

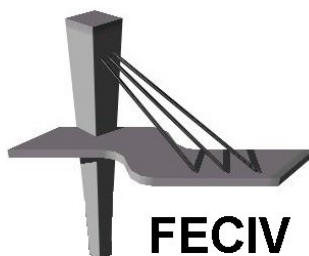


UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**AVALIAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO DO SOLO PELA
DISPOSIÇÃO INADEQUADA DE RESÍDUOS
SÓLIDOS EM ROMARIA-MG**

Mônica Diene Rodrigues de Oliveira
UBERLÂNDIA, 15 DE FEVEREIRO DE 2012.



FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil



Mônica Diene Rodrigues de Oliveira

**AVALIAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO DO SOLO PELA DISPOSIÇÃO
INADEQUADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM ROMARIA-MG**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos para a obtenção do título de **Mestre em Engenharia Civil**.

Área de Concentração: Engenharia Urbana

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Ana Luiza Ferreira Campos Maragno
Co-orientador: Prof^o. Dr^o. André Luiz de Oliveira

UBERLÂNDIA, 15 DE FEVEREIRO DE 2012.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU , MG, Brasil

- O48a
2012 Oliveira, Mônica Diene Rodrigues de, 1979-
Avaliação da contaminação do solo pela disposição inadequada de
resíduos sólidos em Romaria-MG / Mônica Diene Rodrigues de Oliveira.
- 2012.
121 f. : il.
Orientadora: Ana Luiza Ferreira Campos Maragno.
Co-orientador: André Luiz de Oliveira.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, Pro-
grama de Pós-Graduação em Engenharia Civil.
Inclui bibliografia.
1. Engenharia civil - Teses. 2. Resíduos industriais - Romaria (MG) -
Teses. 3. Solos - Poluição - Teses. I. Maragno, Ana Luiza Ferreira
Campos. II. Oliveira, André Luiz de. III. Universidade Federal de
Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. IV. Título.

CDU: 624



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL



ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ATA Nº: 093/2012

CANDIDATA: Mônica Diene Rodrigues de Oliveira

ORIENTADORA: Prof.^a Dr.^a Ana Luiza Ferreira Campos Maragno

TÍTULO: "Avaliação da contaminação do solo pela disposição inadequada de resíduos sólidos em Romaria-MG"

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Engenharia Urbana

LINHA DE PESQUISA: Planejamento e Infraestrutura Urbana

DATA DA DEFESA: 15 de fevereiro de 2012

LOCAL: Sala de Projeções Prof. Celso Franco de Gouvêa

HORÁRIO DE INÍCIO E TÉRMINO DA DEFESA: 9h 30min às 11h 30min.

Após avaliação do documento escrito, da exposição oral e das respostas às arguições, os membros da Banca Examinadora decidem que a candidata foi:

☒ APROVADA

☐ REPROVADA

OBS: ACATAR AS SUGESTÕES DA BANCA.

Na forma regulamentar, foi lavrada a presente ata que está assinada pelos membros da Banca:

Professora Orientadora: **Prof.^a Dr.^a Ana Luiza Ferreira Campos Maragno – FECIV/UFU**

Membro externo: **Prof.^a Dr.^a Ângela Maria Soares – UFTM**

Membro: **Prof.^a Dr.^a Karla Maria Wingler – FECIV/UFU**

Uberlândia, 15 de FEVEREIRO de 2012.

Dedicatória

À Professora Dra. Ângela Maria
Soares pelo apoio, incentivo,
amizade, carinho e por todas as
conquistas que proporcionou em
minha vida.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, o criador, por ter me iluminado e abençoado. E, por não me deixar fraquejar diante dos inúmeros obstáculos.

Agradeço de maneira emocionada, à mãe graciosa e poderosa Nossa Senhora da Abadia e Nossa Senhora Aparecida por todas as bênçãos em minha vida. E pela luz que direciona o meu caminho.

Agradeço também, a minha família, em especial meus avós maternos Valdir Augusto Saramago e Vanderlina Valeriano Saramago pela criação, educação e por tudo que sou. Agradeço a minha mãe Fátima Aparecida Saramago por ter me dado a vida.

Aproveito a oportunidade para agradecer ao meu esposo Nélcio de Freitas Silva por todo carinho e atenção a mim dedicados. Agradeço ainda aos meus irmãos Juliano e Ana Caroline pela companhia e amor. Agradeço imensamente ao meu cunhado Cleiton Alves de Almeida pela ajuda nas amostragens de campo. E assim, termino por agradecer aos meus familiares incluindo os tios, sobrinhos, primos, cunhados e padrasto por serem a alegria da minha vida.

À minha orientadora, professora Dr^a Ana Luiza Ferreira Campos Maragno e ao meu co-orientador professor Dr. André Luiz de Oliveira, por todo carinho, paciência e atenção.

À professora Dr^a Karla Maria Wingler Rebelo pelos conselhos, incentivo, carinho e atenção.

Nunca me esqueceria, de agradecer humildemente a pessoa que mais me incentivou a estudar e que proporcionou uma mudança radical de valores tanto pessoais quanto profissionais em minha vida, à amiga, Professora Dr^a Ângela Maria Soares. Para você, os meus sinceros e eternos agradecimentos.

Á minha querida amiga e irmã, a Prof. Msc. Hérica Leonel de Paula Ramos Oliveira e ao meu grande amigo Mário Lúcio Ramos por toda ajuda, amizade e companheirismo.

Agradeço ainda, aos técnicos do Laboratório de Geotecnia da Faculdade de Engenharia Civil, Veloso e Romes pelas análises físicas do solo. Aos técnicos do Instituto de Ciências Agrárias e a professora Dr^a Regina Maria Quintão Lana pelas análises químicas do solo. A Prof. Dr^a Nívia Maria de Moraes Coelho e a Doutoranda em química Hélien Cristine Rezende pelo carinho e ajuda nas análises de metais pesados.

Aos professores da Faculdade de Engenharia Civil e em especial a secretária da pós-graduação, Sueli Maria Vidal por todo cuidado e carinho quando necessitei.

Aos colegas de mestrado, pela amizade ao longo desta jornada.

À Universidade Federal de Uberlândia, que proporcionou uma oportunidade única em minha vida, adquirir conhecimento gratuito e de qualidade.

Oliveira, M.D.R. Avaliação da contaminação do solo pela disposição inadequada de resíduos sólidos em Romaria-MG. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2012.

RESUMO

A presente pesquisa procura demonstrar de maneira simplificada, os riscos de se utilizarem áreas e técnicas inadequadas para a destinação final de resíduos sólidos em pequenos centros urbanos. Nestas áreas, os resíduos são descarregados sobre o solo sem nenhuma medida de proteção ao meio ambiente ou a saúde pública, o que afeta a qualidade do solo e o equilíbrio ecológico. Outro aspecto de extrema importância está no fato da proximidade destas áreas a cursos d'água, o que pode vir a interferir de modo negativo na qualidade da mesma. Deste modo, pesquisou-se o município de Romaria-MG como exemplo da problemática descrita. O município está localizado na região do Triângulo Mineiro com área territorial de 401.965 km² e população estimada de 3.636 habitantes. O "lixão" a céu aberto situa-se a 1,5 quilômetros do perímetro urbano com área total de 10.523,51 m², sendo considerada para o presente trabalho, apenas a área com maior facilidade operacional com 9820 m². O "lixão" dista de 203,65 metros do principal manancial de água do município de Estrela do Sul-MG, o Rio Bagagem. Na área de estudo é possível diagnosticar vários tipos de resíduos, dentre eles os orgânicos, os recicláveis, os de serviço de saúde, os de construção civil etc. Os parâmetros analisados permitiram a caracterização da área de estudo, bem como a averiguação da contaminação do solo por metais pesados. Deste modo, procurou-se orientar algumas medidas de recuperação da área através de técnicas modernas de geotecnia ambiental.

Palavras-chave: resíduos sólidos, contaminação do solo, impactos ambientais.

Oliveira, M.D.R. Environmental Assessment of soil contamination by improper disposal of solid waste in Romaria-MG. 121p Msc. Dissertation, College of Civil Engineering, Federal University of Uberlândia, 2012.

ABSTRACT

This research seeks to demonstrate in a simplified manner, the risks of inappropriate use areas and techniques for the disposal of solid waste in small urban centers. In these areas, waste is dumped on the ground without any measure of protection to the environment or public health, which affects soil quality and ecological balance. Another aspect is of utmost importance in these areas because of proximity to watercourses, which might have an adverse effect on quality. Thus, researched the city of Romaria-MG as an example of the problems described. The municipality is located in the Triângulo Mineiro region with land area of 401,965 km² and an estimated population of 3.636 inhabitants. The "dump" open pit is located 1.5 km from the urban area with total area of 10,523.51 m², being considered for this study, only the area with the greatest ease of operation with 9.820 m². The "dump" is far from 203.65 meters from the main source of water in the city of Estrela do Sul, Minas Gerais, River Bagagem. In the study area is possible to diagnose various types of waste, including organics, recyclables, the health service, the construction etc. The parameters analyzed allowed the characterization of the study area, as well as the investigation of soil contamination by heavy metals. Thus, we tried to steer some measure of recovery of the area through modern techniques of environmental geotechnical.

Keywords: solid waste, soil contamination, environmental impacts.

SÍMBOLOS, ABREVIATURAS E SIGLAS

SÍMBOLOS

CaCO₃ – Carbonato de Cálcio

Cd- Cádmio

Cr- Cromo

Cu- Cobre

Fe- Ferro

Na₂CO₃ – Carbonato de Sódio

Ni- Níquel

SiO₂ - Dióxido de Silício

Zn- Zinco

ABREVIATURAS

CTC- Capacidade de Troca Catiônica

DD- Dificilmente degradáveis

DN- Deliberação Normativa

FD- Facilmente degradáveis

GPS- Sistema de Posicionamento Global

M.O- Matéria Orgânica

MD- Moderadamente degradáveis

MOS- Matéria Orgânica do Solo

ND- não degradáveis

OMS- Organização Mundial de Saúde

PEAD- PoliEtileno de Alta Densidade
PEBC- PoliEtileno de Baixa Densidade
PET- Tereftalato de polietileno
pH- Potencial Hidrogênionico
PP- Polipropileno
PS- Poliestireno
PVC- Cloreto de polivinila
RMS- Raiz média quadrática
RSS- Resíduo de Serviço de Saúde
RSU- Resíduos Sólidos Urbanos
SH- Substâncias Húmicas
SPT- Sondagem a Trado
TEFLON- Politetrafluoroetileno

SIGLAS

ABGE- Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental
ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE- Associação das empresas de Limpeza Pública
CEMPRE- Compromisso Empresarial para Reciclagem
CETESB- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CNEN- Comissão Nacional de Energia Nuclear
CONAMA- Conselho Nacional do Meio Ambiente
EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FEAM- Fundação Estadual do Meio Ambiente
IBAM- Instituto Brasileiro de Administração Municipal
IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
UFU- Universidade Federal de Uberlândia
USEPA- United States Environmental Protection Agency

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Composição do lixo brasileiro e destinação final dos resíduos sólidos.....	30
Figura 2- O equilíbrio dinâmico que ocorre nos solos.....	38
Figura 3- Cargas elétricas da fração argila e matéria orgânica.....	41
Figura 4- Limites de Atterberg dos solos.....	44
Figura 5- Dinâmica dos metais pesados presentes em solos.....	53
Figura 6- Esquema das reações que controlam o teor de metais presentes na solução do solo.....	54
Figura 7- Coleta de amostras de solo através de furos de sondagem a trado.....	62
Figura 8- Furo de sondagem a trado.....	63
Figura 9- Localização da área de estudo.....	70
Figura 10- Geologia da região do Triângulo Mineiro.....	71
Figura 11- Geomorfologia do Triângulo Mineiro.....	74
Figura 12- Mapa pedológico da Região de Romaria-MG.....	75
Figura 13- Levantamento fotográfico da área de estudo.....	77
Figura 14- Mapeamento da área de estudo.....	80
Figura 15- Curva granulométrica do ponto 4, profundidade 1,5 a 2,0m.....	82
Figura 16- Curva granulométrica do ponto 3, profundidade 0,5 a 1,0m.....	83
Figura 17- Cascalhamento na área de estudo.....	83
Figura 18- Disposição de resíduos sólidos urbanos dentro dos canais abertos pelo processo de voçorocamento.....	84
Figura 19- Aumento no teor de cobre com a profundidade no ponto 2.....	92
Figura 20- Variação no teor de cobre no ponto 3.....	92
Figura 21- Variação no teor de cobre no ponto 4.....	93
Figura 22- Declínio no teor de cobre no ponto 5.....	93
Figura 23- Declínio no teor de ferro, ponto 2.....	95
Figura 24- Variação no teor de ferro no solo, ponto 3.....	95
Figura 25- Variação no teor de ferro, ponto 4.....	96
Figura 26- Declínio no teor de ferro no solo, ponto 5.....	96
Figura 27- Declínio no teor de ferro no solo, ponto 6.....	97
Figura 28- Declínio no teor de Cromo, no ponto 2.....	99
Figura 29- Elevação nos teores de Cromo com a profundidade, ponto 3.....	99

Figura 30- Declínio nos valores de cromo com a profundidade, ponto 4.....	100
Figura 31- Declínio nos teores de cromo com a profundidade, ponto 6.....	100

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Classificação dos Resíduos de Serviço de Saúde.....	26
Quadro 2- Indicadores de presença de processos geodinâmicos e parâmetros utilizados para definir sua magnitude.....	56
Quadro 3- Indicadores de contaminação do solo abaixo de depósitos de resíduos.....	57
Quadro 4- Responsáveis pelo gerenciamento de resíduos sólidos.....	58
Quadro 5- Materiais observados no “lixão” de Romaria que podem conter substâncias perigosas.....	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Composição média do entulho de obra no Brasil.....	25
Tabela 2- Utilização do plástico no Brasil.....	35
Tabela 3- Tamanho das partículas do solo.....	37
Tabela 4- Dados sobre os componentes das frações argila, silte e areia dos solos.....	43
Tabela 5- Valores de referência para alguns metais.....	47
Tabela 6- Métodos utilizados para análises químicas de solo.....	65
Tabela 7- Condições do FAAS durante a leitura das amostras.....	67
Tabela 8- Classificação granulométrica do solo coletado na área de disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos.....	86
Tabela 9- Índices de consistência do solo coletado na área de disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos.....	89
Tabela 10- Quantificação do metal cobre na área de estudo e desvio padrão relativo.....	91
Tabela 11- Teores de Ferro, encontrados no solo, da área de estudo e desvio padrão relativo.....	94
Tabela 12- Valores de níquel encontrado nas análises de solo e desvio padrão relativo....	98
Tabela 13- Teores de Cromo e desvio padrão relativo, encontrados nas análises de solo..	101
Tabela 14- Teores de CTC efetiva e CTC Potencial encontradas nas análises de solo.....	102
Tabela 15- Valores de pH encontrados nas análises de solo.....	104
Tabela 16- Teores de matéria orgânica encontrada nas análises de solo.....	104

SUMÁRIO

Capítulo 1-Introdução.....	16
1.1 Objetivos.....	19
1.2 Justificativa.....	20
Capítulo 2- Revisão Bibliográfica.....	22
2.1 Definição, classificação e composição dos resíduos sólidos.....	22
2.1.1 Definição de resíduos sólidos.....	22
2.1.2 Classificação dos resíduos sólidos.....	23
2.1.3 Composição e tratamento dos resíduos sólidos urbanos no Brasil.....	29
2.2 Solo meio físico e químico.....	36
2.2.1 Constituição e origem.....	36
2.2.2 Composição mineralógica do solo.....	37
2.2.3 Solução do solo.....	37
2.3 Poluição do solo urbano.....	38
2.3.1 Processos de interação entre o solo e o contaminante.....	39
2.3.1.1 Processos químicos.....	39
2.3.1.2. Fatores que afetam a disponibilidade do contaminante.....	40
2.4 Metais pesados no solo.....	45
2.5 Forma dos metais pesados.....	53
2.6 Aspectos ambientais relacionados com a disposição inadequada de resíduos sólidos..	55
2.7 Iniciativas para o gerenciamento integrado.....	58
2.8 A Política Nacional de Resíduos Sólidos.....	59
Capítulo 3- Materiais e métodos.....	61
3.1 Levantamento de informações e pesquisas bibliográficas.....	61
3.2 Atividades de campo: Coleta de dados para delimitação da área de estudo.....	61
3.3 Amostragem.....	62
3.4 Ensaio laboratoriais.....	64
3.4.1 Caracterização geotécnica do solo.....	64
3.4.2 Caracterização química do solo.....	65
3.4.3 Quantificação de íons metálicos.....	67
Capítulo 4- Localização e caracterização da área de estudo.....	69
4.1 Localização geográfica.....	69

4.1.1 Histórico.....	69
4.1.2 Localização e acesso.....	70
4.2 Caracterização da área de estudo.....	70
4.2.1 Geologia.....	70
4.2.2 Geomorfologia.....	72
4.2.3 Solos.....	74
4.2.4 Clima.....	75
4.2.5 Hidrografia.....	75
4.2.6 Vegetação.....	75
4.2.7 Topografia.....	76
4.2.8 Levantamento fotográfico da área de estudo e componentes perigosos encontrados no “lixão” de Romaria-MG.....	76
Capítulo 5- Resultados e Discussões.....	79
5.1 Delimitação da área de estudo.....	79
5.2 Considerações gerais sobre a área de estudo.....	81
5.3 Ensaio Geotécnicos.....	82
5.3.1 Ensaio granulométricos.....	82
5.3.2 Ensaio de consistência.....	88
5.3.3 Análises de metais pesados.....	90
5.3.4 CTC efetiva e CTC potencial.....	102
5.3.5 pH.....	103
5.3.6 Matéria orgânica.....	104
Capítulo 6- Propostas de recuperação da área.....	107
6.1 Isolamento da área.....	107
6.2 Processos erosivos.....	108
6.3 Remediação e técnicas de remediação.....	108
6.4 Biorremediação.....	109
6.5 Gerenciamento da área.....	109
6.6 Destinação final adequada.....	110
Capítulo 7- Conclusões.....	112
Capítulo 8 Referências.....	114

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A partir da Revolução Industrial, a população mundial passou por um intenso processo de urbanização e industrialização. Estes acontecimentos revolucionaram a vida da população, provocando uma expressiva mudança nos seus hábitos. Desde então, as pessoas passaram a consumir em um ritmo acelerado, produzindo um volume expressivo de resíduos.

Segundo Calderoni (2003), os termos “lixo” e “resíduo” são praticamente sinônimos, indicando todo material inútil que é descartado em local público. Mas, sob o ponto de vista técnico, o termo “resíduo” é mais usual e designa sobra no processo produtivo. Esta idéia por sua vez está associada a questão econômica, pois o termo “lixo” pode ser entendido como material sem valor.

Segundo a Abrelpe (2008) no Brasil, são produzidas diariamente 67.289 toneladas de resíduos sólidos por dia. Aliado a este problema, estima-se que 55% dos resíduos urbanos coletados estão sendo dispostos em aterros sanitários, mas, 45% dos resíduos ainda recebem uma destinação final inadequada em aterros controlados ou “lixões”, o que revela a situação crítica em que vive o país.

Lixão é uma forma inadequada de disposição final de resíduos sólidos municipais, caracterizando-se pela simples descarga sobre o solo, sem medidas de proteção ao meio ambiente ou a saúde pública. A destinação de resíduos em lixões simboliza uma dificuldade do poder público em realizar corretamente e de forma satisfatória o saneamento básico.

Com a progressiva preocupação com a qualidade ambiental e saúde das comunidades, foi criada uma legislação federal específica para resíduos tóxicos e poluentes, o caso das pilhas, baterias e pneus. Todavia percebe-se que em muitos municípios, não é dado a esse tipo de material uma destinação final adequada.

Os problemas inerentes aos resíduos sólidos não são resolvidos apenas sob a ótica da física, da química, da engenharia ou da bioquímica. Esses problemas, por serem comportamentais, exigem soluções complexas e sistêmicas de todos os responsáveis pela geração exacerbada e cada vez mais heterogênea dos resíduos sólidos.

Aspectos relacionados ao gerenciamento desses resíduos sejam eles de origem industrial, doméstica, comercial, hospitalar, hoteleira, sejam de construção civil etc. exigem conhecimentos sobre tipologia de resíduos, legislação, passivos ambientais, responsabilidade pós-consumo, entre outros (CONTO, 2006).

Os pequenos centros urbanos, assim como os grandes centros, também sofrem com a degradação do meio ambiente devido a inúmeros fatores, dentre eles, destaca-se a disposição incorreta de resíduos sólidos em áreas de preservação ambiental.

A área de estudo, ou seja, o “lixão” está situado a um quilômetro e meio de distância do município de Romaria-MG, na saída para a rodovia BR-365. Este se encontra extremamente antropizado, envolto por vegetação típica do bioma cerrado, e está a 203,65 metros de um curso d’água. A grande preocupação é devida as características ambientais encontradas, que podem contaminar, por chorume, o solo existente na área de estudo.

O chorume, líquido escuro, turvo e mal cheiroso que sai dos resíduos e, gradativamente, penetra no solo, tende a solubilizar substâncias presentes nos resíduos sólidos. Apresenta uma composição química bastante variável em decorrência da variabilidade quantitativa e qualitativa desses resíduos (FILHO, *et. al.*, 2004).

O chorume provoca a degradação ambiental, a qual é entendida como toda e qualquer modificação efetuada através de imposição da sociedade aos ecossistemas naturais, que alteram e degradam as características físicas, químicas e biológicas da área, afetando a

qualidade de vida dos componentes do meio ambiente, principalmente, os seres humanos.

Os danos provocados por chorume no solo podem ser desastrosos principalmente quando este se encontra contaminado por metais pesados.

Os termos “metal pesado”, “elemento-traço” e “metal tóxico” são usualmente utilizados para tratar de alguns elementos presentes no solo em baixas concentrações. No entanto neste trabalho será utilizado o termo metal pesado, apesar da expressão ainda não ter sido definida por órgãos oficiais na área da química. O termo se refere a um grupo de metais de alto peso molecular, de efeito danoso aos seres vivos por não serem biodegradáveis e serem bio-acumulativos, ou seja, não são sintetizados e nem destruídos pelo homem (ARAÚJO, 2009).

Os metais estão presentes no ambiente desde a formação do planeta e sua distribuição nos solos sob condições naturais é generalizada (SOARES, 2004). É sabido que alguns metais são essenciais ao desenvolvimento das plantas, os chamados micronutrientes, devido à pequena quantidade necessária, são eles: Ni, Cu, Fe, Mn, Zn. Outros metais possuem essencialidade comprovada para os animais, são eles: Ni, Cu, Fe, Mn, Zn e Cr (BIONDI, 2010).

A poluição do solo por metais pesados foi mundialmente reconhecida a partir da década de 90. Desde então, o solo passou a ser considerado como fonte de riscos à saúde humana e a qualidade do meio ambiente. Os estudos relacionados à ciência do solo e à poluição ambiental, realizados pela comunidade científica internacional atestam a importância do solo no meio ambiente, pois este atua como filtro ou agente de dispersão de contaminantes para corpos d'água (BIONDI, 2010).

No caso de contaminação do solo faz-se necessário conhecer o material de origem, os processos pedogenéticos dominantes, a disposição de horizontes e as relações entre matéria orgânica, pH, conteúdo e tipo de argila, além dos metais pesados no sistema. As principais fontes de contaminação do solo por metais pesados são: naturais ou litogênicas, provenientes dos processos geoquímicos, sendo representada pelas concentrações de metais pesados vindos das rochas (HORCKMANS *et. al.*, 2005 *apud*

CAMPOS, 2010), e a contaminação antropogênica que pode envolver disposições de diversos tipos de materiais contaminantes diretamente no solo.

Os solos originários de rochas básicas apresentam-se mais ricos em metais pesados do que aqueles que são formados por rochas ácidas (TILLER, 1989). Os solos da região do cerrado são bastante intemperizados, profundos e ácidos e o principal metal pesado associado às rochas ígneas é o ferro.

Há diversas formas de entrada de metais pesados no solo, dentre elas cita-se a deposição de materiais de origem industrial, agrícola, pilhas e baterias além de chorume. Segundo He. *et. al.*, 2005 apud Campos 2010, os processos químicos e bioquímicos tais como precipitação-dissolução, adsorção-dessorção, complexação-dissociação e oxidação-redução controlam a disponibilidade e a mobilidade dos metais pesados no solo. Todavia é importante salientar que estes processos são afetados pelo pH do solo, por processos biológicos, além da própria toxicidade do elemento e o ambiente.

O município de Romaria-MG, está localizado na região do triângulo mineiro. Possui uma área territorial de 401, 965 Km² e uma população estimada de 3.636 habitantes (IBGE, 2009). Neste sentido, baseando-se na realidade de pequenos centros urbanos, procurou-se estudar a contaminação do solo ao longo do perfil, devido à disposição inadequada de resíduos sólidos. De posse destas informações torna-se possível propor medidas de recuperação ambiental da área de estudo.

1.1 Objetivos

O objetivo geral é avaliar a contaminação do solo, devido a disposição inadequada dos resíduos sólidos urbanos no município de Romaria-MG. Para se chegar ao objetivo proposto serão necessários alguns levantamentos que são destacados como objetivos específicos:

- Delimitar a área onde ocorreu à disposição de resíduos sólidos urbanos;
- Verificar a possível contaminação do solo por metais pesados;
- Avaliação dos fatores que afetam a disponibilidade do contaminante no solo;

- Caracterização Geotécnica do depósito de resíduos sólidos;
- Propor alternativas de remediação e gerenciamento da área em função dos perfis de impureza obtidos.

1.2 Justificativa

Reconhecendo-se a importância e complexidade do tema, vislumbrou-se a possibilidade de elaborar um trabalho que tivesse como objetivo discutir a questão da contaminação do solo por metais pesados gerada a partir da disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos. A grande preocupação em relação à adição de metais ao solo são devido à entrada destes na cadeia alimentar, acúmulo no solo, alteração da atividade microbiana e possível contaminação dos recursos hídricos.

A escolha da cidade justifica-se uma vez que a disposição final dos resíduos sólidos no município tem sido um dos temas mais discutidos por ambientalistas locais e um dos maiores problemas da administração municipal na última década, sendo assunto explorado pelos meios de comunicação devido à polêmica que vem gerando.

Além de todos os processos de degradação ambiental ocorridos no passado como a exploração de diamantes, pecuária extensiva e monocultura, atualmente, a área de estudo sofre com a disposição de resíduos sólidos diretamente no solo, sem coleta e tratamento de chorume.

Esta área situa-se no Município de Romaria-MG, próxima ao Rio Bagagem, principal manancial de água do município de Estrela do Sul-MG.

A situação é recorrente em todo o país, principalmente em cidades de pequeno porte. Este estudo, apesar do caráter localizado, pode propiciar subsídios para elaboração de projetos que atendam a realidade de outros municípios, uma vez que os parâmetros obtidos possam ser generalizados.

