cátions a pH 7,0; CETC⁽⁹⁾: capacidade efetiva de troca de cátions; V⁽¹⁰⁾: saturação por bases; m⁽¹¹⁾: saturação por alumínio;

5.3 COMPARAÇÃO DOS VALORES ORIENTADORES PROPOSTOS PELO CONAMA COM OS VALORES OBTIDOS NOS SOLOS DO MUNICÍPIO DE BANDEIRANTES NOS PERCENTIS 75 E 90

No caso específico do presente trabalho, optou-se por analisar solos sob fragmentos florestais que a princípio as substâncias químicas estão presentes naturalmente e solos cultivados com cana-de-açúcar e milho/soja que poderiam estar contaminados em função de determinadas práticas agrícolas como calagem, adubação, controle químico de plantas daninhas, etc.

Para analisar as substâncias inorgânicas listadas no anexo B da Resolução nº 460/2013 foi adotada a metodologia reconhecida internacionalmente pela USEPA – 3050B, série SW-846. A extração dessas substâncias foi feita através de água régia.

Segundo a resolução supracitada, os VRQs podem ser definidos a partir dos percentis 75 ou 90. Entretanto a utilização do percentil 75 para definir os VRQs possibilita maior segurança e menor risco à saúde dos animais e das plantas, ou seja, o percentil 90 é mais restritivo para o monitoramento ambiental e torna as plantas e os animais mais susceptíveis às inconveniências das contaminações.

De um modo geral, Sb, As, Cd, Hg, Mo e Ag apresentaram teores abaixo dos limites de detecção do método, tanto nos solos sob fragmentos florestais quanto nos solos cultivados de 0 a 20 cm de profundidade nos três compartimentos; comparando os dados obtidos com os valores orientadores propostos pela Resolução nº 460 do CONAMA, pode-se observar que esses dados estão abaixo dos Valores de Prevenção e de Investigação e, portanto, estes solos não estariam contaminados por aqueles elementos, segundo a referida Resolução (Tabela 17).

Os valores obtidos para o Ba no percentil 75 variaram de 89,5 a 327 mg.kg^{-1} e a percentil 90 foram obtidos valores entre 97 a 360 mg.kg^{-1} ; no geral, os menores valores foram encontrados no compartimento I, tanto nos solos sob fragmentos florestais quanto nos solos cultivados; este fato se deve, provavelmente a diferentes composições dos derrames que o município de Bandeirantes teria sofrido. Em relação aos Valores de Prevenção e Investigação, observa-se em vários pontos da área trabalhada, que os dados obtidos são maiores do que aqueles sugeridos pelo CONAMA (Tabela 17).

Tabela 17 – Comparação dos valores orientadores da qualidade dos solos propostos pelo CONAMA com os valores obtidos em Bandeirantes (0-20 cm) nos percentis 75 e 90

		Sb	As	Ba	Cd	Pb	Co	Cu	Cr	Hg	Mo	Ni	Ag	Se	V	Zn
		mg/kg														
VO ⁽¹⁾	VRQs ⁽²⁾	E ⁽³⁾	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
	VP ⁽⁴⁾	2	15	150	1,3	72	25	60	75	0,5	30	30	2	5	-	300
	VI ⁽⁵⁾	5	35	300	3	180	35	200	150	12	50	70	25	-	-	450
CI ⁽⁶⁾	Lvef-CDA ⁽⁷⁾	<3	<2	168	<0,5	20,5	35,5	111	73,5	<1	<1	21,5	<0,3	-	547	77,5
	Lvef-M/S ⁽⁸⁾	<3	<2	121	<0,5	18	33,5	119	69	<1	<1	19	<0,3	-	511	73
	Lvef-FF ⁽⁹⁾	<3	<2	222	<0,5	14	40,5	112	55,5	<1	<1	22,5	<0,3	-	518	94,5
	Nvef-CDA ⁽¹⁰⁾	<3	<2	90	<0,5	19	29,5	106	49	<1	<1	17	<0,3	-	637	63
	Nvef-M/S ⁽¹¹⁾	<3	<2	110	<0,5	15,5	33	101	33	<1	<1	15	<0,3	-	509	61
	Nvef-FF ⁽¹²⁾	<3	<2	169	<0,5	17	45	115	45	<1	<1	23,5	<0,3	-	524	81
P75 CII ⁽¹³⁾	Lvef-CDA	<3	<2	300	<0,5	17,5	49,5	126	93	<1	<1	24	<0,3	-	630	101
	Lvef-M/S	<3	<2	275	<0,5	15,5	55	160	87,5	<1	<1	28,5	<0,3	-	630	87,5
	Lvef-FF	<3	<2	306	<0,5	16	63	127	82,5	<1	<1	28,5	<0,3	-	599	117
	Nvef-CDA	<3	<2	327	<0,5	16	60	132	104	<1	<1	30,5	<0,3	-	652	114
	Nvef-M/S	<3	<2	283	<0,5	16,5	63	158	85,5	<1	<1	27	<0,3	-	661	109
	Nvef-FF	<3	<2	284	<0,5	14	62	138	71,5	<1	<1	30	<0,3	-	648	114
CIII ⁽¹⁴⁾	Lvef-CDA	<3	<2	190	<0,5	17,5	49,5	114	85,5	<1	<1	24,5	<0,3	-	634	76
	Lvef-M/S	<3	<2	282	<0,5	17	49	121	79,5	<1	<1	26,5	<0,3	-	626	83,5
	Lvef-FF	<3	<2	312	<0,5	17	52	122	93	<1	<1	29,5	<0,3	-	603	103
	Nvef-CDA	<3	<2	258	<0,5	17,5	56,5	127	91	<1	<1	21	<0,3	-	676	104
	Nvef-M/S	<3	<2	286	<0,5	16	72	136	85,3	<1	<1	31,5	<0,3	-	647	89,5
	Nvef-FF	<3	<2	237	<0,5	17,5	38,5	99	84	<1	<1	22,5	<0,3	-	597	89
CI	Lvef-CDA	<3	2	172	<0,5	20,8	38,2	114	74,4	<1	<1	21,8	<0,3	-	555	79
	Lvef-M/S	<3	2	126	<0,5	18,6	39,8	143	69,6	<1	<1	19	<0,3	-	523	78,4
	Lvef-FF	<3	<2	262	<0,5	14,6	42	132	64,2	<1	<1	22,8	<0,3	-	573	102
	Nvef-CDA	<3	<3	97	<0,5	19,6	31,6	115	49,6	<1	<1	20	<0,3	-	646	66,6
	Nvef-M/S	<3	<2	140	<0,5	15,8	40,2	105	65,8	<1	<1	18	<0,3	-	523	67,6
	Nvef-FF	<3	3	172	<0,5	18,2	47,4	126	74,4	<1	<1	23,8	<0,3	-	560	81
P90 CII	Lvef-CDA	<3	2	303	<0,5	18,4	50,4	131	94,2	<1	<1	24	<0,3	-	639	106
	Lvef-M/S	<3	2,9	306	<0,5	16	56,8	176	79,4	<1	<1	26,6	<0,3	-	639	106
	Lvef-FF	<3	<2	311	<0,5	16,6	66	128	88,8	<1	<1	29,4	<0,3	-	601	118
	Nvef-CDA	<3	<2	341	<0,5	16,6	60	133	107	<1	<1	33,2	<0,3	-	665	115
	Nvef-M/S	<3	2	288	<0,5	16,8	65,4	180	88,2	<1	<1	28,2	<0,3	-	700	110
	Nvef-FF	<3	<2	287	<0,5	14,6	65	144	82,6	<1	<1	30,6	<0,3	-	668	114
CIII	Lvef-CDA	<3	3,8	191	<0,5	17,8	51,6	115	87,8	<1	<1	24,8	<0,3	-	636	77,2
	Lvef-M/S	<3	3	360	<0,5	17	56,8	132	81,6	<1	<1	28,6	<0,3	-	633	92,8
	Lvef-FF	<3	3	345	<0,5	17,6	58,6	124	96,6	<1	<1	32,2	<0,3	-	611	110
	Nvef-CDA	<3	3,9	266	<0,5	17,8	56,8	129	95,8	<1	<1	27	<0,3	-	700	108
	Nvef-M/S	<3	2	296	<0,5	16	80,4	145	88,6	<1	<1	36,6	<0,3	-	665	90,4
	Nvef-FF	<3	3,7	357	<0,5	17,8	58,2	131	96,4	<1	<1	31,5	<0,3	-	687	109

VO⁽¹⁾: Valores Orientadores Propostos pelo CONAMA; VRQs⁽²⁾: Valor de Referência de Qualidade do Solo; E⁽³⁾: A ser definido pelo estado do Paraná; VP⁽⁴⁾: Valor de Prevenção; VI⁽⁵⁾: Valor de Investigação; CI⁽⁶⁾: Compartimento I; Lvef-CDA⁽⁷⁾: Latossolo Vermelho Eutroférico - Cana-de-açúcar; Lvef-M/S⁽⁸⁾: Latossolo Vermelho Eutroférico - Milho/Soja; Lvef-FF⁽⁹⁾: Latossolo Vermelho Eutroférico - Fragmento de Floresta; Nvef-CDA⁽¹⁰⁾: Nitossolo Vermelho Eutroférico - Cana-de-açúcar; Nvef-M/S⁽¹¹⁾: Nitossolo Vermelho Eutroférico - Milho/Soja; Nvef-FF⁽¹²⁾: Nitossolo Vermelho Eutroférico - Fragmento de Floresta; CII⁽¹³⁾: Compartimento II; CIII⁽¹⁴⁾: Compartimento III; Vermelho: valores orientadores iguais ou maiores que os valores de investigação sugeridos pelo CONAMA; Azul: valores orientadores iguais ou maiores que os valores de prevenção sugeridos pelo CONAMA;

Para o Pb, foram obtidos valores no percentil 75 entre 14 a 20,5 e no percentil 90 entre 14,6 a 20,8 mg.kg⁻¹; em ambos os casos, esses valores estão abaixo dos Valores de Prevenção e Investigação preconizados pelo CONAMA (Tabela 17).

Os valores obtidos para o Co no percentil 75, tanto nos fragmentos florestais quanto nos solos cultivados, foram maiores que os Valores de Investigação sugeridos pelo CONAMA; provavelmente, isto se deva ao material de origem e não por atividades antrópicas que poderiam estar contaminando esses solos (Tabela 17).

O CONAMA preconiza que os valores de prevenção e investigação para o Cu seja de 60 e 200 mg.kg⁻¹, respectivamente; todos os dados obtidos nos fragmentos florestais e nos solos cultivados analisados são superiores àqueles sugeridos pelo CONAMA (Tabela 17).

Os dados obtidos para o Cr variaram de 33 a 104 mg.kg⁻¹ no percentil 75 e de 49,6 a 107 no percentil 90; de um modo geral, os maiores valores para o Cr foram encontrados nos compartimentos II e III tanto nos fragmentos florestais quanto nos solos cultivados, que aliás, são superiores ao valor de prevenção preconizado pelo CONAMA que é de 75 mg.kg⁻¹ (Tabela 17).

De um modo geral, os dados obtidos para o Ni e o Zn são inferiores aos valores de prevenção propostos pelo CONAMA (Tabela 17).

Comparativamente, os teores obtidos para o vanádio (V) foram superiores aos demais elementos (Tabela 17). Entretanto, segundo o CONAMA, o V não é considerado contaminante dos solos (ANEXO A).

5.4 COMPARAÇÕES ENTRE LATOSSOLOS E NITOSSOLOS

A partir dos dados obtidos nas amostras de solos (Tabelas 10 a 15) e utilizando-se do programa *SigmaPlot 11*, mais precisamente do teste de *Student*, foi possível comparar atributos químicos dos solos pesquisados nos diferentes compartimentos e sob diferentes usos (Tabela 18). Deve ser destacado que a MOS e a saturação por bases foram obtidas segundo método preconizado pela EMBRAPA, enquanto os metais seguiu-se metodologia 3050B da USEPA.

As plantas são as principais fontes de matéria orgânica, quer pela deposição dos ramos e folhas, quer pela contribuição oferecida pelas raízes; de um modo geral, os solos presentes nos fragmentos florestais apresentaram maiores

teores de matéria orgânica quando comparados aos solos sob cultivos de cana-de-açúcar e milho-soja; as médias dos teores de matéria orgânica nos Latossolos e Nitossolos da camada superficial (0-20 cm) foram 32,29 e 29,60 g.kg⁻¹, respectivamente (p=0,37), portanto uma diferença estatística não significativa. Na camada subsuperficial (20-40 cm), o teor médio da matéria orgânica nos Latossolos foi 15,76 g.kg⁻¹, enquanto que nos Nitossolos foi 17,45 g.kg⁻¹ resultando um valor da probabilidade no teste t de 0,45, portanto uma diferença não significativa (Tabela 18).

Tabela 18 – Comparação entre Latossolos e Nitossolos em diferentes profundidades (0-20 cm e 20-40 cm) nos compartimentos e sob diferentes usos

	Média ⁽¹⁴⁾			Média ⁽¹⁴⁾		
	Latossolos (0-20cm)	Nitossolos (0-20cm)	P	Latossolos (20-40cm)	Nitossolos (20-40cm)	P
MOS⁽¹⁾ (g.kg ⁻¹)	32,29 ± 2,44	29,60 ± 2,16	0,37	15,76 ± 1,35	17,45 ± 1,11	0,45
Sat. bases⁽²⁾ (%)	73,40 ± 2,52	74,77 ± 2,16	0,64	73,80 ± 1,59	77,16 ± 1,32	0,35
Al⁽³⁾ (%)	2,08 ± 0,08	2,16 ± 0,08	0,41	2,36 ± 0,09	2,46 ± 0,09	0,30
Ba⁽⁴⁾ (mg.kg ⁻¹)	197,04 ± 16,87	202,00 ± 19,49	0,78	139,48 ± 10,82	159,70 ± 14,14	0,41
Co⁽⁵⁾ (mg.kg ⁻¹)	42,56 ± 3,35	42,82 ± 3,30	0,82	36,37 ± 2,74	37,22 ± 2,78	0,77
Cr⁽⁶⁾ (mg.kg ⁻¹)	70,26 ± 4,11	71,07 ± 4,50	0,81	64,15 ± 3,78	66,30 ± 4,11	0,92
Cu⁽⁷⁾ (mg.kg ⁻¹)	110,89 ± 5,33	110,81 ± 5,36	0,65	109,30 ± 5,52	105,07 ± 5,10	0,38
Fe⁽⁸⁾ (%)	12,86 ± 0,29	12,75 ± 0,39	0,84	12,96 ± 0,22	12,62 ± 0,30	0,78
Mn⁽⁹⁾ (mg.kg ⁻¹)	2274,96 ± 144,56	2414,85 ± 161,13	0,59	1970,15 ± 103,40	1772,85 ± 124,18	0,72
Ni⁽¹⁰⁾ (mg.kg ⁻¹)	22,70 ± 1,07	23,56 ± 1,19	0,76	19,30 ± 0,89	19,93 ± 1,03	0,78
Pb⁽¹¹⁾ (mg.kg ⁻¹)	16,04 ± 0,45	16,00 ± 0,38	0,85	15,15 ± 0,42	15,15 ± 0,42	0,62
V⁽¹²⁾ (mg.kg ⁻¹)	572,00 ± 15,49	568,96 ± 17,00	0,63	559,78 ± 13,86	541,67 ± 14,84	0,48
Zn⁽¹³⁾ (mg.kg ⁻¹)	82,30 ± 4,21	84,07 ± 4,27	0,93	64,07 ± 2,93	66,52 ± 3,44	0,94

p ≤ 0,05; MOS⁽¹⁾: matéria orgânica do solo; Sat. bases⁽²⁾: saturação por bases; Al⁽³⁾: alumínio; Ba⁽⁴⁾: bário; Co⁽⁵⁾: cobalto; Cr⁽⁶⁾: cromo; Fe⁽⁸⁾: ferro; Mn⁽⁹⁾: manganês; Ni⁽¹⁰⁾: níquel; Pb⁽¹¹⁾: chumbo; V⁽¹²⁾: vanádio; Zn⁽¹³⁾: zinco; Média⁽¹⁴⁾: dados expressos como média aritmética de 27 amostras de solo ± erro padrão.

A percentagem de saturação por bases ou pelos cátions trocáveis Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺ é considerada um importante fator na produtividade e indicador da fertilidade de um solo; geralmente, solos com maiores percentagens de saturação por bases são mais férteis. Os cátions trocáveis geralmente estão disponíveis tanto para as plantas como para os micro-organismos. Os Latossolos estudados no presente trabalho apresentaram média de 73,40% em saturação por bases na camada superficial (0-20 cm), enquanto que os Nitossolos 74,77%; estatisticamente, essa diferença não é significativa (p=0,64); as médias das saturações por bases na camada subsuperficial (20-40 cm) obtidas para os Latossolos e Nitossolos foram

73,80% e 77,16%, respectivamente, que da mesma forma apresentada na camada superficial ($p=0,35$), essa diferença não é significativa (Tabela 18).

O conhecimento do teor de Alumínio nos solos, apesar deste elemento não ser diretamente referenciado na legislação ambiental do CONAMA que trata dos VRQs, apresenta interesse agrícola, sendo o metal mais abundante na crosta terrestre. De um modo geral, a região estudada não apresentou Alumínio trocável que é tóxico para as plantas (Tabelas 10, 12 e 14); entretanto, foi constatada a presença do mesmo quando a extração foi realizada com água régia: provavelmente, trata-se de Al presente na gibbsita $\{Al(OH)_3\}$ e/ou nos outros óxidos e hidróxidos de Al presentes na fração argila desses solos. Embora, os teores do Al extraídos por HNO_3 e HCl tenham aumentado em profundidade nos Latossolos e nos Nitossolos, as diferenças estatísticas não foram significativas na mesma camada e os valores da probabilidade no teste t foram 0,41 na camada superficial e 0,30 na camada subsuperficial (Tabela 18).

Diferente do Al, o teor de Ba diminuiu em profundidade, tanto nos Latossolos quanto nos Nitossolos; provavelmente, o Ba esteja complexado com a matéria orgânica e/ou adsorvido às cargas elétricas negativas das argilas, sendo constituinte do complexo coloidal dos solos. Estatisticamente, as diferenças nas médias dos teores de Ba nas camadas superficial e subsuperficial dos Latossolos e dos Nitossolos não foram significativas, pois os valores da probabilidade no teste t foram 0,78 e 0,41, respectivamente (Tabela 18).

O teor de cobalto, tal como o bário, diminuiu em profundidade. Os valores da probabilidade no teste t para os Latossolos e Nitossolos nas camadas superficial e subsuperficial são 0,82 e 0,77, respectivamente, não apresentando diferença significativa (Tabela 18).

Os teores médios do cromo extraídos por HNO_3 e HCl nos Latossolos e Nitossolos na camada superficial foram 70,26 e 71,07 $mg.kg^{-1}$, respectivamente, apresentando $p=0,81$, portanto, diferença não significativa; o teor médio de cromo na camada subsuperficial ficou ao redor de 65 $mg.kg^{-1}$, tanto nos Latossolos quanto nos Nitossolos ($p=0,92$), não apresentando diferença significativa.

Os valores da probabilidade do teste t na camada superficial (0-20 cm) e subsuperficial (20-40 cm) envolvendo os teores médios do Cu nos Latossolos e Nitossolos foram 0,65 e 0,38, respectivamente, portanto, diferenças não significativas.

Assim como o alumínio, o ferro e o manganês não são elementos diretamente referenciados na legislação ambiental do CONAMA que trata dos VRQs. Entretanto, o Fe e o Mn são micronutrientes vegetais e a presença destes como constituintes principais de rochas magmáticas faz com que tenham importância nos estudos geoquímicos, indicando indiretamente associação com outros metais pesados. Tanto o Fe quanto o Mn não apresentaram diferenças significativas nas camadas superficial e subsuperficial constituídas por Lato e Nitossolos (Tabela 18).

Os valores da probabilidade do teste t para os teores médios de Ni nas camadas superficial e subsuperficial são 0,76 e 0,78, respectivamente, indicando que, estatisticamente, as diferenças nos teores de Ni entre os Latossolos e Nitossolos da região de Bandeirantes não são significativas, pelo menos até 40cm (Tabela 18).

O teor médio de Pb nos Latossolos e nos Nitossolos, tanto na camada superficial quanto na camada subsuperficial, é de aproximadamente $15,5 \text{ mg.kg}^{-1}$, resultando $p=0,85$ e $0,62$ nas camadas superficial e subsuperficial, respectivamente, sugerindo que a diferença não é significativa (Tabela 18).

Os maiores teores obtidos entre os elementos-traços figuram o manganês e a seguir vem o Vanádio; tal como o alumínio, ferro e manganês, o vanádio não é referenciado na legislação ambiental do CONAMA que trata os VRQs. Os teores médios de V na camada superficial constituída por Latossolos e Nitossolos são $572,00$ e $568,96 \text{ g.kg}^{-1}$, respectivamente; na camada subsuperficial, os teores médios são $559,78$ e $541,67 \text{ g.kg}^{-1}$. Os valores da probabilidade no teste t para os teores de V são $0,63$ e $0,48$, respectivamente, indicando diferenças não significativas (Tabela 18).

Os teores médios de zinco diminuem em profundidade, pelo menos até 40 cm, tal qual a maioria dos elementos químicos analisados até então. Os maiores valores da probabilidade do teste t ($p=0,93$ e $0,94$) foram obtidos utilizando-se dos teores de Zn nas camadas superficial e subsuperficial compostas por Latossolos e Nitossolos, sugerindo que as diferenças não são significativas (Tabela 18).

Sendo assim, as análises químicas efetuadas no presente trabalho demonstraram que os Latossolos não diferenciaram estatisticamente dos Nitossolos até a profundidade de 40 cm (Tabela 18).