Este trabalho é constituído de 08 capítulos organizados da seguinte maneira:

- Capítulo 1: Introdução: apresenta uma noção geral do tema a ser tratado no trabalho. São apresentadas também a problemática situação em estudo, com as suas referidas justificativas e os objetivos gerais e específicos deste trabalho;
- Capítulo 2: Revisão Bibliográfica: apresentam a definição, classificação e composição dos resíduos sólidos, os aspectos ambientais relacionados com a disposição inadequada de resíduos sólidos, a constituição, a origem do solo e a composição mineralógica, a poluição do solo urbano e os processos de interação entre solo e contaminante, metais pesados no solo, gerenciamento integrado de resíduos sólidos e Política Nacional de Resíduos Sólidos;
- Capítulo 3: Materiais e procedimentos metodológicos: apresenta as atividades de campo, os pontos de amostragem e os parâmetros analisados;
- Capítulo 4: Localização e Caracterização da área de estudo: apresenta os dados relativos à localização da área, os aspectos físicos e o levantamento fotográfico;
- Capítulo 5: Resultados e Discussões: apresenta a delimitação da área de estudo, as considerações gerais, os resultados e algumas discussões acerca dos ensaios geotécnicos, químicos e de metais pesados no solo;
- Capítulo 6: Propostas de recuperação da área: apresenta alternativas de recuperação como o isolamento da área, propostas de minimização de impactos ambientais quanto aos processos erosivos, remediação e técnicas, gerenciamento da área e destinação final adequada;
- Capítulo 7: Conclusões: apresenta algumas conclusões embasadas nos parâmetros analisados.
- Capítulo 8: Referências: apresenta as referências utilizadas na elaboração do trabalho.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O referencial teórico trata, de forma sucinta, dos temas resíduos sólidos urbanos, gerenciamento integrado, degradação ambiental, composição do solo, poluição do solo urbano e dos metais pesados no meio ambiente. O tema, resíduos sólidos, envolvendo degradação ambiental em pequenos centros urbanos, tem merecido atenção especial de vários autores e ambientalistas. Atualmente a literatura sobre este assunto é vasta, mas é voltada basicamente pra assuntos técnicos de gestão, abrangendo coleta, tratamento, caracterização e destinação final.

2.1 Definição, classificação e composição de resíduos sólidos

2.1.1 Definição de resíduos sólidos

De acordo com o dicionário Aurélio Buarque de Holanda, “lixo é tudo aquilo que não se quer mais e se joga fora; coisas inúteis, velhas e sem valor”. Segundo Monteiro *et. al.*, (2001), resíduo sólido ou lixo é todo material sólido ou semi-sólido indesejável e que necessita ser removido por ter sido considerado inútil por quem o descarta em qualquer recipiente destinado a este ato.

A ABNT NBR 10.004:2004 estabelece os critérios de classificação e identificação dos resíduos de acordo com suas características, definindo:

- **Resíduos sólidos** - São os resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

- **Periculosidade de um resíduo:** característica apresentada por um resíduo que, em função de suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas, pode apresentar:

- a) risco à saúde pública, provocando mortalidade, incidência de doenças ou acentuando seus índices;
- b) riscos ao meio ambiente, quando o resíduo for gerenciado de forma inadequada.

- **Toxicidade:** propriedade potencial que o agente tóxico possui de provocar, em maior ou menor grau, um efeito adverso em consequência de sua interação com o organismo.

- **Agente tóxico:** qualquer substância ou mistura cuja inalação, ingestão ou absorção cutânea tenha sido cientificamente comprovada como tendo efeito adverso (tóxico, carcinogênico, mutagênico, teratogênico ou ecotoxicológico).

- **Toxicidade aguda:** propriedade potencial que o agente tóxico possui de provocar um efeito adverso grave, ou mesmo morte, em consequência de sua interação com o organismo, após exposição a uma única dose elevada ou repetidas doses em curto espaço de tempo.

- **Agente teratogênico:** qualquer substância, mistura, organismo, agente físico ou estado de deficiência que, estando presente durante a vida embrionária ou fetal, produz uma alteração na estrutura ou função do indivíduo dela resultante.

- **Agente mutagênico:** qualquer substância, mistura, agente físico ou biológico cuja inalação, ingestão ou absorção cutânea possa levar as taxas espontâneas de danos ao material genético e ainda provocar ou aumentar a frequência de defeitos genéticos.

- **Agente carcinogênico:** substâncias, misturas, agentes físicos ou biológicos cuja inalação ingestão e absorção cutânea possam desenvolver câncer ou aumentar sua frequência. O câncer é resultado de processo anormal, não controlado da diferenciação e proliferação celular, podendo ser iniciado por alteração mutacional.

- **Agente ecotóxico:** substâncias ou misturas que apresentem ou possam apresentar riscos pra um ou vários compartimentos ambientais.

- **DL50 (oral, ratos):** dose letal para 50% da população dos ratos testados, quando administrada por via oral (DL – dose letal).

- **CL50 (inalação, ratos):** concentração de uma substância que, quando administrada por via respiratória, acarreta a morte de 50% da população de ratos exposta (CL – Concentração Letal).

- **DL50 (dérmica, coelhos):** dose letal para 50% da população de coelhos testados, quando administrada em contato com a pele (DL – dose letal).

2.1.2 Classificação dos resíduos sólidos

Ainda segundo a ABNT NBR 10.004:2004, os resíduos sólidos se classificam em:

- **Resíduos Classe I- Perigosos:** Apresentam risco à saúde pública e ao meio ambiente, ou uma das seguintes características: inflamabilidade, corrosividade, toxicidades, reatividade e patogenicidade.

- **Resíduos Classe II- Não perigosos:**

a) **Resíduos Classe IIA - Não inertes:** Apresentam propriedades como: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água.

b) Resíduos Classe IIB - Inertes: Resíduos sólidos ou mistura de resíduos sólidos que, submetidos ao teste de solubilização, não tenham nenhum de seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões definidos na Listagem G – “Padrões para o Teste de Solubilização”. Como exemplos destes materiais, podem-se citar as rochas, os tijolos, os vidros e certos plásticos e borrachas que não são facilmente decompostos.

Ainda segundo a ABNT NBR 10.004:2004, os resíduos sólidos são classificados de acordo com a degradabilidade, onde: Facilmente degradáveis (FD): restos de comida, sobras de cozinha, folhas, capina, cascas de frutas, animais mortos e excrementos; Moderadamente degradáveis (MD): papelão, papel e outros produtos celulósicos; Dificilmente degradáveis (DD): pano, couro, madeira, borracha, cabelo, pena de galinha, osso, plástico e Não degradáveis (ND): vidro, pedras, cinzas, metal não ferroso, terra, cerâmica, areia.

Segundo Andreoli *et. al.*, (2007), Lima (2004) e Barros & Moller (2007), Resoluções do CONAMA (números 05, 06, 14, 237, 283, 307, 308, 313, 358, 459) e ABLP (2009) *apud* Pinto-Coelho (2009) os resíduos sólidos se classificam de acordo com a origem e tipo de resíduo em:

- a) Resíduos urbanos- residencial/doméstico: São gerados a partir das atividades diárias nas residências, constituído de restos de alimentação, embalagens, plásticos, vidros, latas, material de varreduras, folhagens, lodos de tanques sépticos, fraldas descartáveis etc.
- b) Resíduos urbanos- comercial, institucional e outros serviços: São produzidos em estabelecimentos comerciais e suas características dependem das atividades desenvolvidas no local. O grupo de resíduo comercial, assim como os entulhos de obras, pode ser dividido em subgrupos chamados de “pequenos geradores” e “grandes geradores”.
- c) Resíduos urbanos- Resíduos e materiais de descarte da construção civil: Este material corresponde a 50% da quantidade em peso de resíduos sólidos urbanos coletados em cidades com mais de 500 mil habitantes de diferentes países, inclusive o Brasil. Estes resíduos são compostos por concreto, argamassa, madeira, plásticos, papelão, vidros, metais, cerâmica e terra. Na Tabela 1 encontra-se ilustrada a composição média do entulho de obra no Brasil, conforme MONTEIRO *et. al.*, (2001).

Tabela 1- Composição média do entulho de obra no Brasil

Componentes	Valores (%)
Argamassa	63,0
Concreto e Blocos	29,0
Outros	7,0
Orgânicos	1,0
Total	100,0

Fonte: Monteiro *et. al.*, (2001).

d) Resíduos especiais:

- Industriais: Originários de diferentes atividades industriais como metalúrgica, química, petroquímica, alimentícia, dentre outras, sendo os resíduos constituídos de uma composição variada que depende do processo industrial (lodos, fibras, resíduos alcalinos ou ácidos, plásticos, papéis, borrachas, cinzas e outros).

-Radioativo: São considerados os resíduos que emitem radiações acima dos limites permitidos pelas normas ambientais. No Brasil, o manuseio, acondicionamento e disposição final destes resíduos estão a cargo da Comissão Nacional de Energia Nuclear-CNEN.

- Resíduos de portos aeroportos e terminais rodo ferroviários: São os resíduos gerados tanto nos terminais, como dentro dos navios, aviões e veículos de transporte. Os resíduos dos portos e aeroportos são decorrentes do consumo de passageiros em veículos e aeronaves. Estes podem ser perigosos devido ao risco de transmissão de doenças, através de cargas contaminadas como animais, carnes e plantas.

- Agrícola: São resíduos gerados pela atividade agrícola com predominância de embalagens de defensivos, corretivos, fertilizantes, rações, restos de colheita etc.

- Serviços de varrição: São provenientes dos logradouros públicos (ruas, praças etc.), bem como animais mortos, entulhos de obras, móveis velhos, galhos grandes e outros materiais deixados indevidamente pela população nas ruas.

- Hospitalar: São aqueles que, em função das características peculiares que apresentam, necessitam de cuidados especiais em seu acondicionamento, transporte, manipulação e disposição final. Podem requerer cuidados especiais em situações de emergência,

principalmente visando à prevenção do controle de epidemias. O Quadro 1 ilustra a classificação dos resíduos de serviço de saúde, por tipo, nome e características, de acordo com MONTEIRO *et. al.*, (2001).

Quadro 1- Classificação dos resíduos de serviço de saúde

Classificação dos Resíduos de Serviço de Saúde		
Tipo	Nome	Características
<i>Classe A- Resíduos Infectantes</i>		
A1	Biológicos	Cultura, inóculo, mistura de microorganismos e meio de cultura inoculado provenientes de laboratório clínico ou de pesquisa, vacina vencida ou inutilizada, filtro de gases aspirados de áreas contaminadas por agentes infectantes e qualquer resíduo contaminado por estes materiais.
A.2	Sangue e hemoderivados	Sangue e hemoderivados com prazo de validade vencido ou sorologia positiva, bolsa de sangue para análise, soro, plasma e outros subprodutos.
A.3	Cirúrgicos, anatomopatológicos e exsudato	Tecido, órgão, feto, peça anatômica, sangue e outros líquidos orgânicos resultantes de cirurgia, necropsia e resíduos contaminados por estes materiais.
A.4	Perfurocortantes e cortantes	Agulha, ampola, pipeta, lâmina de bisturi e vidro.
A.5	Animais contaminados	Carcaça ou parte de animal inoculado, exposto a microorganismos patogênicos, ou portador de doença infecto-contagiosa, bem como resíduos que tenham estado em contato com estes.

Quadro 1 (Continuação). Classificação dos resíduos de serviço de saúde

A.6	Assistência a pacientes	Secreções e demais líquidos orgânicos procedentes de pacientes, bem como os resíduos contaminados por estes materiais, inclusive restos de refeições.
Classe B- Resíduos Especiais		
B.1	Rejeitos radioativos	Material radioativo ou contaminado com radionuclídeos, proveniente de laboratório de análises clínicas, serviços de medicina nuclear e radioterapia.
B.2	Resíduos farmacêuticos	Medicamento vencido, contaminado, interditado ou não utilizado.
B.3	Resíduos químicos perigosos	Resíduo tóxico, corrosivo, inflamável, explosivo, reativo, genotóxico ou mutagênico.
Classe C- Resíduos comuns		
C	Resíduos comuns	São aqueles que não se enquadram nos tipos A e B e que, por sua semelhança aos resíduos domésticos, não oferecem risco adicional à saúde pública.

Fonte: Monteiro et. al., (2001).

- Pilhas e baterias: As pilhas e baterias estão presentes no cotidiano das pessoas em todo o mundo. Além de serem uma das fontes de energia mais caras que existem, superando até mesmo a eletricidade e os combustíveis derivados do petróleo, são causadoras de poluição ambiental e danos à saúde humana.

Na composição das pilhas e baterias existem metais pesados como mercúrio, chumbo, cobre, níquel, zinco, cádmio e lítio, que são de alta toxicidade. Após o descarte, as pilhas e baterias entram em processo de decomposição. Se descartadas de modo inadequado, seus componentes contaminam o solo e as águas, entrando nas cadeias alimentares e acumulando na biomassa dos seres vivos.

Conforme a Resolução CONAMA N° 401, de 4 de novembro de 2008, alguns tipos de pilhas e baterias não devem ser destinadas nem mesmo a aterros sanitários. Desta forma, os consumidores devem devolvê-las aos estabelecimentos onde foram compradas para posterior destinação adequada quanto aos aspectos ambientais.

- Lâmpadas fluorescentes: Embora as lâmpadas fluorescentes sejam mais econômicas do que as incandescentes, elas constituem uma fonte de poluição ambiental e oferecem diversos riscos à saúde por conter mercúrio e outros metais pesados.

Assim, é muito importante que essas lâmpadas sejam manuseadas com cuidado, pois quando inalado, ingerido ou em contato com a pele, o mercúrio entra na corrente sanguínea, causando graves problemas e até a morte, caso atinja alta concentração no organismo. Se descartadas de forma incorreta, ao se quebrarem, o mercúrio deposita-se no solo, podendo ser carregado para as águas subterrâneas ou superficiais, acumulando-se nos diferentes níveis tróficos das cadeias alimentares.

Em virtude do amplo consumo e da alta toxicidade das lâmpadas fluorescentes, é fundamental que a população tenha cuidado tanto com o manuseio quanto com o descarte destes materiais. Tais lâmpadas não devem ser misturadas com o resíduo doméstico para não colocar em risco a saúde dos funcionários da limpeza e catadores. Além disso, não devem ser encaminhadas para os aterros sanitários, pois ainda que o impacto ambiental causado por uma única lâmpada seja insignificante, o somatório das diversas lâmpadas descartadas anualmente provoca um efeito sensível sobre os locais nos quais estiverem dispostas.

Quando uma lâmpada fluorescente se rompe, o mercúrio é liberado sob a forma de vapor. Desta forma, no caso de uma quebra acidental, o local deve ser aspirado e os “cacos” devem ser coletados com o uso de avental, luva e bota plástica (Equipamentos de Proteção Individual) e colocados em uma embalagem para estanque, com possibilidade de ser lacrada. É recomendável que após o uso, essas lâmpadas sejam protegidas em suas embalagens originais, ou ainda, em jornal ou plástico-bolha e colocadas em caixas de papelão para evitar a ruptura. É importante que os pinos de contato elétrico sejam mantidos intactos para não ocorrer vazamento de mercúrio nos orifícios das extremidades das lâmpadas.

- Pneus: O descarte de pneus é hoje um problema grave, pois anualmente, é consumida uma grande quantidade de pneus no Brasil todo. Por serem materiais produzidos com o objetivo de

ter vida longa e superar impactos constantes, os pneus são materiais difíceis de serem eliminados, quando deixados expostos ao meio ambiente.

Os pneus usados, isto é, inservíveis, são aqueles que não servem para reaproveitamento, recauchutagem, recapagem ou remoldagem (uso veicular), os quais não devem ser jogados em terrenos baldios, lixões e corpos d'água, pois contribuem para a degradação do meio ambiente e para a propagação de doenças. Além de serem criadouros de insetos como o mosquito transmissor da dengue, uma doença amplamente disseminada no país, a sua queima é rápida e produz fumaça altamente poluidora em função da diversidade de compostos que são liberados na combustão. Os gases tóxicos liberados na queima podem causar doenças cancerígenas e o resíduo derivado de petróleo, quando carregado para os corpos pode causar poluição. Se encaminhados para aterros sanitários, provocam “occos” na massa de resíduos e causam instabilidade do aterro.

De acordo com a Resolução CONAMA nº 416, de 30 de setembro de 2009, os distribuidores, revendedores, destinadores, consumidores finais e o Poder Público deverão, em articulação com os fabricantes e importadores, implementar os procedimentos para a coleta dos pneus inservíveis existentes no país.

A resolução CONAMA nº 258/99, dispõe:

Art. 1º- “As empresas fabricantes e as importadoras de pneumáticos para uso em veículos automotores e bicicletas ficam obrigadas a coletar e dar destinação final, ambientalmente adequada, aos pneus inservíveis existentes no território nacional, na proporção definida nesta Resolução relativamente às quantidades fabricadas e/ou importadas”.

Art. 9º- “A partir da data de publicação desta Resolução fica proibida a destinação final inadequada de pneumáticos inservíveis, tais como a disposição em aterros sanitários, mar, rios, lagos ou riachos, terrenos baldios ou alagadiços, e queima a céu aberto”.

Este item da revisão bibliográfica mostra a imensa variedade de resíduos sólidos, juntamente com os riscos ambientais ocasionados pela disposição inadequada.

2.1.3 Composição e tratamento dos resíduos sólidos urbanos no Brasil

Segundo a revista Veja Especial Sustentabilidade (2010), no Brasil são produzidas diariamente 260.000 toneladas de resíduos, sendo que a cidade que mais acumula dejetos é São Paulo com o equivalente a 18.000 toneladas por dia.

A Figura 01 ilustra a composição dos resíduos sólidos brasileiro e a destinação final, de acordo com a Revista Veja Especial Sustentabilidade (2010).

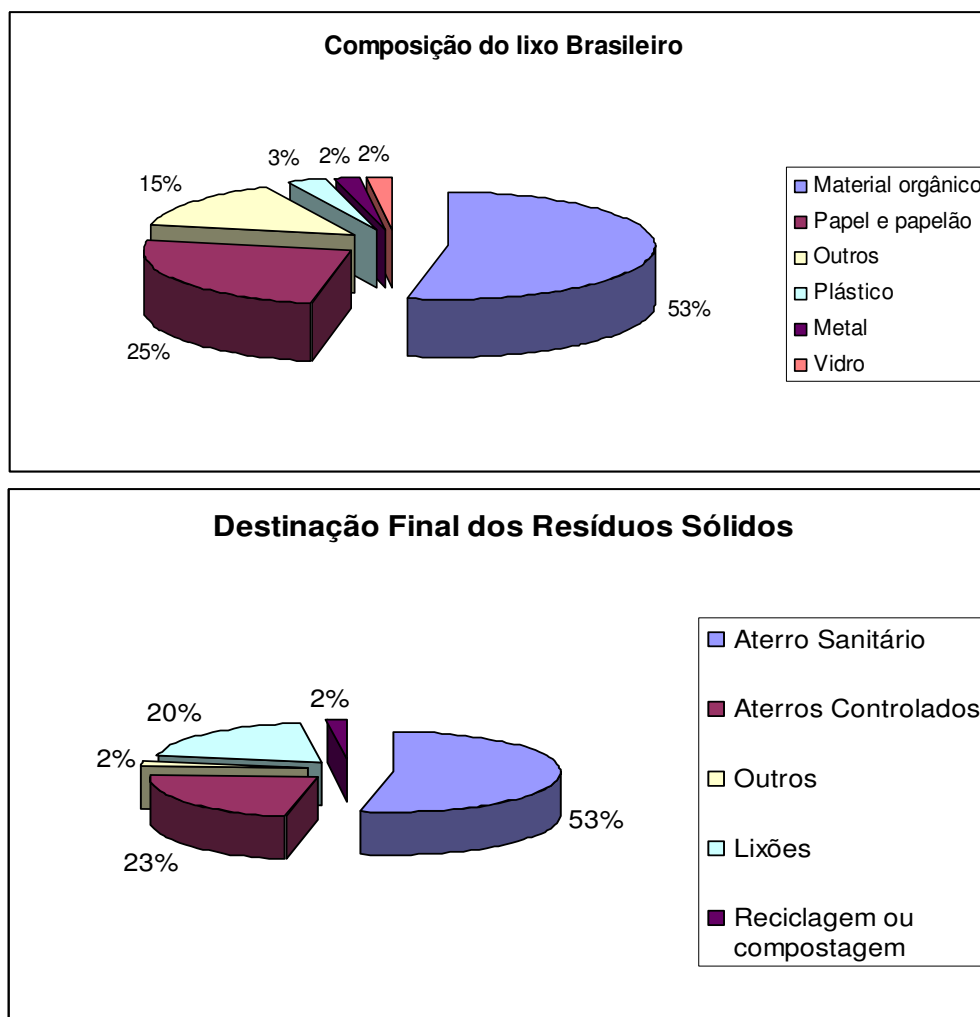


Figura 1- Composição do lixo brasileiro e destinação final dos resíduos sólidos, em percentual.
Fonte: Revista Veja Especial Sustentabilidade, 2010.

Conforme ilustrado na Figura acima, verifica-se que os resíduos sólidos urbanos no Brasil são compostos, em sua maioria, por material orgânico, e 53% dos municípios destinam seus resíduos para aterros sanitários.

Existem algumas formas específicas de tratamento dos resíduos sólidos urbanos. Dentre estas, citam-se:

- **A compostagem:** Pode ser definida como sendo um processo bioquímico onde microrganismos convertem a parte orgânica dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) em um material estável tipo húmus, conhecido como composto. A compostagem transforma materiais grosseiros em materiais orgânicos utilizáveis na agricultura. Este processo envolve

transformações extremamente complexas de natureza bioquímica, promovidas por milhões de microorganismos do solo que têm na matéria orgânica *in natura* sua fonte de energia, nutrientes minerais e carbono (KIEHL, 2001).

Por essa razão, o composto não é apenas uma grande quantidade de “resíduo orgânico” empilhado ou acondicionado em um compartimento. É um modo de fornecer as condições adequadas aos microorganismos para que degradem a matéria orgânica e disponibilizem nutrientes para as plantas (KIEHL, 2001).

O composto orgânico possui algumas propriedades que visam a melhora do rendimento das culturas, através do fornecimento de nutrientes às plantas, promovendo assim uma melhoria das condições químicas, físicas e biológicas do solo.

- **A reciclagem:** A reciclagem é um recurso utilizado com o intuito de economizar energia, poupar recursos naturais e trazer de volta ao ciclo produtivo o resíduo que seria jogado fora, na forma de matéria-prima. Reciclar implica em gerar uma quantidade menor de resíduos e esgoto, o que contribui para um ambiente mais sadio (SOSA, 1992).

Os materiais inorgânicos potencialmente recicláveis, encontrados com maior frequência nos resíduos domiciliares, são: papéis, plásticos, metais e vidros.

Deste modo, conhecer as principais características destes resíduos torna-se fundamental, como parte integrante da valorização e transformação dos mesmos por meio da reciclagem, evitando o esgotamento das matérias primas. A seguir são apresentadas as principais características destes materiais.

O papel

O papel foi descoberto no ano de 105 d.C, e conceitua-se como sendo um afeltrado de fibras unidas tanto fisicamente, por estarem entrelaçadas a modo de malha, como quimicamente por ligações de hidrogênio (CEMPRE, 2010).

O papel é um material confeccionado de pasta celulósica proveniente da madeira (99%), sendo esta produzida sob extensas monoculturas de espécies exóticas, como o eucalipto. Os outros 1% restantes são obtidos de matérias-primas fibrosas, como sisal, bambu e línter de

algodão (CEMPRE, 1999). Deste modo, há consequências negativas ao meio ambiente tais como o desaparecimento de fauna e flora nativas.

Como forma de conservar os recursos naturais surge à reciclagem de papel que nada mais é do que o reaproveitamento deste material. Desde a época em que foi descoberto, o papel já era convertido em polpa para gerar papel novamente. Há basicamente duas fontes de papel a se reciclar: as pré-consumo, recolhidas pelas próprias fábricas antes que o material passe ao mercado consumidor e as pós-consumo que geralmente são feitas por catadores de ruas.

Atualmente ainda percebe-se um maior custo do papel reciclado em detrimento ao papel virgem, mas com medidas econômicas e a implantação da coleta seletiva pelos municípios, este valor tende a decrescer cada vez mais.

O vidro

O vidro é uma substância sólida e amorfa, refere-se a um material cerâmico transparente geralmente obtido com o resfriamento de uma massa líquida à base de sílica. O vidro comum é obtido por fusão em torno de 1250°C de dióxido de Silício (SiO_2), carbonato de sódio (Na_2CO_3) e carbonato de cálcio (CaCO_3) (AKERMAN, 2000).

A seguir encontram-se os principais tipos de vidros (CEMPRE, 2010):

- Vidro para embalagens - garrafas, potes, frascos e outros vasilhames;
- Vidros para a construção civil - Vidro plano - vidros planos lisos, vidros cristais, vidros impressos, vidros refletivos, vidros anti-reflexo, vidros temperados, vidros laminados, vidros aramados, vidros coloridos, vidros serigrafados, vidros curvos e espelhos, todos fabricados a partir do vidro comum;
- Vidros domésticos - tigelas, travessas, copos, pratos, panelas e produtos domésticos fabricados em diversos tipos de vidro;
- Fibras de vidro - mantas, tecidos, fios e outros produtos para aplicações de reforço ou de isolamento;
- Vidros técnicos - lâmpadas incandescentes ou fluorescentes, tubos de TV, vidros para laboratório (principalmente o vidro borossilicato), para ampolas, para garrafas térmicas, vidros oftálmicos e isoladores elétricos;
- Vidro temperado - aquecimento entre 700° e 750° através de um forno e resfriamento com choque térmico, normalmente a ar, causando aumento da resistência por

compactação das camadas superficiais. O aumento da resistência mecânica chega a 87%. O vidro após o processo de têmpera não poderá ser submetido a lapidação de suas bordas, recortes e furos.

- Vidro laminado - composto por lâminas plásticas e de vidro. É utilizado em pára-brisas de automóveis, clarabóias e vitrines.
- Vidros comuns - decorados ou beneficiados - São os vidros lapidados, bisotados, jateados, tonalizados, acidados, laqueados e pintados, utilizados na fabricação de tampos de mesas, prateleiras, aparadores, bases e porta-retratos.

Em relação ao meio ambiente, ainda não pode-se determinar o tempo que o vidro fica exposto sem se degradar.

O metal

O metal é um elemento, substância ou liga, caracterizado por sua boa condutividade elétrica e de calor, geralmente apresentando cor prateada ou amarelada, um alto ponto de fusão e de ebulição e uma elevada dureza. Qualquer metal pode ser definido também como um elemento químico que forma aglomerados de átomos com caráter metálico (CEMPRE, 1999).

A maior quantidade de metais presentes nos resíduos domiciliares destinados ao “lixão” é proveniente de embalagens, principalmente alimentícias, como latas e tampas. Em menor quantidade, encontram-se metais provenientes de utensílios e equipamentos descartados como panelas, peças de geladeira e fogão.

O plástico

O plástico foi produzido pela primeira vez pelo inglês Alexander Parkes, em 1862, e rapidamente se tornou um dos maiores fenômenos da era industrial devido a maior durabilidade e leveza. A origem da palavra plástico vem do grego *plastikós*, que significa adequado a moldagem, definindo sua principal característica.

Segundo Canto (1997) *apud* Pinto-Coelho (2009) os plásticos são materiais orgânicos poliméricos sintéticos, de constituição macrocelular, dotada de grande maleabilidade, facilmente transformável mediante o emprego de calor e pressão, e que serve de matéria-prima para a fabricação dos mais variados objetos: vasos, toalhas, cortinas, bijuterias, carrocerias, roupas, sapatos.

Geralmente a matéria-prima dos plásticos é o petróleo. Este é formado por uma complexa mistura de compostos. Pelo fato de estes compostos possuírem diferentes temperaturas de ebulição, é possível separá-los através de um processo conhecido como destilação ou craqueamento.

São divididos em dois grupos, de acordo com as suas características de fusão ou derretimento: termoplásticos que não possuem ligações cruzadas, e por isto fundem-se e enrijecem irreversivelmente, desprendendo-se, geralmente de equipamentos mais sofisticados e mais caros; termofixos que são polímeros de ligações químicas fortes (ligações covalentes), para os quais, o “endurecimento” (polimerização ou cura) é consequência de uma reação química irreversível. Como exemplo de termoplásticos cita-se o poliéster (PET) (CEMPRE, 2010).

Ainda de acordo com o CEMPRE (2010), no grupo dos termoplásticos destacam-se:

- a) Poli (Tereftalato de Etileno)- (PET): É um termoplástico que pode ser reduzido a fibras e filmes. É utilizado na fabricação de embalagens de refrigerantes, óleos vegetais, água mineral etc;
- b) Poliestireno (PS): Formado a partir de moléculas de estireno é capaz de formar um plástico rígido e resistente a impactos para móveis, gabinetes, monitores de computadores e televisores, copos e utensílios em geral. Quando o poliestireno é aquecido com ar na mistura, forma-se o poliestireno expandido que é um material leve, moldável e excelente isolante.
- c) Poli (Cloroeto de vinila)- (PVC): É formado por cloroeto de vinil ($\text{CH}_2=\text{CH}-\text{Cl}$) quando este sofre polimerização. É muito utilizado para tubulações e encanamentos, por ser durável, difícil de corroer e mais econômico em relação a tubulações metálicas.
- d) Politetrafluoroetileno (Teflon): É criado pelas moléculas de tetrafluoroetileno ($\text{CF}_2=\text{CF}_2$). É um polímero estável resistente a altas temperaturas e a várias substâncias químicas além de possuir uma superfície quase que sem atrito. É usado na fita de vedação de encanamentos, utensílios de cozinha, revestimentos a prova d'água, filmes e mancais;
- e) Cloroeto polivinílico (Saran): Resina sintetizada pela polimerização das moléculas de cloroeto vinílico ($\text{CH}_2=\text{CCl}_2$). Utilizado na fabricação de filmes e embalagens impermeáveis aos aromas de alimentos.
- f) Polietileno: Polímero mais comum dentre os plásticos, feito a partir de monômeros de etileno ($\text{CH}_2=\text{CH}_2$). É utilizado na fabricação de filmes, embalagens, garrafas, luvas descartáveis e sacos de lixo. É dividido em PEAD- PoliEtileno de Alta Densidade,

PEBD- PoliEtileno de Baixa Densidade e PELMD- PoliEtileno Linear de Média Densidade.

- g) Polipropileno (PP): Feito a partir de monômeros de propileno ($\text{CH}_2=\text{CHCH}_3$). É utilizado em acabamentos de automóveis, embalagens de baterias, garrafas, tubos, filamentos e sacolas.

Os plásticos possuem diversas aplicações, dentre elas o uso em artes plásticas e artesanato; fabricação de brinquedos; construção civil; decoração; design; indústria aeroespacial; indústria agrícola; indústria automotiva e têxtil e odontologia. A Tabela 02 ilustra as principais formas de utilização do plástico no Brasil, de acordo com GRIPPI (2006).

Tabela 02- Utilização do plástico no Brasil.

Embalagens	30%
Automobilística	20%
Eletro-eletrônica	15%
Construção civil	15%
Indústria têxtil	15%
Outras	5%

Fonte: Grippi, 2006.

A maioria dos plásticos não é biodegradável, por isso, tornaram-se alvo de críticas quanto ao seu destino final em aterros sanitários, aterros controlados e até mesmo “lixões”.

A reciclagem do plástico inicializou-se pelas indústrias que o fabricavam. Assim o plástico era utilizado para reaproveitamento das perdas de produção. Quando o material passou a ser recuperado em grande quantidade, passou-se a fomar um novo mercado que absorve a produção de artigos de plástico reciclado.

As formas de se reciclar o plástico são: reciclagem mecânica que converte resíduos plásticos industriais e pós-consumo em grânulos, que podem ser reutilizados na produção de sacos de lixo, mangueiras, componentes de automóveis etc.; a reciclagem energética consiste no reaproveitamento da energia gerada pela incineração do plástico, que gera energia, gás e vapor aproveitados no processo industrial; reciclagem química que é realizada através da pirólise, ou seja, quebra das moléculas por aquecimento, transformando o plástico em óleo e gases, sendo estes utilizados como matéria-prima na indústria petroquímica (GRIPPI, 2006).

- **A incineração:** é um processo que consiste na queima dos resíduos a altas temperaturas em incineradores. Este método é de alto custo, pois se utiliza equipamentos especiais e mão-de-

obra qualificada. Neste o volume dos resíduos é bastante reduzido do volume original. A grande desvantagem do método é a poluição do ar causada pelos gases de combustão que são liberados através da queima de resíduos tóxicos ou corrosivos, como pilhas e plásticos. Os principais poluentes no estado gasoso liberados na combustão de resíduos são: compostos clorados, metais pesados, gases sulfurosos, monóxido carbono, óxidos de nitrogênio, dioxinas e furanos (CEMPRE, 2010).

- **A pirólise:** é uma reação de análise ou decomposição que ocorre pela ação de altas temperaturas. Neste processo, ocorre a ruptura da estrutura molecular original de um determinado composto pela ação do calor em um ambiente com pouco ou nenhum oxigênio. O reator pirolítico para tratamento de resíduos funciona com qualquer produto, desde o resíduo doméstico até resíduos industriais e plásticos que inicialmente são triturados depois de ser previamente selecionados (MONTEIRO *et.al.*, 2001);

- **A disposição em aterros apropriados (aterros sanitários):** O aterro sanitário é uma forma de disposição final de resíduos sólidos urbanos no solo, onde se utilizam técnicas modernas de engenharia civil e sanitária para espalhar, compactar e cobrir com terra diariamente os resíduos sólidos. Cada compartimento, denominado célula, recebe uma camada de material impermeável ao fundo, de modo a impedir a percolação de chorume para o lençol freático. Este chorume é coletado e tratado antes de ser disposto em curso d'água (CEMPRE, 2010).

Além disso, o gás metano, proveniente da atividade microbiana é coletado para posterior destinação final.

2.2 Solo meio físico e químico

2.2.1 Constituição e origem

O solo é originário das alterações químicas e físicas sofridas pela rocha mãe e também pelo transporte de material alterado ao longo do tempo. É constituído de minerais, poros ocupados por ar e água e material orgânico. A fração mineral pode ser constituída de partículas de tamanhos variáveis, desde argila (partículas inferiores a 2 micrômetros de diâmetro) até matações de tamanho bem grande (RESENDE *et.al.*, 1999). Portanto, o solo é um material de composição heterogênea e dependente da rocha matriz, clima, relevo, vegetação, por

consequente trata-se de um sistema dinâmico e multifásico, em constantes transformações. A Tabela 03 apresenta o tamanho das partículas no solo segundo RESENDE *et.al.*, (1999).

Tabela 03- Tamanho das partículas do solo

Partícula	Diâmetro (mm)
Matacões	> 200
Calhaus	200-20
Cascalhos	20-2
Areia grossa	2-0,020
Areia fina	0,20-0,05
Silte	0,05-0,002
Argila	< 0,002

Fonte: Resende *et.al.*, 1999.

Ainda segundo Resende *et.al.*, (1999) na fração argila ocorre o fenômeno mais importante do solo: a troca iônica, que seria as reações de intercâmbio de íons entre a solução do solo e a fase sólida (mineral e orgânica), tanto de cátions quanto de ânions.

2.2.2 Composição mineralógica do solo

O solo possui uma composição mineralógica bastante variada. Esta composição é dividida em dois grupos: os minerais primários que são aqueles formados em temperaturas elevadas, e em geral tem sua origem de rochas ígneas ou metamórficas permanecendo sem alteração estrutural, os mais comuns são o quartzo e os feldspatos e os encontrados em menor quantidade são os piroxênios, micas, anfibólios e olivinas; e os minerais secundários que são originados da alteração dos minerais primários formados em condições de temperatura mais baixa. Os mais comuns são os aluminossilicatos como a caulinita, vermiculita e esmectita e os óxidos, hidróxidos e oxidróxidos, sendo os mais comuns no solo os de ferro, manganês, alumínio e titânio (TEIXEIRA, 2008).

2.2.3 Solução do solo

Pode-se dizer que as frações inorgânicas do solo (argila, silte, areia e partículas maiores), formam a base de um sistema onde estão incluídas a solução do solo (fase líquida) e o ar do solo (fase gasosa). Os organismos que vivem no solo e os produtos de suas atividades metabólicas interagem sobre todas essas fases e completam o sistema (RESENDE *et.al.*,

1999). A Figura 02 ilustra o equilíbrio dinâmico que ocorre nos solos conforme LINDSAY, 1979 *apud* RESENDE *et.al.*, (1999).

A composição da solução do solo geralmente é muito diluída, variável com o tempo, a localidade e depende do material de origem do solo, do pH, das condições de oxi-redução, teor de matéria orgânica, da adição de produtos químicos e de seu manejo (MEURER *et. al.*, 2004 *apud* TEIXEIRA, 2008).

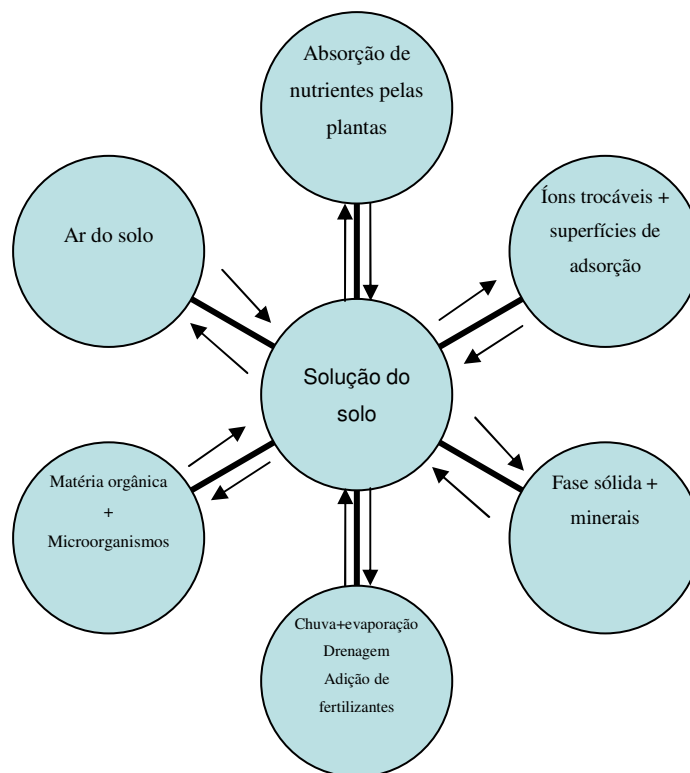


Figura 02- O equilíbrio dinâmico que ocorre nos solos.
Fonte: LINDSAY (1979) *apud* RESENDE *et.al.*, (1999).

2.3 Poluição do solo urbano

Segundo Braga *et.al.*, (2005), a poluição do solo urbano é proveniente dos resíduos gerados pelas atividades econômicas, industriais, comerciais e de serviços. Esta poluição pode ser provocada por resíduos na fase sólida, líquida ou gasosa, sendo que na fase sólida este tipo de poluição se manifesta mais intensamente por dois motivos: as quantidades geradas são grandes e as características de imobilidade impõem grandes dificuldades de transporte por dispersão no meio ambiente.

Os resíduos gasosos poluem o solo indiretamente na forma de chuva ácida, enquanto os resíduos líquidos atingem o solo urbano e são provenientes dos efluentes líquidos de processos industriais e esgotamento sanitário que são lançados as redes públicas de esgotos.

Dentre todos os mecanismos de poluição do solo urbano, a poluição por resíduos sólidos merece atenção especial. O poluente despejado na superfície do solo, primeiramente permeia por uma região insaturada, mas com o tempo este forma uma frente de avanço que pode chegar a se acumular na região saturada do solo ou atingir os rios (BEAR, 1972). Os microorganismos degradam os poluentes, através de reações bioquímicas, o que pode impedir a contaminação das águas (FAVERO, *et. al.*, 2007).

2.3.1 Processos de interação entre o solo e o contaminante

Quando ocorre o transporte e o contato de uma solução com o solo, ocorrerão também interações químicas e físicas entre as substâncias e os componentes da solução e as fases do solo (minerais, orgânica, líquida e gasosa). Deste modo, as interações podem vir a acarretar, ao longo do tempo, o acúmulo de uma ou mais substâncias resultando em poluição do solo (YONG *et.al.*, 1996 *apud* TEIXEIRA, 2008).

O solo, por possuir uma heterogeneidade natural, quando se encontra exposto a substâncias externas estranhas a sua origem, tende a proporcionar processos e interação físicos e químicos diversos, e estes se relacionam com a perda ou ganho de massa de um contaminante, que são regulados por: pH, concentração de substâncias, granulometria e composição dos minerais, matéria orgânica, permeabilidade, dentre outras (ALLOWAY, 1995 *apud* TEIXEIRA, 2008).

2.3.1.1 Processos químicos

Segundo He. *et. al.*, (2005) *apud* Campos (2010), os processos químicos e bioquímicos tais como precipitação-dissolução, adsorção-dessorção, complexação-dissociação e oxidação-redução controlam a disponibilidade e a mobilidade dos metais pesados no solo. Todavia é importante salientar que estes processos são afetados pelo pH do solo, por processos biológicos, além da própria toxicidade do elemento e o ambiente.

a) Adsorção

Segundo MacBride (1994), a adsorção é um processo químico muito importante, uma vez que regula a partição dos metais pesados entre a fase sólida e a solução do solo. Os minerais mais importantes da fase sólida do solo, em termos de reação de adsorção de metais pesados são os óxidos e os hidróxidos de ferro, alumínio e manganês e os grupos funcionais nas periferias dos argilominerais silicatados.

b) Precipitação

A precipitação acontece quando há transferência de soluto da solução para a interface dos sólidos do solo, formando novos compostos insolúveis. No solo a precipitação de íons metálicos pode ocorrer na superfície dos sólidos e na água dos poros (TEIXEIRA, 2008).

2.3.1.2 Fatores que afetam a disponibilidade do contaminante

Os fatores que podem afetar a disponibilidade de um contaminante no meio ambiente são o tipo de solo, o contaminante e o próprio meio ambiente, que distorcem as interações químicas e físicas no processo de migração do contaminante.

pH

É a medida de concentração de íons H^+ presentes na solução. Segundo o conceito de Sorensen, o pH é o logarítimo decimal do inverso da concentração hidrogeno-iônica:

$$pH = \log (1/[H^+]) \Rightarrow pH = - \log [H^+]$$

Valores inferiores a 7 correspondem à faixa ácida e valores superiores a 7, à faixa básica (alcalina). A maior preocupação com os valores de pH é como eles afetam outras substâncias.

Os ambientes ácidos determinam uma maior mobilidade dos metais no solo, enquanto que pH acima de seis favorecem sua retenção, principalmente em solos com elevado grau de intemperização, onde os grupos funcionais de superfície dos componentes coloidais são, na sua maioria, pH dependentes (SODRÉ *et.al.*, *apud* GIROTTI, 2007.)

CTC Total

Na natureza existem duas cargas elétricas denominadas de positivas e negativas. A maioria dos solos da crosta terrestre são eletronegativos, ou seja, apresentam o número cargas negativas maiores do que as cargas positivas (RESENDE *et. al.*, 1999).

As cargas negativas estão na superfície dos minerais de argila e da matéria orgânica, e são capazes de adsorver os cátions com cargas opostas: Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ , H^+ etc. Estes cátions adsorvidos podem ser trocados uns pelos outros, fenômeno conhecido como troca de cátions.

A CTC (Capacidade de Troca Catiônica) seria o conjunto de cargas negativas no solo e corresponde a capacidade que o solo possui em reter os cátions trocáveis. Quanto maior for a quantidade de cargas negativas existentes na superfície das partículas sólidas do solo, maior a CTC que geralmente é expressa em meq/100g de solo (RESENDE *et.al.*, 1999).

A importância da CTC refere-se não só a retenção de cátions, mas também de água, além de ter relação direta com a estruturação e consistência do solo. Estas cargas são chamadas permanentes, pois são estruturais, e não serão afetadas pelo pH do solo. Além disso, a CTC também depende da constituição mineralógica do solo. Em geral, solos mais argilosos e com maior quantidade de material orgânico possuem maior CTC.

A Figura 03 ilustra as cargas elétricas de um colóide, mostrando que as cargas elétricas de pólos opostos se atraem enquanto que as cargas semelhantes se repelem.

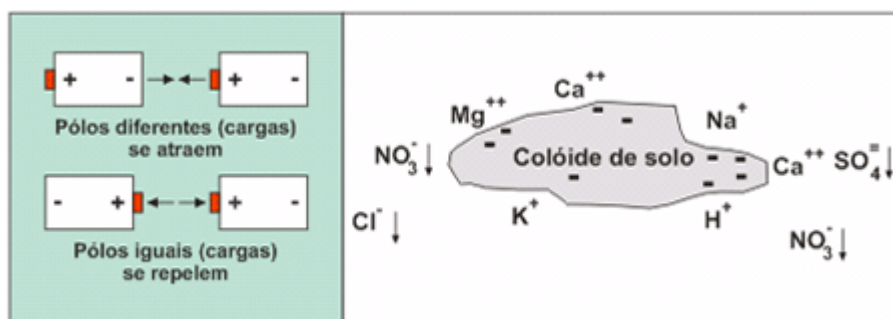


Figura 03- Cargas elétricas da fração argila e matéria orgânica

Fonte: pedologiafacil.com.br

CTC efetiva

É a quantidade de cátions trocáveis do solo, nas condições da amostra, com pH normal. As cargas negativas dependentes de pH variam conforme o pH do solo. Quando o pH aumenta, também aumenta a quantidade de cargas negativas.

As cargas negativas do solo são originadas pela adsorção ou dissociação de íons H^+ de grupos funcionais da matéria orgânica, das bordas dos argilominerais e dos óxidos de ferro e alumínio, que são abundantes nos solos tropicais (RESENDE *et.al.*, 1999).

A CTC efetiva é utilizada no cálculo da retenção de cátions (RC) como um dos critérios para saber se o solo é ácido (baixa CTC efetiva) ou não ácido (média ou alta CTC efetiva).

$$RC = \frac{SB + Al}{\text{argila \%}} \times 100$$

Granulometria e mineralogia do solo

O tamanho dos grãos do solo interfere na interação do mesmo com os componentes da solução. As partículas que possuem diâmetros maiores que 2 μm tem sua atividade superficial prejudicada, sendo considerada inerte. Já a fração argila, com área específica maior (diâmetros inferiores a 2 μm) possui alta atividade, apresentando comportamento coloidal.

As argilas podem mudar o comportamento de um solo, devido a alta atividade, provocando alterações na deformabilidade, resistência, permeabilidade, capacidade de retenção de água, pH, CTC, reações de superfície etc (TEIXEIRA, 2008).

A fração argilosa do solo é composta, principalmente por argilas silicatadas do tipo 1:1 e 2:1 e oxídicas (óxidos, hidróxidos e oxihidróxidos de ferro e alumínio (RESENDE *et.al.*, 1999).

As argilas estão divididas em grupos funcionais em relação ao argilo mineral, sendo os minerais do tipo caulinita e montmorilonita, que determinam os extremos das propriedades dos solos tropicais em função da sua superfície específica. O tipo de argilo mineral interfere na retenção dos metais pesados. A atividade das argilas tende a crescer da caulinita (menos ativa) para a esmectita ou montmorilonitas (mais ativas) (RESENDE *et.al.*, 1999).

Assim como a maioria dos solos brasileiros, grande parte dos solos do Estado de Minas Gerais apresenta a fração argila, constituída por caulinita, gibbsita, hematita, goethita e óxidos de ferro e alumínio mal cristalizados. Esta composição se deve ao alto grau de intemperismo que estes solos apresentam (ALVES, 2002).

Os minerais e as áreas específicas (m^2/g) e a CTC (cmol.kg^{-1}) estão apresentadas na Tabela 04, conforme descrito por RUSSEL (1973), BOHN *et. al.*, (1979) e GRIM (1968) *apud* RESENDE *et.al.*, (1999).

Tabela 04- Dados sobre componentes das frações argila, silte e areia dos solos

Mineral ou partícula	Estrutura	Área específica (m^2/g)	CTC (cmol/kg)
Caulinita	1:1	10-20	3-15
Holoisita	1:1	21-43	5-50
Ilita	2:1	70-120	10-40
Clorita	2:1	79-150	10-40
Vermiculita	2:1	300-500	100-150
Esmeclita	2:1	700-800	60-150
Alofana	amorfa	70-300	25-70
Silte		<0,1	Muito pequena
Areia fina		<0,1	Muito pequena
Areia grossa		<0,01	Muito pequena

Fonte: Russel (1973), Bohn *et. al.*, (1979) e Grim (1968) *apud* Resende *et.al.*, (1999).

Índices de Consistência: Limites de Atterberg

Segundo Pinto (2009), os limites de Atterberg, denominação utilizada em homenagem ao engenheiro químico Atterberg, pesquisador do comportamento do solo, são utilizados para orientar o comportamento dos solos quanto aos teores de umidade na mudança de estado. Tem-se então o Limite de Liquidez (LL), o Limite de Plasticidade (LP) e o índice de Plasticidade (IP) que é a diferença entre (LL) e (LP). A seguir, a Figura 04 ilustra os Limites de Atterberg (PINTO, 2009).

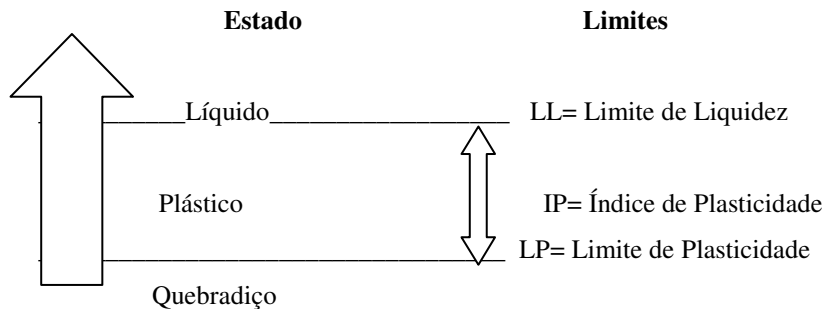


Figura 04- Limites de Atterberg dos solos

Fonte: PINTO (2009).

Segundo a ABNT NBR 7250/1982, a plasticidade é a propriedade de solos finos, entre largos limites de umidade, de se submeterem a grandes deformações permanentes, sem sofrer ruptura, fissuramento ou variação de volume apreciável.

As partículas que apresentam plasticidade são, principalmente, os argilo minerais. Os minerais como o quartzo e o feldspato não desenvolvem misturas plásticas. A influência do teor de umidade nos solos finos pode ser facilmente avaliada pela análise da estrutura destes tipos de solos. As ligações entre as partículas ou grupo de partículas são fortemente dependentes da distância. Portanto, as propriedades de resistência e compressibilidade são influenciadas por variações no arranjo geométrico das partículas. Quanto maior o teor de umidade implica em menor resistência.

Matéria orgânica

Segundo Stevenson (1994), a matéria orgânica do solo (M.O) refere-se a todo material orgânico encontrado neste, incluindo resíduos identificáveis de vegetais (recursos primários), resíduos de animais do solo e microorganismos (recursos secundários), matéria orgânica dissolvida, exudatos radiculares e substâncias húmicas (SH) macromoleculares.

A matéria orgânica do solo apresenta uma ampla diversidade química dos seus componentes. Esta diversidade está relacionada à variedade dos grupamentos funcionais, fazendo com que a

M.O tenha ação tamponante numa ampla faixa de pH do solo (SILVA & MENDONÇA, 2007 *apud* GIROTTTO, 2007).

A matéria orgânica do solo constitui o maior reservatório de carbono da superfície terrestre, estima-se que os estoques de carbono no solo estejam entre 1.200 e 1.500 Pg (10^{15} g), superando, assim, o estoque de Carbono na biota (ANDERSON, 1995). A matéria orgânica do solo se constitui num componente importante da fertilidade do mesmo exercendo múltiplos efeitos sobre as propriedades físicas, químicas e biológicas do terreno, alterando-lhe, para melhor, o nível de fertilidade e produtividade.

A característica física mais influenciada pela presença de matéria orgânica nos solos é a capacidade de retenção de água. Devem ressaltar os efeitos benéficos da matéria orgânica no desenvolvimento dos organismos do solo, especialmente das bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico.

A distribuição da matéria orgânica no perfil do solo depende principalmente do modo pelo qual se adiciona o material orgânico. E qualquer caso, contudo, há maior acúmulo de matéria orgânica nos terrenos mal drenados que nos bem drenados (MUZILLI, 1985).

São quatro os mecanismos de adsorção de metais pela M.O, os quais incluem a adsorção física, a atração eletrostática, as ligações de hidrogênio e a formação de complexos coordenados estáveis. Na fração húmus, a matéria orgânica pode formar quelatos com metais pesados ou servir de um forte adsorvente. Os metais adsorvidos são liberados com a sua decomposição (WASAY *et. al.*, 1998 *apud* GIROTTTO, 2007).

2.4 Metais pesados no solo

Segundo Miranda (1993), desde os tempos antigos, o homem tem tido contato com metais pesados, que se encontram naturalmente no solo e na água. Os metais são amplamente utilizados na fabricação de utensílios domésticos e tubulações de água o que provocou um aumento nos riscos de intoxicação.

Os metais pesados são elementos químicos metálicos, de peso atômico relativamente alto, que em concentrações elevadas tornam-se muito tóxicos à vida (MALAVOLTA, 1994). Entre os mais perigosos estão o mercúrio, o cádmio (encontrado em baterias de celulares), cromo e o

chumbo. Os metais pesados diferem de outros agentes tóxicos porque não são sintetizados pelo homem.

Os metais ocorrem naturalmente no ambiente, seja pela decomposição de rochas ou pela intervenção humana. Tal ocorrência depende do material de origem, dos processos de formação, bem como a composição e proporção dos componentes na fase sólida (ALLEONI *et. al.*, 2005).

Os metais pesados podem estar em diferentes fases do solo tais como solúvel em água, trocável, ligado a óxidos, ligados a carbonatos ou ligados à matéria orgânica. São biodisponíveis, as fases, solúvel em água e trocáveis, as fases ligadas a óxidos, carbonatos e matéria orgânica podem ser potencialmente biodisponíveis (HE. *et. al.*, 2004).

A concentração total de metais pesados no solo geralmente é um indicador limitado em termos de disponibilidade destes elementos, pois existem diferentes formas do mesmo elemento nas fases sólida e líquida do solo, variando a sua biodisponibilidade (KABALA & SING, 2001 *apud* GIROTTTO, 2007).

A biodisponibilidade, toxicidade, e mobilidade dos metais pesados no solo são grandemente determinadas pela sua cinética de distribuição entre a solução e fase sólida do solo, e pela variação na quantidade dos componentes na fase sólida (HAN *et. al.*, 2001 *apud* GIROTTTO, 2007). São características dos metais pesados a sua tendência de retenção e acumulação em solos com pH alto, acima de 5, e a sua permanência em camadas superficiais do solo. A presença de metais pesados na solução do solo ocorre em formas de complexos orgânicos metálicos e, na fase sólida, na forma de precipitados (YONG *et.al.*, 1996 *apud* TEIXEIRA, 2008).

A elevação destes metais devido à ação antrópica ocorre principalmente por atividades mineradoras, esgotamento sanitário, incineradores de resíduos sólidos, uso indiscriminado de fertilizantes e defensivos agrícolas além dos efluentes industriais. O aumento da concentração destes metais depende do tipo de solo, da topografia do terreno, da geologia e dos processos erosivos que influenciam na distribuição destes no meio ambiente (COSTA, 2002).

O manejo e a conservação do solo são fatores fundamentais para o desenvolvimento sustentável, a preservação dos ecossistemas e a biodiversidade. A contaminação do solo por

metais pesados coloca em risco o equilíbrio do ecossistema, principalmente quando é derivada de ações antrópicas.

Devido ao solo ser um bem de propriedade privada e estar sob a influência de muitos fatores externos, tais como aspectos geológicos, aspectos culturais e sociais, forma de uso e ocupação do solo, históricos industriais, aspectos econômicos, sistema legal e administrativo, tecnologias disponíveis etc., não existe ainda uma abordagem internacional padronizada. Portanto a CETESB- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, órgão ambiental do Estado de São Paulo, adotou valores orientadores denominados valores de referência de qualidade, valores de alerta e valores de intervenção, para subsidiar decisões e o controle da poluição nas áreas já contaminadas e/ou suspeitas de contaminação, visando à saúde pública e a qualidade do solo e das águas subterrâneas (CETESB, 2005).

A Resolução do CONAMA nº 420, de 28/12/2009 – Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas.