5.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA VISANDO ESTABELECEER CORRELAÇÕES

Sabe-se que uma perfeita correlação entre duas variáveis deve possuir um coeficiente de correlação igual a 1 (correlação direta) ou -1 (correlação inversa). Os valores de tal coeficiente foram classificadas (SHARP, sd, 196p) como: a) extra-alto: se $+0,80 < r \leq +1$ ou $-0,80 > r \geq -1,0$, b) alto: se $+0,60 < r \leq +0,80$ ou $-0,60 > r \geq -0,80$, c) moderado: se $+0,40 < r \leq +0,60$ ou $-0,40 > r \geq -0,60$, d) baixo: se $+0,20 < r \leq +0,40$ ou $-0,20 > r \geq -0,40$ e e) nulo: se $0 < r \leq +0,20$ ou $0 > r \geq -0,20$.

Dancey e Reidy (2006) apontam para uma classificação ligeiramente diferente: $r = 0,10$ até $0,39$ (fraco); $r = 0,40$ até $0,69$ (moderado); $r = 0,70$ até 1 (forte).

Com base nos dados obtidos nas análises desenvolvidas (Tabelas 10 a 15) foi possível determinar as correlações lineares (r) de Pearson (Tabela 19) e as regressões lineares que apresentaram correlações fortes (Figura 20 a 23). Para tanto foi utilizado o programa *SigmaPlot 11*.

O somatório dos cátions básicos (S), a capacidade de troca catiônica total e efetiva, a saturação por bases (V%) e a matéria orgânica dos solos (MOS) apresentam correlações diretas moderadas a forte entre si, segundo Dancey e Reidy (2006). De um modo geral, estas correlações são mais significativas na camada superficial (0-20 cm) do que na camada subsuperficial (20-40 cm), provavelmente em função dos próprios conceitos desses parâmetros apresentados por Brady e Weil (2013) e Lepsch (2011).

O somatório dos cátions básicos trocáveis ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+$) é representado por S; a CTC indica a soma total das cargas negativas que pode adsorver cátions a um dado pH (que no Brasil geralmente é 7,0), a qual é calculada pelo somatório de S acrescido dos cátions $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$; a CETC indica as cargas negativas com capacidade efetiva de adsorver e trocar cátions ao pH do solo e que pode ser calculado pelo somatório do valor $\text{S} + \text{Al}^{3+}$, ou ainda pela diferença da CTC – H^+ . A saturação por bases (V%), por sua vez, é a relação entre o somatório do valor S e o total de cátions do solo (básicos e ácidos), expressa em porcentagem, que indica o quanto a CTC está tomada pelos cátions básicos. Superficial. Assim, quanto maior o valor S, mais elevados, logicamente, serão os valores da CTC, CETC e a saturação por bases, corroborando com as reportadas correlações encontradas.

Por outro lado, Raij (1967), estudando 22 perfis de solos do Estado de São Paulo, concluiu que a matéria orgânica contribui com cerca de 71% da CTC total para as amostras superficial; portanto, embora as correlações com a MOS não foram fortes, não se pode desprezar a participação da mesma nessas correlações.

Tabela 19 – Coeficientes de correlação linear de Pearson (r) entre teores de metais e propriedades dos solos nas camadas superficial e subsuperficial dos solos de Bandeirantes-PR

	MOS	S	CETC	CTC	V (%)	Al	Ba	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	V	Zn
Camada superficial (0-20cm)																
MOS	1,00															
S	0,60	1,00														
CETC	0,60	0,77	1,00													
CTC	0,59	0,75	0,97	1,00												
V (%)	0,55	0,75	0,88	0,79	1,00											
Metals																
Al	0,30	0,22	0,21	0,19	0,23	1,00										
Ba	0,37	0,35	0,53	0,52	0,51	0,40	1,00									
Co	0,16	0,28	0,41	0,42	0,35	0,37	0,79	1,00								
Cr	0,17	-0,03	0,08	0,04	0,19	0,44	0,56	0,35	1,00							
Cu	0,10	0,22	0,28	0,31	0,20	0,34	0,53	0,80	-0,05	1,00						
Fe	0,03	-0,13	-0,05	-0,05	-0,02	0,61	0,33	0,46	0,41	0,46	1,00					
Mn	0,03	-0,09	0,12	0,11	0,15	0,14	0,57	0,65	0,49	0,36	0,47	1,00				
Ni	0,16	0,24	0,45	0,43	0,45	0,29	0,79	0,82	0,50	0,59	0,47	0,75	1,00			
Pb	-0,10	-0,46	-0,49	-0,46	-0,46	-0,03	-0,26	-0,33	0,16	-0,37	0,28	0,13	-0,20	1,00		
V	-0,03	0,03	0,13	0,12	0,14	0,57	0,39	0,54	0,33	0,55	0,88	0,46	0,63	0,08	1,00	
Zn	0,40	0,43	0,61	0,61	0,52	0,35	0,85	0,78	0,41	0,61	0,31	0,50	0,78	-0,33	0,45	1,00
Camada subsuperficial (20-40cm)																
MOS	1,00															
S	0,41	1,00														
CETC	0,49	0,62	1,00													
CTC	0,45	0,63	0,97	1,00												
V (%)	0,44	0,47	0,81	0,72	1,00											
Metals																
Al	0,36	0,38	0,39	0,38	0,48	1,00										
Ba	0,43	0,51	0,70	0,72	0,60	0,58	1,00									
Co	0,29	0,54	0,62	0,66	0,52	0,44	0,75	1,00								
Cr	0,23	0,13	0,06	0,06	0,20	0,22	0,40	0,35	1,00							
Cu	0,17	0,38	0,54	0,59	0,38	0,36	0,54	0,72	-0,18	1,00						
Fe	0,00	0,05	-0,01	0,02	0,08	0,49	0,21	0,35	0,22	0,30	1,00					
Mn	0,13	0,18	0,27	0,29	0,22	0,07	0,48	0,68	0,42	0,34	0,43	1,00				
Ni	0,39	0,47	0,66	0,68	0,59	0,50	0,80	0,80	0,44	0,60	0,44	0,66	1,00			
Pb	0,09	-0,32	-0,38	-0,39	-0,29	0,02	-0,14	-0,24	0,13	-0,32	0,42	0,22	0,03	1,00		
V	0,04	0,23	0,20	0,25	0,19	0,37	0,25	0,44	0,10	0,44	0,83	0,51	0,56	0,31	1,00	
Zn	0,37	0,56	0,73	0,77	0,61	0,45	0,81	0,80	0,32	0,68	0,26	0,55	0,87	-0,18	0,41	1,00

Valores das correlações para $p \leq 0,05$

A correlação direta forte entre CTC e CETC também era esperada, pois ambos parâmetros são formados pelas cargas negativas dos colóides do solo. A diferença entre eles reside no fato da CTC considerar, ainda, as cargas negativas que podem surgir com a dissociação do H^+ quando o pH da solução do solo for tamponado ao valor 7,0 (CTC à pH 7,0), o que é conseguido utilizando na determinação a amônia como cátion saturante, conforme Brady e Weil (2013). Assim, havendo correlação positiva entre S e CTC e entre S e CETC, logo não há como não haver correlação positiva entre CTC e CETC (Tabela 19).

A correlação direta forte entre CTC e a saturação por bases, por sua vez, também era esperada, uma vez que o aumento da CTC implica em maior resistência às perdas de bases trocáveis pelo processo de lixiviação e conseqüentemente aumento na adsorção desses cátions. Por sua vez, a forte correlação encontrada entre CETC e a saturação por bases (V%) da mesma forma era a esperada (Tabela 19). Isso porque, por um lado, o aumento do V% implica em aumento do pH, dado que há uma estreita correlação entre V% e pH (MOTTA; MELO, 2009; LEPSCH, 2011) e, por outro, a elevação do pH causa a desprotonação (dissociação do H^+) e o aparecimento de cargas negativas livres nos coloides orgânicos e inorgânicos, o que implica em aumento da CETC (QUAGGIO, 2000; ALLEONI et al., 2009).

Houve correlações direta forte entre CTC-Ba e CETC-Ba. Assim, considerando que o aumento da CTC e CETC pressupõe o aumento da MOS e que, segundo Amaral Sobrinho et al. (2009), a MOS pode reter metais pesados em material orgânico insolúvel, logo se explica a correlação encontrada entre Ba-Co, Ba-Ni e Ba-Zn (Tabela 19).

As correlações diretas fortes entre Co-Cu, Co-Ni e Co-Zn, possivelmente, possam ter como uma das causas, o fato de outros cátions metálicos com diâmetro iônico similar ao do Fe^{3+} (Al, Ni, Ti, Mn, Co, Cr, Cu, Zn e V) poderem, conforme Kämpf et al. (2012), substituir o íon Fe na estrutura de vários óxidos de ferro. Assim, havendo aumento de Co é perfeitamente provável que também haja aumento dos demais íons citados, vez que estes também podem estabelecer substituição isomórfica com o Fe^{3+} , como é o caso do Cu, Ni e Zn, o que explicam as citadas correlações (Tabela 19).

Outra causa, possivelmente, seja devida ao fato dos minerais ferrimagnéticos, segundo Curi e Franzmeier (1987), serem capazes de reter quantidades consideráveis de Mn, Cr, V, Ni, Cu e Zn. Assim, considerando que a

maghemita, conforme Costa et al. (1999), pode constituir até 40% dos óxidos de ferro presentes na fração argila de solos formados a partir de rochas vulcânicas, altamente intemperizados e com boas condições de drenagem, logo se conclui que em havendo aumento de Co, substituindo o íon Fe na estrutura de vários óxidos de ferro, é perfeitamente provável que também possa haver aumento de Cu, Ni e Zn, que integram o rol dos metais pesados que podem ser retidos pelos minerais ferrimagnéticos, como de fato se constatou na correlação obtida (Tabela 19).

A correlação direta forte entre Fe-V, possivelmente possa ter como uma das causas o fato de V possuir diâmetro iônico similar ao do Fe^{3+} , podendo substituí-lo na estrutura de vários óxidos de ferro, conforme Kämpf et al. (2012). Assim, havendo aumento no teor óxido de ferro e conseqüentemente de Fe, é perfeitamente provável que também haja aumento de V, por substituição isomórfica, o que pode explicar a forte correlação. Outra causa, conforme aventado, é a possibilidade de grande percentagem de maghemita entre os óxidos de ferro, retendo consideráveis teores de V, reforçando a correlação Fe-V (Tabela 19).

A correlação direta forte entre Ni-Zn pode ser explicada na medida que houve forte correlação entre Co e Zn e também entre Co e Ni. Logo, era de se esperar a correlação positiva encontrada entre Ni e Zn (Tabela 19).

A correlação direta forte entre Ni-Mn na camada subsuperficial (20-40cm), a exemplo do que foi dito para as correlações entre Co-Cu, Co-Ni e Co-Zn, possivelmente possa ter como uma das causas o fato de tanto o Ni como o Mn poderem substituir o Fe na estrutura de vários óxidos de ferro, conforme Kämpf et al. (2012). Assim, havendo aumento de Ni é perfeitamente provável que também haja aumento no teor de Mn, o que explica a citada correlação. Outra causa possível é atribuída ao fato dos minerais ferrimagnéticos, principalmente maghemita, ser capaz, conforme Curi e Franzmeier (1987), de reter quantidades consideráveis tanto de Mn como de Ni, além de outros metais pesados, o que também explica a citada correlação (Tabela 19).

A correlação direta forte entre CTC-CETC na camada subsuperficial (20-40 cm), também era esperada, apesar de nesta camada ser constatado correlação direta moderada entre CETC-S e entre CTC-S (Tabela 19). Ocorre que não há como CTC aumentar sem que também aumente a CETC, pois com exceção das cargas negativas bloqueadas com o H^+ , que podem se dissociar com a elevação do valor

pH, todas as cargas restantes que compõem a CTC também compõem a CETC, conforme pode-se deduzir à partir do magistério de Brady e Weil (2013).

As correlações diretas forte encontradas entre CETC-V% e CTC-V%, da mesma forma, também eram esperadas na camada subsuperficial, exatamente em razão do mesmo motivo aventado para a camada sobrejacente (Tabela 19).

A correlação direta forte entre CTC-Ba, bem como entre CETC-Ba na camada subsuperficial, possivelmente possam ser explicadas pelo fato da CETC e CTC poderem ser aumentadas em função da elevação do teor de MOS. Ocorre que havendo elevação da CTC e CETC, a adsorção de cátions é favorecida pela maior densidade de cargas superficiais; isto diminui as perdas por lixiviação, aumentando o teor de Ba e bem assim as correlações entre CTC-Ba e Ba-CETC (Tabela 19).

As correlações diretas forte encontradas entre CETC-Zn e CTC-Zn, possivelmente possam ser explicadas em razão do método utilizado para extração do Zn, que foi a água régia, que não é seletiva, extraíndo Zn, Fe, Cu e Mn presos na MOS que estão formando complexos organo-metálicos chamados quelatos (Tabela 19).

Assim, quanto mais MOS, obviamente maior a extração de Zn e, por outro lado, quanto mais MOS mais CETC e CTC, dado a elevada CTC do húmus. Dessa forma seriam esperadas correlações diretas entre CETC-Zn, bem como CTC-Zn, como de fato foram observadas (Tabela 19).

Houve correlações diretas forte entre CTC-Ba e CETC-Ba na camada subsuperficial. Assim, considerando que o aumento da CTC e CETC pressupõe o aumento da MOS e que, segundo Amaral Sobrinho et al. (2009), a MOS pode reter metais pesados em material orgânico insolúvel, logo se explica a correlação encontrada entre Ba-Co e Ni-Zn (Tabela 19).

As correlações diretas forte entre Co-Cu, Co-Ni e Co-Zn na camada subsuperficial, possivelmente, possam ter como uma das causas o fato de outros cátions metálicos com diâmetro iônico similar ao do Fe^{3+} (Al, Ni, Ti, Mn, Co, Cr, Cu, Zn e V) poderem, conforme Kämpf et al. (2012), substituírem o íon Fe na estrutura de vários óxidos de ferro. Assim, havendo aumento de Co, é perfeitamente provável que também haja aumento dos demais íons que, da mesma forma, podem estabelecer substituição isomórfica com o Fe^{3+} , como é o caso do Cu, Ni e Zn, o que explicam as citadas correlações (Tabela 19).

Outra causa, possivelmente seja devida ao fato dos minerais ferrimagnéticos, segundo Curi e Franzmeier (1987), serem capazes de reter, conforme já reportado, quantidades consideráveis de Ni, Cu e Zn, entre outros metais pesados. Assim, um maior teor de Co pode significar um maior teor de minerais ferrimagnéticos e assim maior teor de Ni, Cu e Zn, explicando as fortes correlações encontradas (Tabela 19).

A correlação direta forte entre Fe-V, possivelmente possa ter como uma das causas o fato de V possuir diâmetro iônico similar ao do Fe^{3+} podendo substituí-lo na estrutura de vários óxidos de ferro, conforme Kämpf et al. (2012). Assim, havendo aumento no teor óxido de ferro e conseqüentemente de Fe^{3+} é perfeitamente provável que também haja aumento de V, por substituição isomórfica, o que pode explicar a forte correlação (Tabela 19).

Outra causa possível é atribuída ao fato dos minerais ferrimagnéticos, principalmente maghemita, ser capaz, conforme Curi e Franzmeier (1987), de reter quantidades consideráveis de V, além de outros metais pesados, o que também explica a citada correlação (Tabela 19).

A correlação direta forte entre Ni-Zn, pode ser explicada na medida em que houve forte correlação entre Co-Zn e também entre Co-Ni. Logo, era de se esperar a correlação encontrada entre Ni-Zn, pois ambos estão correlacionados com o aumento de Co (Tabela 19).

A correlação direta forte entre Ni-Zn, a exemplo do que foi dito para as correlações entre Co-Cu, Co-Ni e Co-Zn, possivelmente possa ter como uma das causas o fato de tanto o Ni como o Zn poderem substituir o Fe na estrutura de vários óxidos de ferro, conforme Kämpf et al. (2012). Assim, havendo aumento de Ni, é perfeitamente provável que também haja aumento no teor de Zn, o que explica a citada correlação. Outra causa possível é atribuída ao fato dos minerais ferrimagnéticos, principalmente maghemita, ser capaz, conforme Curi e Franzmeier (1987), de reter quantidades consideráveis tanto de Zn como de Ni, além de outros metais pesados, o que também explica a citada correlação (Tabela 19).

A partir das correlações diretas forte obtidas, foi possível determinar as equações de regressão linear e grafar as respectivas retas para os pares de elementos e/ou atributos, possibilitando assim calcular o coeficiente de determinação (R). Essas equações possibilitam determinar, de uma forma

aproximada, valores ou teores para outras situações similares tendo-se em mãos um dos fatores devidamente determinado (Figuras 20 a 23; Tabela 20).

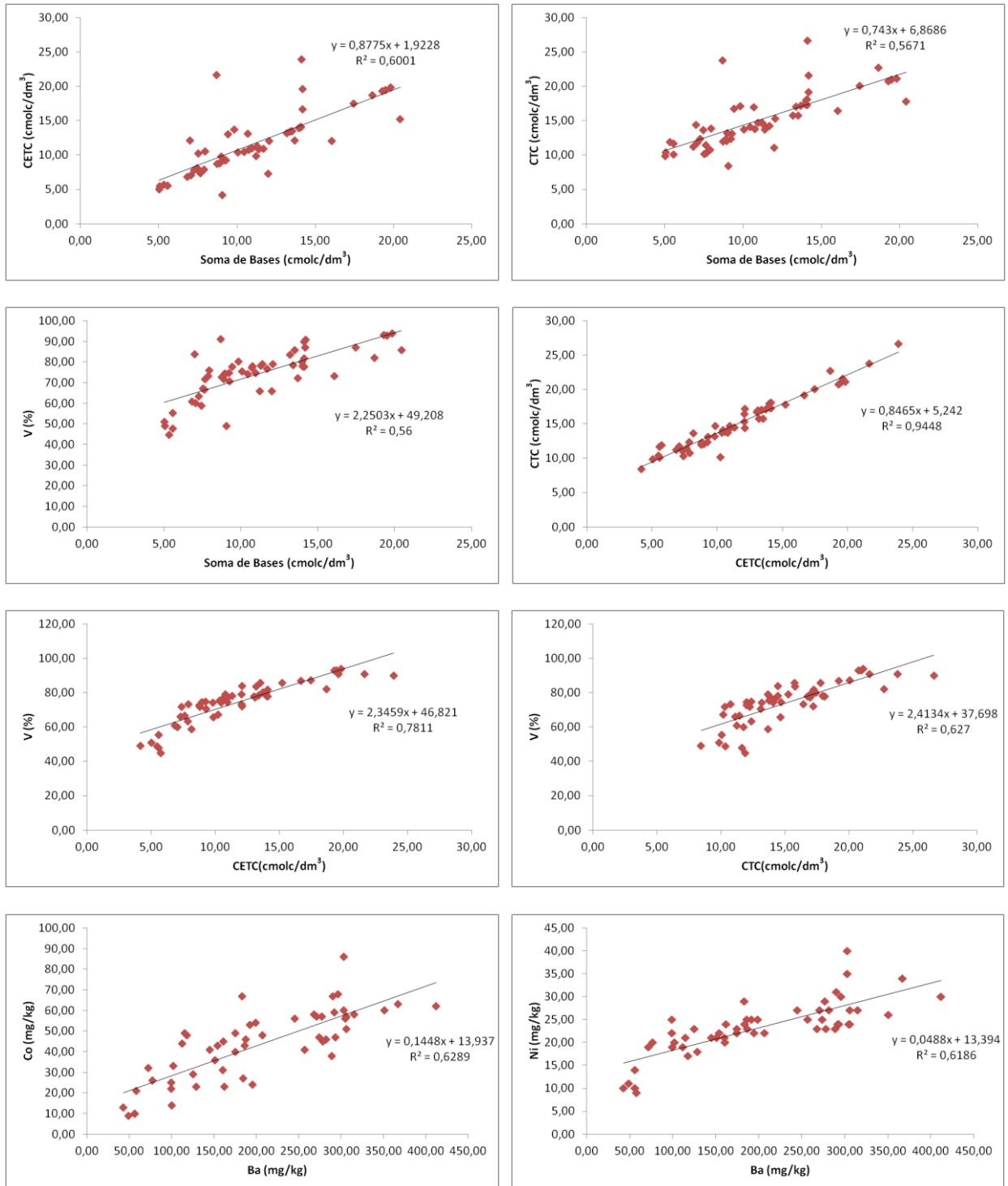


Figura 20 – Regressão linear entre vários atributos químicos e determinação do R² (0-20 cm)