A Tabela 05 apresenta os valores de referência de metais pesados em solos, do Estado de São Paulo, segundo a CETESB (2005) e CONAMA 420 de 2009.

Tabela 05- Valores de referência para alguns metais

Valores orientadores de metais para o solo no Estado de São Paulo (CETESB, 2005 e CONAMA 420 de 2009).						
Substância (mg/kg) de peso seco	Referência	Prevenção	Intervenção			Investigação
			Agrícola	Residencial	Industrial	
Cádmio	<0,5	1,3	3	8	20	5*
Cobre	35	60	200	400	600	2000*
Cromo	40	75	150	300	400	50*
Níquel	13	30	70	100	130	20*
Ferro	-	-	-	-	-	2450*
Zinco	60	300	450	1000	2000	1050*

Fonte: Adaptado de CETESB, 2005 e CONAMA 420, 2009.

(*) Padrões de potabilidade de substâncias químicas que representam riscos a saúde definidos na portaria nº518/2004 do Ministério da Saúde.

Ainda segundo a CETESB (2005), o valor de referência de qualidade (VRQ) refere-se à concentração de determinada substância que define a qualidade natural do solo. Valores iguais ou abaixo da VRQ, indicam que não há contaminação. Deve ser usado como referência nas ações de prevenção da poluição do solo e da água subterrânea e de controle de áreas contaminadas. O valor de prevenção (VP) é a concentração de determinada substância da qual podem ocorrer alterações prejudiciais à qualidade do solo e da água subterrânea. Este valor indica a qualidade de um solo capaz de sustentar as suas funções primárias, protegendo-se os receptores ecológicos e a qualidade das águas subterrâneas. Deve ser utilizado para disciplinar a introdução de substâncias no solo e, quando ultrapassado, a continuidade da atividade será submetida à nova avaliação, devendo os responsáveis legais pela introdução das cargas poluentes procederem ao monitoramento dos impactos decorrentes. O valor de intervenção – (VI) é a concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana, considerando um cenário de exposição genérico. Para o solo, foi calculado utilizando-se procedimento de avaliação de risco à saúde humana para cenários de exposição Agrícola-Área de Proteção Máxima-APMax, Residencial e Industrial. A área será classificada como Área Contaminada sob Investigação quando houver constatação da presença de contaminantes no solo ou na água subterrânea em concentrações acima dos Valores de Intervenção, indicando a necessidade de ações para resguardar os receptores de risco.

A seguir encontram-se as principais características dos metais analisados, a partir de uma abordagem sucinta destes elementos no solo. O elemento Ferro também foi analisado devido ao material de origem e altas concentrações em ambientes tropicais, como é o caso do local estudado.

Cádmio

O cádmio é o elemento número 48 da tabela periódica, com um peso atômico de 112,4 e se encontra presente na natureza em baixos níveis (VARMA, 1986 *apud* SILVA e FILHO, 1999). Atualmente, a concentração de cádmio na crosta terrestre varia entre 0,15 e 0,20 mg. kg⁻¹, sendo o 67º metal em abundância (MATTIAZZO-PREZOTTO 1994, *apud* SILVA e FILHO, 1999).

Quando o cádmio é introduzido no organismo humano via oral a absorção é pequena, acumulando nos rins e fígado (GERHARDSSON & SKERFVING, 1996 *apud* SILVA e FILHO, 1999).

Segundo a OMS-Organização Mundial de Saúde (1998), o cádmio está associado a efeitos tóxicos no organismo mesmo em baixas concentrações. A principal causa da toxicidade do cádmio parece estar relacionada à sua combinação com grupos tiólicos (SH) de enzimas e proteínas, o que provoca desarranjo no metabolismo.

Os teores médios de cádmio encontram-se a faixa de 0,15 mg. kg⁻¹ nas rochas ígneas, variando de 0,01 a 16 mg. kg⁻¹ nos granitos. As rochas sedimentares apresentam as mais altas concentrações de cádmio, na faixa de 10 a 980 mg. kg⁻¹. Nas rochas metamórficas os teores variam de 0,04 mg. kg⁻¹ nos gnaisses e 0,02 mg. kg⁻¹ nos xistos (ALOWAY, 1990 *apud* MELLIS, 2006).

Nos solos não contaminados por fontes antropogênicas, a concentração de cádmio varia de acordo com a rocha de origem. Solos formados por rochas ígneas apresentam teores entre 0,1 e 0,3 mg. kg⁻¹ de cádmio, já os solos originários de rochas metamórficas os teores variam de 0,1 e 1,0 mg. kg⁻¹ de cádmio e em solos originários de rochas sedimentares a concentração gira em torno de 11 mg. kg⁻¹ (MELLIS, 2006).

Segundo Malavolta (1994), na solução do solo a concentração de cádmio é conduzida por diversas reações, tais como: adsorção, fixação e complexação. Em baixas concentrações do elemento ocorre adsorção ao complexo organo-mineral; em teores mais altos ocorre a precipitação com carbonato e fosfato, que é facilitado pelo pH mais alto. Nos solos ácidos, as reações com a matéria orgânica e sesquióxidos são as responsáveis pelo controle da solubilidade de cádmio na solução do solo.

Cromo

O cromo é um metal pesado, que na sua forma trivalente (Cr⁺³) é considerado um nutriente essencial para o ser humano, mas, também é tóxico de acordo com sua concentração. Pode existir na natureza sob diferentes formas de oxidação cromo (0), cromo (III) e cromo (IV). A

principal função está relacionada ao metabolismo da glicose, colesterol e ácidos graxos (MERTZ, 1969).

Cromo(VI) é um carcinógeno humano reconhecido. A fumaça contendo este elemento químico causa uma variedade de doenças respiratórias, incluindo câncer. O contato da pele com compostos de cromo causa dermatite alérgica e, mais raramente, pode provocar ulcerações na pele formando cicatrizes e até perfurações do septo nasal. Há suspeitas de que este composto químico possa afetar o sistema imunológico de seres humanos.

A concentração do cromo varia de 2 a 90 ppm em rochas graníticas, de 1000 a 3400 ppm nas rochas ultramáficas e de 30 a 590 ppm em xisto e argila (HSDB, 2000).

Na maioria dos solos o cromo é estável sendo encontrado naturalmente sob a forma de cromo (III). O destino do cromo no solo depende da especiação do metal, que se dá em função do potencial redox e do pH do solo. O cromo (III) apresenta baixa solubilidade e reatividade resultando em baixa mobilidade no ambiente e baixa toxicidade aos organismos vivos. Possui interações com o zinco e o ferro. Quando o ferro apresenta-se em grande quantidade a absorção do cromo diminui (MERTZ, 1969).

Ferro

O Ferro é um micronutriente essencial para a maioria dos organismos vivos, mas a ingestão em excesso pode provocar intoxicações. A carência de ferro provoca anemia, fraqueza, fadiga e dores musculares, em contrapartida o excesso de ferro provoca diarreia, febre, dores abdominais, gastrite, lesões no fígado, descalcificação dos ossos (REZENDE, 2009).

O Ferro é originário de minerais como magnetita, pirita, biotita, piroxênios e anfibólios. É encontrado no solo como óxido do tipo hematita, magnetita, goethita entre outros, e também como sulfatos, hidróxidos, carbonatos e fosfatos.

O teor de Ferro nas rochas ígneas básicas e ultrabásicas estão em torno de 9,4% e de 4,7% em rochas sedimentares (SÍGOLO 1998 *apud* TEIXERA, 2008).

Nos solos lateríticos e latossolos a concentração do ferro é alta, variando de 14 a 56 % de Fe_2O_3 . A concentração e a dispersão do Ferro no solo são controlados principalmente pelo pH e Eh (TEIXEIRA, 2008).

Cobre

O cobre forma uma rica variedade de compostos com estados de oxidação de +1 e +2. Ele não reage com água, mas reage lentamente com o oxigênio atmosférico, formando uma camada marrom escura de óxido de cobre. O cobre é um elemento essencial à vida em geral, participando no caso do organismo humano no processo de fixação do ferro na hemoglobina do sangue. Grandes concentrações são encontradas no cérebro e fígado.

Em rochas básicas e ultrabásicas a concentração de cobre é alta, em torno de 30 a 160 mg.kg⁻¹, em rochas ácidas a concentração gira em torno de 3 e 30 mg.kg⁻¹ e nas rochas sedimentares é muito baixa principalmente nos carbonatos (ALLOWAY, 1995 *apud* TEIXEIRA, 2008).

Quanto à mobilidade no solo, o cobre pode estar retido pela matéria orgânica, por óxidos de ferro e alumínio e manganês e pelos argilo minerais, tornando pouco móvel. O cobre pode ser encontrado na solução do solo como íon cúprico quando complexado, adsorvido a sítios de troca iônica, sítios normais ou específicos, na matéria orgânica e em organismos vivos, em óxidos, na rede estrutural de minerais primários e secundários.

Segundo Lindsay (1972) *apud* Teixeira (2008), a elevação do pH em uma unidade diminui em 100 vezes a concentração de íons cúpricos, e os ácidos húmicos, podem ser os condicionantes para a sua ligação à matéria orgânica. A solubilidade, concentração e dispersão do Cu no solo é função da quantidade de matéria orgânica, pH, potencial redox e de sua interação com os outros metais, por exemplo, da competitividade com o Zn na ocupação de valência em compostos minerais secundários e em alguns tipos de argilas.

Níquel

O Níquel é um metal de transição, classificado como metal pesado, cujo número atômico é 28, peso atômico 58,71 e densidade de 8,91 g/cm³. É considerado um metal essencial para os animais, mas é um metal de alta toxicidade dependendo da concentração (MALAVOLTA, 1994).

Os principais efeitos de exposição ao níquel são: alergia, rinite e sinusite, prejudicam a capacidade reprodutiva e tem sido apontado como carcinogênico (REZENDE, 2009).

O teor total de níquel nos solos varia de 5 a 700 mg.kg⁻¹, com um valor médio de 20 mg.kg⁻¹ na camada de solo de 0-20 cm de profundidade. É encontrado na solução do solo principalmente na forma de aquocomplexo Ni(H₂O)₆⁺². A atividade é diminuída quando há o aumento de pH e da atividade de ligantes orgânicos e inorgânicos pela formação de complexos. Estes complexos formados são principalmente NiSO₄, NiOH⁺, organo-complexos com ácido fúlvico e ácido cítrico. Além disso, na fase sólida do solo, o níquel pode ser encontrado na forma inorgânica, como complexos com óxidos de ferro e alumínio, e na forma orgânica (UREN, 1992 *apud* MELLIS, 2006).

A disponibilidade de níquel é inversamente relacionada com o pH, além disso ele possui grande afinidade por materiais orgânicos. A calagem em solos de serpentina (ricos em Ni) reduz a quantidade de Ni trocável no solo e em consequência sua toxidez. O solo do cerrado não contém teores satisfatórios para a planta de níquel, sendo necessária a realização de adubação niquelada, principalmente em culturas perenes (MELLIS, 2006).

Zinco

O zinco é um micronutriente essencial que presente em grandes concentrações apresenta efeitos nocivos à saúde. Sua deficiência pode gerar distúrbios no crescimento, retardo na maturidade sexual, dermatites, cegueiras, impotência, doença renal crônica, dentre outras (REZENDE, 2009).

Os principais minerais de zinco são sulfetos, como a esfalerita e hidrossilicato calamina. Em rochas ígneas ácidas como o granito, a concentração de Zinco é de aproximadamente 50 mg.kg⁻¹, sendo menor em rochas ígneas básicas como basalto com 130 mg.kg⁻¹ (SIEGEL, 1979 *apud* TEIXEIRA, 2008).

Na natureza o zinco é encontrado com valência Zn⁺², podendo ser facilmente substituído por Fe⁺² e Mg⁺², devido ao seu raio atômico. Esta substituição ocorre em diferentes minerais de rocha, principalmente no grupo dos silicatos e dos óxidos. Os fatores que determinam o teor de Zn no solo são: a rocha matriz, o teor de matéria orgânica, a granulometria e o pH (ALLOWAY, 1995 *apud* TEIXEIRA, 2008).

Após o intemperismo dos minerais primários, os íons de zinco⁺² são liberados e podem se tornar móveis e detectáveis em ambientes ácidos. De outro modo, o zinco pode ser absorvido

fortemente se o solo for constituído por argilo minerais, hidróxidos de ferro e manganês e matéria orgânica (SIGOLO, 1998 *apud* TEIXEIRA, 2008).

2.5 Forma dos metais pesados

Os metais pesados no solo são encontrados sob diversas formas químicas, também chamadas de espécies. Este termo refere-se à forma em que uma molécula ou íon ocorre em uma solução, isto é, se estão como íons livres ou ligados a outros íons, formando diferentes compostos ou complexos (ALLOWAY *et.al.*, 1995 *apud* TEIXEIRA, 2008).

A Figura 05 ilustra as principais formas químicas em que se encontram os metais pesados no solo, bem como os compartimentos que podem estar presentes. Estes metais quando são adicionados ao solo podem ficar retidos em solução (dissolvidos), fixados no solo (adsorção, complexação e precipitação) ou serem absorvidos pelas plantas (incorporados as cadeias tróficas). Além disso, podem passar para a atmosfera por meio da volatilização ou serem transportados para as águas superficiais ou subterrâneas, segundo ANTA (1996) *apud* MUNOZ (2002) e TEIXEIRA (2008).

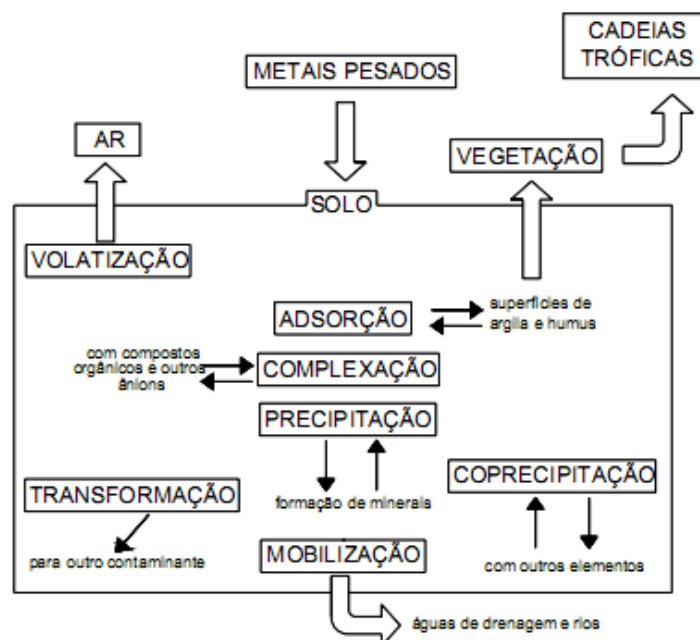


Figura 05-Dinâmica dos metais pesados presentes em solos.
Fonte: Anta (1996) *apud* Munoz (2002) e Teixeira (2008).

Segundo Alloway (1985), Yong *et.al.*, (1996) e Meurer *et. al.*, (2004) *apud* Teixeira (2008) as formas químicas que os metais pesados podem ser encontrados no solo são:

- Solúveis: como íons livres, complexos solúveis como ânions inorgânicos ou ligantes orgânicos, e estão prontamente a serem adsorvidos pelas plantas e ou lixiviados no solo;
- Trocáveis: em sítios carregados negativamente na matéria orgânica ou em minerais (complexo de esfera externa);
- Adsorvidos especificamente nos sítios específicos da matéria orgânica ou dos minerais do solo. A reação envolve energia de ligação alta (complexo de esfera interna);
- Ligados a materiais orgânicos insolúveis: os metais estão complexados pela matéria orgânica ou presentes em células recentemente mortas (organismos);
- Precipitados: podem estar como precipitados (carbonatos, sulfatos, fosfatos) e também co-precipitados a componentes pouco solúveis de Cálcio e óxidos e hidróxidos de magnésio, ferro e alumínio. A Figura 06 ilustra as reações que controlam o teor de metais presentes na solução do solo conforme MATTIGOD *et.al.*, (1981) *apud* MELLIS (2006).

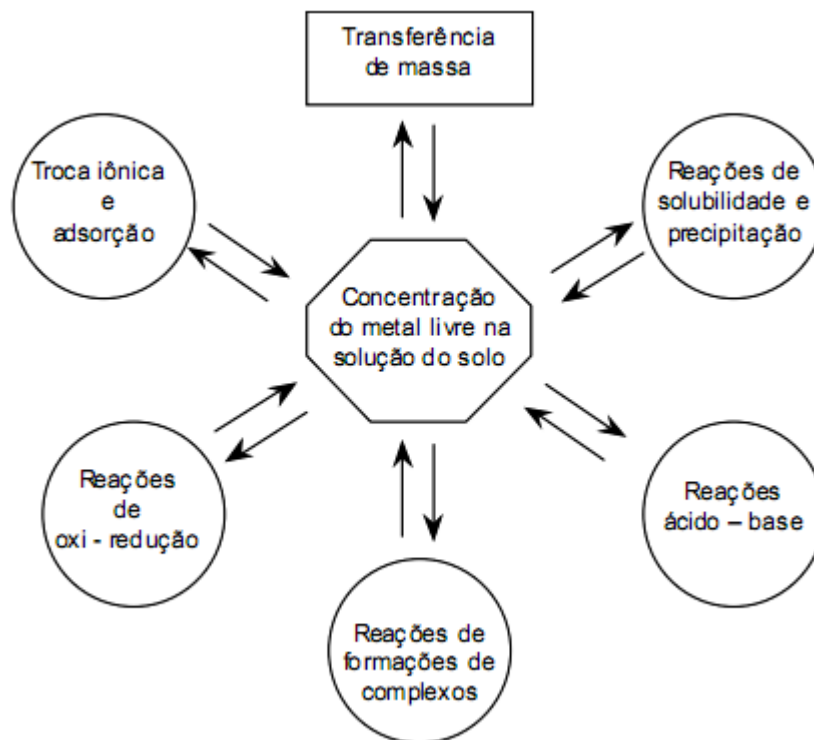


Figura 06- Esquema das reações que controlam o teor de metais presentes na solução do solo

Fonte: Mattigod *et.al.*, 1981 *apud* Mellis, 2006.

2.6 Aspectos ambientais relacionados com a disposição inadequada de Resíduos Sólidos

O gerenciamento inadequado dos resíduos sólidos pode resultar em riscos indesejáveis a população, constituindo-se ao mesmo tempo em fator de degradação ambiental e em problema de saúde pública.

Os problemas de saúde pública devem ser estudados, de forma a buscar possíveis soluções preventivas e corretivas. Segundo Pereira Neto (1999) estes problemas são advindos das deficiências nos sistemas de coleta e disposição final e a falta de políticas públicas de proteção à saúde.

Deste modo, a correta localização de áreas para disposição de resíduos sólidos deve ser norteada por aspectos relacionados à preservação ambiental e a saúde pública, considerando também os aspectos sociais, estéticos, econômicos e administrativos envolvidos na gestão dos resíduos (BROLLO, 2001).

Além disso, o problema da degradação de áreas tem sido uma preocupação crescente para a gestão de territórios.

As áreas degradadas são aquelas onde ocorrem problemas associados ao desenvolvimento de processos geográficos dinâmicos, às atividades de mineração, à contaminação dos recursos hídricos, à disposição inadequada de resíduos e aos demais problemas de natureza geotécnica e geoambiental, desestabilizando a dinâmica do meio ambiente (BRAGA *et. al.*, 2005).

Segundo Pompéia (1996) e José (1997) *apud* Brollo (2001), no que dizem respeito à contaminação ambiental, as principais causas de degradação de áreas estão associadas à migração de contaminantes a partir de vazamentos em dutos e tanques, falhas no processo industrial; problemas no tratamento de efluentes, disposição inadequada de resíduos sólidos e líquidos, acidentes no transporte de substâncias, problemas de impermeabilização em lagoas de estabilização e em aterros de resíduos industriais, atividades de mineração, devido ao manejo inadequado de materiais de rejeito, águas de lavagem e pátios de estocagem.

O grande problema advindo da contaminação ambiental é devido a elevadas concentrações de algumas substâncias que podem se bio-acumular em organismos ou mesmo persistirem no ambiente. Os riscos à saúde decorrem da exposição da população local aos contaminantes,

seja por meio da propagação da contaminação ou quando áreas contaminadas são reutilizadas (BIONDI, 2010). Na maioria dos casos, as áreas de disposição de resíduos sólidos são mal selecionadas, havendo a carência de propostas sobre a destinação a ser dada a elas quando ocorre a sua desativação, recuperação ou remediação. O que agrava ainda mais a contaminação destas áreas é o fato da mistura de resíduos industriais e domésticos. Portanto, a contaminação dos recursos hídricos, superficiais e subterrâneos torna-se certo, bem como o risco à saúde da população vizinha (BROLLO, 2001).

Em um programa de gestão ambiental, como forma de preservar e proteger a integridade ambiental do meio físico, Bitar (1996) e Hassuda (1997) *apud* Brollo (2001) propõem três linhas de atuação básicas: ação preventiva; ação corretiva; e ação de manutenção.

a) No caso da ação preventiva, para uma região de interesse, são estabelecidas, restrições ao uso do solo frente às diversas atividades contaminantes ou potencialmente contaminantes.

A seleção de novas áreas para disposição de resíduos se inclui nesta linha de atuação e são baseadas em critérios técnico-científicos, que evitem possíveis degradações ao meio ambiente e à vida humana. O Quadro 02 demonstra os processos geodinâmicos e os parâmetros utilizados para definir sua proporção segundo Bitar *et. al.*, (1993) *apud* Brollo (2001), e o Quadro 03 ilustra os indicadores de contaminação do solo sob de depósitos de resíduos segundo HASSUDA (1997) *apud* BROLLO (2001).

Quadro 02- Indicadores de presença de processos geodinâmicos e parâmetros utilizados para definir sua magnitude

Processo do meio físico	Indicador	Parâmetros
Erosão pela água	Feições erosivas (sulcos, ravinas e voçorocas)	- comprimento, largura e profundidade; - área afetada; - presença do nível d'água aflorante.
Escorregamentos	Feições de massa em movimentação	- comprimento e largura das trincas; - presença e altura de degraus; - inclinação; - grau de saturação; - profundidade do nível d'água.

Quadro 2 (continuação)- Indicadores de presença de processos geodinâmicos e parâmetros utilizados para definir sua magnitude

Escorregamentos	Feições de massa movimentadas	- geometria; - volume; grau de saturação.
Inundações	Dimensão da inundação	- área afetada; - altura da lâmina d'água na área afetada.

Fonte: BITAR *et. al.*, (1993) *apud* BROLLO (2001).

Quadro 03- Indicadores de contaminação do solo abaixo de depósitos de resíduos.

Tópicos	Tipos de informações
Indicadores no solo	- erosão (pode favorecer o transporte de resíduos pelo escoamento de águas superficiais); - escoamento de chorume no solo; - gases/ vapores nas edificações vizinhas aos depósitos.
Eventos	- recalque, desabamento: indicam a movimentação de material (terra, resíduos, rochas etc) que podem resultar em danos a obras de engenharia; - danos a fauna e flora devido a difusão de gases e veiculação de doenças; - explosão, incêndio.

Fonte: Adaptado de Hassuda (1997) *apud* Brollo (2001).

b) A ação corretiva: compreende a recuperação de locais contaminados ou degradados. Essa recuperação visa à estabilidade do ambiente em detrimento aos impactos ambientais ocorridos, buscando medidas de correção destes impactos.

É usual utilizar os termos reabilitação e remediação das áreas, cada qual aplicado a diferentes situações. A reabilitação seria as ações de intervenção realizadas em uma área contaminada visando atingir um risco tolerável, para o uso ou o futuro desta área. Já a remediação de áreas comprovadamente contaminadas visam, por meio da Engenharia Ambiental e da Química Ambiental retirar e/ou atenuar a concentração do contaminante em solo ou água subterrânea, com o emprego de métodos diversos do ramo da engenharia, para que esta concentração seja reduzida a níveis pré-determinados na Avaliação de Risco a Saúde humana ou as leis vigentes.

c) A ação de manutenção: busca evitar a reativação dos processos e a eventual anulação dos trabalhos implementados.

Esta ação também envolve o constante monitoramento da área recuperada, de forma a verificar a possível ocorrência de impactos ambientais e sua magnitude. Em locais onde ocorreu a disposição de resíduos e cujas atividades encerraram-se, deve-se fazer o constante monitoramento da qualidade das águas superficiais e subterrâneas, bem como o deslocamento do maciço.

2.7 Iniciativas para o gerenciamento integrado

Gerenciar os resíduos sólidos significa ter o cuidado desde a geração, seleção e disposição final. O Brasil ocupa o quinto lugar entre os países mais populosos do mundo, estando atrás apenas da China, Índia, Estados Unidos e Indonésia. Com esse aumento exacerbado verificou-se também o aumento da poluição do solo, da água, do ar e da superfície.

Devem-se conhecer as características do resíduo municipal para se propor alternativas para o gerenciamento integrado. Os aspectos mais importantes a serem considerados são o número de habitantes por município, o poder aquisitivo da população, as condições climáticas predominantes, hábitos da população e nível educacional. Os agentes responsáveis pelo gerenciamento e disposição final de resíduos sólidos, de acordo com a composição dos materiais, são as prefeituras municipais e os geradores, cujas responsabilidades por tipo de resíduos estão ilustradas no Quadro 04, de acordo com GRIPPI (2006).

Quadros 04- Responsáveis pelo gerenciamento de resíduos sólidos

Tipo de resíduo	Responsável pelo Gerenciamento até a disposição final
Domiciliar Comercial Público	Prefeituras Municipais
Hospitalar Especial Industrial Agrícola	Geradores

Fonte: Grippi, 2006.

2.8 A Política Nacional de Resíduos Sólidos

A Lei 12.305 de 02 de agosto de 2010 fixa os parâmetros para que a sociedade e o Estado passem a dar tratamento adequado aos resíduos. Esta Lei especifica as diretrizes relacionadas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, inclusive os perigosos, dispondo sobre a responsabilidade dos geradores e do poder público e os instrumentos econômicos aplicáveis nesse novo gerenciamento de resíduos. Deste modo, esta Lei se aplica às pessoas físicas ou jurídicas, de direito público ou privado, responsáveis, direta ou indiretamente, pela geração de resíduos sólidos e as que desenvolvam ações relacionadas à gestão integrada ou ao gerenciamento de resíduos sólidos.

De acordo com a Lei 12.305:2010, o poder público, fabricantes, importadores, distribuidores ou comerciantes devem implantar a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos. Por ciclo de vida do produto deve se entender a série de etapas que envolvem o desenvolvimento do produto, a obtenção de matérias-primas e insumos, o processo produtivo, o consumo e a disposição final do produto.

Institui a obrigatoriedade de se fazer a coleta seletiva, onde os resíduos sólidos são coletados e previamente segregados conforme sua constituição e composição. Assim, esta Lei adota padrões sustentáveis de produção e consumo, onde se procura atender as necessidades das gerações atuais sem comprometer a qualidade ambiental e as necessidades das gerações futuras. Essa produção sustentável se apóia no conceito de responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos se baseia nos seguintes princípios:

- a) A prevenção e a precaução;
- b) O poluidor-pagador e o protetor-recebedor;
- c) A visão sistêmica, na gestão dos resíduos sólidos, que considere as variáveis ambiental, social, cultural, econômica, tecnológica e de saúde pública;
- d) O desenvolvimento sustentável;
- e) A ecoeficiência, mediante a compatibilização entre o fornecimento, a preços competitivos, de bens e serviços qualificados que satisfaçam as necessidades humanas e tragam qualidade de vida e a redução do impacto ambiental e do consumo de

recursos naturais a um nível, no mínimo, equivalente à capacidade de sustentação estimada do planeta;

- f) A cooperação entre as diferentes esferas do poder público, o setor empresarial e demais segmentos da sociedade;
- g) A responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;
- h) O reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor de cidadania;
- i) O respeito às diversidades locais e regionais;
- j) O direito da sociedade a informação e ao controle social;
- k) A razoabilidade e a proporcionalidade.

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Levantamento de informações e pesquisas bibliográficas

Uma pesquisa científica tem como função interpretar uma dada situação e a partir de alguns questionamentos e objetivos definidos, traçar caminhos e metas que conferem credibilidade e confiabilidade às informações e aos dados. Assim, traçaram-se alguns procedimentos metodológicos para a realização do trabalho, com o objetivo de melhor compreender o tema proposto.

Inicialmente procurou-se realizar uma pesquisa teórica com a finalidade de reunir um maior número de informações sobre o tema pesquisado e, assim, dar forma e conteúdo ao estudo proposto. Pesquisou-se em artigos, teses, dissertações, livros, arquivos digitais, publicações em revistas e jornais para obter informações relativas e possibilitar o entendimento geral do tema.

3.2 Atividades de campo: Coleta de dados para delimitação da área de estudo

Para a delimitação da área onde os resíduos são dispostos incorretamente, ou seja, a área denominada de “lixão” foram necessárias três etapas: a primeira contou com a coleta dos pontos através de um aparelho de *Global Positioning System*-GPS Pathfinder Pro XR de alta precisão. Na segunda etapa utilizou-se o software GPS Pathfinder Office para pós-processamento dos dados, utilizando como base de referência a estação de monitoramento contínuo (RBMC) da Universidade Federal de Uberlândia-UFU, onde se atinge a precisão abaixo de 50 cm.

Na última etapa, utilizaram-se o programa AUTOCAD 2010, o qual possibilitou a digitalização e a organização dos dados coletados, gerando-se assim, ao final, a delimitação da área de estudo, bem como as curvas de nível representando a topografia do terreno e a distância do lixão e o principal manancial de água do município de Estrela do Sul, o Rio Bagagem.

3.3 Amostragem

Coleta de amostras

Após a delimitação da área de estudo, o “lixão”, realizou-se o trabalho de coleta de amostras de solo. Estas amostras foram coletadas aleatoriamente, através de furos de sondagem a trado para simples reconhecimento- (SPT), conforme ilustra a Figura 07, em diferentes profundidades.



Figura 07- Coleta de amostras de solo através de furos de sondagem a trado.

A proposta inicial foi coletar 6 amostras em 6 profundidades diferentes, sendo elas: 0,0 a 0,5m; 0,5 a 1,0m; 1,0 a 1,5m; 1,5 a 2,0m; 2,0 a 2,5m e de 2,5 a 3,0m, mas como em alguns pontos encontrou-se excesso de resíduos sólidos em estado de decomposição, tornou-se impraticável a coleta de todas as amostras. A Figura 08 A, ilustra o furo de sondagem a trado e a Figura 08 B ilustra o furo de sondagem a trado, com quantidade

significativa de resíduos sólidos em estado de decomposição, onde houve a liberação excessiva de gás metano.



Figura 08- A- Furo de sondagem a trado; B- Excesso de resíduos sólidos em estado de decomposição, impossibilitando a coleta de amostras.

Com exceção do ponto 4, as demais amostras foram coletadas até no máximo 1,5m, o que dificultou a tabulação dos dados.

Utilizaram-se 16 amostras deformadas de solo, para a realização dos ensaios físicos e químicos em 6 diferentes pontos, procurando-se representar toda a extensão da área do “lixão”. Para a retirada de amostras utilizou-se o trado “Holandês”.

As amostras após serem secas, destorroadas, homogeneizadas e quarteadas foram encaminhadas ao Laboratório de Geotecnia da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade de Uberlândia para análises físicas; para o Laboratório de Análise de Solos do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia para as análises de CTC, matéria orgânica, pH e bases; e para o Instituto de Química da Universidade Federal de Uberlândia para as análises de metais pesados.

As etapas de campo foram assim subdivididas: caracterização visual da área de estudo, entrevista com os catadores do local, entrevista com moradores próximos ao local de estudo, classificação do solo, constituição da vegetação dominante, levantamento de dados para delimitação da área de estudo e coleta de amostras de solo.

3.4 Ensaios Laboratoriais

3.4.1 Caracterização Geotécnica do solo

Em primeiro lugar, realizou-se a classificação visual e tátil do material de estudo, utilizando-se de amostras de solo do ponto 4 onde os resíduos sólidos encontram-se em estado de decomposição.

Visualmente percebe-se que o solo é constituído de minerais e poros (ocupados por água e ar), matéria orgânica e organismos. A natureza destes materiais e a quantidade dos mesmos podem variar muito, necessitando, porém de análises mais criteriosas. A estrutura do solo apresenta-se na forma granular e a cor o apresenta-se na tonalidade avermelhada, o que caracteriza solos bem drenados.

Assim, o solo foi esfregado nas mãos para sentir a aspereza conferida pelas areias. O solo demonstrou pouca quantidade de areia, e elevada quantidade de silte e argila. Ainda com o solo seco, utilizaram-se torrões para conferir a resistência do solo quando pressionado entre os dedos. Deste modo, o solo apresentou-se bem resistente e consistente.

Com o solo úmido e esfregando-se nas mãos, percebe-se uma quantidade significativa de argila. Não se percebendo, porém filmes ou películas da mesma. Quando submetido a um recipiente imerso com água o solo sedimenta mais lentamente, o que confere a textura mais argilosa.

Após a análise visual e tátil as amostras de solo foram encaminhadas ao Laboratório de Geotecnia da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade de Uberlândia, onde foram preparadas conforme a ABNT NBR 6457 (1986); ABNT NBR 7181 (1984) E ABNT NBR 6502 (1995) para a análise de granulometria através de ensaios de peneiramento e sedimentação.

Para os ensaios de consistência, utilizou-se a ABNT NBR 6459 (1984); ABNT NBR 7180 (1984).

Ao final, os resultados foram representados sob a forma de curvas granulométricas e de consistência, que auxiliaram na classificação e geração de uma tabela contendo as características do solo encontrado na área de estudo.

3.4.2 Caracterização Química do Solo

Com a finalidade de avaliar as condições atuais do solo na área de depósito de resíduos sólidos no município de Romaria-MG, coletou-se 16 amostras em diferentes profundidades e em pontos aleatórios para determinação de cátions trocáveis. Deste modo, as amostras de solo foram encaminhadas para o Laboratório de Análises de Solos do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia, onde foram secas ao ar e em seguida passadas em peneiras com abertura de malhas de 2mm para determinação de cátions trocáveis.

Para os ensaios químicos do solo utilizaram-se as metodologias descritas na Tabela 06.

Tabela 06- Métodos utilizados para análises químicas do solo

Elemento analisado	Método
Cálcio trocável	KCL 1mol/L (Ca^{+2} , em $\text{Cmol}_c.\text{dm}^{-3}$)
Magnésio trocável	KCL 1mol/L (Mg^{+2} , em $\text{Cmol}_c.\text{dm}^{-3}$)
Acidez trocável	KCL 1mol/L (Al^{+3} , em $\text{Cmol}_c.\text{dm}^{-3}$)
Soma de bases	$\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2} + \text{K}^{+}$, em $\text{Cmol}_c.\text{dm}^{-3}$
Capacidade efetiva de troca de cátions	$\text{CTC ef} = t = \text{SB} + \text{Al}^{+3}$, em $\text{Cmol}_c.\text{dm}^{-3}$
Capacidade de troca de cátions a pH 7	$\text{CTC pH 7} = T = \text{SB} + (\text{H} + \text{Al})$, em $\text{Cmol}_c.\text{dm}^{-3}$
Saturação por alumínio	$(m = 100 \text{ Al}^{+3}/t, \text{ em } \%)$
Saturação por bases	$(V = 100 \text{ SB}/T, \text{ em } \%)$
Potássio disponível	Extração com Mehlich-1 (K, $\text{mg}.\text{dm}^{-3}$)

Fonte: Laboratório de análise de solos- ICIAG-UFU, 2011.

Determinação de Cátions trocáveis

A extração de cátions trocáveis foi realizada com duas soluções extratoras: KCl 1 mol L⁻¹, para determinação de cálcio, magnésio e alumínio, e solução de Mehlich-1 (H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹ + HCl 0,05 mol L⁻¹), para determinação de potássio (EMBRAPA, 1997).

Em todas as extrações, utilizou-se 5,0 g de amostra de solo e 50 mL de solução extratora. A seguir, as suspensões foram agitadas em agitador orbital por 5 min, à velocidade de 120 ciclos/min. As extrações foram realizadas no período da tarde, ficando as suspensões em repouso até a manhã do dia seguinte, quando foram feitas as determinações nos extratos já límpidos, sem necessidade de filtração.

Nos respectivos extratos de solo, cálcio e magnésio foram determinados por espectrometria de absorção atômica (Raij *et. al.*, 2001), enquanto o potássio foi determinado por fotometria de chama (EMBRAPA, 1997). Para determinação do teor de alumínio procedeu-se a titulação com solução de NaOH 0,025 mol.L⁻¹ e como agente titulante utilizou-se o azul de brotimol como indicador do ponto de viragem (EMBRAPA, 1997).

Determinação do teor de matéria orgânica

De acordo com a Embrapa (1997) a determinação da matéria orgânica é efetuada pela utilização do método Walkley & Black (1934) em dag.kg⁻¹. Dezesesseis amostras foram submetidas a este procedimento, que consiste na oxidação da matéria orgânica por via úmida com solução de dicromato de potássio em meio sulfúrico, empregando-se aquecimento brando. O excesso de dicromato foi titulado posteriormente com solução de sulfato ferroso amoniacal.

Determinação de pH

A determinação de pH das amostras de solo, foi efetuada segundo metodologia proposta pela EMBRAPA, 1997. Foram pesados cerca de 10,0 g de cada amostra em béqueres,

aos quais foram adicionados 25,0 mL de água deionizada pré-aquecida (80 °C). A seguir as misturas foram agitadas manualmente e permaneceram em repouso por 1 hora. Após este intervalo, as amostras foram novamente agitadas até homogeneização e mediu-se o pH.

Repetiu-se o procedimento descrito acima, porém empregando-se 25,0 mL de uma solução de KCl 1,0 mol.L⁻¹ à temperatura ambiente. As medidas de pH foram realizadas com pHmetro digital e eletrodo de vidro combinado, calibrado com soluções tampão de pH 4,0 e 7,0.

3.4.3 Quantificação de íons metálicos

Os íons metálicos analisados foram Cádmio total, Cobre total, Cromo total, Níquel total, Zinco total e Ferro total. As análises foram feitas em triplicata, refazendo a leitura de cada triplicata por três vezes, totalizando 9 leituras para uma mesma amostra na mesma profundidade.

Deste modo, os resultados foram submetidos a uma planilha eletrônica da Microsoft Excel, para obter os resultados de média, desvio padrão e desvio padrão relativo de no máximo 5%.

A quantificação de íons metálicos foi realizada no Espectrofotômetro de Absorção Atômica (Varian, SpectrAA-220). A Tabela 07 ilustra as condições experimentais utilizadas durante o experimento.

Tabela 07- Condições do FAAS durante a leitura das amostras

Elementos	Comprimentos de onda λ (nm)	Fenda (nm)	Faixa ótima de trabalho ($\mu\text{g.mL}^{-1}$)	Tipo de chama (oxidante)	Fluxo de gases	Corrente da lâmpada (mA)
Cd	228,8	0,5	0,0-2,0	Ar-acetileno	13,5 Lm ⁻¹ / 2,0 Lm ⁻¹	4,0
Cu	324,7	0,5	0,0-10,0	Ar-acetileno	13,5 Lm ⁻¹ / 2,0 Lm ⁻¹	4,0

Tabela 07 (Continuação). Condições do FAAS durante a leitura das amostras

Cr	357,9	0,2	0,0-6,0	Ar- acetileno	13,5 Lm ⁻¹ / 2,0 Lm ⁻¹	7,0
Ni	341,5	0,2	0,0-5,0	Ar- acetileno	13,5 Lm ⁻¹ / 2,0 Lm ⁻¹	4,0
Zn	213,9	1,0	0,0-2,0	Ar- acetileno	13,5 Lm ⁻¹ / 2,0 Lm ⁻¹	5,0
Fe	248,3	0,2	0,0-60,0	Ar- acetileno	13,5 Lm ⁻¹ / 2,0 Lm ⁻¹	5,0

Fonte: FLAME ATOMIC ABSORP. SPECTROM.- Manual de Instrução, Varian®, 1989.

A metodologia utilizada foi a USEPA (United States Environmental Protection Agency) 3050.

O método USEPA 3050, da Agência de Proteção Ambiental dos EUA (Usepa, 1998), utiliza aproximadamente 1 g de solo que foi digerido em meio ácido com HNO₃ e HCL concentrados, em banho-maria na chapa por 10 minutos a 95±5°C até redução de volume. As amostras foram resfriadas e após adicionou-se H₂O e HCL concentrado, e levaram-se as amostras para a chapa de aquecimento a 95±5°C por mais 10 minutos. Em seguida, foram resfriadas novamente e filtradas com papel filtro de porosidade média. O recipiente foi lavado com água quente (85 a 95°C), após novo resfriamento o volume total da amostra foi completado e homogeneizado, para posterior leitura em espectrofotômetro de absorção atômica por chama.

CAPÍTULO 4

LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1 Localização geográfica

4.1.1 Histórico

Água suja, hoje Romaria, começou sua existência como povoado no tempo da guerra do Paraguai, quando alguns garimpeiros, vindos de Estrela do Sul, descobriram no local ricas jazidas de diamante. Em 1867 foi descoberto o primeiro e daí por diante, o córrego “Água Suja”, que se desemboca no Rio Bagagem, tornou-se célebre, emprestando seu nome à povoação que logo foi surgindo com os diamantes.

Seus primeiros habitantes sempre devotos de Nossa Senhora, como seus antepassados, construíram no ano de 1870 uma Capela provisória e deu-se início também ao transporte de material para o futuro Santuário. A imagem de Nossa Senhora da Abadia foi encomendada de Portugal, na capital do império e transportada do Rio a Barra do Pirai em lombos de animais. E daí em diante veio de trem e carro de bois, trazida pelo viajante português Custódio da Costa Guimarães.

Em 1926, quando o número dos romeiros ultrapassava a casa dos cinquenta mil, na festa de agosto, o Santo Vigário de Água Suja, hoje Romaria, Pe. Eustáquio Van Lieshout iniciou a construção do atual e majestoso Santuário. Assim foi a antiga Água Suja. Tornou-se desde então o novo centro de devoção Mariana, daí espalhando-se por todo o Triângulo Mineiro.

4.1.2 Localização e acesso

O município de Romaria-MG com área de 401.965 km², está situado na zona oeste de Minas Gerais. Os municípios limítrofes são Estrela do Sul, Iraí de Minas e Monte Carmelo. A altitude máxima é de 1035m, possui dois ribeirões: Marrecos e Bagagem.

A área de estudo está localizada no alto curso do Rio Bagagem, na Mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, conforme ilustra a Figura 09, em vermelho, adaptada de Silva (2007), nas coordenadas geográficas 18°54'02,25" e 47°35'31,80"O no Município de Romaria - MG. Está inserida no “Domínio dos chapadões recobertos por cerrados e penetrados por florestas galerias” (AB’SABER, 1977) ou nos “Planaltos e Chapadas da Bacia Sedimentar do Paraná, denominação introduzida pelo RADAMBRASIL (1983).



Figura 09- Localização da área de estudo, em destaque.
Fonte: SILVA, E.M., 2007 (adaptado).

4.2 Caracterização da área de estudo

4.2.1 Geologia

A Geologia é uma parte da geografia física que estuda a formação atual do relevo terrestre baseado no estudo da sua evolução. A Figura 10 ilustra a geologia da região do Triângulo Mineiro e do município de Romaria, conforme o Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia.

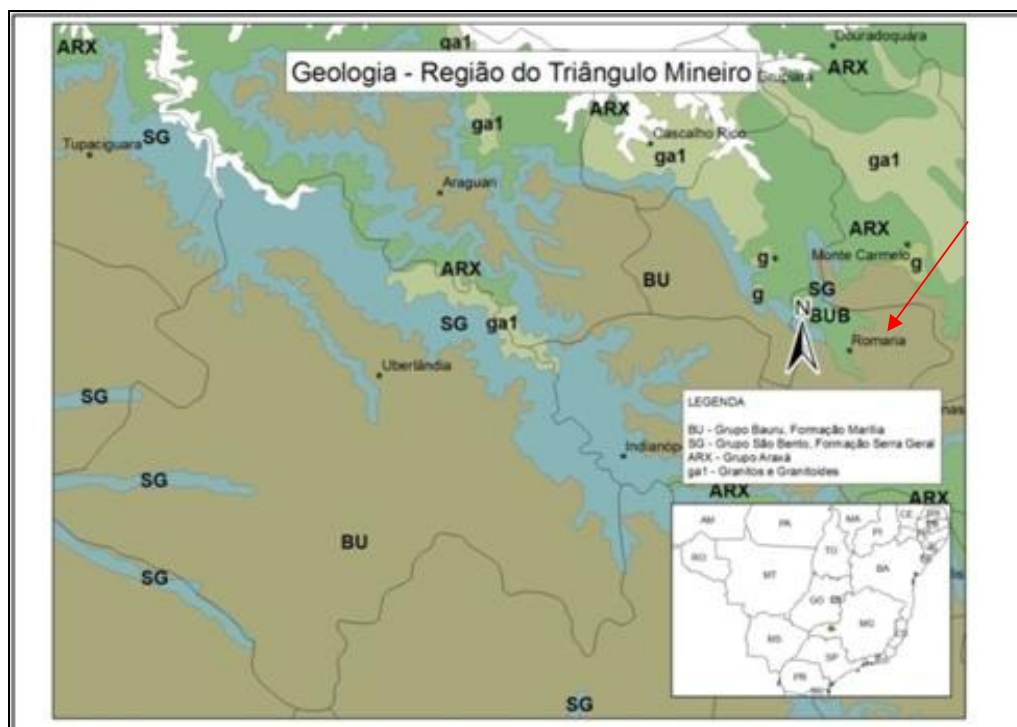


Figura 10- Geologia da Região do Triângulo mineiro.
Fonte: ig.ufu

A área de estudo está inserida numa região conhecida pela fertilidade de suas minas diamantíferas. Os estudos geológicos de Svizero *et. al.*, (1977) tratam de forma detalhada da mina de diamantes de Romaria. Segundo os autores, no local o diamante é encontrado em um conglomerado situado na base da Formação Bauru, o qual vem sendo explorado desde o final do século XIX.

As unidades geológicas presentes na região de Romaria são: Grupo Araxá, constituído de micaxistos, contendo intercalações de metabasitos. A muscovita é o principal mineral do micaxisto; Grupo São Bento representado pela Formação Botucatu, caracterizada por arenitos argilosos de coloração avermelhada. A Formação Serra Geral, caracterizada por basaltos não ocorre na área; o Grupo Bauru está representado pela Formação Uberaba, caracterizada por sequência vulcanoclástica de conglomérados homogêneos, conglomérados arenosos, arenitos congloméráticos e arenitos finos; a Cobertura

Detrítico-Laterítica predomina recobrando a área e é composta por solos lateríticos, areno argilosos e crostas liminíticas; e os depósitos recentes representados pelos aluviões que se constituem em terraços fluviais e planícies de inundação (SVIZERO *et. al.*, 1977).

A área em questão está localizada na porção nordeste da Bacia Sedimentar do Paraná. O conjunto geológico do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba é composto por grandes feições geotectônicas, identificadas em estudos realizados na região por diversos pesquisadores. Dentre eles, Nishiyama (1989); Baccaro (1989 e 1991) e Barbosa (1970).

Na bibliografia dos autores acima citados, mais especificamente de Nishiyama, consta que a geologia é representada pelas litologias de idade Mesozóica, como os arenitos da Formação Botucatu; basaltos da Formação Serra Geral; rochas do Grupo Bauru; arenitos da Formação Adamantina; conglomerados e calcários da Formação Marília; rochas metamórficas dos Grupos: Araxá, Bambuí e Canastra.

Geologicamente a área em estudo está representada pelas rochas do Grupo Araxá, constituída por xistos com ocorrência de quartizitos e granitos. De acordo com Silva (2007), essas rochas afloram na região de estudo.

Outra litologia que representa a área em questão é os arenitos da Formação Botucatu. Esses arenitos são encontrados diretamente assentados sobre o embasamento cristalino do Grupo Araxá. A cor dessas rochas varia de róseo a alaranjado, passando para tonalidade marrom avermelhada com a silicificação (NISHIYAMA, 1989).

4.2.2 Geomorfologia

A área em estudo é composta por chapadas sedimentares tabulares, com presença de cobertura laterítica, cuja espessura fica em torno de 20 cm. Os vales se apresentam muito abertos, onde afloram rochas Pré-cambrianas representadas por micaxistos e anfíbolitos e, em certos locais, afloram também rochas arenosas da Formação Botucatu do Grupo São Bento. A Formação Uberaba do Grupo Bauru está presente em restritos

afloramentos nos locais de lavra do conglomerado basal. Os depósitos Quaternários são abundantes em vários pontos onde se pratica a mineração de diamantes (SVIZERO *et.al.*, 1977).

O arcabouço geológico regional é responsável pelas feições do relevo na região, fazendo formar distintos compartimentos geomorfológicos. No entanto, são poucos os trabalhos realizados quanto ao mapeamento sistemáticos regionais relacionados à Pedologia, Geologia e Geomorfologia.

Além do mapeamento do projeto RADAMBRASIL (1983), o trabalho de maior relevância quanto à Geomorfologia da região do Triângulo Mineiro é o de BACCARO (1991) que, classificou o relevo dessa região em quatro grandes compartimentos geomorfológicos: Áreas de Relevo Intensamente Dissecado; Áreas de Relevo Medianamente Dissecado; Áreas de Relevo Residual; Áreas Elevadas de Cimeira.

Segundo Silva (2007), na área em estudo podem ser identificados dois arranjos paisagísticos definidos com base na compartimentação topográfica. São eles: Áreas de Relevo Medianamente Dissecado e Áreas de Dissecção Fluvial – Vales em V.

As Áreas de Relevo Medianamente Dissecado corresponde ao setor que se situa em altitudes entre 700 a 900m, onde o relevo varia de ondulado a suavemente ondulado, com formas convexas e vertentes cujos declives variam de 3° a 15° (BACCARO, 1991).

Nessa compartimentação geomorfológica, a fragilidade do solo está relacionada aos impactos causados pela utilização do solo por pastagens, reflorestamentos, implantação da agricultura, entre outras.

Tais atividades proporcionam a instabilidade das vertentes que sofrem com a retirada da cobertura vegetal nativa. Os processos erosivos que podem surgir dessa instabilidade causam problemas de assoreamento nos cursos d'água, podendo deixar as águas turvas e avermelhadas nas primeiras chuvas da época chuvosa (BACCARO, 1991).

A Figura 11 ilustra o mapa de Geomorfologia da região do Triângulo Mineiro, onde está inserido o município de Romaria, conforme o Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia.

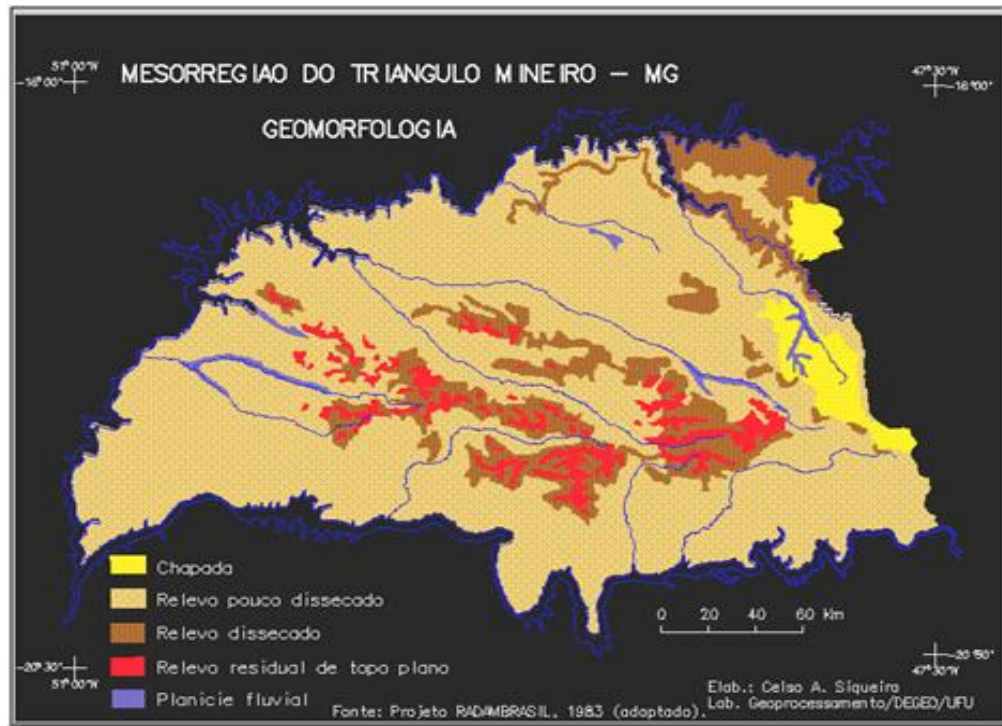


Figura 11- Geomorfologia do Triângulo Mineiro.
Fonte: ig.ufu

4.2.3 Solos

A pedologia é um ramo da geografia física, ou seja, é a ciência que estuda os solos em seu ambiente natural. A terminologia vem do grego *pedon* que significa solo, terra. A pedologia estuda a pedogênese, a morfologia dos solos e a classificação dos solos (RESENDE, *et. al.*, 1999).

A unidade principal de solo é o Latossolo Vermelho Distrófico Típico, conforme mapa pedológico da FEAM- Fundação Estadual de Meio Ambiente, ilustrado na Figura 12, com horizonte A moderado, textura argilosa, fase cerrado, em relevo plano suave ondulado (EMBRAPA, 1999).

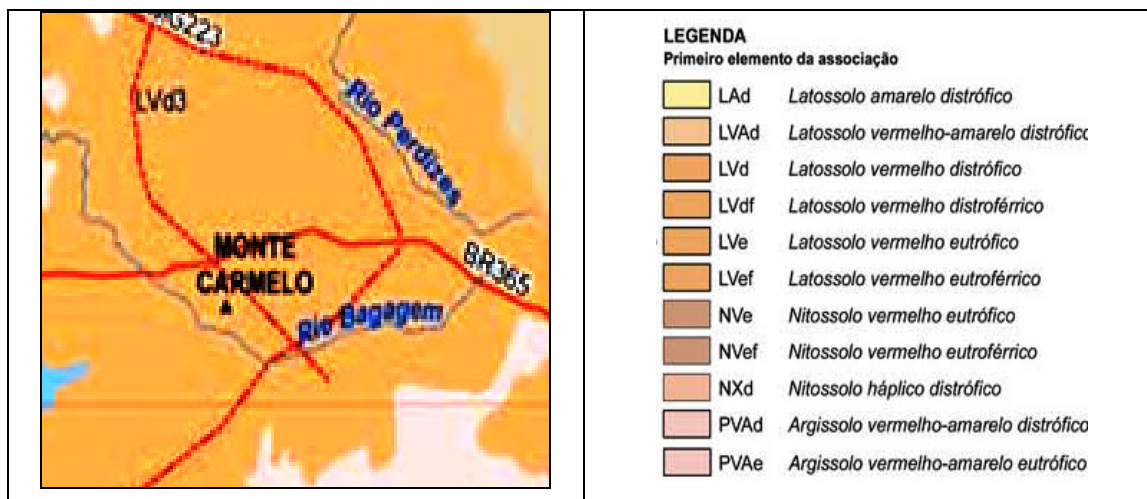


Figura 12- Mapa Pedológico da região de Romaria- MG (adaptado).

Fonte: http://www.feam.br/images/stories/arquivos/mapadosolo/mapa_solos_3.jpg

4.2.4 Clima

O clima é o tropical temperado. A temperatura média anual gira em torno de 20,7°C, sendo que a média máxima anual está em torno de 27,9°C e a média mínima anual 14,8°C (PREFEITURA DE ROMARIA, 2009).