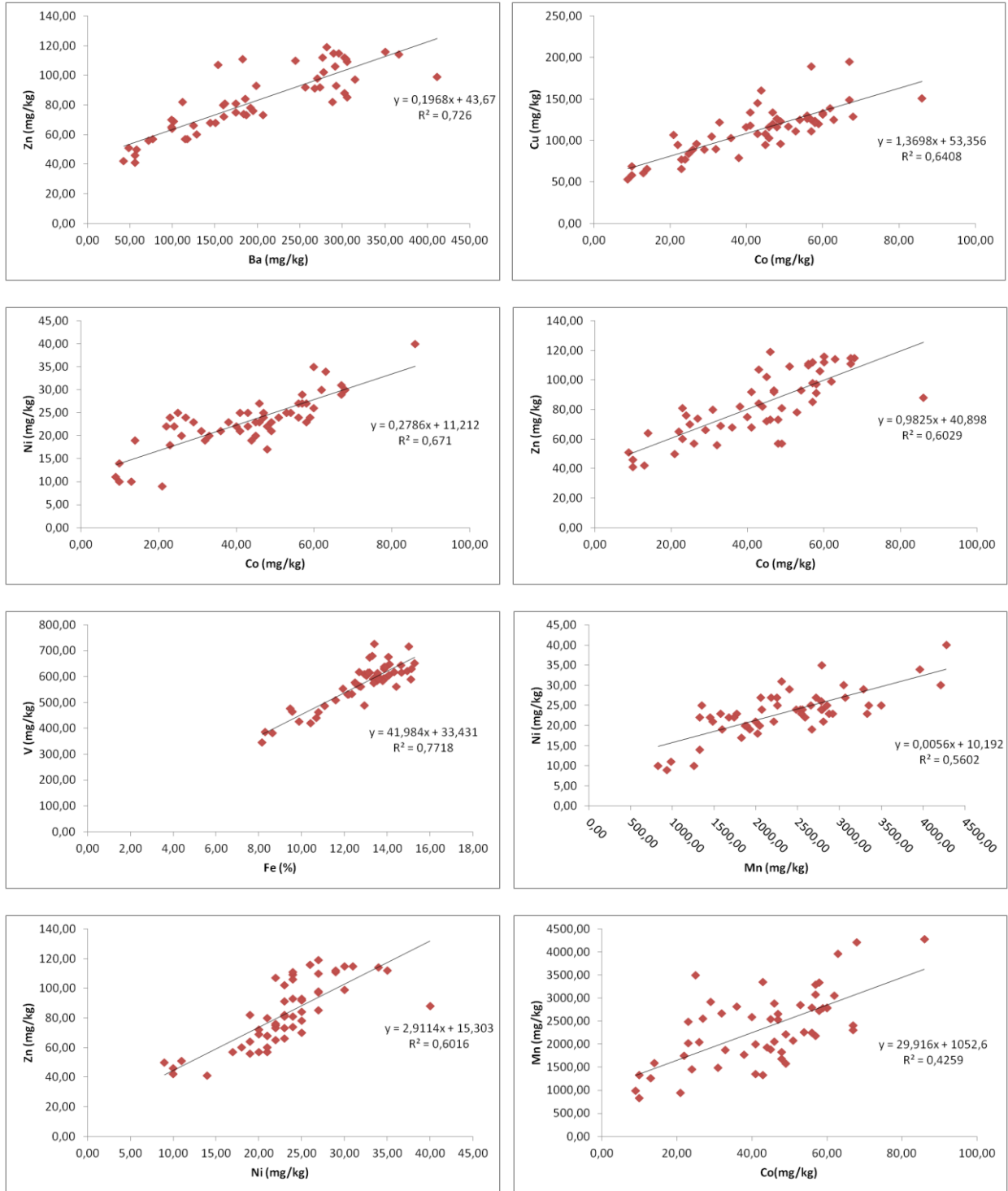


Figura 21 – Regressão linear entre vários atributos químicos e determinação do R^2 (0-20 cm)

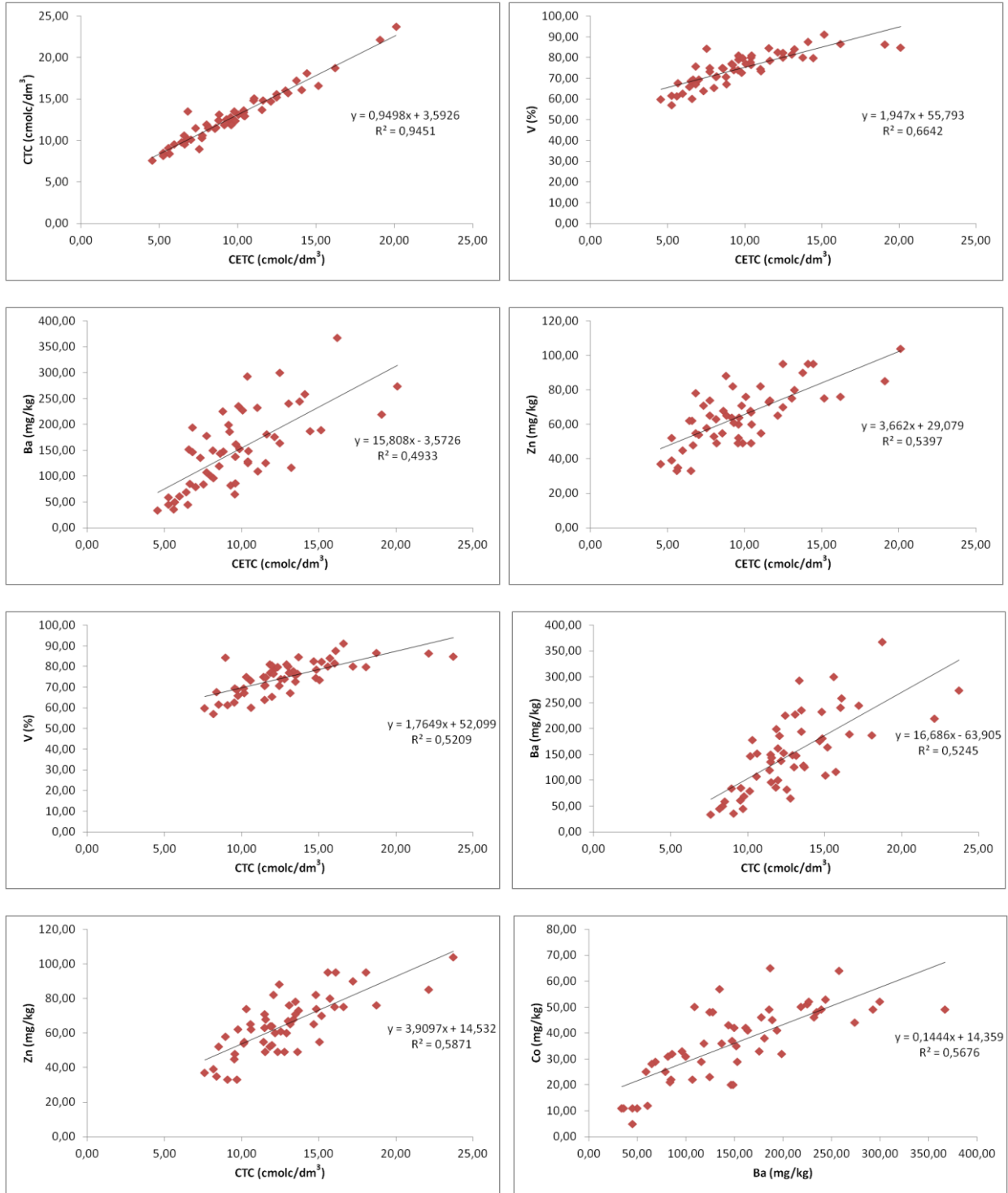


Figura 22 – Regressão linear entre vários atributos químicos e determinação do R^2 (20-40 cm)

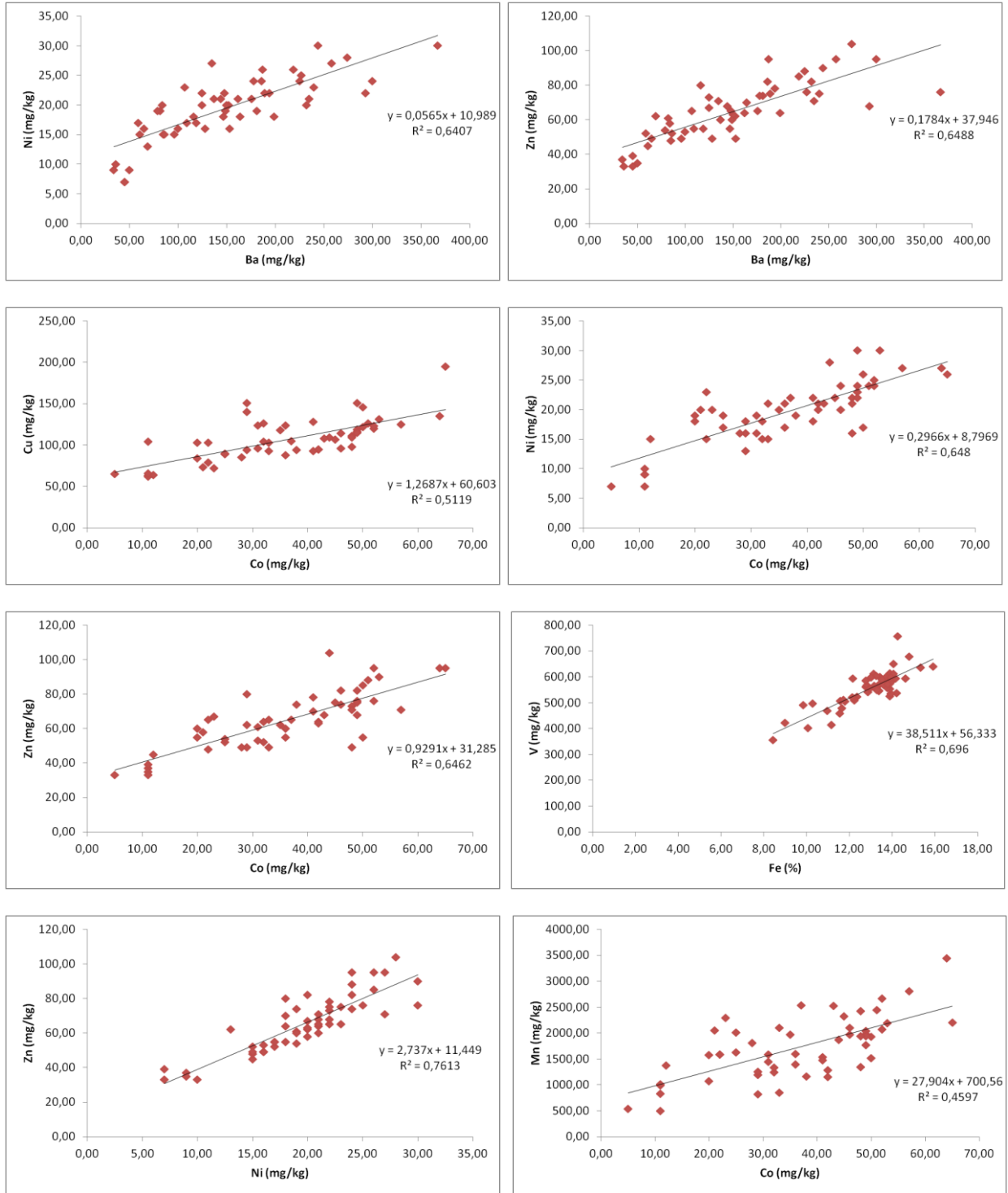


Figura 23 – Regressão linear entre vários atributos químicos e determinação do R² (20-40 cm)

A partir, das equações de regressão linear (Figuras 20 a 23) e/ou dos coeficientes de correlação (r) entre os vários atributos e/ou metais (Tabela 20), foi possível determinar o coeficiente de determinação (R) que é igual ao quadrado do coeficiente de correlação (r), ou seja, $R = r^2$.

Observa-se na tabela 20 os valores dos coeficientes de determinação para diversos pares de atributos químicos e/ou de metais nas camadas superficial e subsuperficial. Todos os valores de $R > 0,49$ indicam coeficientes de correlações fortes que poderiam ser diretas ou inversas. No caso do presente trabalho e observando a tabela 20 torna-se possível afirmar que existem pares que apresentam coeficientes de correlações fortes e diretas. O cobalto (Co) apresenta coeficientes de correlações fortes e diretas com todos os metais, excetuando o Mn; o bário (Ba) correlacionou-se de forma forte e positiva com o cobalto (Co), níquel (Ni) e Zinco (Zn) nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm (Tabela 20).

Tabela 20 – Síntese dos valores de R^2 em função dos pares de atributos nas camadas superficial (0-20 cm) e subsuperficial (20-40 cm)

PARES DE ATRIBUTOS	R^2	
	0-20 cm	20-40 cm
S x CETC	0,60	0,39
S x CETC	0,57	0,40
S x V (%)	0,56	0,22
CETC x CTC	0,94	0,95
CETC x V (%)	0,78	0,66
CETC x Ba	0,29	0,50
CETC x Zn	0,37	0,54
CTC x V (%)	0,63	0,52
CTC x Ba	0,27	0,52
CTC x Zn	0,37	0,58
Ba x Co	0,63	0,57
Ba x Ni	0,62	0,64
Ba x Zn	0,73	0,65
Co x Cu	0,64	0,51
Co x Ni	0,67	0,65
Co x Zn	0,60	0,65
Co x Mn	0,43	0,46
Fe x V	0,77	0,70
Mn x Ni	0,56	0,44
Ni x Zn	0,60	0,76

5.6 COMPARAÇÕES ENTRE USOS E ATRIBUTOS QUÍMICOS

A partir dos dados obtidos nas amostras de solos (Tabela 10 a 15) e utilizando-se do programa *SigmaPlot 11*, mais precisamente do teste de *Student*, foi possível determinar o nível de significância entre usos e atributos químicos.

Tabela 21 – Comparação entre os usos e atributos químicos em todos os compartimentos na camada superficial (0-20 cm)

ATRIBUTOS	Média ± Erro padrão (EP) ⁽¹⁴⁾			p		
	CDA ⁽¹⁵⁾	FF ⁽¹⁶⁾	M/S ⁽¹⁷⁾	CDA X FF	CDA X M/S	FF X M/S
MOS ⁽¹⁾ (g.kg ⁻¹)	28,04 ± 3,45	38,17 ± 2,27	26,62 ± 2,03	0,016	0,67	0,0003
Sat. bases ⁽²⁾ (%)	67,82 ± 2,74	84,03 ± 2,45	70,42 ± 1,96	0,00007	0,41	0,0001
Al ⁽³⁾ (%)	2,32 ± 0,11	2,10 ± 0,09	1,94 ± 0,08	0,11	0,008	0,22
Ba ⁽⁴⁾ (mg.kg ⁻¹)	192,17 ± 22,12	212,61 ± 22,53	193,78 ± 24,53	0,51	0,92	0,61
Co ⁽⁵⁾ (mg.kg ⁻¹)	42,22 ± 3,79	43,22 ± 3,94	42,72 ± 4,91	0,85	0,86	0,99
Cr ⁽⁶⁾ (mg.kg ⁻¹)	77,28 ± 5,10	66,11 ± 6,18	68,61 ± 4,67	0,16	0,094	0,93
Cu ⁽⁷⁾ (mg.kg ⁻¹)	110,50 ± 5,57	107,56 ± 6,59	114,50 ± 7,94	0,73	0,45	0,33
Fe ⁽⁸⁾ (%)	13,65 ± 0,43	12,18 ± 0,42	12,59 ± 0,36	0,016	0,085	0,38
Mn ⁽⁹⁾ (mg.kg ⁻¹)	2233,33 ± 144,27	2356,22 ± 219,01	2445,17 ± 211,07	0,63	0,46	0,83
Ni ⁽¹⁰⁾ (mg.kg ⁻¹)	22,61 ± 1,36	24,22 ± 1,21	22,56 ± 1,68	0,37	0,98	0,45
Pb ⁽¹¹⁾ (mg.kg ⁻¹)	17,22 ± 0,52	14,89 ± 0,54	15,94 ± 0,34	0,0031	0,022	0,20
V ⁽¹²⁾ (mg.kg ⁻¹)	597,28 ± 18,70	554,22 ± 19,66	559,94 ± 21,91	0,11	0,26	0,72
Zn ⁽¹³⁾ (mg.kg ⁻¹)	81,11 ± 5,37	88,06 ± 5,74	80,39 ± 4,85	0,37	0,87	0,28

p ≤ 0,05; MOS⁽¹⁾: matéria orgânica do solo; Sat. bases⁽²⁾: saturação por bases; Al⁽³⁾: alumínio; Ba⁽⁴⁾: bário; Co⁽⁵⁾: cobalto; Cr⁽⁶⁾: cromo; Fe⁽⁸⁾: ferro; Mn⁽⁹⁾: manganês; Ni⁽¹⁰⁾: níquel; Pb⁽¹¹⁾: chumbo; V⁽¹²⁾: vanádio; Zn⁽¹³⁾: zinco; Média⁽¹⁴⁾: dados expressos como média aritmética de 18 amostras de solo ± erro padrão; CDA⁽¹⁵⁾: cana-de-açúcar; FF⁽¹⁶⁾: fragmentos de floresta; M/S⁽¹⁷⁾: milho/soja;

O teor de matéria orgânica do solo (MOS) na profundidade 0-20 cm sob fragmento florestal é maior comparado ao solo cultivado com cana-de-açúcar, bem como quando comparado ao solo cultivado com milho/soja e as diferenças são significativas ($p \leq 0,05$) (Tabela 21); esse resultado era esperado, principalmente em razão dos solos cultivados terem sido preparados por muito tempo no sistema de plantio convencional, que pela ação do arado expõe a camada subsuperficial do solo à exposição direta do sol. Isso ocasiona aumento da temperatura superficial, fato que aliado à abundância de oxigênio no contato direto com a atmosfera determina o aceleração da decomposição da MOS pelo favorecimento da atividade biológica.

A percentagem de saturação por bases foi maior nos solos sob fragmentos de floresta do que nos solos cultivados e mais uma vez a diferença é

significativa (Tabela 21); este resultado também era esperado, pois o maior teor de MOS sob fragmentos de floresta está correlacionado com maior CTC, uma vez que, conforme citam Alleoni et al. (2009), a MOS tem expressiva participação na magnitude da CTC podendo, em solos altamente intemperizados da região tropical úmida, as cargas negativas dos grupos funcionais da MOS representar cerca de 80% da CTC de horizontes superficiais. Ademais, foi demonstrado na Tabela 21 que nos solos estudados há uma estreita correlação entre CTC e saturação por bases, pois com maior quantidade de cargas negativas há menor lixiviação de cátions e, assim, maior adsorção.

Em relação ao teor de Al, verifica-se que houve diferença significativa somente entre os teores encontrados nos solos sob cultivo com cana-de-açúcar em comparação com os teores encontrados nos solos sob cultivo de milho-soja, sendo que naqueles os teores são maiores que nestes. Isto decorre, possivelmente, do fato da cana-de-açúcar ser uma cultura com exigência nutricional mais elevada em bases trocáveis comparado à culturas de milho/soja, o que possibilita que Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+ se exaurirem mais rapidamente nestes cátions básicos, tornando o solo cada vez mais dominado pelos cátions ácidos H^+ e Al^{3+} no complexo de troca (Tabela 21).

O teor de Fe mostrou-se mais elevado no solo sob cultivo de cana-de-açúcar quando comparado ao solo sob fragmento florestal (Tabela 21). Isso, possivelmente, em razão destes solos possuírem maior teor de MOS uma vez que o alto grau de seletividade mostrado pelas substâncias húmicas determina a formação de complexos de esfera interna com Fe, Mn, Cu e Zn, podendo diminuir a solubilidade desses micronutrientes (ABREU et al., 2007).

O teor de chumbo (Pb) no solo cultivado com cana-de-açúcar mostrou-se maior comparado ao teor deste elemento tanto no solo sob fragmento florestal quanto no solo sob cultivo de milho/soja (Tabela 21). A princípio, poder-se-ia atribuir esse teor de Pb no solo sob cana-de-açúcar à aplicação de vinhaça, prática muito utilizada no manejo desta cultura no compartimento I.

No entanto, a vinhaça ao que parece não contamina o solo com chumbo. Nesse sentido Camilotti et al. (2007) concluíram que baixos teores de metais pesados (Cd, Cr, Ni e Pb) disponíveis no solo e nas partes das plantas de cana-de-açúcar indicaram que o lodo de esgoto e a vinhaça empregados não apresentaram, após três aplicações anuais sucessivas, potencial de contaminação do sistema solo-

planta. Nesse mesmo sentido Ramalho e Amaral Sobrinho (2001), trabalhando com amostras de solo gley pouco húmico em antiga lagoa de vinhaça e dois cambissolos, um fertirrigado com vinhaça e outro com aplicação de torta de filtro, cultivados com cana-de-açúcar, em Campos dos Goytacazes (RJ), concluíram que a vinhaça só trouxe aumento significativo para os teores totais de Zn.

Dessa forma, pode-se concluir que o maior teor de Pb no solo com cana-de-açúcar é devido a outras causas, possivelmente ligadas aos insumos administrados na condução desta cultura. Corroborando esta hipótese, na revisão de Amaral Sobrinho (2009) foi aventado que o aumento anormal dos teores de metais pesados nos solos de agricultura de alta tecnologia resulta da deposição atmosférica, da aplicação de defensivos agrícolas, de resíduos orgânicos e inorgânicos urbanos e industriais, de fertilizantes e corretivos e da irrigação com água contaminada. O uso de fungicidas, herbicidas e inseticidas também contribui para acúmulo de metais pesados. Esses produtos podem conter metais pesados na sua composição, como impurezas ou sais de Mn, Zn, arsenatos de Cu e Pb e compostos metalorgânicos usados em sua fabricação.

Tabela 22 – Comparação entre os usos e atributos químicos em todos os compartimentos na camada subsuperficial (20-40 cm)

	Média ± Erro padrão (EP) ⁽¹⁴⁾			p		
				CDA X FF	CDA X M/S	FF X M/S
	CDA ⁽¹⁵⁾	FF ⁽¹⁶⁾	M/S ⁽¹⁷⁾			
MOS ⁽¹⁾ (g.kg ⁻¹)	18,05 ± 2,26	17,88 ± 0,99	13,87 ± 0,91	0,81	0,37	0,077
Sat. bases ⁽²⁾ (%)	73,61 ± 1,75	80,27 ± 1,69	72,57 ± 1,68	0,00065	0,64	0,0030
Al ⁽³⁾ (%)	2,65 ± 0,11	2,42 ± 0,10	2,14 ± 0,08	0,11	0,027	0,34
Ba ⁽⁴⁾ (mg.kg ⁻¹)	158,56 ± 14,25	159,16 ± 17,15	131,06 ± 16,13	0,64	0,92	0,61
Co ⁽⁵⁾ (mg.kg ⁻¹)	37,94 ± 2,91	38,44 ± 3,46	34,00 ± 3,98	0,60	0,70	0,38
Cr ⁽⁶⁾ (mg.kg ⁻¹)	71,78 ± 4,73	64,39 ± 5,81	59,50 ± 3,88	0,42	0,079	0,49
Cu ⁽⁷⁾ (mg.kg ⁻¹)	105,44 ± 4,84	108,06 ± 5,72	108,06 ± 9,03	0,65	0,82	0,89
Fe ⁽⁸⁾ (%)	13,24 ± 0,30	12,59 ± 0,30	12,54 ± 0,39	0,056	0,094	0,95
Mn ⁽⁹⁾ (mg.kg ⁻¹)	1736,89 ± 127,72	1768,00 ± 171,33	1659,61 ± 133,66	0,70	0,96	0,66
Ni ⁽¹⁰⁾ (mg.kg ⁻¹)	20,50 ± 1,13	20,78 ± 1,11	17,56 ± 1,26	0,56	0,35	0,11
Pb ⁽¹¹⁾ (mg.kg ⁻¹)	16,11 ± 0,46	14,78 ± 0,53	14,56 ± 0,53	0,023	0,018	0,94
V ⁽¹²⁾ (mg.kg ⁻¹)	557 ± 14,08	550,50 ± 13,09	544,17 ± 25,32	0,34	0,28	0,70
Zn ⁽¹³⁾ (mg.kg ⁻¹)	67,17 ± 3,40	69,67 ± 4,24	59,06 ± 4,06	0,42	0,33	0,084

p ≤ 0,05; MOS ⁽¹⁾: matéria orgânica do solo; Sat. bases ⁽²⁾: saturação por bases; Al ⁽³⁾: alumínio; Ba ⁽⁴⁾: bário; Co ⁽⁵⁾: cobalto; Cr ⁽⁶⁾: cromo; Fe ⁽⁸⁾: ferro; Mn ⁽⁹⁾: manganês; Ni ⁽¹⁰⁾: níquel; Pb ⁽¹¹⁾: chumbo; V ⁽¹²⁾: vanádio; Zn ⁽¹³⁾: zinco; Média ⁽¹⁴⁾: dados expressos como média aritmética de 18 amostras de solo ± erro padrão; CDA ⁽¹⁵⁾: cana-de-açúcar; FF ⁽¹⁶⁾: fragmentos de floresta; M/S ⁽¹⁷⁾: milho/soja;

A percentagem de saturação por bases também acompanhou os teores de MOS observados na camada superficial, embora na camada subsuperficial inexistam diferenças nos teores de MOS quando comparados os solos sob fragmentos de floresta e os cultivados com milho e soja ou cana-de-açúcar (Tabela 22).