A precipitação pluviométrica média é de 1.569 mm anuais, caracterizada por um período chuvoso de seis meses (outubro a março). Julho e agosto são os meses mais secos.

4.2.5 Hidrografia

O município está situado na Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba. Os principais recursos hídricos que banham o município são o Ribeirão Marrecos, Rio Bagagem e Rio Santa Fé.

4.2.6 Vegetação

Os cerrados se constituem na vegetação original do município de Romaria e são poucas as áreas que ainda apresentam remanescentes dos cerrados nativos. O município é circundado por veredas que assumem fundamental importância, pois constituem em

importantes reservatórios hídricos. Outra formação vegetal higrófila que acompanha o Rio Bagagem desde suas nascentes, são os campos de várzeas (PREFEITURA DE ROMARIA, 2009).

4.2.7 Topografia

De acordo com o levantamento topográfico da área de estudo o terreno apresenta-se levemente ondulado, conforme cotas topográficas ilustradas na Figura 14.

4.2.8 Levantamento Fotográfico da área de estudo e componentes perigosos encontrados no “lixão” de Romaria-MG

O levantamento fotográfico da área de estudo permite a avaliação prévia das condições ambientais, e da quantidade de materiais dispostos incorretamente na área de estudo. Na Figura 13A é possível visualizar alguns materiais tais como remédios, borrachas, plásticos e papéis. A Figura 13B, ilustra a disposição de resíduos sólidos dentro da feição erosiva (voçoroca). As Figuras 13C e 13D demonstram resíduos de serviço de poda, resíduos de construção civil além de outros materiais. As Figuras 13G e 13H ilustram a área de disposição em geral. Já na Figura 16E é possível visualizar a presença de catadores, o que é comum em áreas de disposição a céu aberto (lixões). A Figura 16F ilustra a presença de resíduos perigosos, no caso, filtros de óleo de veículos automotores.



Figura 13- Levantamento fotográfico da área de estudo. Em *A*- remédios, borrachas, plásticos e papéis; *B*- disposição de resíduos dentro da feição erosiva (voçoroca); *C*- restos de poda de árvores; *D*- resíduos de construção civil; *E*- presença de catadores; *F*- resíduos perigosos (filtro de óleo automotivo) *G* e *H*- vista geral da área, com deposição de plásticos, papéis, papelões, metais, e vidros.

No Quadro 05 são apresentados alguns materiais observados, em levantamentos de campo no “lixão” municipal de Romaria-MG, que podem conter substâncias perigosas. Estes materiais conferem características de inflamabilidade, corrosividade, oxirredução ou toxicidade uma vez que possam vir a causar riscos à saúde do homem ou do meio ambiente.

Quadro 05- Materiais observados no “lixão” de Romaria-MG que podem conter substâncias perigosas

Tipo	Produto
Material para pintura	Tintas, solventes, pigmentos, vernizes.
Materiais para jardinagem e animais	Pesticidas, inseticidas, repelentes, herbicidas, medicamentos.
Materiais automotivos	Óleos lubrificantes, filtros de óleo, bobinas, pneus, fluidos de freio e transmissão, baterias.
Outros itens	Pilhas, frascos de aerossóis, lâmpadas fluorescentes.

CAPÍTULO 5

RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Delimitação da área de estudo

A delimitação da área de estudo, que faz parte de um dígito de uma feição erosiva por voçorocamento, objetivou representar de maneira didática, os pontos de amostragem de solo (P1, P2, P3, P4, P5, P6). Deste modo, o mapa permite visualizar os locais de onde foram retiradas amostras para os ensaios geotécnicos, químicos e de metais, e ainda, a delimitação total da área onde são dispostos os resíduos sólidos urbanos. A Figura 14 ilustra o mapeamento da área de estudo.

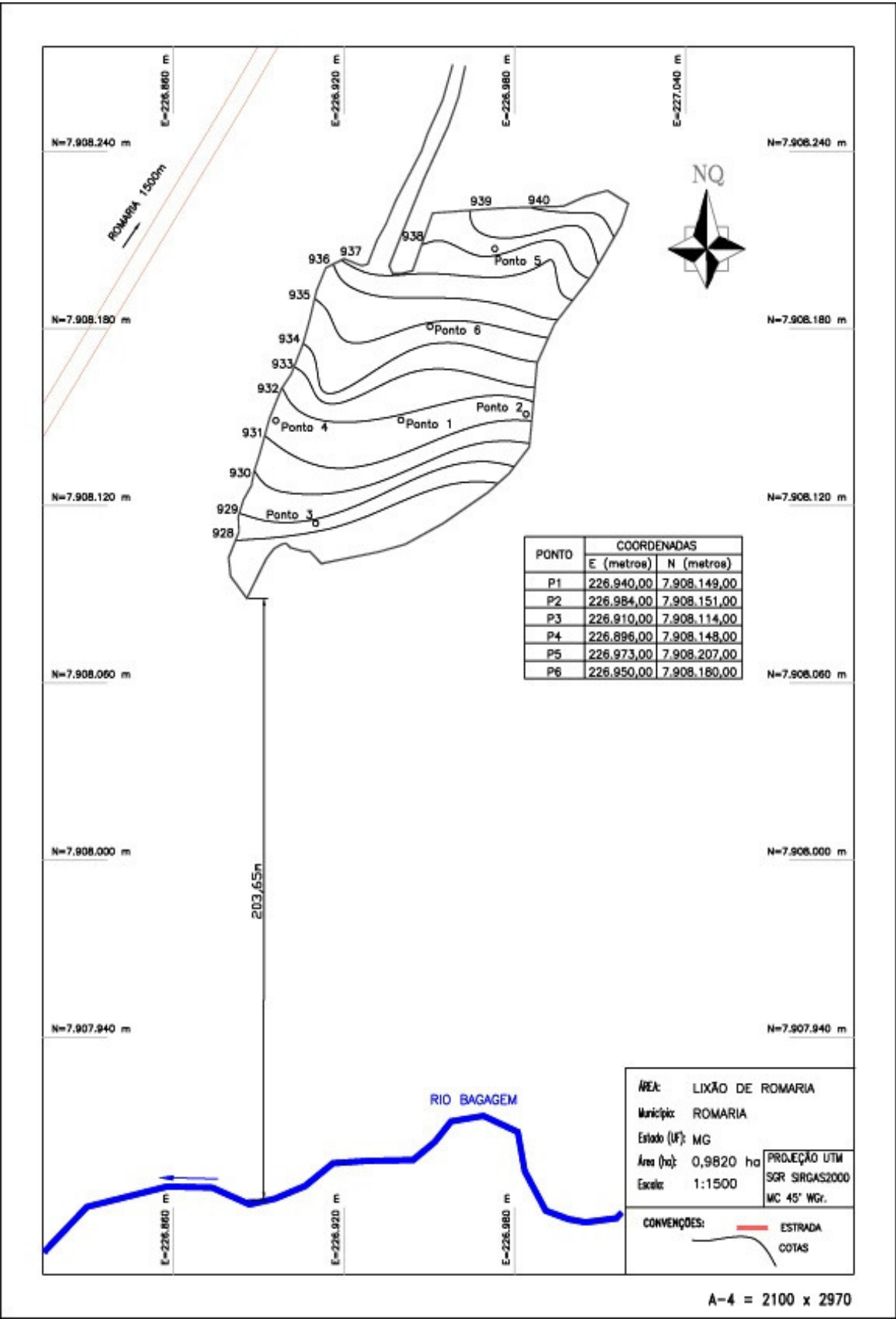


Figura 14- Mapeamento da área de estudo, com os pontos de amostragem, topografia do terreno e distâncias do Rio Bagagem e perímetro urbano de Romaria-MG

5.2 Considerações gerais sobre a área de estudo

Pesquisadores como Centurion *et.al.*, (2001), afirmam que a retirada da vegetação original de áreas naturais, aliadas a práticas não conservacionistas, promovem o rompimento da estrutura entre o solo e o meio, modificando as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo.

Percebe-se então que além da área de estudo apresentar uma fragilidade natural por fazer parte de um dígito de um processo erosivo por voçorocamento, ainda tolerou ações antrópicas como a mineração e pecuária, que contribuíram sobremaneira para a aceleração deste processo. Além disso, os resíduos sólidos urbanos estão sendo depositados dentro dos canais abertos pelo processo de voçorocamento o que facilita a possível contaminação do solo e da água subterrânea por chorume.

É importante salientar que a distância entre o local de estudo e o Rio Bagagem, principal manancial de água do município de Estrela do Sul-MG, é de apenas 203.65m. Segundo a ABNT NBR 13896/1997 a distância mínima entre um aterro sanitário e um curso d'água é de aproximadamente 200 metros, sendo que no aterro sanitário há o tratamento de chorume e gás metano o que não ocorre em áreas de disposição a céu aberto (lixões).

Outro fator de extrema importância e que dificulta a obtenção de parâmetros generalizados de contaminação do solo, está no fato de que no local, são depositados diversos resíduos constituídos de diferentes materiais. Alguns destes resíduos apresentam dificuldade de mobilidade devido ao peso e ao volume.

Aliado a este fator, também se encontrou dificuldade na amostragem de solo para obtenção de parâmetro de comparação entre os índices estudados, pois dentro da área de estudo não existe um local em que não há deposição de resíduos sólidos.

Procurou-se então obter um parâmetro de comparação entre os índices estudados, através de trabalhos de pesquisa em áreas que apresentam características edafoclimáticas similares.

5.3 Ensaios geotécnicos

5.3.1 Ensaios granulométricos

De maneira geral, a fase sólida dos solos é composta por um grande número de partículas com diferentes dimensões. A análise granulométrica procurou definir, através de ensaios, a percentagem em peso que cada fração do solo possui em relação à massa total da amostra. Deste modo, a representação gráfica da distribuição granulométrica do solo auxilia na interpretação do solo como um todo. As Figuras 15 e 16 ilustram as curvas granulométricas em dois pontos e em duas profundidades diferentes.

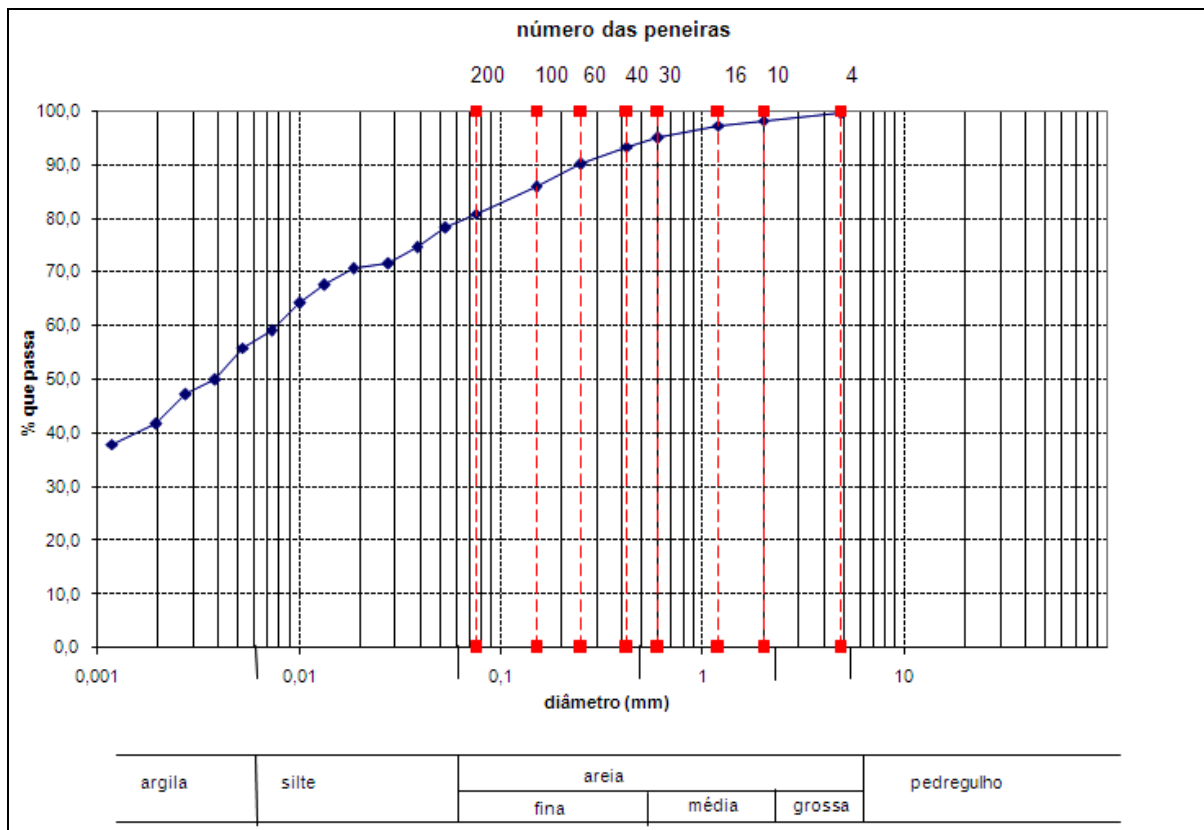


Figura 15- Curva granulométrica do ponto 4 profundidade 1,5 a 2,0 m.

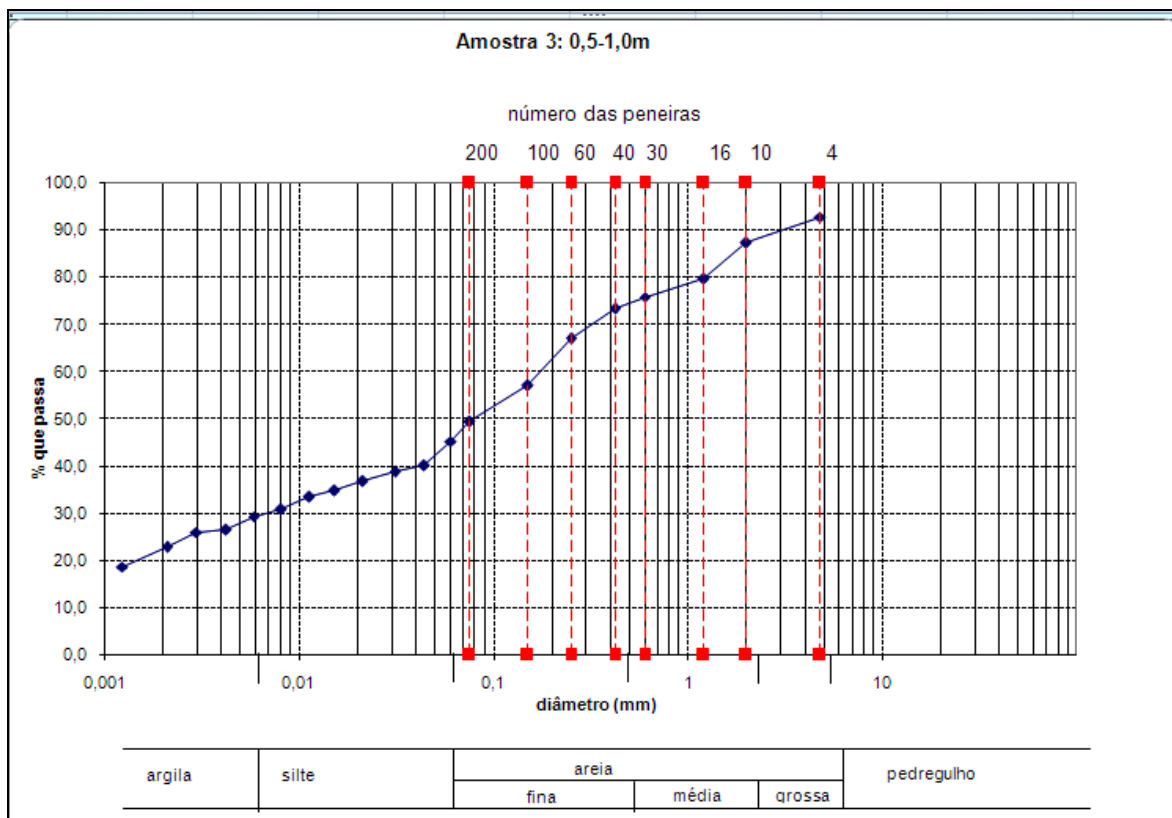


Figura 16- Curva granulométrica do ponto 3, profundidade 0,5 a 1,0m.

O solo coletado na área de estudo, onde houve a disposição inadequada de resíduos sólidos, é classificado em sua maioria por argila silto-arenosa, apresentando variações entre areia argilo-siltosa, argila areno-siltosa, silte argilo-arenoso e silte areno-argiloso, não descaracterizando o mesmo. É importante ressaltar que o aumento nos índices de pedregulhos, em algumas amostras, indica que a estrutura original do solo tem sido modificada ao longo do tempo, por fatores externos. A Figura 17 ilustra o material de fração mais grosseira, usado como alternativa para recobrimento dos resíduos.



Figura 17- Cascalhamento na área de estudo.

Segundo relatos de moradores e catadores da região, o local de estudo é utilizado como depósito de resíduos sólidos há mais de dez anos. Neste local, quando os resíduos não são recobertos com outro tipo de material por máquinas, são dispostos dentro dos canais abertos pelo processo de voçorocamento, conforme ilustra a Figura 18.



Figura 18- Disposição de resíduos sólidos urbanos dentro dos canais abertos pelo processo de voçorocamento.

Apesar deste tipo de solo ser pouco susceptível a erosão, a presença do silte e da areia juntamente com as ações antrópicas facilitam os processos erosivos que ocorrem no local, pois torna o solo menos coeso. Além disso, a área de estudo encontra-se sobre rochas cristalinas do Grupo Araxá que são mais frágeis em relação aos processos erosivos.

No ponto 1, devido ao volume e ao estágio de decomposição dos resíduos sólidos, aliados a dificuldade operacional, conseguiu-se coletar apenas uma amostra de solo na profundidade de 0,0 a 0,5 m. Neste ponto o material coletado apresenta-se mais argiloso.

No ponto 2, nas profundidades de 0,0 a 0,5m e de 0,5 a 1,0 m não há variação significativa na textura do material.

Já no ponto 3, o material comporta-se de maneira diferente, em termos texturais, nas 3 profundidades amostradas. Este comportamento ilustra a adição de materiais de fração mais grosseira ao solo original, modificando sua estrutura. Na profundidade de 0,0 a

0,5m o solo apresenta-se como argilo silto-arenoso. Na profundidade de 0,5 a 1,0 m a classificação granulométrica do solo é areia argilo-siltosa. Ainda nesta mesma profundidade, percebe-se um aumento expressivo de pedregulhos (16%), oriundos de cascalhamentos usados como cobertura dos resíduos sólidos urbanos. Na profundidade de 1,0 a 1,5m o solo passa a ser argilo areno-siltoso.

O ponto 4 foi o único em que se conseguiram coletar todas as amostras de solo nas profundidades propostas inicialmente. Assim como no ponto 3, também houve uma diferenciação na textura do solo de acordo com a profundidade. As variações mais expressivas decorrem nos teores de silte e argila. Na profundidade de 0,0 a 0,5 m o solo apresentou-se argilo silto-arenoso, na profundidade de 0,5 a 1,0 m o solo apresentou-se como argilo areno siltoso. Neste caso, houve um aumento nos teores de areias (de 20 para 28%.) e de pedregulhos (de 7 para 9%) com a profundidade.

Ainda no ponto 4, nas profundidades 1,0 a 1,5 e de 1,5 a 2,0 m o solo apresentou-se como argilo silto-arenoso não havendo diferenças de textura com a profundidade. Nas profundidades de 2,0 a 2,5 m e de 2,5 a 3,0 m o solo apresentou-se como silto argilo-arenoso.

No ponto 5, nas profundidades de 0,0 a 0,5m e de 0,5 a 1,0 m o solo apresentou-se como silto areno-argiloso. Neste ponto os teores de silte foram superiores aos teores de argila.

No ponto 6, houve variação no teor de pedregulhos com a profundidade. Na profundidade de 0,0 a 0,5 m, o solo apresentou-se como silto areno-argiloso, e na profundidade de 0,5 a 1,0 m o solo apresentou-se como silto argilo-arenoso, apresentando pequenas diferenças nos teores de silte, argila e areia.

A Tabela 08 apresenta a classificação granulométrica do solo coletado na área de disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos.

Tabela 08- Classificação granulométrica do solo coletado na área de disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos

Profundidade (m)	Argila (%)	Silte (%)	Areia Fina (%)	Areia média (%)	Areia Grossa (%)	Pedreg. (%)	Classificação Granulométrica
Ponto 1 0,0-0,5m	34	25	22	9	3	7	Argila areno- siltosa
Ponto 2 0,0-0,5m	35	32	19	8	2	4	Argila silto- arenosa
Ponto 2 0,5-1,0m	46	30	13	6	2	3	Argila silto- arenosa
Ponto 3 0,0-0,5m	33	32	21	7	2	5	Argila silto- arenosa
Ponto 3 0,5-1,0m	22	21	23	9	9	16	Areia argilo- siltosa
Ponto 3 1,0-1,5m	35	26	22	7	3	7	Argila areno- siltosa
Ponto 4 0,0-0,5m	44	29	10	4	6	7	Argila silto- arenosa
Ponto 4 0,5-1,0m	42	23	14	7	5	9	Argila areno- siltosa
Ponto 4 1,0-1,5m	43	31	16	3	3	1	Argila silto- arenosa
Ponto 4 1,5-2,0m	42	35	14	3	5	1	Argila silto- arenosa
Ponto 4 2,0-2,5m	31	44	16	4	4	1	Silte argilo- arenoso
Ponto 4 2,5-3,0m	33	44	16	4	2	1	Silte argilo- arenoso

Tabela 08 (Continuação). Classificação granulométrica do solo coletado na área de disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos

Ponto 5 0,0-0,5m	15	44	22	4	4	11	Silte areno- argiloso
Ponto 5 0,5-1,0m	18	50	25	6	1	0	Silte areno- argiloso
Ponto 6 0,0-0,5m	18	51	11	4	5	11	Silte areno- argiloso
Ponto 6 0,5-1,0m	21	52	17	1	2	7	Silte argilo- arenoso

O solo da área de estudo apresenta textura fina com quantidades elevadas de argila e silte, além disso, apresenta limites de plasticidade entre 24- 44,2% e liquidez entre 34-56%. Estes limites estão dentro dos valores estabelecidos pela CETESB (2001), para uso como barreira impermeável, mas a contaminação do solo tem influenciado nos parâmetros geotécnicos do solo, uma vez que o solo tem sido usado como atenuante natural.

A atenuação natural é um processo que ocorre naturalmente no solo, com o objetivo de redução das concentrações dos contaminantes, toxicidade, massa e/ou volume até níveis adequados à proteção da saúde humana e ao meio ambiente, dentro de um período de tempo razoável.

É importante salientar que a atenuação natural não deve ser considerada a única alternativa para remediação de áreas contaminadas visto que ela presta-se apenas para alguns tipos de contaminantes. Além disso, a atenuação natural deve ser monitorada e avaliada por longos períodos de tempo, podendo vir a formar subprodutos perigosos que em alguns casos podem ser persistentes no meio ambiente.

No presente trabalho a atenuação natural tem sido usada de maneira incorreta, pois no caso, não há destruição dos metais pesados e a presença de contaminantes pode inibir ou aumentar a atenuação natural para alguns dos contaminantes da mistura.

5.3.2 Ensaio de consistência

Atterberg definiu quatro estados de consistência do solo, em função da variação crescente do teor de umidade da amostra, sendo eles: sólido (quando qualquer secagem do solo não implica em variação de volume); semi-sólido (tem a aparência de um sólido, mas com a secagem ocorre variação de volume). O solo ainda apresenta retração ao secamento; plástico (o material possui comportamento plástico, deformável) e líquido (quando não possui forma definida).

Delimitando-os foram definidos três teores de umidade, o limite de contração (LC), o limite de plasticidade (LP) e o limite de liquidez (LL). Esses limites são teores de umidade do solo na mudança de estado determinados sob condições padronizadas de ensaio, e fornecem uma base excelente para a classificação e identificação de solos de granulometria fina.

Deste modo, a ABNT NBR 7250/82 define que a plasticidade é a propriedade de solos finos, entre largos limites de umidade, de se submeterem a grandes deformações permanentes, sem sofrer ruptura, fissuramento ou variação de volume apreciável. As partículas que apresentam plasticidade são, principalmente, os argilo minerais, às micas e o húmus. Os minerais como o quartzo e o feldspato não desenvolvem misturas plásticas, mesmo que suas partículas tenham diâmetros menores do que 0,002mm. A Tabela 09 apresenta os Índices de consistência do solo coletado na área de estudo.

Em estudos realizados por Coelho (2010), encontraram-se dois tipos de argila na região de Romaria-MG, a caulinita e a ilita. A caulinita, principal argilo mineral encontrado na área de estudo, é uma argila de dimensões maiores em relação a outras argilas. A unidade estrutural básica é constituída de uma camada de tetraedros de sílica e de uma camada de octaedros de alumínio. O plano comum das duas camadas é constituído por átomos de oxigênio e hidroxilas, sendo a ligação entre elas iônica.

Além disso, a caulinita apresenta ligações de hidrogênio fortes, e por isso apresenta pequena expansão, difícil dispersão na água e baixa plasticidade. Como as valências livres estão apenas nas extremidades, às capacidades de adsorção de água e de troca catiônica é pequena.

Segundo Mitchell (1976), a caulinita apresenta os seguintes limites de consistência: Limite de Liquidez entre 30 a 110%, Limite de Plasticidade entre 35 e 60% e Limite de Contração entre 25 e 29%. Os valores obtidos com as análises de solo estão dentro dos valores supracitados, exceto no ponto 4 entre as profundidades de 1,5 e 2,5m. Tal fato se deve ao intenso revolvimento do solo e a adição de outros materiais para recobrimento dos resíduos. A Tabela 09 apresenta os índices de consistência do solo.

Tabela 09- Índices de consistência do solo coletado na área de disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos

Amostra	Profundidade	Limite de Liquidez (%) NBR 6459/84	Limite de Plasticidade (%) NBR 7180/84	Índice de Plasticidade (%)
Ponto 1	0,0-0,5m	34	24	10
Ponto 2	0,0-0,5m	37,5	27,2	10,3
Ponto 2	0,5-1,0m	44,5	31,6	12,9
Ponto 3	0,0-0,5m	39,5	29	10,5
Ponto 3	0,5-1,0m	39	27,9	10,1
Ponto 3	1,0-1,5m	39,5	28,3	11,2
Ponto 4	0,0-0,5m	45	34,3	10,7
Ponto 4	0,5-1,0m	37	25	12
Ponto 4	1,0-1,5m	52	39,7	12,3
Ponto 4	1,5-2,0m	58,5	44,2	12,1
Ponto 4	2,0-2,5m	56	44	12
Ponto 4	2,5-3,0m	52	40	12
Ponto 5	0,0-0,5m	44	32	12
Ponto 5	0,5-1,0m	42	30	12
Ponto 6	0,0-0,5m	43	30,3	12,3
Ponto 6	0,5-1,0m	42,5	29,2	13,3

5.3.3 Análises de metais pesados

Na análise de metais pesados no solo, compararam-se os teores dos metais analisados com os valores de referência citados pela CETESB, 2005 e pela Resolução 420 de 2009 do CONAMA. De acordo com as referências supracitadas, estudaram-se ainda os valores de prevenção (VP) que é utilizado para determinar a concentração de algumas substâncias sobre a qual podem ocorrer alterações prejudiciais à qualidade do solo. Este parâmetro deve ser utilizado pelos responsáveis diretos sobre a disposição de resíduos sólidos na área de estudo para proceder ao monitoramento dos impactos ambientais decorrentes da concentração de metais no solo.

Ainda estudaram-se os valores de intervenção (VI), que determinam a concentração de algumas substâncias no solo, acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos à saúde humana, considerando um cenário de exposição genérico. Para o solo, foi calculado utilizando-se procedimento de avaliação de risco à saúde humana. A área será classificada como Área Contaminada sob Investigação quando houver constatação da presença de contaminantes no solo em concentrações acima dos Valores de Intervenção, indicando a necessidade de ações para resguardar os receptores de risco.

Procurou-se também estudar a relação entre os teores dos elementos metálicos com a profundidade do solo. Conforme descrito a seguir, não foi possível detectar os mecanismos de transporte destes elementos na área de estudo, uma vez que, em cada ponto encontrou-se resíduos de diferentes composições, além de o solo ter perdido a sua característica física original devido à adição de materiais externos.

Os elementos metálicos estudados, bem como os teores detectados e o desvio padrão em torno da média variando até 5%, encontram-se a seguir.

Cobre- Cu

Na análise do metal cobre, obtiveram-se os seguintes valores, conforme ilustrado na Tabela 10. Os índices utilizados para avaliação da contaminação do solo foram definidos pela CETESB (2005) e CONAMA (2009), onde o valor de referência é de

35 mg.Kg⁻¹, de prevenção 60 mg.Kg⁻¹, de intervenção residencial de 400 mg.Kg⁻¹ e o de investigação de 2000 mg.Kg⁻¹.

Tabela 10- Quantificação do metal cobre na área de estudo e desvio padrão relativo.

Amostra	Profundidade	Média: Massa (mg.Kg⁻¹)	Desvio Padrão relativo
Ponto 1	0,0-0,5m	47,83	1,90
Ponto 2	0,0-0,5m	121,67	3,89
Ponto 2	0,5-1,0m	139,01	2,51
Ponto 3	0,0-0,5m	43,59	3,98
Ponto 3	0,5-1,0m	84,08	0,43
Ponto 3	1,0-1,5m	77,01	2,35
Ponto 4	0,0-0,5m	69,37	3,33
Ponto 4	0,5-1,0m	73,00	1,21
Ponto 4	1,0-1,5m	201,37	0,53
Ponto 4	1,5-2,0m	89,12	3,93
Ponto 4	2,0-2,5m	108,02	1,66
Ponto 4	2,5-3,0m	70,42	2,41
Ponto 5	0,0-0,5m	71,71	2,64
Ponto 5	0,5-1,0m	38,90	2,62
Ponto 6	0,0-0,5m	38,73	3,71
Ponto 6	0,5-1,0m	49,14	3,92

No Ponto 1 na profundidade de 0,0 a 0,5m o teor de cobre em mg.kg⁻¹ não ultrapassou os valores de intervenção, prevenção e investigação.

No ponto 2, nas profundidades de 0,0 a 0,5 m e 0,5 a 1,0 m os teores de cobre ultrapassaram os valores de prevenção, não ultrapassando porém os valores de intervenção e investigação. A Figura 19 ilustra o aumento do teor de cobre com a profundidade.

Não há dúvidas de que, neste caso, a qualidade do solo está comprometida. A área de estudo merece atenção especial dos responsáveis diretos sobre a disposição de inadequada de resíduos sólidos urbanos, que devem proceder a um monitoramento dos impactos ambientais, evitando conseqüências desastrosas à saúde humana e animal.

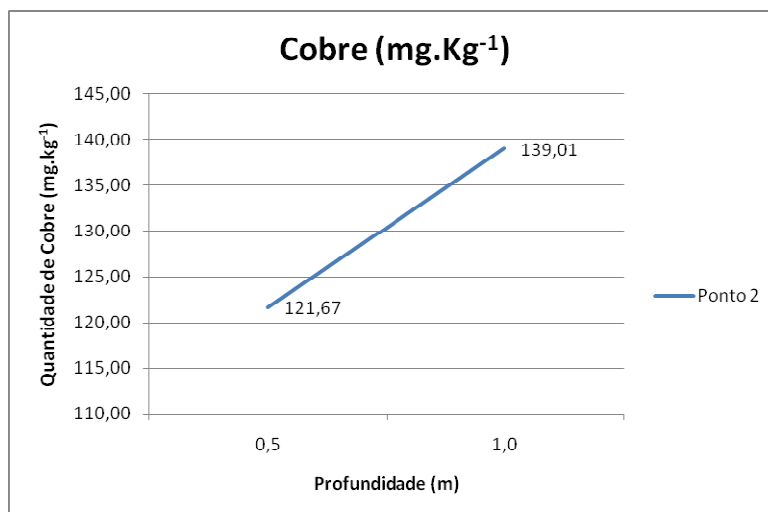


Figura 19- Aumento no teor de cobre com a profundidade no ponto 2.

No ponto 3, na profundidade de 0,0 a 0,5 m o valor encontrado de cobre não ultrapassou o valor orientador. Nas profundidades de 0,5 a 1,0 m e de 1,0 a 1,5 m os teores de cobre novamente ultrapassaram os valores de prevenção já referenciados. Os teores de cobre tiveram um ligeiro declínio com a profundidade, conforme ilustrado na Figura 20.

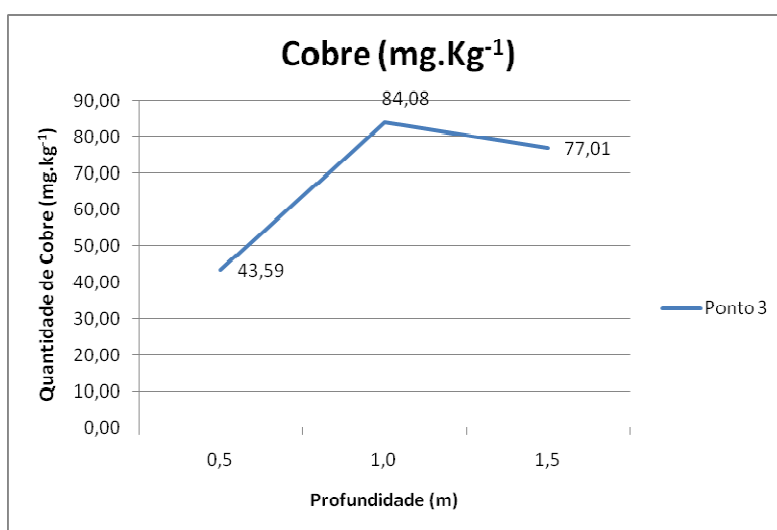


Figura 20- Variação no teor de Cobre no ponto 3.

No ponto 4 todas as profundidades apresentaram índices de cobre superiores aos valores de prevenção. Neste ponto, o valor de cobre se manteve instável com a profundidade, apresentando aumento expressivo na profundidade de 1,0 a 1,5 com 201,37 mg.kg⁻¹, conforme ilustra a Figura 21.

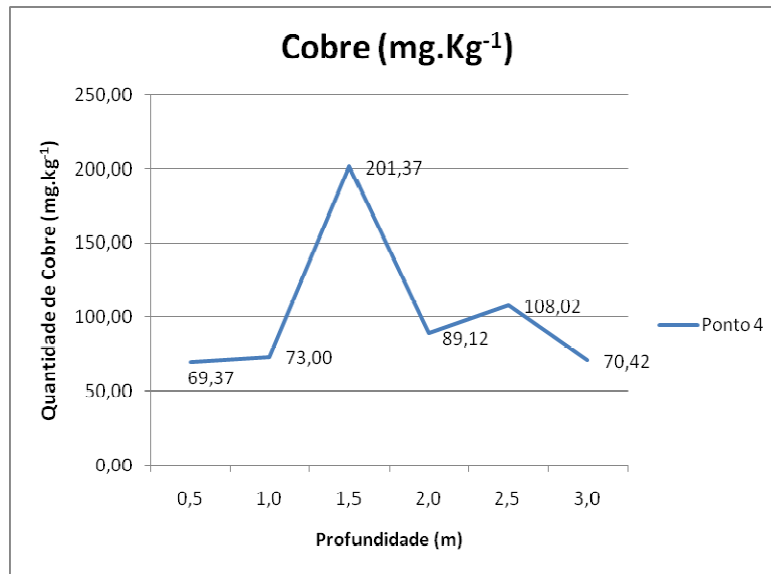


Figura 21- Variação no teor de Cobre no ponto 4.

No ponto 5, o teor de cobre teve um declínio com a profundidade (de 71,71 mg.kg⁻¹ para 38,9 mg.kg⁻¹), conforme ilustra a Figura 22. Somente na profundidade de 0,0 a 0,5 m é que o índice ultrapassou o valor de prevenção já citado.

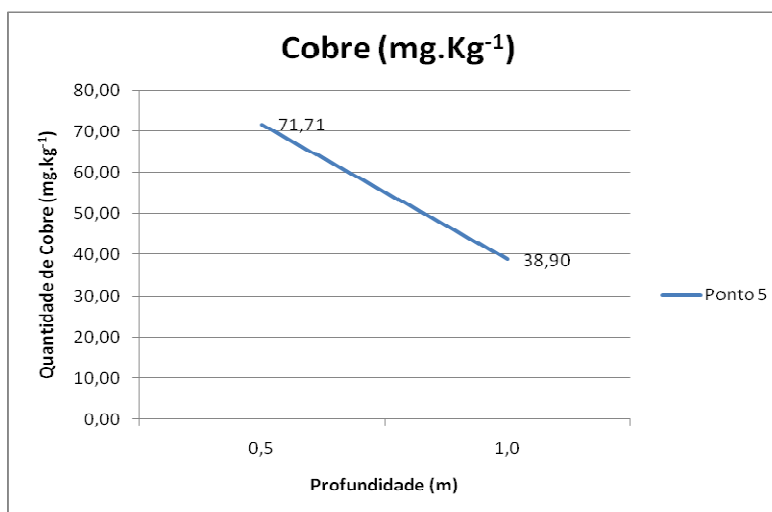


Figura 22- Declínio no teor de Cobre no ponto 5.

Já o ponto 6 não apresentou teores de cobre nas profundidades de 0,0 a 0,5 m e de 0,5 a 1,0 m, superiores aos valores de prevenção.

Ferro-Fe

O ferro possui alta concentração nos solos lateríticos e latossolos devido à rocha de origem. Os valores orientadores propostos pela CETESB, 2005 e Resolução CONAMA 420/2009, não apresentam valores de referência, prevenção e intervenção para o metal ferro. Mas, as mesmas referências apresentam valores orientadores de investigação que é de 2450 mg.kg⁻¹, que dá um norteamento quanto a concentração de ferro na área de estudo.

Em todas as amostras, os teores de ferro foram altamente superiores ao valor de investigação proposto. Estes valores estão relacionados com o risco potencial da exposição ao elemento metálico e a saúde humana conforme preconiza a Resolução 518/2004 do Ministério da Saúde. A Tabela 11 demonstra os teores de ferro encontrados nas análises de solo.

Tabela 11- Teores de ferro, encontrados no solo, da área de estudo e desvio padrão relativo.

Amostra	Profundidade	Média: Massa (mg.Kg⁻¹)	Desvio Padrão relativo
Ponto 1	0,0-0,5m	14684	3,62
Ponto 2	0,0-0,5m	18593	3,94
Ponto 2	0,5-1,0m	16582	2,05
Ponto 3	0,0-0,5m	11953	0,89
Ponto 3	0,5-1,0m	11487	3,66
Ponto 3	1,0-1,5m	12500	3,39
Ponto 4	0,0-0,5m	15273	3,88
Ponto 4	0,5-1,0m	15859	3,56
Ponto 4	1,0-1,5m	20645	3,00
Ponto 4	1,5-2,0m	21093	0,70
Ponto 4	2,0-2,5m	17407	2,75
Ponto 4	2,5-3,0m	15775	3,69
Ponto 5	0,0-0,5m	6642	2,17
Ponto 5	0,5-1,0m	5773	3,17
Ponto 6	0,0-0,5m	9151	2,84
Ponto 6	0,5-1,0m	8498	2,84

No ponto 2 o teor de ferro teve um declínio com a profundidade, conforma ilustra a Figura 23.

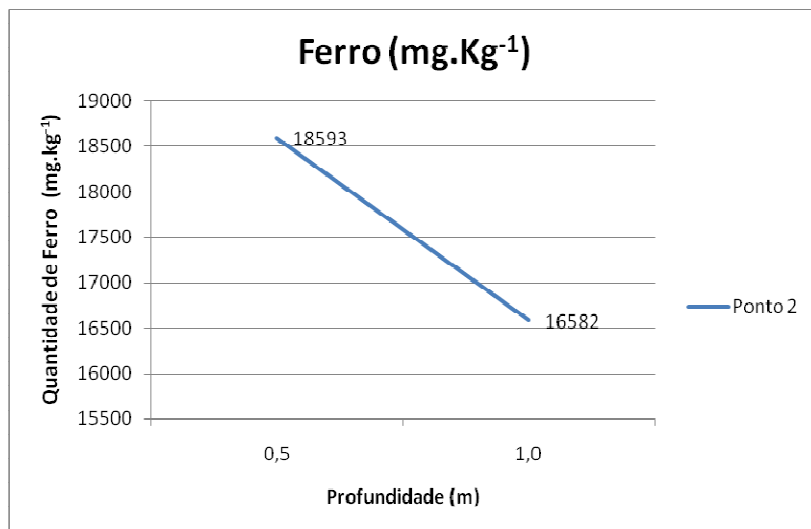


Figura 23- Declínio no teor de Ferro, ponto 2.

No ponto 3, o teor de ferro teve um declínio entre as profundidades 0,0 a 0,5 e 0,5 e 1,0 m e posteriormente o teor elevou-se, conforme ilustra a Figura 24.

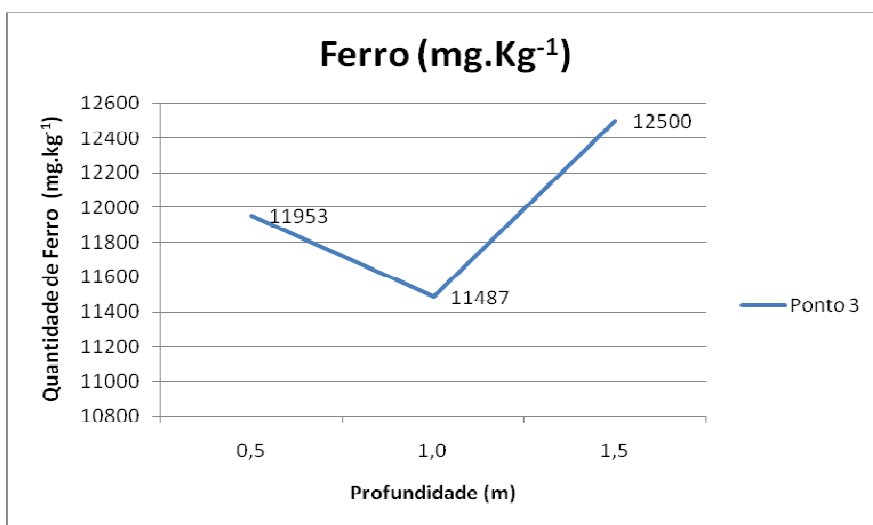


Figura 24- Variação do teor de Ferro, ponto 3.

No ponto 4, os teores de ferro se elevaram entre a profundidade 0,0 a 2,0m, e posteriormente declinou-se até a profundidade de 3m. Esta variação pode estar associada ao intenso revolvimento do solo e aos materiais de diferentes constituições, além de proporcionar uma dificuldade geral na investigação do mecanismo de

transporte do contaminante no solo. A Figura 25 ilustra a variação nos teores de ferro com a profundidade.

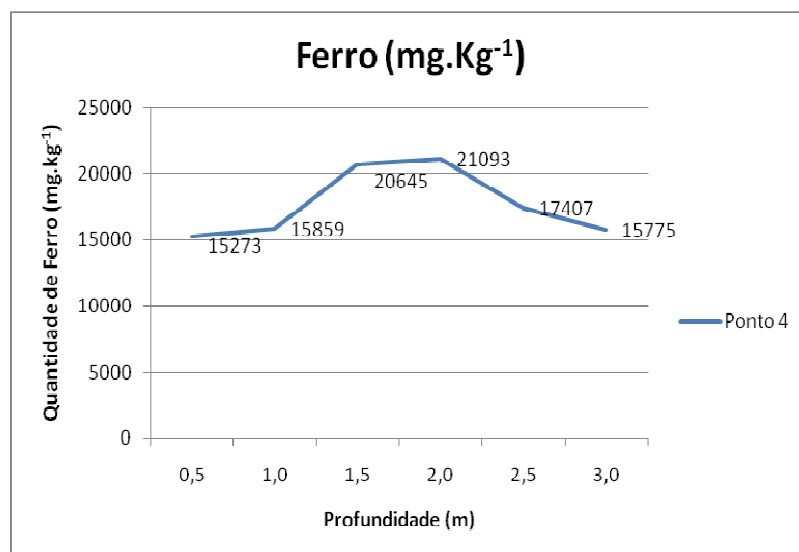


Figura 25- Variação no teor de Ferro, ponto 4.

Nos pontos 5 e 6, os teores de ferro sofreram declínio com a profundidade, conforme Figuras 26 e 27.

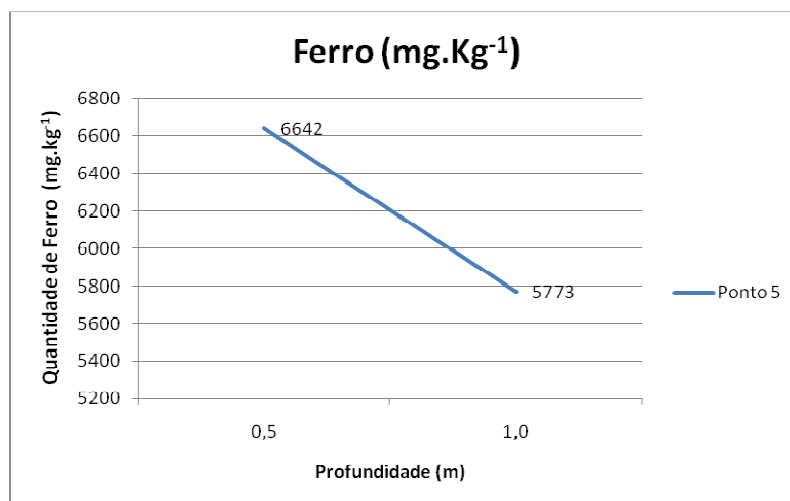


Figura 26- Declínio no teor de Ferro no solo, ponto 5.

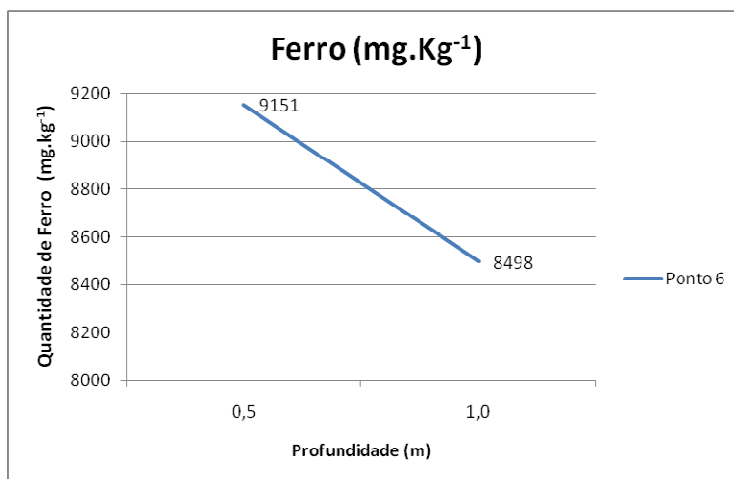


Figura 27- Declínio no teor de Ferro no solo, ponto 6.

Zinco- Zn

As análises das amostras de solo, nas diferentes profundidades não apresentaram valores superiores aos valores orientadores de metais no solo segundo a CETESB (2005) e CONAMA (2009). O valor de referência para o zinco, segundo os órgãos supracitados é de 60 mg.kg⁻¹, o valor de prevenção é de 300 mg.kg⁻¹, o valor de intervenção residencial é de 1000 mg.kg⁻¹ e o valor de investigação é de 1050 mg.kg⁻¹.

Com as análises de solo, o valor máximo de zinco foi verificado no ponto 2, profundidade de 0,0 a 0,5 m apresentando 191, 97mg.kg⁻¹.

Níquel- Ni

O teor de níquel foi superior ao valor de prevenção apenas no ponto 4 na profundidade de 2,0 a 2,5 m apresentando 33,41 mg.kg⁻¹. Mas, todas as outras amostras apresentaram resultados próximos ao valor de orientação indicado pela CETESB, 2005 e Resolução 420/2009 do CONAMA, sendo o valor de referência 13 mg.kg⁻¹; o valor de prevenção 30 mg.kg⁻¹; o valor de intervenção residencial 100 mg.kg⁻¹ e o valor de investigação 20 mg.kg⁻¹.

As amostras do ponto 1, profundidade 0,0 a 0,5m; ponto 2 de 0,0 a 0,5m e de 0,5 a 1,0m; ponto 3 de 1,0 a 1,5m; ponto 4 de 0,0 a 0,5m, 0,5 a 1,0m, 1,0 a 1,5m, 1,5 a 2,0m, 2,0 a 2,5m e 2,5 a 3,0m e ponto 6 de 0,5 a 1,0 m apresentaram valores superiores aos

valores orientadores de investigação, o que proporciona riscos para a saúde humana conforme determinado na Resolução 518/2004 do Ministério da Saúde. A Tabela 12 ilustra os teores de níquel encontrados nas análises de solo.

Tabela 12- Valores de Níquel encontrados nas análises de solo e desvio padrão relativo.

Amostra	Profundidade	Média: Massa (mg.Kg⁻¹)	Desvio Padrão relativo
Ponto 1	0,0-0,5m	23,79	2,90
Ponto 2	0,0-0,5m	29,63	3,04
Ponto 2	0,5-1,0m	24,05	1,39
Ponto 3	0,0-0,5m	17,45	2,19
Ponto 3	0,5-1,0m	17,59	3,46
Ponto 3	1,0-1,5m	21,37	3,24
Ponto 4	0,0-0,5m	22,00	3,80
Ponto 4	0,5-1,0m	22,69	3,10
Ponto 4	1,0-1,5m	22,65	3,67
Ponto 4	1,5-2,0m	22,14	3,50
Ponto 4	2,0-2,5m	33,41	2,32
Ponto 4	2,5-3,0m	25,29	2,61
Ponto 5	0,0-0,5m	16,31	1,46
Ponto 5	0,5-1,0m	10,85	3,07
Ponto 6	0,0-0,5m	19,03	2,45
Ponto 6	0,5-1,0m	26,16	3,05

Cromo-Cr

No ponto 1, profundidade de 0,0 a 0,5 mg.kg⁻¹ o teor de cromo encontrado nas análises de solo foi altamente superior aos valores orientadores de prevenção e investigação segundo a CETESB (2005) e CONAMA (2009), sendo o valor de referência 40 mg.kg⁻¹; o valor de prevenção 75 mg.kg⁻¹; o valor de intervenção residencial de 300 mg.kg⁻¹ e o valor de investigação de 50 mg.kg⁻¹.

No ponto 2, nas profundidades de 0,0 a 0,5m e 0,5 a 1,0m os valores de cromo também foram superiores aos valores orientadores de prevenção e investigação, não sendo porém maior que o valor de intervenção. A Figura 28 ilustra o comportamento do metal com a profundidade, onde houve uma queda de 8% nos valores.

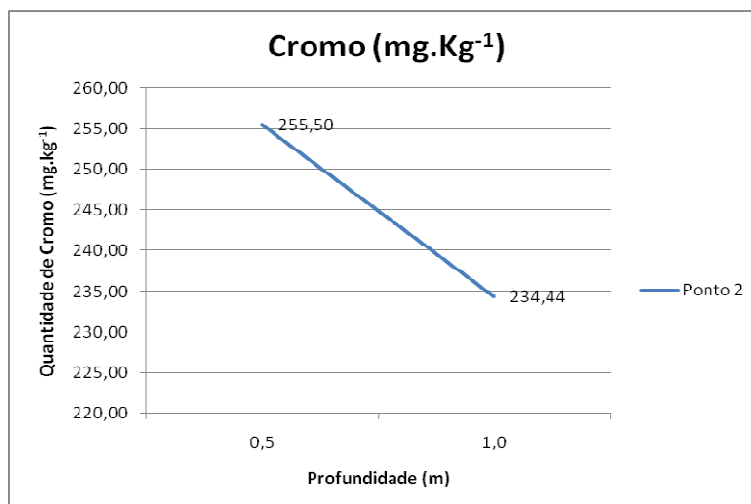


Figura 28- Declínio no teor de Cromo, no ponto 2.

No ponto 3, em todas as profundidades, os teores de cromo foram superiores aos valores orientadores de prevenção e investigação, já referenciados. Neste ponto, os teores de cromo aumentaram com a profundidade. A Figura 29 ilustra o comportamento do metal no ponto 3.

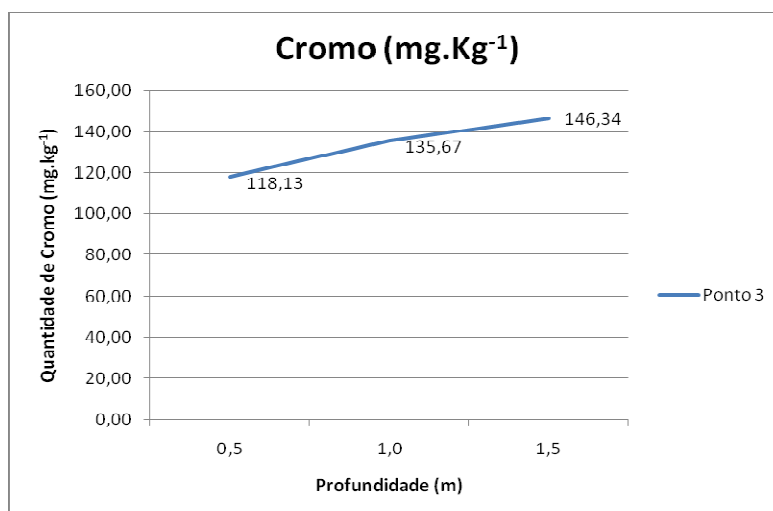


Figura 29- Elevação dos teores de Cromo com a profundidade, ponto 3.

No ponto 4, até a profundidade de 2,0 m, os valores de cromo foram superiores aos valores orientadores de investigação e prevenção, não sendo portanto superior ao valor de intervenção. Em comparação aos outros metais, este foi o único que diminuiu no ponto 4. A Figura 30 ilustra o comportamento do metal, que teve uma queda brusca com a profundidade.

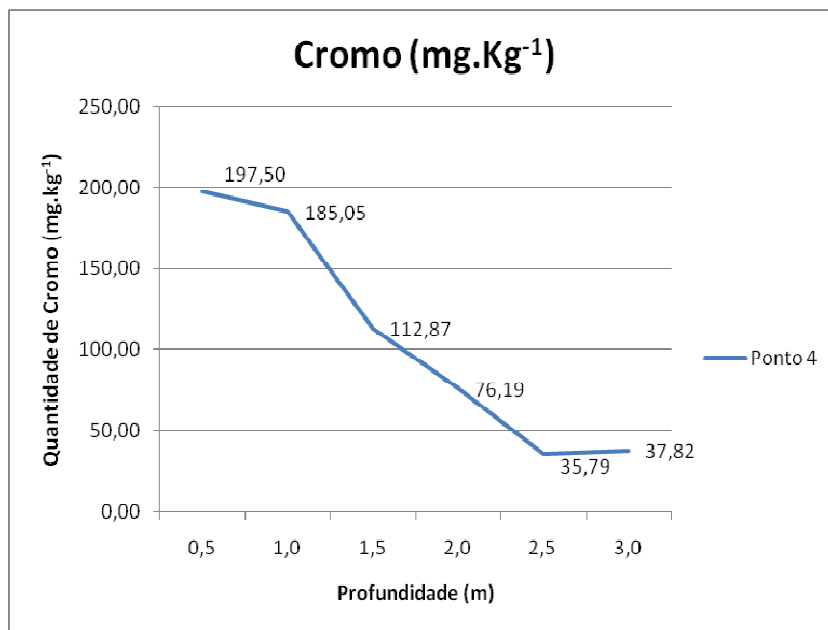


Figura 30- Declínio nos valores de Cromo com a profundidade, ponto 4.