Isso reflete que as diferenças no teor de MOS, mesmo que não significativas, podem influenciar a saturação por bases em razão da relativa alta CTC da MOS em comparação com os demais componentes da fase sólida do solo combinado com a afinada correlação existente entre CTC e a saturação por bases (MOTTA; MELO, 2009; LEPSCH, 2011).

Em relação aos teores de Al, também verifica-se, à exemplo do que ocorreu na camada de 0-20cm, que houve diferença apenas entre os teores encontrados nos solos sob cultivo de cana-de-açúcar em comparação com os teores encontrados nos solos sob cultivo de milho/soja, sendo que também naqueles os teores são maiores que nestes, possivelmente pelas mesmas razões já apresentadas (Tabela 22).

A exemplo do que ocorreu na camada superficial, também nota-se que o teor de chumbo (Pb) no solo cultivado com cana-de-açúcar mostrou-se maior comparado ao teor deste elemento tanto no solo sob fragmento de floresta quanto no solo sob cultivo de milho/soja na camada subsuperficial. Assim, cogita-se que as eventuais causas desse comportamento sejam as mesmas aventadas para a camada superficial (Tabela 22).

5.7 COMPARAÇÕES ENTRE COMPARTIMENTOS E ATRIBUTOS QUÍMICOS

A partir dos dados obtidos nas amostras de solos (Tabelas 10 a 14) e utilizando-se do programa *SigmaPlot 11*, mais precisamente do teste de *Student*, foi possível determinar o nível de significância entre os compartimentos e atributos químicos (Tabela 23).

A matéria orgânica dos solos (MOS), também denominada fração orgânica ou húmus é material estranho às rochas e tem origem no processo da fotossíntese, realizado por vegetais clorofilados que transformam gás carbônico, oxigênio, hidrogênio e nutrientes minerais em compostos orgânicos. Dois importantes elementos químicos, não existentes no material de origem, carbono e nitrogênio, são incorporados à matéria orgânica, na forma de compostos orgânicos,

ao longo do tempo de desenvolvimento do solo (RAIJ, 2011). O desenvolvimento gradativo dos vegetais e outros organismos, durante o processo de transformação de rochas em solos, permite o acúmulo progressivo da matéria orgânica. Sendo assim, os teores da MOS são dependentes do uso e manejo. No presente trabalho, observou-se uma maior concentração da MOS na camada superior (0-20 cm) em relação à camada subsuperficial (20-40 cm). Este resultado seria esperado tendo em vista que na camada superficial o sistema biológico é mais atuante representado pela cobertura vegetal natural ou antropizada e sua fauna (Tabelas 23 e 24).

Tabela 23 – Comparação entre os compartimentos e atributos químicos na camada superficial (0-20 cm)

	Média ± Erro padrão (EP) ⁽¹⁴⁾			p		
	CI ⁽¹⁵⁾	CII ⁽¹⁶⁾	CIII ⁽¹⁷⁾	CI	CI	CII
				X CII	X CIII	X CIII
MOS⁽¹⁾ (g.kg ⁻¹)	29,08 ± 2,54	35,86 ± 2,99	27,89 ± 2,90	0,096	0,75	0,065
Sat. bases⁽²⁾ (%)	69,52 ± 3,67	79,16 ± 1,75	73,59 ± 2,71	0,018	0,36	0,076
Al⁽³⁾ (%)	1,85 ± 0,07	2,35 ± 0,09	2,16 ± 0,10	0,00005	0,012	0,11
Ba⁽⁴⁾ (mg.kg ⁻¹)	122,39 ± 15,23	263,94 ± 14,48	212,22 ± 23,11	0,0000005	0,0020	0,052
Co⁽⁵⁾ (mg.kg ⁻¹)	28,50 ± 3,32	54,61 ± 1,92	45,06 ± 4,17	0,0000003	0,0030	0,029
Cr⁽⁶⁾ (mg.kg ⁻¹)	51,39 ± 4,86	79,39 ± 5,00	81,22 ± 2,63	0,0015	0,000003	0,41
Cu⁽⁷⁾ (mg.kg ⁻¹)	94,33 ± 7,85	127,83 ± 4,75	110,39 ± 4,78	0,00034	0,076	0,007
Fe⁽⁸⁾ (%)	11,57 ± 0,54	13,37 ± 0,31	13,48 ± 0,21	0,0038	0,0016	0,91
Mn⁽⁹⁾ (mg.kg ⁻¹)	1663,94 ± 120,86	2622,06 ± 144,63	2748,72 ± 188,13	0,000015	0,00009	0,51
Ni⁽¹⁰⁾ (mg.kg ⁻¹)	18,11 ± 1,21	26,06 ± 0,95	25,22 ± 1,24	0,000006	0,00017	0,54
Pb⁽¹¹⁾ (mg.kg ⁻¹)	16,39 ± 0,68	15,28 ± 0,45	16,39 ± 0,37	0,10	1,0	0,027
V⁽¹²⁾ (mg.kg ⁻¹)	495,89 ± 21,48	605,56 ± 13,33	610,00 ± 11,19	0,000047	0,00003	0,98
Zn⁽¹³⁾ (mg.kg ⁻¹)	67,11 ± 4,22	100,39 ± 4,07	82,06 ± 4,30	0,000002	0,015	0,004

p ≤ 0,05; MOS⁽¹⁾: matéria orgânica do solo; Sat. bases⁽²⁾: saturação por bases; Al⁽³⁾: alumínio; Ba⁽⁴⁾: bário; Co⁽⁵⁾: cobalto; Cr⁽⁶⁾: cromo; Fe⁽⁸⁾: ferro; Mn⁽⁹⁾: manganês; Ni⁽¹⁰⁾: níquel; Pb⁽¹¹⁾: chumbo; V⁽¹²⁾: vanádio; Zn⁽¹³⁾: zinco; Média⁽¹⁴⁾: dados expressos como média aritmética de 18 amostras de solo ± erro padrão; CI⁽¹⁵⁾: compartimento I; CII⁽¹⁶⁾: compartimento II; CIII⁽¹⁷⁾: compartimento III;

Observando os dados obtidos, pode-se dizer que, de um modo geral, os compartimentos II *versus* III não apresentam diferenças significativas; na camada superficial (0-20cm) houve diferenças significativas em relação aos metais cobalto (Co), cobre (Cu), chumbo (Pb) e zinco (Zn) extraídos por HNO₃ e HCl. Na camada subsuperficial (20-40cm) houve diferenças significativas em relação aos metais supracitados, matéria orgânica (MOS) e bário (Ba) (Tabelas 23 e 24).

Por outro lado, quando se compara os dados obtidos nos compartimentos I *versus* III e I *versus* II observa-se um maior número de diferenças significativas.

Tendo em vista que o município de Bandeirantes-PR foi palco de derrames magmáticos na Era Mesozoica, provavelmente os derrames apresentaram constituição químico-mineralógica diferentes. Provavelmente, os compartimentos II e III são similares e diferentes do I (Tabelas 23 e 24).

Tabela 24 – Comparação entre os compartimentos e atributos químicos na camada subsuperficial (20-40 cm)

	Média ± erro padrão (EP) ⁽¹⁴⁾			P		
				CI X CII	CI X CIII	CII X CIII
	CI ⁽¹⁵⁾	CII ⁽¹⁶⁾	CIII ⁽¹⁷⁾			
MOS⁽¹⁾ (g.kg ⁻¹)	16,92 ± 1,75	19,24 ± 1,43	13,64 ± 1,23	0,066	0,23	0,001
Sat. bases⁽²⁾ (%)	72,75 ± 2,32	78,62 ± 1,31	75,08 ± 1,65	0,0036	0,11	0,094
Al⁽³⁾ (%)	2,17 ± 0,11	2,60 ± 0,09	2,45 ± 0,11	0,0012	0,062	0,098
Ba⁽⁴⁾ (mg.kg ⁻¹)	98,61 ± 10,41	198,72 ± 12,26	151,44 ± 14,78	0,0000004	0,0009	0,005
Co⁽⁵⁾ (mg.kg ⁻¹)	26,94 ± 2,93	46,67 ± 2,74	36,78 ± 2,98	0,000001	0,0070	0,01
Cr⁽⁶⁾ (mg.kg ⁻¹)	51,56 ± 5,57	69,94 ± 4,71	74,17 ± 2,18	0,0057	0,00007	0,42
Cu⁽⁷⁾ (mg.kg ⁻¹)	96,83 ± 9,60	121,83 ± 7,50	102,89 ± 3,60	0,011	0,37	0,02
Fe⁽⁸⁾ (%)	11,95 ± 0,40	12,99 ± 0,30	13,43 ± 0,18	0,14	0,026	0,27
Mn⁽⁹⁾ (mg.kg ⁻¹)	1333,56 ± 116,49	1902,72 ± 141,00	1928,22 ± 128,01	0,0007	0,0004	0,96
Ni⁽¹⁰⁾ (mg.kg ⁻¹)	16,00 ± 1,16	22,44 ± 1,06	20,39 ± 0,81	0,00003	0,0010	0,064
Pb⁽¹¹⁾ (mg.kg ⁻¹)	15,50 ± 0,67	14,28 ± 0,38	15,67 ± 0,45	0,097	0,94	0,04
V⁽¹²⁾ (mg.kg ⁻¹)	496,94 ± 15,75	575,89 ± 20,04	579,33 ± 9,80	0,010	0,0015	0,71
Zn⁽¹³⁾ (mg.kg ⁻¹)	55,28 ± 3,30	77,39 ± 4,17	63,22 ± 2,43	0,00001	0,020	0,0014

p ≤ 0,05; MOS⁽¹⁾: matéria orgânica do solo; Sat. bases⁽²⁾: saturação por bases; Al⁽³⁾: alumínio; Ba⁽⁴⁾: bário; Co⁽⁵⁾: cobalto; Cr⁽⁶⁾: cromo; Fe⁽⁸⁾: ferro; Mn⁽⁹⁾: manganês; Ni⁽¹⁰⁾: níquel; Pb⁽¹¹⁾: chumbo; V⁽¹²⁾: vanádio; Zn⁽¹³⁾: zinco; Média⁽¹⁴⁾: dados expressos como média aritmética de 18 amostras de solo ± erro padrão; CI⁽¹⁵⁾: compartimento I; CII⁽¹⁶⁾: compartimento II; CIII⁽¹⁷⁾: compartimento III;

5.8 ROCHAS AFLORANTES EM BANDEIRANTES

Macroscopicamente, as rochas basálticas que afloram em Bandeirantes apresentam coloração cinza com pontuações dispersas milimétricas a submilimétricas (normalmente menores que 4 mm) de cor verde escuro a preta nos três compartimentos. As estruturas são maciças, granulações finas, tendendo a serem rochas subfaneríticas a afaníticas, podendo aparecer algumas amígdalas maiores com calcita.

As rochas dos três compartimentos de Bandeirantes-PR são isotrópicas (maciças) de textura granular intersticial, ligeiramente inequigranular (subporfírica), aparecendo alguns cristais de até 3 mm de comprimento de plagioclásio, 2 mm de augita, em matriz com granulação média da ordem de 300 µm e a composição modal está estimada abaixo (Tabela 25).

Tabela 25 – Teores aproximados dos constituintes das rochas do município

CONSTITUINTES	TEOR	CONSTITUINTES	TEOR
Plagioclásio	(±45%)	Pigeonita	(± 5%)
Augita	(±20%)	Argilominerais + hidróxidos de ferro	(± 5%)
Vidro + material microcristalino	(±10%)	Pseudomorfos de olivina	(±1%)
Minerais opacos	(±10%)	Apatita	(± 1%)

Essas rochas foram devidamente caracterizadas e se encontram levemente alteradas aparecendo filetes de hidróxidos de ferro e argilominerais dispostos intersticialmente.

Os plagioclásios (labradoritas) ocorrem sob a forma de cristais tabulares com distribuição granulométrica algo serial, sendo raros os cristais com mais de 1,5 mm de comprimento, sendo que os maiores são porfiriticos. Apresentam bordas sem inclusões e porção central com pequenos cristais de clinopiroxênios arredondados a vermiformes. Os cristais maiores apresentam nítido zoneamento composicional com os extremos (bordas) atingindo composições de oligoclásios ou mesmo albitas.

A augita forma pequenos cristais anedrais, normalmente formando agregados dispostos intersticialmente aos cristais de plagioclásio. Os cristais maiores tendem a ser subedrais a euedrais.

As pigeonitas ocorrem sob a forma de pequenos cristais tabulares a irregulares corroídos, normalmente, mais alterados que as augitas, às vezes, englobadas por cristais de augitas.

Os minerais opacos constituem pequenos cristais euedrais (octaédricos) a irregulares, normalmente menores que 300 µm, e estão dispersos homoganeamente pela rocha; entre os principais minerais opacos destaca-se magnetita, maghemita-hematita, goethita, zircão, anatásio, monasita e rutilo.

Os pseudomorfos de olivina exibem formas euédricas a anédricas e estão dispersos mais ou menos homoganeamente pela rocha. São constituídos por filossilicatos de granulação relativamente grossa que formam uma massa engrenada moldurada e cortada por filetes irregulares de óxidos/hidróxidos de ferro (hematita/goethita e hidróxidos de ferro amorfos).

As apatitas constituem acículas e prismas delgados dispostos intersticialmente e na massa vítrea /microcristalina intersticial.

Os argilominerais, além de aparecerem intersticialmente, ocorrem preenchendo micro cavidades (amígdalas) submilimétricas a milimétricas, normalmente, menores que 2 mm, onde apresentam arranjos concêntricos a irregulares e mostram serem representados pelo menos por dois tipos de argilominerais em função das cores vermelho e amarelo.

A partir de análises realizadas nos basaltos da região de Bandeirantes, pode-se perceber que diferentes extratores originaram diferentes resultados. Os dados obtidos acima da tabela 26 são tidos como teores totais em função de uma maior força extratora dos reagentes utilizados que são borato de lítio e metaborato de lítio; na parte debaixo desta tabela são apresentados, no geral, dados quantitativos menores; a água régia extrai os metais que não fazem parte do complexo silicatado; esses metais extraídos pela água régia estão ligados a oxigênios, enxofres, hidroxilas, carbonatos, etc, que poderiam tornar-se disponível ambientalmente (USEPA, 3050B); por este método, elementos ligados à estruturas silicatadas não são normalmente dissolvidos e portanto não seriam moveis no ambiente.

O bário (Ba) foi um dos elementos analisados nos solos e nas rochas e por diferentes extratores; a extração do Ba com água régia nos solos possibilitou teor médio aproximado de 200 mg.kg^{-1} na camada superficial e menor na camada subsuperficial, enquanto que nas rochas basálticas o teor médio obtido foi de 54 mg.kg^{-1} , variando por compartimento; utilizando-se borato de lítio e metaborato de lítio como extratores totais, o teor médio de bário foi de 421 (Tabela 26).

Segundo a Mineropar (2005), o teor médio de bário nos horizontes B foi de 170 mg.kg^{-1} para solos originados de basalto, sugerindo similaridade com os dados apresentados neste trabalho.

Os borato de lítio e o metaborato de lítio são extratores mais fortes para extrair metais das estruturas silicatadas; provavelmente, o Ba poderia estar presente nos minerais silicatados primários (feldspatos) nos basaltos substituindo isomorficamente o potássio (DANA; HURLBUT, 1965) e a água régia não o teria extraído totalmente; a classificação geoquímica dos elementos de Goldschmidt enquadra o Ba como um dos elementos litófilos, ou seja, tendência deste elemento ocorrer em ou com silicatos (KRAUSKOPF, 1972). Sendo assim, a maior parte do Ba estaria presente nos minerais silicatados dificultando a sua extração por água régia.

Tabela 26 – Teores médios dos componentes químicos dos basaltos de Bandeirantes-PR

Totais extraídos por fusão com $\text{LiBO}_2/\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$						
Óxido	CI	CII	CIII	Média	Elemento	Média
	%					%
SiO_2	52,50	47,76	49,51	49,92	Si	23,30
Al_2O_3	12,72	12,51	12,67	12,63	Al	6,69
Fe_2O_3	13,72	15,97	15,34	15,01	Fe	10,50
CaO	7,51	9,02	9,01	8,51	Ca	6,07
MgO	4,38	4,87	4,29	4,51	Mg	2,72
K_2O	2,03	0,80	1,02	1,28	K	1,06
Na_2O	2,86	2,28	2,61	2,58	Na	1,91
MnO	0,20	0,18	0,22	0,20	Mn	0,15
TiO_2	2,73	2,97	3,05	2,92	Ti	1,75
P_2O_5	0,37	0,34	0,33	0,35	P	-
Cr_2O_3	0,012	0,007	0,007	0,008	Cr	0,0027
LOI	0,7	3,0	1,6	1,77		-
	mg.kg^{-1}					mg.kg^{-1}
Nióbio	25	16	17		Nb	19
Níquel	45	39	34		Ni	39
Escândio	28	34	34		Sc	32
Ítrio	37	32	33		Y	34
Zircônio	281	206	216		Zr	234
Estrôncio	366	407	404		Sr	392
Bário	499	377	387		Ba	421
Extraídos por água régia modificada ($\text{HCl}+\text{HNO}_3$)						
%				%		
Al	0,73	1,26	1,07		Al	1,00
Ca	0,80	0,95	0,79		Ca	0,8
Fe	3,22	5,08	4,86		Fe	4,4
K	0,12	0,15	0,34		K	0,20
Mg	0,42	0,74	0,67		Mg	0,6
Na	0,15	0,16	0,17		Na	0,2
P	0,150	0,124	0,083		P	0,1
Ti	0,157	0,095	0,405		Ti	0,200
	mg.kg^{-1}					mg.kg^{-1}
Ba	34	47	81		Ba	54
Cd	<0,5	<0,5	<0,5		Cd	<0,5
Co	11	24	21		Co	18,7
Cr	27	4	4		Cr	11,7
Cu	143	197	164		Cu	168
Mn	221	309	433		Mn	321
Ni	16	24	22		Ni	20,7
Pb	4	8	<3		Pb	5
Sr	39	59	53		Sr	50,3
Tl	<5	<5	<5		Tl	<5
V	196	149	214		V	186,3
Zn	59	39	73		Zn	57

Por outro lado, após o intemperismo, o Ba poderia estar presente em outros minerais ou complexos que não sejam silicatos, por exemplos, óxidos, hidróxidos ou complexados pela matéria orgânica dos solos facilitando a sua extração pela água régia.

Os elementos V, Al, Fe, Ca, Mg, K, Na, Mn, Sr e Ti apresentaram o mesmo comportamento do bário quando extraídos por diferentes extratores nas rochas basálticas. Embora o V não tenha sido extraído por borato de lítio e metaborato, o teor médio deste elemento nos basaltos toleíticos é 750 mg.kg^{-1} (KRAUSKOPF, 1972); provavelmente, as explicações possam ser as mesmas àquelas mencionadas para o bário, haja vista que o vanádio e os demais elementos mencionados acima são litófilos (KRAUSKOPF, 1972).

O cobre (Cu) é um dos elementos que não apresentou diferença significativa em função do material analisado através da extração por água régia, ou seja, a água régia extraiu em média 168 mg.kg^{-1} nas rochas e 155 mg.kg^{-1} nos solos; este fato, provavelmente serve para confirmar a natureza calcófila do Cu, haja vista que o mesmo não tem sido encontrado em meio às estruturas silicatadas (KRAUSKOPF, 1972).

Conforme a Mineropar (2005), o cobre apresentou um teor médio de $141,71 \text{ mg.kg}^{-1}$, tal qual o bário, os resultados foram similares aos apresentados neste trabalho.

De um modo geral, os metais Pb, Co, Cr, Ni, V e Zn apresentam maiores teores no Terceiro Planalto Paranaense quando comparados com outras regiões do estado paranaense; provavelmente, isto se deve ao material de origem, no caso rochas basálticas da Formação Serra Geral (MINEROPAR, 2005).

Os dados obtidos mostram que, segundo os critérios de classificação propostos pela Subcomissão de Sistemática de Rochas Ígneas (ZANETTIN, 1984 e LE BAS et al., 1986), o teor em sílica variando de 47,75% a 52% versus Álcalis que variam de 3,00% a 5,00%, atestam que as rochas estudadas estão localizadas no campo do basalto (Figura 24).

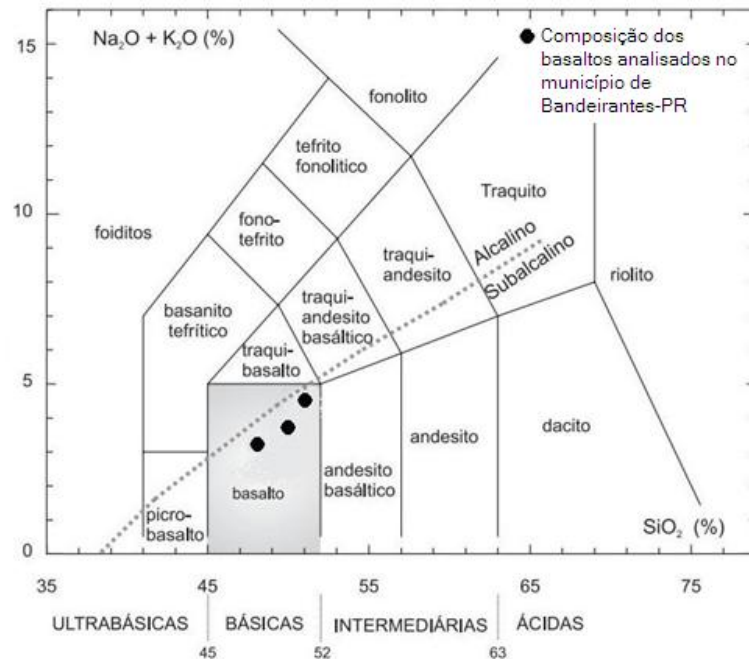


Figura 24 – Diagrama TAS (SiO_2 versus álcalis) de Zanettin (1984) e Le Bas et al. (1986). A linha tracejada separa os campos das rochas alcalinas das subalcalinas (Irvine; Baragar, 1971).

O caráter toleítico destas rochas pode ser observado no diagrama AFM, onde A é igual à soma dos álcalis ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$), F equivale ao teor de $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$ e M é a percentagem de MgO , onde todos estes valores devem estar localizados acima da linha de Irvine e Baragar (1971), ou seja, no campo toleítico (Figura 25).

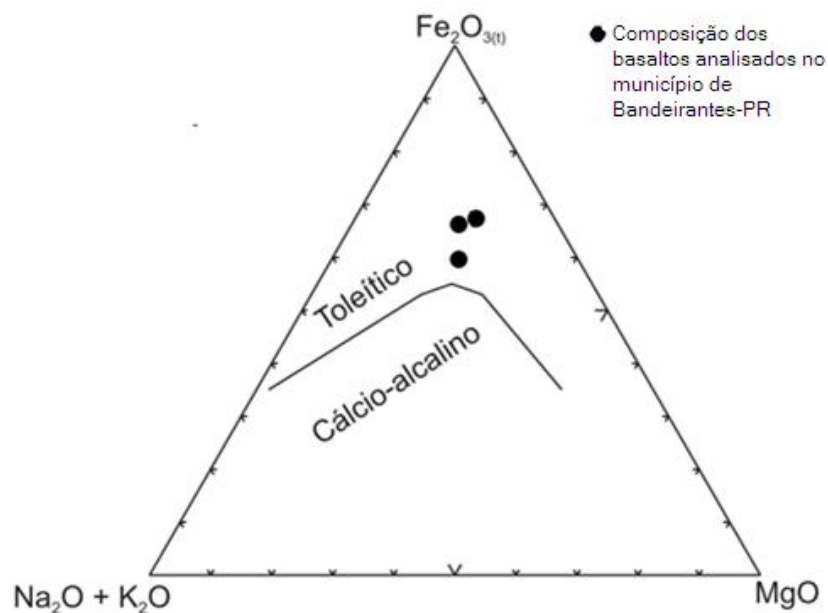


Figura 25 – Diagrama AFM ($A = \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$; $F = \text{Fe}_2\text{O}_3(t)$; $M = \text{MgO}$), mostrando o caráter toleítico dos basaltos estudados (Irvine; Baragar, 1971).

A pedogênese ocorre quando as modificações físicas e químicas causadas nas rochas pelo intemperismo propiciam a formação de um perfil de solo que é estruturado verticalmente a partir da rocha fresca, na base, sobre a qual formam-se o saprolito e o solum, que constituem, juntos, o manto de alteração ou regolito (OLIVEIRA, 2005).

Os materiais dos perfis dos solos vão se tornando tanto mais diferenciados com relação à rocha parental em termos de composição, estruturas e texturas, quanto mais afastados se encontram dela. A pedogênese depende do clima, relevo, organismos e do tempo ocorrendo de maneira distinta nos diferentes compartimentos morfo-climáticos do globo, levando à formação de perfis diferentes, conseqüentemente, solos diferenciados (OLIVEIRA, 2005).

De um modo geral, os solos derivados de basaltos em climas tropicais apresentam textura argilosa a muito argilosa fundamentalmente em função do intemperismo químico sobre os minerais primários presentes nessas rochas basálticas (OLIVEIRA, 2005).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo como referência os solos dos fragmentos florestais estudados e metodologia 3050B da USEPA, pode-se afirmar que os solos agrícolas cultivados com cana-de-açúcar e milho/soja não estão contaminados por cádmio, arsênio, antimônio, mercúrio, molibdênio, prata e chumbo conforme os valores de referência de qualidade dos solos preconizados pelo CONAMA.

De um modo geral, os teores de cobalto obtidos no município de Bandeirantes-PR estão acima dos valores orientadores de investigação e os teores de cobre estão acima dos valores orientadores de prevenção propostos pelo CONAMA, tanto ao percentil 75 quanto ao percentil 90.

Os teores de bário obtidos no município de Bandeirantes-PR foram bastantes variáveis; ocorreram regiões cujos valores ultrapassaram aos valores preconizados pelo CONAMA tanto na prevenção quanto na investigação.

Grande parte do município de Bandeirantes-PR, sobretudo nos compartimentos II e III, apresentaram teores de cromo maiores que os valores de prevenção propostos pelo CONAMA.

Analisando os teores de bário, cobalto, cobre e cromo obtidos nos solos sob fragmentos de floresta, recomenda-se que o CONAMA reveja os valores de prevenção e investigação preconizados pela Resolução nº 420 de 28 de dezembro de 2009.

No geral, os solos dos compartimentos II-III apresentaram diferenças significativas apenas quanto aos teores de cobalto, cobre, chumbo e zinco, enquanto os compartimentos I-II e I-III demonstraram diferenças significativas na maioria dos metais, excetuando-se o cobre e o chumbo, sugerindo que os compartimentos II e III são similares.

Foram obtidas correlações significativas forte nas camadas superficial e subsuperficial entre os seguintes pares de metais: Ba x Co, Ba x Ni, Ba x Zn, Co x Cu, Co x Zn e Ni x Zn.

Os Latossolos e Nitossolos sob cultivos de cana-de-açúcar, milho/soja e sob fragmentos de floresta nos três compartimentos não apresentaram diferenças químicas significativas até a profundidade de 40 cm.

Em função da metodologia utilizada e dados obtidos, pode-se afirmar que os solos até 40 cm de profundidade das lavouras de cana-de-açúcar e milho/soja no

município de Bandeirantes não estão contaminados pelos metais pesados preconizados pelo CONAMA, haja vista que não há diferenças significativas entre os teores desses metais nos solos cultivados comparado aos solos sob fragmentos florestais.

De um modo geral, não houve diferenças significativas nos teores da maioria dos metais analisados nos compartimentos II e III, tanto nos solos cultivados quanto nos solos sob fragmentos de floresta; provavelmente, as regiões dos compartimentos II e III foram submetidos ao mesmo tipo de lavas durante os derrames e os processos pedogenéticos que agiram, ao longo do tempo, propiciaram esta similaridade.

As propriedades químicas determinadas nos solos sugerem que são devidas ao material de origem, uma vez que a mesma faixa de variações ocorreu tanto para os Latossolos quanto para os Nitossolos, o mesmo acontecendo para os tipos de uso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, C. A.; LOPES, A. S.; SANTOS, G. C. G. Micronutrientes. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V.,V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Eds.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 645-736.

ALLEONI, L. R. F.; CAMARGO, O. A.; CASAGRANDE, J. C.; SOARES, M. R. Química dos solos altamente intemperizados. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (Eds.). **Química e mineralogia do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. p. 381-447.

ALLEONI, L.R.F.; MELLO, J.W.V.; ROCHA, W.S.D. Eletroquímica, adsorção e troca iônica no solo. In: MELO, V.F.; ALLEONI, L.R.F. (Eds.). **Química e mineralogia do solo**. 2009. p. 69-129.

ALLEONI, L.R.F.; BORBA, R.P.; CAMARGO, O.A. Metais pesados: Da cosmogênese aos solos brasileiros. In: TORRADO-VIDAL, P.; ALLEONI, L.R.F. COOPER, M.; SILVA, A.P; CARDOSO, E.J. (Eds.) **Tópicos em ciência do solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. IV:1-42, 2005.

ALLOWAY, B.J. **Heavy metals in soils**. New York: Wiley, 1990. 339p.

ALTHAUS, D.; SILVA, K.J.; FELISBERTO, R.; TEDESCO, M.J.; BISSANI, C.A.; GIANELLO, C. Teores naturais de metais pesados em solos do Estado do Rio Grande do Sul. **XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, Florianópolis, SC, 2013.

ALVARES, C. A., STAPE, J. L., SENTELHAS, P. C., de Moraes, G., LEONARDO, J., & SPAROVEK, G. (2013). **Köppen's climate classification map for Brazil**. Meteorologische Zeitschrift, V.22 n. 6, p. 711-728. 2013. P 13-14.

AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; BARRA, C.M.; LÃ, O.R. Química dos metais pesados no solo. In: Melo, V.F; Alleoni, L.R (Eds), **Química e mineralogia dos solos**, Viçosa, MG, SBCS, 2009, v.2, p.249-312.

AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; COSTA, L.M.; OLIVEIRA, C.; VELLOSO, A.C.X. Metais pesados em alguns fertilizantes e corretivos. **Rev. Bras. Ci. Solo**, 16:271-276, 1992.

ARAÚJO, W. S.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B. Influencia das propriedades físicas e químicas de solos intemperizados na adsorção de chumbo, cobre e zinco. **Flor. Amb.**, 7:167-180. 2000.

AYOADE, J.O. **Introdução à climatologia para os Trópicos**. 4° ed. São Paulo: Bertrand Brasil, 1996. p. 2-3.

BACKERS, C. A.; McLAREN, R. G.; RATE, A. W.; SWIFT, R. S. Kinetics of cadmium and cobalt desorption from iron and manganese oxides. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 59:778-785, 1995.

BAIZE, D.; STERCKEMAN, T. Of the necessity of knowledge of the natural pedo-geochemical background content in the evaluation of the contamination of soils by trace elements. **Science of the Total Environment**, v. 264, n. 1, p. 127-139, 2001.

BEAULIEU, M. The use of risk assessment and risk management in the revitalization of brownfields in North America: a controlled opening. In: **CONTAMINATED SOIL'98**, Edinburgh, 1998. v.1, p. 51-59.

BELLIENI, G. et al. Petrogenetic aspects of acid and basaltic lavas from the Paraná plateau (Brazil): Geological, mineralogical and petrochemical relationships. **Journal of Petrology**, Oxford, v. 27, n.4, p. 915-944, 1986.

BIONDI, Caroline Miranda et al . Teores de Fe, Mn, Zn, Cu, Ni E Co em solos de referência de Pernambuco. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa , v. 35, n. 3, June 2011.

BIONDI, C. M.; NASCIMENTO, C. W. A.; FABRICIO NETA, A. B.. Teores naturais de bário em solos de referência do estado de Pernambuco. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa , v. 35, n. 5, Oct. 2011.

BOIM, A.G.F. **Derivação de valores críticos de elementos potencialmente tóxicos em solos e avaliação de risco ao ambiente e à saúde humana**. 2014. Dissertação de Mestrado em Nutrição Mineral da Plantas – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, São Paulo.

BRADY, N.C.; WEIL, R.R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

CACHADA, A. F. O. **Geoquímica e qualidade ambiental de solos urbanos**. 2007. Dissertação de Mestrado em Geoquímica - Universidade de Aveiro, Portugal.

CAMILOTTI, F.; MARQUES, M. O.; ANDRIOLI, I.; SILVA, A. R.; TASSO JUNIOR, L. C.; NOBILE, F. O. N. Acúmulo de metais pesados em cana-de açúcar mediante a aplicação de lodo de esgoto e vinhaça. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, p. 284-293, 2007.

CAMPOS, S.; SILVA, M.; PIROLI, E. L. CARDOSO, L. G.; BARROS, Z. X. Evolução do uso da terra entre 1996 e 1999 no município de Botucatu-SP. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal , v. 24, n. 1, Apr. 2004 .

CÁRDENAS, F. P. A. **Zoneamento Geoambiental de uma parte da Bacia do Rio Nechí – Colômbia, por meio de Técnicas de Geoprocessamento**. 1999, 137f. Dissertação (Mestrado em Geologia). Universidade de Brasília. Brasília, 1999.

CETESB- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 2013. **Informações toxicológicas**. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/tecnologia-ambiental/laboratorios/109-informacoes-toxicologicas>. Acesso em 20 dez. 2013.

CETESB- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 2014. **Valores orientadores**. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/solo/legislacao/6-valores-orientadores>. Acesso em 10 jan. 2014.

CHEN, H.M.; ZHENG, C.R.; TU, C.; ZHU, Y.G. Poluição por metais pesados em solos da China: status e contramedidas. **Ambio**, 28:130-13, 1999.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009**, publicado no DOU nº 249, de 30/12/2009, págs. 81-84.

COSCIONE, A. R.; BERTON, R. S. Bário potencial de extração de mostarda, girassol e mamona. **Sci. agric. (Piracicaba, Braz.)**, Piracicaba, v 66, n. 1, fevereiro de 2009.

COSTA, A. C. S.; BIGHAM, J. M.; RHOTON, F. E.; TRAINA, S. J. Quantification and characterization of maghemite in soils derived from volcanic rocks in southern Brazil. **Clays and Clays Minerals**, Clarkson, v.4, p. 466-473, 1999.

CURI, N.; FRANZMEIER, D.P. Effect of parent rocks on chemical and mineralogical properties of some Oxisols in Brazil. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 51, p. 153-158, 1987.

DANA, J.D.; HURLBUT, C.S. **Manual de Mineralogia**. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro, 1978.

DANCEY, C.P.; REIDY, J. Estatística sem matemática para psicologia. 3 ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.

DREW, D. **Processos interativos homem-meio ambiente**. 7.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil Ltda, 2010, 206 p.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná**. Londrina: Imprensa Oficial. 1984. t. I e II. Publicação com IAPAR.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Mapa de Solos do Estado do Paraná**. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos: EMBRAPA: Solos e Florestas, 2007. 95p.

_____. **Projeto Paraná: Mapa de Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Paraná** - shp. Disponível em: <<http://mapoteca.cnps.embrapa.br/projetos.aspx>>. Acesso em: 07 de agosto de 2013.

EVANGELOU, V. P.; ZHANG, Y. L. A review: pyrite oxidation mechanisms and acid mine drainage prevention. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 25, n. 2, p. 141-199, 1995.

FADIGAS, F. de S. et al. Proposição de valores de referência para a concentração natural de metais pesados em solos brasileiros. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 10, n. 3, p. 699-705, 2006.

FERNANDES, L.A. **Estratigrafia e evolução da parte oriental da bacia Bauru (Ks, Brasil)**. 1998. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de Satélite para Estudos Ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 97p.

FONSECA, E. M. et al. Geochemical behavior of heavy metals in different environments in Rodrigo de Freitas lagoon - RJ/Brazil. **An. Acad. Bras. Ciênc.**, Rio de Janeiro, v. 83, n. 2, June 2011.

FORTUNE, M. A.; **The Severity of the Brazilian Freeze of July 1981, as Monitored by Satellite**. São Jose dos. Campos, INPE Sept. 1981. 19p. (INPE-2231-RPE/399). p. 1-5.

HERMUCHE, P. M.; GUIMARÃES, R. F.; CARVALHO, A. P. F. de; MARTINS, E. de S.; DRUCK, S.; CARVALHO JÚNIOR, O. A. de; SANTOS, N. B. F. dos; REATTO, A. **Morfometria como Suporte para Elaboração de Mapas Pedológicos: I. Bacias Hidrográficas Assimétricas**. EMBRAPA: Documentos 68, Planaltina, 2002. 14p.

HODGES, S. C.; ZELAZNY, L. W. Influences of OH/Al ratios and loadings rates on aluminum kaolinite interations. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 47:221-225, 1983.

HOLMGREN, G. G. S. et al. Cadmium, lead, zinc, copper, and nickel in agricultural soils of the United States of America. **Journal of environmental quality**, v. 22, n. 2, p. 335-348, 1993.

HUGEN, Camila et al. Teores de Cu e Zn em perfis de solos de diferentes litologias em Santa Catarina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 17, n. 6, 2013.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Bases Cartográficas**. 2012. Disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/cartas>>. Acesso em: 09 de agosto de 2013.

_____. **Enciclopédia dos Municípios Brasileiros**. Rio de Janeiro. v. XXXI. 1959.

INMET. **Climatologia**. Disponível em:<<http://www.inmet.gov.br/html/clima.php>> Acesso: 04/05/2015.

IPARDES (Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social). **Base de Dados do Estado**. Disponível em: <<http://www.ipardes.pr.gov.br/imp/index.php>> . Acesso em: 16 jul. 2013.

INPE (Instituto de Pesquisas Espaciais). **Projeto TOPODATA**. 2011. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>>. Acesso em: 09 de agosto de 2013.

IRVINE, T.N.; BARAGAR, W.R.A. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. **Canadian Journal of Earth Sciences**, v. 8, p. 523-548, 1971.

ITCG (Instituto de Terras, Cartografia e Geociências). **Produtos Cartográficos**. 2012. Disponível em: <<http://www.itcg.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=47>>. Acesso em: 10 de agosto de 2013.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. 3.ed. Boca Raton, CRC Press, 2001. 413p.

KÄMPF, N.; MARQUES, J.J.; CURTI, N. Mineralogia de solos brasileiros. In: KER, J.C.; CURTI, N.; SCHAEFER, C.E.G.R.; VIDAL-TORRADO, P. (Eds). **Pedologia: fundamentos**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, 2012. p. 81-145.

KER, J.C.; CURTI, N.; SCHAEFER, C.E.; TORRADO, P.V.; **Pedologia: fundamentos**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, 2012.

KRAUSKOPF, K. B. **Introdução à geoquímica**. Ed. da USP, 1972.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928.

LE BAS, M.J.; LE MAITRE, R.W.; STRECKEISEN, A.; ZANNETIN, B. A chemical classification of volcanic rocks based on total alkali-silica diagram. **Journal of Petrology**, v. 27, p. 745-750, 1986.

LEINZ, V.; BARTORELLI, G.; ISOTTA, C. A. L. Contribuição ao estudo do magmatismo basáltico mesozóico da Bacia do Paraná. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 40, (sup); p.167-181, 1966.

LEPSCH, I. F. **19 Lições de Pedologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

LIMA, V, F.; MERCON, F.. Metais pesados no ensino de química. **Redes**, 2012.

LOURENÇO, R.W.; LANDIM, P.M.B. Mapeamento de áreas de risco à saúde pública por meio de métodos geoestatísticos. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, 21(1):150-160, jan-fev., 2005.

MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. 3. ed. Curitiba: Imprensa Oficial, 2002.

McBRIDE, M. B. Reactions controlling heavy metal solubility in soils. **Adv. Soil Sci.**, 10:1-56, 1989.

MALAVOLTA, E.; MORAES, M.F.; LAVRES JUNIOR, J.; MALAVOLTA, M. Micronutrientes e metais pesados – essencialidade e toxidez. In PATERNIANI, E. (Ed.) **Ciência, agricultura e sociedade**. Brasília, DF, 2006. p. 117-154.

MECHI, A.; SANCHES, D. L. Impactos ambientais da mineração no Estado de São Paulo. **Estudos Avançados**, vol.24, n.68, p. 209-220, jan. 2010.

MEDINA, S. **Município de Bandeirantes**. Bandeirantes: Editora Bandeirantes, 1950.

MELFI, A. J.; PICCIRILLO, E. M.; NARDY, A. J. R. Geological and magmatic aspects of the Paraná Basin - an introduction. In: PICCIRILLO, E.M.; MELFI, A.J. (Ed.). **The mesozoic flood volcanism of the Paraná basin: petrogenetic and geophysical aspects**. São Paulo: IAG/USP, 1988. p.1-13.

METEOBRASIL. **GEADA DE 1981 – SINOPSE DE 19 A 21/07/1981**. Disponível em: < <http://meteobrasil.catch-forum.org/t137-onda-de-frio-de-julho-1981> > Acesso: 04/05/2015.

MILANI, E. J. et al. Bacia do Paraná. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, Rio de Janeiro, v.15, n. 2, p. 287, 2007.

MINEROPAR. Minerais do Paraná. **Geoquímica de solo – Horizonte B: Relatório final de projeto**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2v., 2005.

MINEROPAR. Minerais do Paraná. **Atlas geomorfológico do Estado do Paraná**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2006.

MINEROPAR. Minerais do Paraná. **Mapa geológico do Estado do Paraná**. Escala 1:650000. Curitiba: Secretaria da Ciência e Tecnologia e Desenvolvimento do governo do Paraná, 1989.

MOTTA, A. C. V.; MELO, V. F. Química dos solos ácidos. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (Eds.). **Química e mineralogia do Solo: Parte II- Aplicações**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. p. 313-380.

MUSEU DE BANDEIRANTES. História do Município de Bandeirantes. Bandeirantes, 2015.

NICHOLLS, W. H. A fronteira agrícola na história recente do Brasil: o estado do Paraná, 1920-65. **Revista Brasileira de Economia**, Rio de Janeiro, 24(4):33-91, out./dez. 1970.

NOCKOLDS, S. R. Average chemical compositions of some igneous rocks. **Geological Society of America Bulletin**, v. 65, n. 10, p. 1007-1032, 1954.

NOGUEIRA, T.A.R. **Disponibilidade de cádmio em Latossolos e sua transferência e toxicidade para as culturas de alface, arroz e feijão**. 2012. Tese

(doutorado). Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo. Piracicaba-SP.

NÚÑEZ, J.E.V.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; MAZUR, N. Sistema de preparo do solo e acúmulo de metais pesados no solo e na cultura do pimentão (*Capsum Annum L.*), **Ci. Rural**, 36:113-119, 2006.

OLIVEIRA, J. B. **Pedologia Aplicada**; 2. Ed. Piracicaba: FEALQ, 2005. 574p.

OLIVEIRA, F. C.; MATIAZZO, M. E. Mobilidade de metais pesados em Latossolos Amarelo distrófico tratado com lodo de esgoto e cultivado com cana-de-acúcar. **Sci. Agríc.** 58:807-812, 2001.

OLIVEIRA, S.M.B.; PESSENDA, L.C.R.; GOUVEIA, S.E.M.; FAVARO, D.T.I. Concentrações de metais pesados em solos de uma ilha oceânica remota, Fernando de Noronha, Brasil. **Anais Acad. Bras. Ciênc.**, v.83,n.4, Rio de Janeiro, out. 2011.

PAYE, H. S. et al . Valores de referência de qualidade para metais pesados em solos no Estado do Espírito Santo. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, MG, v. 34, n. 6, Dec. 2010.

PEATE, D. W.; HAWKESWORT, C. J.; MANTOVANI, M. S. M. Chemical stratigraphy of the Paraná lavas (South America): classification of magma types and their spatial distribution. **Bulletin of Volcanology**, Berlin, v. 55, p. 119-139, 1992.

PERARO, M. A. **Estudo do povoamento, crescimento e composição da população do norte do Paraná de 1940 a 1970**. 1978. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Parana, Curitiba.

PINESE, J.P.P. Síntese geológica da bacia do rio Tibagi. In: MEDRI, M.E.; BIANCHINI, E.; SHIBATA, O.A.; PIMENTA, J.A. (Ed.) **A bacia do rio Tibagi**. Londrina, 2002. p. 21-38.

PINESE, J.P.P; NARDY, A.J.R. Contexto Geológico da Formação Serra Geral no Terceiro Planalto Paranaense. **I Encontro Geotécnico do Terceiro Planalto Paranaense**, Maringá - PR, v. 1, n.1, p. 38-52, 2003.

PLUMLEE, G. S.; ZIEGLER, T. L. Soils, and Other Earth Materials. **Environmental geochemistry**, v. 9, p. 263, 2005.

POLITANO, W.; CORSINI, P.C.; VASQUES, J.G. Ocupação do solo no município de Jaboticabal-SP. **Científica**, São Paulo, v.8, n.1/2, p.27-34, 1980.

PRESS, F.; SIEVER, R.; GROTZINGER, J.; JORDAN, T.H. **Para entender a Terra**. 4.ed. Porto Alegre: Bookman, 2008.

QUAGGIO, J. A. **Acidez e calagem em solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2000.

- RAIJ, B.V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba:International Plant Nutrition Institute, 2011.
- RAMALHO, J. F. G. P.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B. Metais pesados em solos cultivados com cana-de-açúcar pelo uso de resíduos agroindustriais. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 8, p. 120-129, 2001.
- RANGEL, Carlos M. A. et al . Study of heavy metal concentration and partitioning in the Estrela River: implications for the pollution in Guanabara Bay - SE Brazil. **An. Acad. Bras. Ciênc.**, Rio de Janeiro , v. 83, n. 3, Sept. 2011.
- REICHARDT, K.; TIMM, L.C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri: Manole, 2008.
- RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B.; CORRÊA, G.F. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. 5. ed. rev. Lavras: Editora UFLA, 2007.
- RODERJAN, C.V.; GALVÃO, F.; KUNIYOSHI, Y.S.; HATSCHBACK, G.G. As unidades fitogeográficas do Estado do Paraná. **Ciência e Ambiente**. Santa Maria, v.24, p.75-92, 2002.
- ROSS, J. L. S. **Geomorfologia, ambiente e planejamento**. São Paulo: Ed. Contexto, 1990.
- SANTOS, F.S.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; MAZUR, N. Influência de diferentes manejos agrícolas na distribuição de metais pesados no solo e em plantas de tomate. **Rev. Bras. Ci. Solo**, 26:535-543, 2002.
- SANTOS, F.S. Remediação de áreas contaminadas com metais pesados pela disposição de resíduos perigosos da produção de zinco. 2005.Tese de doutorado Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ.
- SANTOS, F.S.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; MAZUR, N. Consequências do manejo do solo na distribuição de metais pesados em agrossistema com feijão de vagem (*Phaseolus vulgaris* L.). **Rev. Bras. Ci. Solo**, 27:191-198, 2003.
- SCHAETZL, R.; ANDERSON, S. **Soils: genesis and geomorphology**. New York: Cambridge University Press, 2005.
- SILVA, I. C. O.; ALVES, R. S.; PAULINO, H. B. Avaliação da acurácia do mapeamento pedológico da Bacia da Picada a partir do processamento digital de variáveis morfométricas. **Revista Geonorte**, v.9, n.1, p.61-78, 2013.
- SILVA, F. C. M. **Mineralogia e gênese de uma seqüência de solos no município de Bandeirantes-PR**. 1985. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras.
- SPOSITO, G. **The chemistry of soils**. New York, Oxford University Press, 1989. 277p.

SWIFT, R.S.; McLAREN R.G. Micronutrient adsorption by soils and soil colloids. In: BOLT, G.H.; DE BOODT, M.F.; HAYES, M.H.B.; McBRIDE, M.B. (Ed.). **Dordrecht, the Netherlands: Interactions at the soil colloid-soil solution interface.**, Kluwer Academic Publ.1991. Cap. 9, p. 257-292.

TAKAHASHI, Y.; IMAI, H. Adsorption of heavy metal cations in montmorillonite. **Soil Sci. Plant Nutr.**, 29:111-122, 1983.

TOREZAN, J. M. D. Nota sobre a vegetação da bacia do rio Tibagi. In: MEDRI, M.E. et al. (Ed.). **A bacia do rio Tibagi.** Londrina, 2002. p.103-107.

USEPA – United States Environmental Protection Agency. **Acid digestion of sediments, sludges and soils. EPA Method 3050B.**1996.
Disponível://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3050b.pdf, Acesso em 15 de agosto de 2013.

USGS - GLOVIS (U.S. Geological Survey). **Imagens de Satélite Landsat.**
Disponível em: <<http://glovis.usgs.gov/>>. Acesso em 08 de agosto de 2013.

VALERIANO, M. M. Modelo digital de variáveis morfométricas com dados SRTM para o território nacional: o projeto TOPODATA. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...**, Goiânia, 2005. 8p.

VALLADARES, G. S. et al . Variabilidade espacial e disponibilidade de cobre e zinco em solos de vinhedos e adjacências. **Bragantia**, Campinas , v. 68, n. 3, Sept. 2009.

WILSON, M.J. Weathering of primary rock-forming minerals: processes, products and rates. **Clay Minerals**, 39:233-266, 2004.

ZYL, J. J. The Shuttle Radar Topography Mission (SRTM): a breakthrough in remote of topography. **Acta Astronautic.** (48), p. 559-565. 2001.

ZANARDO, A.: MARQUES JUNIOR, J. Conceitos Básicos em Mineralogia. In: ALLEONI, L.R.F.; MELO, V.F. (Eds) **Química e Mineralogia do Solo.** Viçosa,-MG, SBCS, 2009, v.1, p.73-150.

ZANETTIN, B. Proposed new chemical classification of volcanic rocks **Episodes**, v.7, p. 19-20, 1984

APÊNDICE A – Relatório de controle da qualidade das análises dos solos



Acme Analytical Laboratories (Chile) S.A.
 Av. Claudio Arrau 7152 Pudahuel CHILE
 PHONE +56-2-26164600

www.acmelab.com

Client: **Tulio Roberto Pavelhao**
 Curitiba PR 81350-000 BRASIL

Project: Project Name Given
 Report Date: August 26, 2013

Page: 1 of 1 Part: 1 of 2

QUALITY CONTROL REPORT

GOI13000865.1

Method	DRY WT	1D		1D		1D		1D		1D		1D		1D		1D		1D		1D	
		Wgt	kg	ppm	%	ppm	%	ppm	%	ppm	%	ppm	%	ppm	%	ppm	%	ppm	%	ppm	%
MDL	0.01	0.3	0.01	2	20	1	3	0.01	0.5	1	1	1	0.01	1	5	0.01	1	0.01	1	0.01	2
Pulp Duplicates																					
AMOSTRA 01	Soil	0.49	<0.3	1.88	2	<20	160	<3	0.19	<0.5	31	75	105	12.35	<1	<5	0.14	33	0.05	1484	<1
REP AMOSTRA 01	OC	<0.3	1.93	<2	<20	170	<3	0.21	<0.5	33	77	117	13.03	<1	16	0.15	36	0.06	1542	<1	
AMOSTRA 37	Soil	0.49	<0.3	2.18	<2	<20	306	<3	0.31	<0.5	51	87	117	12.70	<1	12	0.08	36	0.09	2076	<1
REP AMOSTRA 37	OC	<0.3	2.16	<2	<20	306	<3	0.31	<0.5	51	87	116	12.56	<1	11	0.08	36	0.09	2064	<1	
AMOSTRA 73	Soil	0.59	<0.3	1.81	3	<20	192	3	0.11	<0.5	53	80	111	13.87	<1	17	<0.01	45	0.05	2856	<1
REP AMOSTRA 73	OC	<0.3	1.79	3	<20	197	<3	0.12	<0.5	56	81	114	14.25	<1	33	<0.01	46	0.05	2925	<1	
AMOSTRA 109	Soil	0.29	<0.3	1.39	<2	<20	77	<3	0.19	<0.5	16	53	61	13.03	<1	<5	0.01	32	0.04	1857	<1
REP AMOSTRA 109	OC	<0.3	1.38	<2	<20	77	<3	0.18	<0.5	15	53	61	12.82	<1	17	0.01	32	0.04	1861	<1	
Reference Materials																					
STD DSB	Standard	1.8	0.96	27	<20	325	4	0.73	2.5	7	130	113	2.54	<1	6	0.45	15	0.67	659	14	
STD DSB	Standard	1.7	0.92	30	<20	307	4	0.73	2.3	7	129	111	2.80	<1	<5	0.44	12	0.66	656	12	
STD DSB	Standard	1.6	0.92	26	<20	311	<3	0.74	2.2	7	125	109	2.72	<1	<5	0.42	14	0.65	641	13	
STD OREAS502B	Standard	2.0	1.93	22	<20	338	<3	1.07	<0.5	18	82	7618	4.55	<1	7	0.97	28	1.27	403	250	
STD OREAS502B	Standard	1.9	1.82	17	<20	334	<3	1.04	<0.5	18	80	7351	4.59	<1	<5	0.94	27	1.25	399	246	
STD OREAS502B	Standard	1.8	1.80	18	<20	317	<3	1.03	<0.5	18	81	7331	5.51	<1	<5	0.94	26	1.24	396	243	
STD OREAS502B Expected		2.01	1.9	18.6		299	5.22	1.1		19	79	7680	5.02			0.941	26.4	1.22	398	229	
STD DSB Expected		1.69	0.93	26	<20	279	5.67	0.7	2.38	7.5	115	110	2.46	0.192	4.7	0.41	14.6	0.6045	615	13.44	
BLK	Blank	<0.3	<0.01	<2	<20	<1	<3	<0.01	<0.5	<1	<1	<1	<0.01	<1	<5	<0.01	<1	<0.01	<2	<1	
BLK	Blank	<0.3	<0.01	<2	<20	<1	<3	<0.01	<0.5	<1	<1	<1	<0.01	<1	<5	<0.01	<1	<0.01	<2	<1	
BLK	Blank	<0.3	<0.01	<2	<20	<1	<3	<0.01	<0.5	<1	<1	<1	<0.01	<1	<5	<0.01	<1	<0.01	<2	<1	
BLK	Blank	<0.3	<0.01	<2	<20	<1	<3	<0.01	<0.5	<1	<1	<1	<0.01	<1	<5	<0.01	<1	<0.01	<2	<1	

The report supersedes all previous preliminary and final reports with this file number dated prior to the date on this certificate. Signature indicates final approval; preliminary reports are unassigned and should be used for reference only.



Acme Analytical Laboratories (Chile) S.A.
 Av. Claudio Arrau 7152 Pudahuel CHILE
 PHONE +56-2-26164600

www.scmelab.com

Client: **Tulio Roberto Pavelhao**
 Curitiba PR 85360-000 BRASIL

Project: Project Name Given
 Report Date: August 26, 2013

Page: 1 of 1

Part: 2 of 2

GOI13000865.1

QUALITY CONTROL REPORT

Method	Analyte	Unit	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D
MDL	%	ppm	%	ppm	%	ppm	%	ppm	%	ppm	%	ppm	%	ppm	%	ppm	%	ppm	%	ppm
Pulp Duplicates																				
AMOSTRA 01	Soil		<0.01	21	0.114	21	<0.05	<3	26	11	5	0.234	<5	533	<2	80				
REP AMOSTRA 01	OC		<0.01	21	0.117	19	0.06	<3	27	11	6	0.234	<5	552	<2	80				
AMOSTRA 37	Soil		0.01	24	0.069	13	<0.05	<3	27	21	6	0.428	<5	563	<2	106				
REP AMOSTRA 37	OC		0.01	24	0.069	15	<0.05	<3	27	21	6	0.421	<5	557	<2	106				
AMOSTRA 73	Soil		<0.01	25	0.078	18	<0.05	<3	31	12	6	0.268	<5	630	<2	78				
REP AMOSTRA 73	OC		<0.01	26	0.079	16	<0.05	<3	32	12	7	0.267	<5	636	<2	77				
AMOSTRA 109	Soil		<0.01	15	0.051	19	<0.05	<3	26	16	7	0.362	<5	453	<2	64				
REP AMOSTRA 109	OC		<0.01	15	0.052	18	0.05	<3	25	16	6	0.370	<5	458	<2	65				
Reference Materials																				
STD D58	Standard		0.10	43	0.086	132	0.28	5	<5	66	9	0.118	<5	45	3	313				
STD D58	Standard		0.08	43	0.089	137	0.27	6	<5	64	10	0.106	<5	44	3	321				
STD D58	Standard		0.08	42	0.083	128	0.27	6	<5	64	10	0.117	<5	44	4	303				
STD OREAS502B	Standard		0.17	36	0.097	22	1.45	<3	6	56	19	0.315	<5	119	2	113				
STD OREAS502B	Standard		0.15	36	0.096	22	1.43	<3	6	54	19	0.307	<5	117	2	113				
STD OREAS502B	Standard		0.12	36	0.098	22	1.43	<3	5	51	19	0.300	<5	116	3	114				
STD OREAS502B Expected			0.148	33.5	0.098	19.6	0.97			63	15	0.307		114		124				
STD D58 Expected			0.0883	38.1	0.08	123	0.1679	4.8	2.3	67.7	6.89	0.113	5.4	41.1	3	312				
BLK	Blank		<0.01	<1	<0.001	<3	<0.05	<3	<5	<1	<2	<0.001	<5	<1	<2	<1				
BLK	Blank		<0.01	<1	<0.001	<3	<0.05	<3	<5	<1	<2	<0.001	<5	<1	<2	<1				
BLK	Blank		<0.01	<1	<0.001	<3	<0.05	<3	<5	<1	<2	<0.001	<5	<1	<2	<1				
BLK	Blank		<0.01	<1	<0.001	<3	<0.05	<3	<5	<1	<2	<0.001	<5	<1	<2	<1				

This report supersedes all previous preliminary and final reports with the file number dated prior to the date on this certificate. Signatures indicate final approval; preliminary reports are unsigned and should be used for reference only.

APÊNDICE B – Relatório de controle de qualidade em rochas



www.acmelab.com

Acme Analytical Laboratories (Vancouver) Ltd.
 9050 Shaughnessy St Vancouver BC V6P 6E5 CANADA
 PHONE (604) 253-3158

Client: **Tulio Roberto Pavelhao**
 Curitiba PR 86360-000 BRASIL

Project: Project None Given
 Report Date: February 07, 2014

Page: 1 of 1

Part: 3 of 3

QUALITY CONTROL REPORT GOI14000041A.1

Method	Analyte	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	Leco	2A	Leco
Unit	MDL	%	%	%	%	ppm	ppm	%	ppm	%	ppm	%	ppm	%	ppm	%	ppm	%	TOTC	TOTC	
C1_G.4A02	Rock	0.7	4.38	0.20	2.86	25	45	0.37	28	52.50	366	99.85	2.73	37	281	0.02	<0.02				
Pulp Duplicates																					
C3_G.1D01	Rock																				
REP_C3_G.1D01	QC																				
C3_G.4A02	Rock	1.6	4.29	0.22	2.61	17	34	0.33	34	49.51	404	99.81	3.05	33	216	<0.02	<0.02				
REP_C3_G.4A02	QC																	<0.02	<0.02		
Reference Materials																					
STD_DS10	Standard																		1.01	2.31	
STD_GS311-1	Standard																		2.64	8.15	
STD_GS910-4	Standard																				
STD_OREAS45EA	Standard																				
STD_SO-18	Standard	1.9	3.40	0.40	3.69	20	48	0.80	25	57.96	386	99.89	0.69	31	300						
STD_SO-18	Standard	1.9	3.39	0.40	3.70	23	45	0.78	24	58.12	386	99.91	0.69	30	299						
STD_GS311-1 Expected																			1.02	2.35	
STD_GS910-4 Expected																			2.65	8.27	
STD_DS10 Expected																					
STD_OREAS45EA Expected																					
STD_SO-18 Expected		3.35	0.39	3.71	21	44	0.83	25	58.47	402		0.69	29	290							
BLK	Blank																		<0.02	<0.02	
BLK	Blank																				
BLK	Blank	0.0	<0.01	<0.01	<0.01	<5	<20	<0.01	<1	<0.01	<2	<0.01	<0.01	<3	<5						
Prep Wash																					
QUARTZ_GO	Prep Blank	0.5	<0.01	<0.01	0.02	<5	<20	0.02	<1	97.88	<2	100.04	<0.01	<3	<5	<0.02	<0.02				

This report supersedes all previous preliminary and final reports with this file number dated prior to the date on this certificate. Signature indicates final approval; preliminary reports are unsigned and should be used for reference only.



www.acmelab.com

Acme Analytical Laboratories (Vancouver) Ltd.
 9050 Shaughnessy St Vancouver BC V6P 6E5 CANADA
 PHONE (604) 253-3158

Client: **Tulio Roberto Pavelhao**
 Curitiba PR 86360-000 BRASIL

Project: Project None Given
 Report Date: February 07, 2014

Page: 1 of 1

Part: 1 of 3

QUALITY CONTROL REPORT GOI14000041A.1

Method	Analyte	WGHT	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D
Unit	MDL	kg	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	%	ppm	%	ppm	%	ppm	%	ppm	%	ppm
C1_G.4A02	Rock	0.90																				
Pulp Duplicates																						
C3_G.1D01	Rock	0.88	<0.3	1.07	<2	<20	81	<3	0.79	<0.5	21	4	164	4.86	14	<1	0.34	17	0.67	433	<1	
REP_C3_G.1D01	QC		<0.3	1.05	<2	<20	77	<3	0.74	<0.5	20	4	156	4.70	10	<1	0.32	16	0.64	415	<1	
C3_G.4A02	Rock	0.86																				
REP_C3_G.4A02	QC																					
Reference Materials																						
STD_DS10	Standard		1.7	0.99	47	<20	370	13	1.04	2.4	13	53	156	2.65	6	<1	0.32	15	0.75	869	14	
STD_GS311-1	Standard																					
STD_GS910-4	Standard																					
STD_OREAS45EA	Standard		<0.3	3.05	9	<20	146	<3	0.03	<0.5	57	865	704	24.67	7	<1	0.05	7	0.10	394	2	
STD_SO-18	Standard																					
STD_SO-18	Standard																					
STD_GS311-1 Expected																						
STD_GS910-4 Expected																						
STD_DS10 Expected		1.96	1.0259	43.7		349	11.65	1.0355	2.48	12.9	54.6	154.61	2.7188	4.3	0.289	0.3245	17.5	0.7651	861	14.69		
STD_OREAS45EA Expected		0.26	3.13	9		148		0.036		52	849	709	23.51	11.7		0.053	6.57	0.095	400	1.39		
STD_SO-18 Expected																						
BLK	Blank																					
BLK	Blank		<0.3	<0.01	<2	<20	<1	<3	<0.01	<0.5	<1	<1	<1	<0.01	<5	<1	<0.01	<1	<0.01	<2	<1	
BLK	Blank																					
Prep Wash																						
QUARTZ_GO	Prep Blank		<0.3	<0.01	<2	<20	1	<3	<0.01	<0.5	<1	22	34	1.05	<5	<1	<0.01	<1	<0.01	49	4	

This report supersedes all previous preliminary and final reports with this file number dated prior to the date on this certificate. Signature indicates final approval; preliminary reports are unsigned and should be used for reference only.



www.acmelab.com

Acme Analytical Laboratories (Vancouver) Ltd.
 9050 Shaughnessy St Vancouver BC V6P 6E5 CANADA
 PHONE (604) 253-3158

Client: **Tulio Roberto Pavelhao**
 Curitiba PR 86360-000 BRASIL

Project: Project None Given
 Report Date: February 07, 2014

Page: 1 of 1 Part: 2 of 3

QUALITY CONTROL REPORT GOI14000041A.1

Method Analyte Unit MDL	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	4A	4A	4A	4A	4A	4A
	Na %	Ni ppm	P %	Pb ppm	S %	Sb ppm	Sc ppm	Sr ppm	Th ppm	Ti %	Ti ppm	V ppm	W ppm	Zn ppm	Al2O3 %	Ba ppm	CaO %	Cr2O3 %	Fe2O3 %	K2O %	
C1_G_4A02 Rock	0.01	1	0.001	3	0.05	3	5	1	2	0.001	5	1	2	1	12.72	499	7.51	0.012	13.72	2.03	
Pulp Duplicates																					
C3_G_1D01 Rock	0.17	22	0.083	<3	<0.05	<3	<5	53	<2	0.405	<5	214	<2	73							
REP C3_G_1D01 QC	0.17	21	0.078	5	<0.05	<3	<5	51	<2	0.390	<5	200	<2	69							
C3_G_4A02 Rock															12.67	387	9.01	0.007	15.34	1.02	
REP C3_G_4A02 QC																					
Reference Materials																					
STD DS10 Standard	0.06	73	0.075	148	0.30	9	<5	62	6	0.067	<5	42	2	365							
STD GS311-1 Standard																					
STD GS910-4 Standard																					
STD OREAS45EA Standard	0.02	381	0.030	17	<0.05	<3	80	3	3	0.087	<5	305	<2	27							
STD SO-18 Standard															14.08	500	6.38	0.557	7.74	2.14	
STD SO-18 Standard															14.15	493	6.35	0.549	7.59	2.14	
STD GS311-1 Expected																					
STD GS910-4 Expected																					
STD DS10 Expected	0.0638	74.6	0.073	150.55	0.2743	7.8	2.8	67.1	7.5	0.0817	4.79	43	3.34	352.9							
STD OREAS45EA Expected	0.02	381	0.029	14.3	0.036			78	3.5	10.7	0.0875		303	28.9							
STD SO-18 Expected															14.23	515	6.42	0.55	7.67	2.17	
BLK Blank																					
BLK Blank	<0.01	<1	<0.001	<3	<0.05	<3	<5	<1	<2	<0.001	<5	<1	<2	<1	<0.01	<5	<0.01	<0.002	<0.04	<0.01	
BLK Blank																					
Prep Wash																					
QUARTZ_GO Prep Blank	0.01	12	<0.001	<3	<0.05	<3	<5	<1	<2	<0.001	<5	<1	<2	<1	0.03	<5	<0.01	0.003	1.55	0.01	

This report supersedes all previous preliminary and final reports with this file number dated prior to the date on this certificate. Signature indicates final approval; preliminary reports are unsigned and should be used for reference only.

ANEXO A – Resolução nº 420 do CONAMA - 2009**RESOLUÇÃO Nº 420, DE 28 DE DEZEMBRO DE 2009**

Publicado no DOU nº 249, de 30/12/2009, págs. 81-84

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.

O **CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE**, no uso das atribuições e competências que lhe são conferidas pelo art. 8º, inciso VII, da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, tendo em vista o disposto em seu Regimento Interno, e

Considerando a necessidade de prevenção da contaminação do solo visando à manutenção de sua funcionalidade e a proteção da qualidade das águas superficiais e subterrâneas;

Considerando que a existência de áreas contaminadas pode configurar sério risco à saúde pública e ao meio ambiente;

Considerando a necessidade de prevenir a contaminação do subsolo e das águas subterrâneas que são bens públicos e reservas estratégicas para o abastecimento público e o desenvolvimento ambientalmente sustentável;

Considerando a necessidade de estabelecer critérios para definição de valores orientadores para a prevenção da contaminação dos solos e de definir diretrizes para o gerenciamento de áreas contaminadas;

Considerando que a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, impõe ao poluidor e ao degradador a obrigação de recuperar e/ou indenizar danos causados;

Considerando que a Lei nº 10.406, de 10 de janeiro de 2002, determina, em seu art. 1.228, § 1º, que o direito de propriedade deve ser exercido de modo que sejam preservados a flora, a fauna, as belezas naturais, o equilíbrio ecológico e o patrimônio histórico e artístico, bem como evitada a poluição do ar e das águas; e

Considerando a necessidade de estabelecimento de procedimentos e critérios integrados entre os órgãos da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios em conjunto com a sociedade civil organizada, para o uso sustentável do solo, de maneira a prevenir alterações prejudiciais que possam resultar em perda de sua funcionalidade, resolve:

CAPÍTULO I**DAS DISPOSIÇÕES GERAIS**

Art. 1º Esta resolução 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.

Parágrafo único. Na ocorrência comprovada de concentrações naturais de substâncias químicas que possam causar risco à saúde humana, os órgãos competentes deverão desenvolver ações específicas para a proteção da população exposta.

Art. 2º Esta Resolução não se aplica em áreas e solos submersos no meio aquático marinho e estuarino.

Art. 3º A proteção do solo deve ser realizada de maneira preventiva, a fim de garantir a manutenção da sua funcionalidade ou, de maneira corretiva, visando restaurar sua qualidade ou recuperá-la de forma compatível com os usos previstos.

Parágrafo único. São funções principais do solo:

I - servir como meio básico para a sustentação da vida e de habitat para pessoas, animais, plantas e outros organismos vivos;

II - manter o ciclo da água e dos nutrientes;

III - servir como meio para a produção de alimentos e outros bens primários de consumo;

IV - agir como filtro natural, tampão e meio de adsorção, degradação e transformação de substâncias químicas e organismos;

V - proteger as águas superficiais e subterrâneas;

VI - servir como fonte de informação quanto ao patrimônio natural, histórico e cultural;

VII - constituir fonte de recursos minerais; e

VIII - servir como meio básico para a ocupação territorial, práticas recreacionais e propiciar outros usos públicos e econômicos.

Art. 4º As diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas abrangem o solo e o subsolo, com todos seus componentes sólidos, líquidos e gasosos.

Art. 5º Os critérios para prevenção, proteção e controle da qualidade das águas subterrâneas observarão a legislação específica.

Art. 6º Para efeito desta Resolução são adotados os seguintes termos e definições:

I - Avaliação de risco: processo pelo qual são identificados, avaliados e quantificados os riscos à saúde humana ou a bem de relevante interesse ambiental a ser protegido;

II - Avaliação preliminar: avaliação inicial, realizada com base nas informações históricas disponíveis e inspeção do local, com o objetivo principal de encontrar evidências, indícios ou fatos que permitam suspeitar da existência de contaminação na área;

III - Bens a proteger: a saúde e o bem-estar da população; a fauna e a flora; a qualidade do solo, das águas e do ar; os interesses de proteção à natureza/paisagem; a infra-estrutura da ordenação territorial e planejamento regional e urbano; a segurança e ordem pública;

IV - Cenário de exposição padronizado: padronização do conjunto de variáveis relativas à liberação das substâncias químicas de interesse, a partir de

uma fonte primária ou secundária de contaminação; aos caminhos de exposição e às vias de ingresso no receptor considerado, para derivar os valores de investigação, em função dos diferentes usos do solo;

V - Contaminação: presença de substância(s) química(s) no ar, água ou solo, decorrentes de atividades antrópicas, em concentrações tais que restrinjam a utilização desse recurso ambiental para os usos atual ou pretendido, definidas com base em avaliação de risco à saúde humana, assim como aos bens a proteger, em cenário de exposição padronizado ou específico;

VI - Fase livre: ocorrência de substância ou produto imiscível, em fase separada da água;

VII - Ingresso diário tolerável: é o aporte diário tolerável a seres humanos de uma substância presente no ar, na água, no solo ou em alimentos ao longo da vida, sem efeito deletério comprovado à saúde humana;

VIII - Investigação confirmatória: etapa do processo de identificação de áreas contaminadas que tem como objetivo principal confirmar ou não a existência de substâncias de origem antrópica nas áreas suspeitas, no solo ou nas águas subterrâneas, em concentrações acima dos valores de investigação;

IX - Investigação detalhada: etapa do processo de gerenciamento de áreas contaminadas, que consiste na aquisição e interpretação de dados em área contaminada sob investigação, a fim de entender a dinâmica da contaminação nos meios físicos afetados e a identificação dos cenários específicos de uso e ocupação do solo, dos receptores de risco existentes, dos caminhos de exposição e das vias de ingresso;

X - Limite de Detecção do Método-LDM - menor concentração de uma substância que pode ser detectada, mas não necessariamente quantificada, pelo método utilizado;

XI - Limite de Quantificação Praticável-LQP - menor concentração de uma substância que pode ser determinada quantitativamente, com precisão e exatidão, pelo método utilizado;

XII - Limite de Quantificação da Amostra-LQA - LQP ajustado para as características específicas da amostra analisada;

XIII - Monitoramento: medição ou verificação, que pode ser contínua ou periódica, para acompanhamento da condição de qualidade de um meio ou das suas características; XIV - Nível Tolerável de Risco à Saúde Humana, para Substâncias Carcinogênicas: probabilidade de ocorrência de um caso adicional de câncer em uma população exposta de 100.000 indivíduos;

XV - Nível Tolerável de Risco à Saúde Humana, para Substâncias Não Carcinogênicas: aquele associado ao ingresso diário de contaminantes que seja igual ou inferior ao ingresso diário tolerável a que uma pessoa possa estar exposta por toda a sua vida;

XVI - Perigo: Situação em que estejam ameaçadas a vida humana, o meio ambiente ou o patrimônio público e privado, em razão da presença de agentes tóxicos, patogênicos, reativos, corrosivos ou inflamáveis no solo ou em águas subterrâneas ou em instalações, equipamentos e construções abandonadas, em desuso ou não controladas;

XVII - Remediação: uma das ações de intervenção para reabilitação de área contaminada, que consiste em aplicação de técnicas, visando a remoção, contenção ou redução das concentrações de contaminantes;

XVIII - Reabilitação: ações de intervenção realizadas em uma área contaminada visando atingir um risco tolerável, para o uso declarado ou futuro da área;

XIX - Regional: toda ocorrência que envolva dois ou mais estados;

XX - Risco: é a probabilidade de ocorrência de efeito(s) adverso(s) em receptores expostos a contaminantes;

XXI - Valores Orientadores: são concentrações de substâncias químicas que fornecem orientação sobre a qualidade e as alterações do solo e da água subterrânea;

XXII - Valor de Referência de Qualidade-VRQ: é a concentração de determinada substância que define a qualidade natural do solo, sendo determinado com base em interpretação estatística de análises físico-químicas de amostras de diversos tipos de solos;

XXIII - Valor de Prevenção-VP: é a concentração de valor limite de determinada substância no solo, tal que ele seja capaz de sustentar as suas funções principais de acordo com o art. 3º.

XXIV - Valor de Investigação-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, considerando um cenário de exposição padronizado.

CAPÍTULO II

DOS CRITÉRIOS E VALORES ORIENTADORES DE QUALIDADE DO SOLO

Art. 7º A avaliação da qualidade de solo, quanto à presença de substâncias químicas, deve ser efetuada com base em Valores Orientadores de Referência de Qualidade, de Prevenção e de Investigação.

~~Art. 8º Os VRQs do solo para substâncias químicas naturalmente presentes serão estabelecidos pelos órgãos ambientais competentes dos Estados e do Distrito Federal, em até 04 anos após a publicação desta Resolução, de acordo com o procedimento estabelecido no Anexo I.~~

Art. 8º Os VRQs do solo para substâncias químicas naturalmente presentes serão estabelecidos pelos órgãos ambientais competentes dos Estados e do Distrito Federal até dezembro de 2014, de acordo com o procedimento estabelecido no Anexo I. *(Nova Redação dada pela Resolução CONAMA nº 460/2013)*

§ 1º Nas regiões limítrofes entre unidades federativas, cujos solos tenham características semelhantes, os respectivos órgãos ambientais deverão estabelecer VRQs comuns.

§ 2º Os órgãos ambientais, a seu critério e quando tecnicamente justificado, poderão estabelecer VRQs para substâncias orgânicas naturalmente presentes, listadas ou não no Anexo II.

Art. 9º Serão adotados como VPs os valores apresentados no Anexo II, os quais foram estabelecidos com base em ensaios de fitotoxicidade ou em avaliação de risco ecológico.

Art. 10. Serão adotados como VIs, os valores apresentados no Anexo II, os quais foram derivados com base em avaliação de risco à saúde humana, em função de cenários de exposição padronizados para diferentes usos e ocupação do solo.

Art. 11. A requerimento dos órgãos ambientais competentes, quando tecnicamente justificado e aprovado pelo CONAMA, poderão ser revistos os VPs e VIs estabelecidos nesta Resolução, bem como serem estabelecidos VPs e VIs estaduais ou regionais para substâncias químicas listadas ou não no Anexo II, com base na mesma metodologia e garantindo o mesmo nível de risco.

Art. 12. As substâncias não listadas no Anexo II, quando necessária sua investigação, terão seus valores orientadores definidos pelo órgão ambiental competente.

Art. 13. Ficam estabelecidas as seguintes classes de qualidade dos solos, segundo a concentração de substâncias químicas:

I - Classe 1 - Solos que apresentam concentrações de substâncias químicas menores ou iguais ao VRQ;

II - Classe 2 - Solos que apresentam concentrações de pelo menos uma substância química maior do que o VRQ e menor ou igual ao VP;

III - Classe 3 - Solos que apresentam concentrações de pelo menos uma substância química maior que o VP e menor ou igual ao VI; e

IV - Classe 4 - Solos que apresentam concentrações de pelo menos uma substância química maior que o VI.

CAPÍTULO III

DA PREVENÇÃO E CONTROLE DA QUALIDADE DO SOLO

Art. 14. Com vista à prevenção e controle da qualidade do solo, os empreendimentos que desenvolvem atividades com potencial de contaminação dos solos e águas subterrâneas deverão, a critério do órgão ambiental competente:

I - implantar programa de monitoramento de qualidade do solo e das águas subterrâneas na área do empreendimento e, quando necessário, na sua área de influência direta e nas águas superficiais; e

II - apresentar relatório técnico conclusivo sobre a qualidade do solo e das águas subterrâneas, a cada solicitação de renovação de licença e previamente ao encerramento das atividades.

§ 1º Os órgãos ambientais competentes publicarão a relação das atividades com potencial de contaminação dos solos e das águas subterrâneas, com fins de orientação das ações de prevenção e controle da qualidade do solo, com base nas atividades previstas na Lei nº 10.165, de 27 de dezembro de 2000.

§ 2º O programa de monitoramento para as águas subterrâneas, bem como o relatório técnico, mencionados nos incisos I e II, deverão ser estabelecidos observadas as ações implementadas no âmbito do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos-SINGREH.

Art. 15. As concentrações de substâncias químicas no solo resultantes da aplicação ou disposição de resíduos e efluentes, observada a legislação em vigor, não poderão ultrapassar os respectivos VPs.

Art. 16. São procedimentos para avaliação das concentrações de substâncias químicas e controle da qualidade do solo, dentre outros:

I - realização de amostragens e ensaios de campo ou laboratoriais, de acordo com os artigos 17, 18 e 19;

II - classificação da qualidade do solo conforme artigo 13; e

III - adoção das ações requeridas conforme estabelecido no artigo 20.

Art. 17. Para atendimento desta Resolução nas amostragens, análises e controle de qualidade para caracterização e monitoramento do solo e das águas subterrâneas deverão ser observadas, no mínimo, as seguintes diretrizes:

I - adotar procedimentos de coleta, manuseio, preservação, acondicionamento e transporte de amostras de acordo com normas nacionais e internacionais, respeitando-se os prazos de validade;

II - realizar as análises físicas, químicas, físico-químicas e biológicas, utilizando-se metodologias que atendam às especificações descritas em normas reconhecidas internacionalmente;

III - no caso do limite de quantificação da amostra - LQA ser maior do que o LQP, o LQA será aceito para atendimento desta resolução, desde que tecnicamente justificado;

IV - caso a substância seja identificada na amostra em concentração entre o limite de detecção do método - LDM e o LQA, o fato deverá ser reportado no laudo analítico com a nota de que a concentração não pode ser determinada com confiabilidade;

V - no caso de áreas submetidas à aplicação de produtos agrotóxicos, o momento da coleta deve ter correspondência com o período de carência dos mesmos; e

VI - no caso de aplicação de fertilizantes, o momento da coleta da amostra deverá estar correlacionado à colheita do produto, quando houver.

Art. 18. Os resultados das análises devem ser reportados em laudos analíticos contendo, no mínimo:

I - identificação do local da amostragem, data e horário de coleta e entrada da amostra no laboratório, anexando a cadeia de custódia;

II - indicação do método de análise utilizado para cada parâmetro analisado;

III - os LQAs, para cada parâmetro analisado;

IV - os resultados dos brancos do método e rastreadores ("surrogates");

V - as incertezas de medição para cada parâmetro; e

VI - ensaios de adição e recuperação dos analitos na matriz ("spike").

Parágrafo único. Outros documentos, tais como cartas-controle, cromatogramas, resultados obtidos em ensaios de proficiência e em amostras certificadas, podem ser solicitados a qualquer tempo pelo órgão ambiental competente.

Art. 19. As análises para caracterização e monitoramento da qualidade do solo e da água subterrânea deverão ser realizadas em laboratórios acreditados

pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial-INMETRO para os parâmetros de interesse.

Parágrafo único. Por um prazo de cinco anos serão admitidas análises realizadas por instituição aceita pelos órgãos ambientais ou de recursos hídricos, para os respectivos parâmetros de interesse.

Art. 20. Após a classificação do solo deverão ser observados os seguintes procedimentos de prevenção e controle da qualidade do solo:

I - Classe 1: não requer ações;

II - Classe 2: poderá requerer uma avaliação do órgão ambiental, incluindo a verificação da possibilidade de ocorrência natural da substância ou da existência de fontes de poluição, com indicativos de ações preventivas de controle, quando couber, não envolvendo necessariamente investigação;

III - Classe 3: requer identificação da fonte potencial de contaminação, avaliação da ocorrência natural da substância, controle das fontes de contaminação e monitoramento da qualidade do solo e da água subterrânea; e

IV - Classe 4: requer as ações estabelecidas no Capítulo IV.

CAPÍTULO IV

DAS DIRETRIZES PARA O GERENCIAMENTO DE ÁREAS CONTAMINADAS

Art. 21. São princípios básicos para o gerenciamento de áreas contaminadas:

I - a geração e a disponibilização de informações;

II - a articulação, a cooperação e integração interinstitucional entre os órgãos da União, dos estados, do Distrito Federal e dos municípios, os proprietários, os usuários e demais beneficiados ou afetados;

III - a gradualidade na fixação de metas ambientais, como subsídio à definição de ações a serem cumpridas;

IV - a racionalidade e otimização de ações e custos;

V - a responsabilização do causador pelo dano e suas conseqüências;

e,

VI - a comunicação de risco.

Art. 22. O gerenciamento de áreas contaminadas deverá conter procedimentos e ações voltadas ao atendimento dos seguintes objetivos:

I - eliminar o perigo ou reduzir o risco à saúde humana;

II - eliminar ou minimizar os riscos ao meio ambiente;

III - evitar danos aos demais bens a proteger;

IV - evitar danos ao bem estar público durante a execução de ações para reabilitação; e

V - possibilitar o uso declarado ou futuro da área, observando o planejamento de uso e ocupação do solo.

Art. 23. Para o gerenciamento de áreas contaminadas, o órgão ambiental competente deverá instituir procedimentos e ações de investigação e de gestão, que contemplem as seguintes etapas, conforme ilustrado no Anexo III:

I - Identificação: etapa em que serão identificadas áreas suspeitas de contaminação com base em avaliação preliminar, e, para aquelas em que houver indícios de contaminação, deve ser realizada uma investigação confirmatória, as expensas do responsável, segundo as normas técnicas ou procedimentos vigentes.

II - Diagnóstico: etapa que inclui a investigação detalhada e avaliação de risco, as expensas do responsável, segundo as normas técnicas ou procedimentos vigentes, com objetivo de subsidiar a etapa de intervenção, após a investigação confirmatória que tenha identificado substâncias químicas em concentrações acima do valor de investigação.

III - Intervenção: etapa de execução de ações de controle para a eliminação do perigo ou redução, a níveis toleráveis, dos riscos identificados na etapa de diagnóstico, bem como o monitoramento da eficácia das ações executadas, considerando o uso atual e futuro da área, segundo as normas técnicas ou procedimentos vigentes.

Art. 24. Será considerada Área Suspeita de Contaminação – AS, pelo órgão ambiental competente, aquela em que, após a realização de uma avaliação preliminar, forem observados indícios da presença de contaminação ou identificadas condições que possam representar perigo.

Art. 25. Será declarada Área Contaminada sob Investigação – AI, pelo órgão ambiental competente, aquela em que comprovadamente for constatada, mediante investigação confirmatória, a contaminação com concentrações de substâncias no solo ou nas águas subterrâneas acima dos valores de investigação.

Parágrafo único. Quando a concentração de uma substância for reconhecida pelo órgão ambiental competente como de ocorrência natural, a área não será considerada contaminada sob investigação, entretanto será necessária a implementação de ações específicas de proteção à saúde humana pelo poder público competente.

Art. 26. Será declarada Área Contaminada sob Intervenção-ACI, pelo órgão ambiental competente, aquela em que for constatada a presença de substâncias químicas em fase livre ou for comprovada, após investigação detalhada e avaliação de risco, a existência de risco à saúde humana.

Art. 27. Será declarada Área em Processo de Monitoramento para Reabilitação-AMR, pelo órgão ambiental competente, aquela em que o risco for considerado tolerável, após a execução de avaliação de risco.

§ 1º Nas situações em que a existência de determinada AI ou ACI possa implicar em impactos significativos aos recursos ambientais, o gerenciamento do risco poderá se basear nos resultados de uma avaliação de risco ecológico, a critério do órgão ambiental competente.

§ 2º Na impossibilidade de execução de uma avaliação de risco ecológico, em uma determinada área, o órgão ambiental competente deverá estabelecer valores específicos e metas para subsidiar a reabilitação da área utilizando-se de metodologia tecnicamente justificada.

§ 3º Em caso de identificação de fase livre, a avaliação de risco deverá ser efetuada após a sua eliminação ou redução a níveis mínimos estabelecidos a critério do órgão ambiental competente, com base nos recursos tecnológicos disponíveis, sem prejuízo à implementação das etapas de gerenciamento das outras fontes de contaminação da área.

Art. 28. No caso da identificação de condição de perigo, em qualquer etapa do gerenciamento, deverão ser tomadas ações emergenciais compatíveis para a eliminação desta condição e a continuidade da investigação e do gerenciamento.

Art. 29. Após a declaração de AI ou ACI, o órgão ambiental competente, em conjunto com os demais órgãos envolvidos, deverá adotar medidas cabíveis para resguardar os receptores do risco já identificados nestas etapas.

Art. 30. Os órgãos ambientais competentes devem planejar suas ações, observando, para a priorização, os seguintes aspectos:

I - população potencialmente exposta;

II - proteção dos recursos hídricos; e

III - presença de áreas de interesse ambiental. Art. 31. Para o gerenciamento de áreas contaminadas, os VIs para água subterrânea são os listados no Anexo II, definidos com base em risco à saúde humana.

§ 1º Para substâncias não listadas e nas áreas onde as condições naturais apresentem valores anômalos para as substâncias químicas, o órgão ambiental competente, em conjunto com órgão gestor de recursos hídricos, deverá definir ações específicas para cada caso.

§ 2º Na hipótese da revisão da legislação específica que define os padrões de potabilidade para risco à saúde humana, os valores previstos no Anexo II ficam automaticamente alterados.

Art. 32. Para o cumprimento dos procedimentos e ações no gerenciamento de áreas contaminadas, o órgão ambiental competente deverá:

I - definir, em conjunto com outros órgãos, ações emergenciais em casos de identificação de condições de perigo;

II - definir os procedimentos de identificação e diagnóstico;

III - avaliar o diagnóstico ambiental;

IV - promover a comunicação de risco após a declaração da área como contaminada sob intervenção;

V - avaliar, em conjunto com outros órgãos, as propostas de intervenção da área;

VI - acompanhar, em conjunto com outros órgãos, as ações emergenciais, de intervenção e de monitoramento;

VII - avaliar a eficácia das ações de intervenção; e

VIII - dar ampla publicidade e comunicar a situação da área ao proprietário, ao possuidor, ao Cartório de Registro de Imóveis da Comarca onde se insere o imóvel, bem como ao cadastro imobiliário das prefeituras e do Distrito Federal.

Parágrafo único. No desenvolvimento das ações deverão ser observados os usos preponderantes, o enquadramento e os planos de recursos hídricos.

Art. 33. Para fins de reabilitação da área contaminada, o proprietário informará o uso pretendido à autoridade competente que decidirá sobre sua viabilidade ambiental, com fundamento na legislação vigente, no diagnóstico da

área, na avaliação de risco, nas ações de intervenção propostas e no zoneamento do uso do solo.

Art. 34. Os responsáveis pela contaminação da área devem submeter ao órgão ambiental competente proposta para a ação de intervenção a ser executada sob sua responsabilidade, devendo a mesma, obrigatoriamente, considerar:

- I - o controle ou eliminação das fontes de contaminação;
- II - o uso atual e futuro do solo da área objeto e sua circunvizinhança;
- III - a avaliação de risco à saúde humana;
- IV - as alternativas de intervenção consideradas técnica e economicamente viáveis e suas consequências;
- V - o programa de monitoramento da eficácia das ações executadas; e
- VI - os custos e os prazos envolvidos na implementação das alternativas de intervenção propostas para atingir as metas estabelecidas.

Parágrafo único. As alternativas de intervenção para reabilitação de áreas contaminadas poderão contemplar, de forma não excludente, as seguintes ações:

- I - eliminação de perigo ou redução a níveis toleráveis dos riscos à segurança pública, à saúde humana e ao meio ambiente;
- II - zoneamento e restrição dos usos e ocupação do solo e das águas superficiais e subterrâneas;
- III - aplicação de técnicas de remediação; e
- IV - monitoramento.

Art. 35. Após a eliminação dos riscos ou a sua redução a níveis toleráveis, a área será declarada, pelo órgão ambiental competente, como área em processo de monitoramento para reabilitação – AMR.

Art. 36. Após período de monitoramento, definido pelo órgão ambiental competente, que confirme a eliminação do perigo ou a redução dos riscos a níveis toleráveis, a área será declarada pelo órgão ambiental competente como reabilitada para o uso declarado – AR.

Art. 37. Os órgãos ambientais competentes, quando da constatação da existência de uma área contaminada ou reabilitada para o uso declarado, comunicarão formalmente:

- I - ao responsável pela contaminação;
- II - ao proprietário ou ao possuidor da área contaminada ou reabilitada;
- III - aos órgãos federais, estaduais, distrital e municipais de saúde, meio ambiente e de recursos hídricos;
- IV - ao poder público municipal;
- V - à concessionária local de abastecimento público de água; e
- VI - ao Cartório de Registro de Imóveis da Comarca onde se insere determinada área, bem como ao cadastro imobiliário das prefeituras e do Distrito Federal.

Parágrafo único. Deverão ser criados pelo Poder Público mecanismos para comunicação de riscos à população adequados aos diferentes públicos envolvidos, propiciando a fácil compreensão e o acesso à informação aos grupos social e ambientalmente vulneráveis.

Art. 38. Os órgãos ambientais competentes, observando o sigilo necessário, previsto em lei, deverão dar publicidade principalmente em seus portais institucionais na rede mundial de computadores, às informações sobre áreas contaminadas identificadas e suas principais características, na forma de um relatório que deverá conter no mínimo:

I - a identificação da área com dados relativos à toponímia e georreferenciamento, características hidrogeológicas, hidrológicas e fisiografia;

II - a(s) atividade(s) poluidora(s) ativa(s) e inativa(s), fonte poluidora primária e secundária ou potencial, extensão da área afetada, causa da contaminação (acidentes, vazamentos, disposição inapropriada do produto químico ou perigoso, dentre outros);

III - as características das fontes poluidoras no que se refere à disposição de resíduos, armazenamento de produtos químicos e perigosos, produção industrial, vias de contaminação e impermeabilização da área;

IV - a classificação da área em AI, ACI, AMR e AR;

V - o uso atual do solo da área e seu entorno, ação em curso e pretérita;

VI - os meios afetados e concentrações de contaminantes;

VII - a descrição dos bens a proteger e distância da fonte poluidora;

VIII - os cenários de risco e rotas de exposição;

IX - as formas de intervenção; e

X - as áreas contaminadas críticas

§ 1º As informações previstas no caput deverão ser tornadas disponíveis pelos órgãos estaduais de meio ambiente ao IBAMA, o qual definirá e divulgará, em seu portal institucional, forma de apresentação e organização sistematizada das informações.

§ 2º O IBAMA implementará módulo no sistema de informação institucional, que tornará públicas as informações enviadas pelos órgãos estaduais de meio ambiente, na forma organizada e sistematizada necessária.

§ 3º As informações constantes do relatório mencionado no caput constituirão o Banco de Dados Nacional sobre Áreas Contaminadas.

CAPÍTULO V

DAS DISPOSIÇÕES FINAIS E TRANSITÓRIAS

Art. 39. Os critérios e procedimentos estabelecidos nesta Resolução não se aplicam a substâncias radioativas.

Parágrafo único. No caso de suspeitas ou evidências de contaminação por substâncias radioativas o órgão ambiental notificará a Comissão Nacional de Energia Nuclear-CNEN.

Art. 40. Esta Resolução deverá ser revista após 5 (cinco) anos contados a partir da sua publicação.

Art. 41. Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.

CARLOS MINC
Presidente do Conselho

Este texto não substitui o publicado no DOU de 30/12/2009

ANEXO B – Resolução nº 460 do CONAMA - 2013

RESOLUÇÃO Nº 460, DE 30 DE DEZEMBRO DE 2013

Correlação:

- Altera a Resolução CONAMA nº 420/2009 (altera o prazo do art. 8º, e acrescenta novo parágrafo).

Altera a Resolução CONAMA nº 420, de 28 de dezembro de 2009, que dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e dá outras providências.

O CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA, no uso da competência que lhe é conferida pelo inciso I do art. 8º da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, e tendo em vista o disposto em seu Regimento Interno, Anexo à Portaria nº 168, de 13 de junho de 2005, e

Considerando o disposto na Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA, que dispõe sobre critérios e valores orientados 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, resolve:

Art. 1º O do art. 8º da Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA, publicada em 30 de dezembro de 2009, Seção 1, página 81 a 84, passa a vigorar com a seguinte redação:

"Art. 8º Os VRQs do solo para substâncias químicas naturalmente presentes serão estabelecidos pelos órgãos ambientais competentes dos Estados e do Distrito Federal até dezembro de 2014, de acordo com o procedimento estabelecido no Anexo I.

.....

§ 3º Os Estados e o Distrito Federal informarão trimestralmente ao Ministério do Meio Ambiente e ao Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA os resultados das ações adotadas para o cumprimento do disposto no caput deste artigo." (NR)

Art. 2º Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.

IZABELLA TEIXEIRA
Presidente do Conselho

ESSE TEXTO NÃO SUBSTITUI O PUBLICADO NO
DOU N° 253, DE 31/12/2013, Seção 01, Pág. 153

Procedimento para o Estabelecimento de Valores Orientadores

Os valores de referência de qualidade (VRQs) para as substâncias inorgânicas de ocorrência natural no solo são estabelecidos a partir de interpretação estatística dos resultados analíticos obtidos em amostras coletadas nos principais tipos de solo do Estado, conforme as etapas descritas abaixo.

1 - Seleção dos tipos de solo

Identificar os tipos de solo em cada estado, com base em critérios tais como o material de origem do solo (litologia), relevo e clima, de modo a se obter um conjunto de tipos de solo que representem os compartimentos geomorfológicos, pedológicos, geológicos mais representativos do estado.

2- Seleção de parâmetros para caracterização do solo

Os parâmetros a serem determinados para caracterização do solo são: carbono orgânico, pH em água, capacidade de troca catiônica (CTC) e teores de argila, silte, areia e de óxidos de alumínio, ferro e manganês. Considerando as peculiaridades regionais, outros parâmetros poderão ser incluídos.

Em cada compartimento selecionado conforme o item 1 deverão ser definidas estações de amostragem, em trechos sem interferência antropogênica ou com interferência antropogênica desprezível, que devem ser distribuídas de modo a representar estatisticamente a área geográfica de ocorrência de cada tipo de solo.

A amostra de cada estação será do tipo composta, formada por subamostras de 10 (dez) pontos amostrais, obtidas na profundidade de 0-20 cm. Amostragens simples ou para outras profundidades poderão ser adotadas em função de especificidades regionais. As coordenadas geográficas e a altitude dos pontos amostrais devem ser anotadas, especificando o sistema geodésico de referência.

Deverão ser adotados procedimentos de coleta, manuseio, preservação, acondicionamento e transporte de amostras, descritos em normas nacionais e internacionais, respeitando-se os prazos de validade.

3 – Metodologias analíticas

Para análise das substâncias inorgânicas listadas no Anexo II, utilizar a fração de solo menor que 2mm. A metodologia analítica para a extração das substâncias inorgânicas (exceto mercúrio) das amostras será a USEPA 3050 ou USEPA 3051 ou em suas atualizações. As determinações do pH em água, CTC e dos teores de carbono orgânico, argila, silte, areia, óxidos de ferro, alumínio, manganês e silício devem seguir as metodologias analíticas definidas pela EMBRAPA.

No caso de ocorrência natural, reconhecida pelo órgão ambiental competente, de substâncias não contempladas nas metodologias citadas anteriormente, deverão ser adotadas metodologias que atendam às especificações descritas em normas reconhecidas internacionalmente, que incluam a edição mais recente dos métodos publicados pela USEPA (United States Environmental Protection Agency), série SW-846 – Test Methods for Evaluating Solid Waste; pela ISO (International Standardization Organization) e pela DIN (Deutsches Institut für Normung).

As análises químicas deverão contemplar rastreabilidade analítica, validação, cartas controle elaboradas com faixas de concentração significativamente próximas daquelas esperadas nas matrizes sólidas) e ensaios com materiais de referência certificados, a fim de comprovar a exatidão dos resultados por meio de ensaios paralelos.

4 – Interpretação dos dados e obtenção dos VRQs

Cada estado poderá estabelecer, por substância, um único VRQ ou um VRQ para cada tipo de solo.

O VRQ de cada substância poderá ser estabelecido com base no percentil 75 ou percentil 90 do universo amostral, retiradas previamente as anomalias. O referido VRQ será determinado utilizando tratamento estatístico aplicável e em conformidade com a concepção do plano de amostragem e com o conjunto amostral obtido.

As anomalias deverão ser avaliadas em estudos específicos e interpretadas estatisticamente.

Para as determinações das substâncias químicas em que todos os resultados analíticos forem menores do que o limite de quantificação praticável (LQP) do respectivo método analítico, eleger “< LQP” como sendo o VRQ da substância e excluí-las dos demais procedimentos de interpretação estatística.

Para interpretação estatística das substâncias químicas em que parte dos resultados analíticos forem menores que o limite de quantificação praticável (LQP), considerar como resultado na matriz de dados o valor LQP/2.

Para as substâncias que apresentarem mais do que 60% de resultados superiores ao limite de quantificação, a definição de agrupamento de tipos de solo deverá ser realizada com base em teste estatístico que comprove semelhança entre os grupos amostrais.

Para estabelecimento do VRQ de cada substância, avaliar a necessidade de se excluir da matriz de dados os resultados discrepantes (outliers), identificados por métodos estatísticos.

As substâncias cujo percentil selecionado for igual ao LQP/2, adotar “< LQP” como sendo o VRQ da substância.

5 – Base de dados

Os dados obtidos pelos estados na amostragem, determinações analíticas e os VRQs, deverão compor a base de dados sobre qualidade de solos.

Valores Orientadores para qualidade de solos e águas

LISTA DE VALORES ORIENTADORES PARA SOLOS E PARA ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS

Substâncias	CAS n°	Solo (mg.kg-1 de peso seco) (1)					Água Subterrânea (µg.L-1)
		Referência de qualidade	Prevenção	Investigação			Investigação
				Agrícola APMax	Residencial	Industrial	
Inorgânicos							
Alumínio	7429-90-5	E	-	-	-	-	3.500**
Antimônio	7440-36-0	E	2	5	10	25	5*
Arsênio	7440-38-2	E	15	35	55	150	10*
Bário	7440-39-3	E	150	300	500	750	700*
Boro	7440-42-8	E	-	-	-	-	500
Cádmio	7440-48-4	E	1,3	3	8	20	5*
Chumbo	7440-43-9	E	72	180	300	900	10*
Cobalto	7439-92-1	E	25	35	65	90	70
Cobre	7440-50-8	E	60	200	400	600	2.000*
Cromo	7440-47-3	E	75	150	300	400	50*
Ferro	7439-89-6	E	-	-	-	-	2.450**
Manganês	7439-96-5	E	-	-	-	-	400**
Mercúrio	7439-97-6	E	0,5	12	36	70	1*
Molibdênio	7439-98-7	E	30	50	100	120	70
Níquel	7440-02-0	E	30	70	100	130	20
Nitrato (como N)	797-55-08	E	-	-	-	-	10.000*
Prata	7440-22-4	E	2	25	50	100	50
Selênio	7782-49-2	E	5	-	-	-	10*
Vanádio	7440-62-2	E	-	-	-	1000	-
Zinco	7440-66-6	E	300	450	1.000	2.000	1.050**
Hidrocarbonetos aromáticos voláteis							
Benzeno	71-43-2	na	0,03	0,06	0,08	0,15	5*
Estireno	100-42-5	na	0,2	15	35	80	20*
Etilbenzeno	100-41-4	na	6,2	35	40	95	300**
Tolueno	108-88-3	na	0,14	30	30	75	700**
Xilenos	1330-20-7	na	0,13	25	30	70	500**
Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos							
Antraceno	07/12/20	na	0,039	-	-	-	-
Benzo(a)antraceno	56-55-3	na	0,025	9	20	65	1,75
Benzo(k)fluoranteno	207-06-9	na	0,38	-	-	-	-
Benzo(g,h,i)perileno	191-24-2	na	0,57	-	-	-	-
Benzo(a)pireno	50-32-8	na	0,052	0,4	1,5	3,5	0,7*
Criseno	218-01-9	na	8,1	-	-	-	-
Dibenzo(a,h)antraceno	53-70-3	na	0,08	0,15	0,6	1,3	0,18

Substâncias	CAS nº	Solo (mg.kg-1 de peso seco) (1)					Água Subterrânea (µg.L-1)
		Referência de qualidade	Prevenção	Investigação			
				Agrícola APMáx	Residencial	Industrial	
Fenantreno	85-01-8	na	3,3	15	40	95	140
Indeno(1,2,3-c,d)pireno	193-39-5	na	0,031	2	25	130	0,17
Naftaleno	91-20-3	na	0,12	30	60	90	140
Benzenos clorados							
Clorobenzeno (Mono)	108-90-7	na	0,41	40	45	120	700**
1,2-Diclorobenzeno	95-50-1	na	0,73	150	200	400	1000
1,3-Diclorobenzeno	541-73-1	na	0,39	-	-	-	-
1,4-Diclorobenzeno	106-46-7	na	0,39	50	70	150	300
1,2,3-Triclorobenzeno	87-61-6	na	0,01	5	15	35	(a)*
1,2,4-Triclorobenzeno	120-82-1	na	0,011	7	20	40	(a)*
1,3,5-Triclorobenzeno	108-70-3	na	0,5	-	-	-	(a)*
1,2,3,4-Tetraclorobenzeno	634-66-2	na	0,16	-	-	-	-
1,2,3,5-Tetraclorobenzeno	634-90-2	na	0,01	-	-	-	-
1,2,4,5-Tetraclorobenzeno	95-94-3	na	0,01	-	-	-	-
Hexaclorobenzeno	118-74-1	na	0,003(3)	0,005	0,1	1	1*
Etanos clorados							
1,1-Dicloroetano	75-34-2	na	-	8,5	20	25	280
1,2-Dicloroetano	107-06-2	na	0,075	0,15	0,25	0,50	10*
1,1,1-Tricloroetano	71-55-6	na	-	11	11	25	280
Etenos clorados							
Cloreto de vinila	75-01-4	na	0,003	0,005	0,003	0,008	5*
1,1-Dicloroeteno	75-35-4	na	-	5	3	8	30*
1,2-Dicloroeteno - cis	156-59-2	na	-	1,5	2,5	4	(b)
1,2-Dicloroeteno - trans	156-60-5	na	-	4	8	11	(b)
Tricloroeteno – TCE	79-01-6	na	0,0078	7	7	22	70*
Tetracloroeteno – PCE	127-18-4	na	0,054	4	5	13	40*
Metanos clorados							
Cloreto de Metileno	75-09-2	na	0,018	4,5	9	15	20*
Clorofórmio	67-66-3	na	1,75	3,5	5	8,5	200
Tetracloroeto de carbono	56-23-5	na	0,17	0,5	0,7	1,3	2*
Fenóis clorados							
2-Clorofenol (o)	95-57-8	na	0,055	0,5	1,5	2	10,5
2,4-Diclorofenol	120-83-2	na	0,031	1,5	4	6	10,5
3,4-Diclorofenol	95-77-2	na	0,051	1	3	6	10,5
2,4,5-Triclorofenol	95-95-4	na	0,11	-	-	-	10,5
2,4,6-Triclorofenol	88-06-2	na	1,5	3	10	20	200*
2,3,4,5-Tetraclorofenol	4901-51-3	na	0,092	7	25	50	10,5
2,3,4,6-Tetraclorofenol	58-90-2	na	0,011	1	3,5	7,5	10,5
Pentaclorofenol (PCP)	58-90-2	na	0,16	0,35	1,3	3	9*

Substâncias	CAS n°	Solo (mg.kg-1 de peso seco) (1)					Água Subterrânea (µg.L-1)
		Referência de qualidade	Prevenção	Investigação			
				Agrícola APMax	Residencial	Industrial	
Fenóis não clorados							
Cresóis	-	na	0,16	6	14	19	175
Fenol	108-95-2	na	0,20	5	10	15	140
Ésteres ftálicos							
Dietilexil ftalato (DEHP)	117-81-7	na	0,6	1,2	4	10	8
Dimetil ftalato	131-11-3	na	0,25	0,5	1,6	3	14
Di-n-butil ftalato	84-74-2	na	0,7	-	-	-	-
Pesticidas organoclorados							
Aldrin	309-00-2	na	0,015	0,003	0,01	0,03	(d)*
Dieldrin	60-57-1	na	0,043	0,2	0,6	1,3	(d)*
Endrin	72-20-8	na	0,001	0,4	1,5	2,5	0,6*
DDT	50-29-3	na	0,010	0,55	2	5	(c)*
DDD	72-54-8	na	0,013	0,8	3	7	(c)*
DDE	72-55-9	na	0,021	0,3	1	3	(c)*
HCH beta	319-85-7	na	0,011	0,03	0,1	5	0,07
HCH – gama (Lindano)	58-89-9	na	0,001	0,02	0,07	1,5	2*
PCBs							
TOTAL	-	na	0,0003 (3)	0,01	0,03	0,12	3,5

(1) – Para comparação com valores orientadores, utilizar as recomendações dos métodos 3050b (exceto para o elemento mercúrio) ou 3051 da USEPA–SW–846 ou outro procedimento equivalente, para digestão ácida de amostras de solos na determinação das substâncias inorgânicas por técnicas espectrométricas.

E - a ser definido pelo Estado.

na - não se aplica para substâncias orgânicas.

(a) somatória para triclorobenzenos = 20 µg.L-1.

(b) somatória para 1,2 dicloroetenos; = 50 µg.L-1.

(c) somatória para DDT-DDD-DDE = 2 µg.L-1.

(d) somatória para Aldrin e Dieldrin = 0,03 µg.L-1.

* Padrões de potabilidade de substâncias químicas que representam risco à saúde definidos na Portaria no 518/2004 do Ministério da Saúde (Tabela 3).

** Valores calculados com base em risco à saúde humana, de acordo com o escopo desta Resolução. Diferem dos padrões de aceitação para consumo humano definidos na Portaria no 518/2004 do Ministério da Saúde (Tabela 5) e dos valores máximos permitidos para consumo humano definidos no Anexo I da Resolução CONAMA no 396/2008.

Adaptado de: CETESB, SP. Decisão de Diretoria nº 195-2005-E, de 23 de novembro de 2005. DOE, Poder Executivo, SP, 3/12/2005, seção 1, v.115, n.227, p.22-23. Retificação no DOE, 13/12/2005, v.115, n.233, p.42.