O ponto 5 não apresentou teores de cromo superiores aos valores orientadores. Já no ponto 6, profundidade de 0,0 a 0,5m o teor foi superior aos valores orientadores. A Figura 31 ilustra a queda abrupta do metal (75%) com a profundidade.

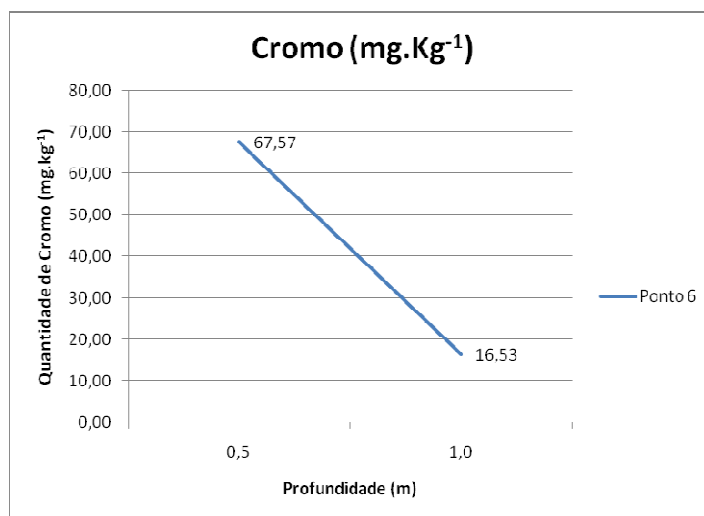


Figura 31- Declínio nos teores de Cromo com a profundidade, ponto 6.

A Tabela 13 apresenta os valores de cromo encontrados nas análises de solo.

Tabela 13- Teores de Cromo e desvio padrão relativo, encontrados nas análises de solo.

Amostra	Profundidade	Média: Massa (mg.Kg⁻¹)	Desvio Padrão relativo
Ponto 1	0,0-0,5m	207,20	3,66
Ponto 2	0,0-0,5m	255,50	3,60
Ponto 2	0,5-1,0m	234,44	2,07
Ponto 3	0,0-0,5m	118,13	0,53
Ponto 3	0,5-1,0m	135,67	1,84
Ponto 3	1,0-1,5m	146,34	3,89
Ponto 4	0,0-0,5m	197,50	1,48
Ponto 4	0,5-1,0m	185,05	2,55
Ponto 4	1,0-1,5m	112,87	2,92
Ponto 4	1,5-2,0m	76,19	1,20
Ponto 4	2,0-2,5m	35,79	4,08
Ponto 4	2,5-3,0m	37,82	2,88
Ponto 5	0,0-0,5m	29,90	1,23
Ponto 5	0,5-1,0m	13,90	2,93
Ponto 6	0,0-0,5m	67,57	3,49
Ponto 6	0,5-1,0m	16,53	3,98

Cádmio- Cd

Não foi observado traços deste elemento em nenhuma das amostras de solo, de acordo com a metodologia utilizada. A não detecção deste metal leva a supor que sua concentração esteja abaixo do valor de detecção dos equipamentos utilizados. Embora a existência de traços deste metal esteja abaixo da detecção pelo método utilizado, tal elemento é cumulativo no solo e em organismos vivos, podendo causar sérios riscos a saúde humana e animal, caso o contato com o solo da área de estudo seja feito por um determinado período de tempo.

Por fim, verificou-se então que os pontos 2 e 4 apresentaram maior concentração de metais pesados no solo de acordo com as metodologias utilizadas. E o ponto 3 apresentou eliminação excessiva de gás metano oriundo da decomposição do material orgânico depositado sobre o solo.

5.3.4 CTC efetiva e CTC potencial

A CTC varia com o pH do solo em decorrência da existência de cargas negativas dependentes do pH. A CTC determinada ao pH do solo é denominada CTC Efetiva ou Real. A CTC determinada com uma solução tamponada a pH 7,0 (maior que o pH do solo) é denominada CTC Potencial. Portanto, em solos ácidos com o pH abaixo de 7, a CTC Efetiva é inferior à CTC Potencial.

Em termos gerais, a baixa CTC é devida ao baixo pH (ácido <7) e neste caso há maior mobilidade do contaminante no solo. A alta CTC é devida ao alto pH (básico >7) e favorece a retenção de contaminantes no solo. A CTC é dependente da superfície específica do argilo mineral, do teor de matéria orgânica no solo e da adsorção específica dos íons.

Cada tipo de argila, assim como a matéria orgânica do solo, possui uma CTC mais ou menos definida. Segundo Fassbender (1975) a CTC da caulinita varia em torno de 3 a 15 Cmolc.kg^{-1} .

Verificou-se com as análises do solo que a CTC apresentou-se mais baixa nos pontos 2 e 4 onde houve também maior concentração de metais pesados. A baixa CTC comprova a contaminação do solo. A Tabela 14 apresenta os valores de CTC Potencial e CTC Efetiva encontradas nas análises de solo.

Tabela 14- Teores de CTC efetiva e CTC potencial encontradas nas análises de solo.

Amostra	Profundidade	CTC Efetiva	CTC Potencial
Ponto 1	0,0-0,5m	4,42	10,12
Ponto 2	0,0-0,5m	1,18	8,68

Tabela 14 (continuação)- Teores de CTC efetiva e CTC potencial encontradas nas análises de solo.

Ponto 2	0,5-1,0m	0,99	6,19
Ponto 3	0,0-0,5m	2,49	7,79
Ponto 3	0,5-1,0m	4,39	9,89
Ponto 3	1,0-1,5m	3,91	9,41
Ponto 4	0,0-0,5m	0,52	4,32
Ponto 4	0,5-1,0m	0,67	4,07
Ponto 4	1,0-1,5m	0,48	3,28
Ponto 4	1,5-2,0m	1,03	4,43
Ponto 4	2,0-2,5m	0,93	3,43
Ponto 4	2,5-3,0m	1,03	4,43
Ponto 5	0,0-0,5m	2,56	5,56
Ponto 5	0,5-1,0m	2,13	5,73
Ponto 6	0,0-0,5m	2,20	5,50
Ponto 6	0,5-1,0m	1,73	4,93

Nas análises de solo, verifica-se um expressivo aumento na CTC Potencial em relação à CTC efetiva. Os baixos valores de CTC indicam que o solo não se comporta como atenuante natural.

5.3.5 pH

As amostras de solo apresentaram pH baixo em sua maioria, com exceção dos ponto 1, 2 e 3 onde as amostras tiveram um pH ligeiramente básico, tendendo para a neutralidade.

Segundo Azevedo *et.al.*, 2007 os latossolos apresentam o pH baixo variando de 4,8 a 5,2. Nos pontos 1, 2 e 3 onde o pH apresentou-se ligeiramente básico, o material depositado sobre o solo, era composto, dentre outros materiais, de resíduos de construção civil e materiais orgânicos. Como nestes pontos os resíduos sólidos encontram-se em estado avançado de decomposição e alguns destes materiais possuem caráter básico como a cal, por reações químicas o pH tende a ser mais alto.

Ainda nos pontos 1, 2 e 3 onde o pH foi mais alto, a CTC total também obteve valores mais altos. A Tabela 15 apresenta os resultados das análises de pH.

Tabela 15- Valores de pH encontrados nas análises de solo.

Amostra	Profundidade	pH
Ponto 1	0,0-0,5m	7,7
Ponto 2	0,0-0,5m	7,5
Ponto 2	0,5-1,0m	7,2
Ponto 3	0,0-0,5m	7,3
Ponto 3	0,5-1,0m	7,5
Ponto 3	1,0-1,5m	7,5
Ponto 4	0,0-0,5m	5,8
Ponto 4	0,5-1,0m	5,4
Ponto 4	1,0-1,5m	4,8
Ponto 4	1,5-2,0m	4,4
Ponto 4	2,0-2,5m	4,5
Ponto 4	2,5-3,0m	4,4
Ponto 5	0,0-0,5m	5,0
Ponto 5	0,5-1,0m	5,6
Ponto 6	0,0-0,5m	5,3
Ponto 6	0,5-1,0m	4,2

5.3.6 Matéria orgânica

Os teores de matéria orgânica, encontrados nas análises de solo, estão dispostos na Tabela 16.

Tabela 16- Teores de matéria orgânica encontrada nas análises de solo.

Amostra	Profundidade	Matéria orgânica (dag.kg⁻¹)
Ponto 1	0,0-0,5m	2,7
Ponto 2	0,0-0,5m	1,6
Ponto 2	0,5-1,0m	1

Tabela 16 (continuação). Teores de matéria orgânica encontrada nas análises de solo.

Ponto 3	0,0-0,5m	1,3
Ponto 3	0,5-1,0m	2,2
Ponto 3	1,0-1,5m	2
Ponto 4	0,0-0,5m	1,9
Ponto 4	0,5-1,0m	1,6
Ponto 4	1,0-1,5m	1
Ponto 4	1,5-2,0m	0,8
Ponto 4	2,0-2,5m	0,9
Ponto 4	2,5-3,0m	0,9
Ponto 5	0,0-0,5m	1,2
Ponto 5	0,5-1,0m	1,2
Ponto 6	0,0-0,5m	2
Ponto 6	0,5-1,0m	0,7

É sabido que, em geral, os latossolos apresentam teores de matéria orgânica baixos. Em todas as amostras de solo, os teores de matéria orgânica variaram entre 0,7 a 2,7 dag.kg⁻¹. Este fato pode estar ligado aos índices consideráveis de silte e argila que por reações químicas aderem a esta matéria orgânica, conferindo estabilidade aos agregados do solo.

O ponto 1, em comparação com os outros pontos de amostragem, obteve o maior teor de matéria orgânica. No ponto 2, o teor de matéria orgânica teve um declínio com a profundidade.

No ponto 3, na profundidade de 0,0 a 1,0m a matéria orgânica teve um ligeiro aumento. No ponto 4 o teor de matéria orgânica sofreu um declínio até a profundidade de 1,5m, e depois se manteve estável.

No ponto 5 o teor de matéria orgânica se manteve instável com a profundidade. E no ponto 6 o teor de matéria orgânica diminuiu com a profundidade.

De acordo com Silva *et.al.*, (1994) o estoque de matéria orgânica no solo, apresenta rápida queda quando este é submetido ao intenso revolvimento, esta perda se dá por erosão e oxidação microbiana. Ainda segundo o autor, esta perda reflete negativamente

na capacidade de troca de cátions e na complexação de elementos tóxicos como o alumínio.

A presente pesquisa verificou no solo quantidades ou concentrações significativas de elementos químicos nocivos à saúde humana e animal, além de constatar também a presença de gases tóxicos com risco de incêndio ou explosão no ar. Todos estes impactos negativos são decorrentes de atividades antrópicas.

Para o gerenciamento da área de estudo, sugere-se que sejam utilizadas medidas de minimização dos riscos potenciais de contaminação da população e do meio ambiente. Como medida imediata e de controle dos riscos é sugerida a desativação do local de disposição inadequada de resíduos sólidos, visando à recuperação e remediação da área. No capítulo seguinte, as técnicas sugeridas serão abordadas de maneira mais detalhada.

CAPÍTULO 6

PROPOSTAS DE RECUPERAÇÃO DA ÁREA

Neste capítulo, serão apresentadas algumas propostas de recuperação da área de estudo.

Para a remediação de áreas degradadas pela disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos existem vários procedimentos técnicos que podem ser aplicados na minimização dos impactos ambientais negativos. Nesse sentido, procurou-se apresentar algumas técnicas utilizadas.

6.1 Isolamento da área

A área de estudo apresenta-se sem cercamentos o que facilita a entrada de pessoas e animais. No local, também há a presença de catadores, que recolhem o material reciclável para posterior comercialização. Sem preocupações com a saúde, estes catadores não utilizam equipamentos de proteção individual.

O grande problema com o trânsito de pessoas e animais é a exposição destes aos agentes causadores de intoxicação. Além disso, o trânsito de máquinas pesadas no local facilita a desagregação do solo provocando aumento expressivo nos processos erosivos.

Para o isolamento da área, podem ser utilizadas medidas como cercas de arame liso ou farpado, evitando-se assim a entrada de pessoas e animais de grande porte.

6.2 Processos erosivos

A área de estudo compõe um dígito de um processo erosivo por voçorocamento. Além disso, foram identificadas outras feições erosivas na área tal como erosão laminar.

Para a minimização da ação dos processos erosivos, existem várias técnicas corretivas que podem ser aplicadas na recuperação de áreas atingidas. Recomenda-se, para controle da erosão laminar o uso de curvas de nível e terraceamentos que irão servir como barreira física na diminuição da velocidade das águas superficiais, o que diminuiria também o transporte de resíduos sólidos para dentro das feições erosivas.

Além disso, propõe-se um monitoramento constante do local, para evitar novos problemas quanto à disposição de resíduos sólidos, pois a prática contraria o que preconiza a legislação ambiental e a proteção à saúde pública.

6.3 Remediação e técnicas de remediação

Para a Geotecnia ambiental, a remediação de áreas contaminadas é de extrema importância, uma vez que os profissionais do ramo devem atuar tanto nas obras quanto na tomada de decisões.

Segundo Boscov (2008) para a remediação de áreas contaminadas, deve-se optar tanto pela limpeza total da área ou diminuição do impacto da contaminação a limites aceitáveis, no solo ou água. A remediação de solos contaminados deve ser feita diretamente na fonte ou na pluma de contaminação.

Algumas técnicas para tratamento do solo em áreas contaminadas são recomendadas por Boscov (2008), dentre elas cita-se:

- Encapsulamento geotécnico, que consiste no confinamento de um local contaminado por meio de barreiras de baixa permeabilidade, isolando-se a massa de resíduos ou materiais dos seres vivos. É obtido através da utilização conjunta de coberturas, barreiras verticais e horizontais de fundo, que envolvam todo o material a ser isolado.

Para Oliveira *et. al.*, (2003) a tecnologia de encapsulamento vem se tornando uma importante alternativa de tratamento para a disposição de resíduos perigosos em aterros e controle de áreas contaminadas, pois prevê o melhoramento das características físicas e toxicológicas do resíduo e/ou solo, facilitando o seu gerenciamento de forma segura e eficaz. Além disso, o custo do encapsulamento tem sido considerado baixo em relação a outras técnicas de tratamento, fator este que tem impulsionado o desenvolvimento desta tecnologia nos últimos anos. A técnica consiste basicamente em:

- Remoção e tratamento do solo, que consiste na remoção do solo contaminado, tratamento e posterior disposição em aterro adequado;
- Extração de vapores do solo, que consiste na retirada de compostos orgânicos voláteis, da zona não saturada do subsolo.

6.4 Biorremediação

Neste processo, se utilizam microorganismos como fungos e bactérias, para degradar ou transformar substâncias perigosas presentes no solo em substâncias pouco tóxicas ou não tóxicas (BOSCOV, 2008).

6.5 Gerenciamento da área

Para o gerenciamento de áreas contaminadas, é necessário conhecer todos os impactos causados pela contaminação antes e após a remediação, baseando em prescrições e estudos de riscos.

Segundo Boscov (2008) o gerenciamento de áreas contaminadas, no sentido mais amplo, compreende as seguintes etapas:

- Definição da área de interesse;
- Identificação de áreas potencialmente contaminadas;
- Avaliação preliminar;
- Investigação confirmatória;
- Investigação detalhada;
- Avaliação de risco;
- Investigação para remediação;
- Projeto de remediação;

- Remediação propriamente dita; e
- Monitoramento.

Na área de estudo, conforme parâmetros de contaminação identificados em capítulos anteriores, o gerenciamento deve se iniciar a partir de uma investigação mais detalhada, para que através do diagnóstico de contaminação e caracterização da área, aliada a análise de risco, sejam estudadas alternativas de remediação.

Para que haja uma diminuição dos riscos, quando há exposição de pessoas ou animais a um contaminante, deve-se alterar o uso da área, remover ou destruir o contaminante ou ainda reduzir sua concentração.

6.6 Destinação final adequada

Resolver adequadamente a disposição final dos resíduos sólidos urbanos em um município é fundamental para o meio ambiente, para a saúde pública e para o saneamento básico. Os resíduos sólidos devem ser gerenciados de forma integrada, desde a sua origem até a disposição final, com abordagens que incluem a minimização ou redução da quantidade gerada, a reciclagem e a reutilização ou reaproveitamento de materiais.

A disposição final inadequada de resíduos sólidos pode causar impactos negativos ao homem e ao meio ambiente. A maior parte destes impactos pode ser minimizada com a disposição correta, através de aterros sanitários. No entanto, faz-se necessário o uso de técnicas disponíveis e viáveis, a caracterização e classificação dos resíduos e o estudo das principais características do local a ser implantado o aterro, tais como geologia, topografia, hidrologia, climatologia, solos, dentre outros.

Os aspectos técnicos construtivos a serem considerados são: impermeabilização do terreno, drenagem de lixiviados “chorume”, drenagem de gases, tratamento de lixiviados e aspectos técnicos operacionais como compactação e cobertura dos materiais.

Para a seleção de áreas deve-se submeter às legislações específicas, na ABNT NBR 13896/1997 têm-se as distâncias de corpos hídricos, áreas urbanas e rodovias; a profundidade do lençol freático que deve ser no mínimo 1,5m em solo insaturado; a permeabilidade do solo inferior a 5×10^{-7} cm/s; a declividade do terreno que pode variar de 1 a 30%; a vida útil do aterro sanitário com no mínimo 10 anos e a previsão para usos futuros.

CONCLUSÕES

Procurou-se durante o desenvolvimento da pesquisa, caracterizar os principais fatores causadores dos impactos ambientais na área estudada em decorrência da disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos, no município de Romaria-MG.

Depois de discutir sobre a realidade da destinação final dos resíduos sólidos urbanos, pode-se afirmar que não existe nenhum modelo de gestão. Existem informações desconstruídas ou omissões das mesmas e descaso pela situação.

Não existe tratamento dos resíduos sólidos urbanos e nem o cuidado com a destinação final que é feita em um “lixão”. O local desrespeita a legislação ambiental e os cidadãos devido aos transtornos que causa como mau cheiro, proliferação de vetores, poluição visual e principalmente, os riscos à saúde humana.

O solo da área de estudo apresenta índices de metais pesados elevados, em discordância com os valores orientadores de prevenção. Além disso, pode-se afirmar também, a partir dos ensaios geotécnicos, que tem sido acrescentado ao solo materiais de fração mais grosseira, para recobrimento dos resíduos, o que facilita a percolação de chorume.

Os problemas causados, devido à contaminação do solo na área de estudo, vão desde a restrição do uso e ocupação com conseqüente redução do valor imobiliário do local e seu entorno, até o comprometimento da saúde pública e ecossistemas locais. A recuperação de áreas contaminadas tem sido uma das principais preocupações mundiais. Dentro disso, a atenção principal está sendo dada para a isolamento e a retenção através de meios que possibilitem o controle da migração do contaminante. Entre os métodos de controle e remediação pode-se citar o processo de encapsulamento de contaminantes.

Faz-se necessário um trabalho intenso e contínuo, no âmbito da sensibilização, e educação ambiental além da adequação da gestão do serviço de limpeza urbana. Existe uma transferência de problemas no caso dos resíduos sólidos urbanos, do meio urbano

para o meio rural. Esta prática de esconder os problemas, em geral é realizada em vários setores da administração pública. Para garantir a qualidade ambiental de uma maioria, depositam-se os mesmos problemas no ambiente de uma minoria.

O planejamento é a melhor ferramenta para a gestão dos resíduos sólidos urbanos. O município não produz uma expressiva quantidade de resíduos e assim o planejamento não seria uma tarefa impossível de se realizar. E com isto todos ganhariam a população, qualidade de vida; a administração, credibilidade. Além disto, o município poderia, adequando sua destinação de resíduos à legislação e se enquadrando nas exigências do licenciamento ambiental, receber o ICMS Ecológico.

O envolvimento da comunidade é fundamental para o funcionamento de uma gestão de resíduos sólidos urbanos que atenda com sucesso a proposta de tratamento total do resíduo. A colaboração de todos é necessária desde a geração dos resíduos, até o descarte seletivo dos materiais.

REFERÊNCIAS

- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6457. **Preparação de amostras**. Rio de Janeiro, 1986.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6459. **Limites de Consistência**. Rio de Janeiro, 1984.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6502. **Rochas e Solos**. Rio de Janeiro, 1995.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7180. **Índice de Plasticidade do solo**. Rio de Janeiro, 1984.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181. **Análise Granulométrica**. Rio de Janeiro, 1984.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7250. **Identificação e descrição de amostras de solos obtidas em sondagens de simples reconhecimento dos solos**. Rio de Janeiro, 1982.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004. **Resíduos Sólidos: Classificação**. Rio de Janeiro, 2004.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13896. **Aterros de resíduos não perigosos- Critérios para projetos, implantação e operação**. Rio de Janeiro, 1997.
- ABRELPE, Associação das Empresas de Limpeza Pública, Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil, 2008. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/downloads/Panorama2008.pdf>. Acesso em 21 de out. 2009.
- AB´SÁBER, A. N. Potencialidades paisagísticas brasileiras. **Geomorfologia**, **55**. São Paulo: IG-USP, 1977.
- AKERMAN, M. **Natureza, Estrutura e Propriedades do vidro**. Saint Gobain: CETEV, 2000.
- ALLEONI, L.R.F.; BORBA, R.B.; CAMARGO, O.A. Metais pesados: da cosmogênese aos solos brasileiros. **Tópicos em Ciência do Solo**, v.4, p.1-42, 2005.
- ALVES, M.E. **Atributos mineralógicos e eletroquímicos, adsorção e dessorção de sulfato em solos paulistas**. São Paulo: Piracicaba, 2002. 169p. Tese de Doutorado.

ANDERSON, D. W. **Decomposition of organic matter and carbon emission from soils**. In: Lal, R.; KIMBLE, J.; LEVINE, E. STEWART, B. A., eds. Soils and global change. Boca Raton, CRC Press, 1995. p.165-175.

ARAÚJO, C.S.T. **Desenvolvimento de metodologia analítica para extração e pré-concentração de Ag (I) utilizando a *Moringa oleifera* Lam.** Uberlândia: UFU, 2009. Tese de Doutorado.

AZEVEDO, D. M. P.; LEITE, L. F. C.; TEIXEIRA NETO, M. L.; DANTAS, J. S. Atributos físicos e químicos de um Latossolo Amarelo e distribuição do sistema radicular da soja sob diferentes sistemas de preparo no cerrado maranhense. **Revista Ciência Agronômica**, v.38, n.1, p.32-40, 2007.

BACCARO, C. A. D. Estudos geomorfológicos do município de Uberlândia. **Sociedade e Natureza**, Uberlândia, 1(1): p.17-21, junho 1989.

BACCARO, C.A.D. As unidades geomorfológicas do Triângulo Mineiro. **Sociedade e Natureza**, Uberlândia, n. 5 e 6 , p.37-42 , jan/dez, 1991.

BARBOSA, O. *et. al.* **Geologia da região do Triângulo Mineiro**. Rio de Janeiro: Departamento Nacional da Produção Mineral. Divisão de Fomento da Produção Mineral. Boletim 136. 1970.

BEAR, J. **Dynamics of Fluids in Porous Media**. New York: American Elsevier. 1976.

BIONDI, C.M. **Teores naturais de metais pesados nos solos de referência do estado de Pernambuco**. Recife: 2010. 58p. Tese de Doutorado.

BORSOI, Z. M. F.; TORRES, S. D. A. **A política de recursos hídricos no Brasil**. Revista do BNDES, Rio de Janeiro, v. 4, n. 8, p. 143-166, dez. 1997.

BOSCOV, M.E.G. **Geotecnia Ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

BRAGA,B.; HESPANHOL,I.; CONEJO,J.G.L. *et. al.* **Introdução à Engenharia Ambiental**. 2.ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005. 318p.

BROLLO, M.J. **Metodologia automatizada para seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos. Aplicação na Região Metropolitana de Campinas (SP)**. São Paulo: 2001. Tese de Doutorado.

CALDERONI, S. **Os bilhões perdidos no lixo**. 4ªed. São Paulo: Humanistas Editora/ FFLCH/USP, 2003.

CAMPOS, M.C.C. **Atributos dos solos e riscos de lixiviação de metais pesados em solos tropicais**.Ambiência. Guarapuava-PR. V.6 n.3. p.547-565. set/dez 2010.

CARVALHO, A.L. **Contaminação de águas subsuperficiais em áreas de disposição de resíduos sólidos urbanos- O caso do lixão de Viçosa (MG)**. Viçosa: UFV, 2001. Dissertação de mestrado.

CENTURION, F.J.; CARDOSO J.P.; NATALI, W. Efeitos de formas de manejo em algumas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho em diferentes agroecossistemas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, n2, p.254-258. 2001

CEMPRE- Compromisso Empresarial para reciclagem. **Guia de Coleta Seletiva de lixo**. CEMPRE, São Paulo, 1999.

CEMPRE- Compromisso Empresarial para reciclagem. **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado 3º ed.** CEMPRE, São Paulo, 2010.350p.

CETESB. **Técnica de abastecimento e tratamento de água**. 2.ed.rev. São Paulo. CETESB, 1976.

CETESB. **Relatório de estabelecimento de valores orientados para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo**. São Paulo. CETESB, 2001.

CETESB. **Decisão de Diretoria no 195G2005GE, de 23 de novembro de 2005**. DOE, Poder Executivo, SP, 3/12/2005, seção 1, v.115, n. 227, p.22G23. Retificação no DOE, 13/12/2005, v.115, n.233, p.42.. São Paulo. CETESB, 2005.

COELHO, F.M. **Aspectos geológicos e mineralógicos da Mina de diamantes de Romaria, Minas Gerais**. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, 2010.105p.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE- CONAMA. **Resolução N° 5, de 5 de agosto de 1993**. Regulamenta o gerenciamento dos resíduos sólidos gerados nos portos, aeroportos, terminais ferroviários e rodoviários e estabelecimentos prestadores de serviços de saúde. Disponível em: <http://www.conama.br>. Acesso em 10 dez. 2009.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE-CONAMA. **Resolução N° 258, de 26 de agosto de 1999**. Determina que as empresas fabricantes e as importadoras de pneumáticos ficam obrigadas a coletar e dar destinação final ambientalmente adequada aos pneus inservíveis. Disponível em: <http://www.mp.sp.gov.br/portal/page/portal/cao_urbanismo_e_meio_ambiente/legislacao/leg_federal/leg_fed_resolucoes/leg_fed_res_conama>. Acesso em 16 out. 2010.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE- CONAMA. **Resolução N° 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Disponível em: <<http://www.saneago.com.br/novasan/leis/conama.pdf>>. Acesso em: 05 de jul. 2010.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE- CONAMA. **Resolução N° 401, de 4 de novembro de 2008**. Estabelece os limites máximos de chumbo, cádmio e mercúrio para pilhas e baterias comercializadas no território nacional e os critérios e padrões para o seu gerenciamento ambientalmente adequado. - Publ.no DOU nº 215, de 05/11/2008, págs. 108-109 - (REVOGA Resol.CONAMA nº 257/99).

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE- CONAMA. **Resolução N° 416, de 30 de setembro de 2009.** Dispõe sobre a prevenção à degradação ambiental causada por pneus inservíveis e sua destinação ambientalmente adequada. Disponível em: <http://servicos.ibama.gov.br/ctf/manual/html/res_con_416_09.pdf>. Acesso em 22 de jan. 2010.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE- CONAMA. **Resolução N° 420, de 28 de dezembro de 2009.** Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Disponível em: <http://www.conama.br>. Acesso em 10 set. 2011.

CONTO, S.M. **Resíduos sólidos: uma análise comportamental.** Direito ambiental -6. São Paulo: Indd, 2006.

COSTA, M.C.R. **Avaliação da contaminação ambiental por metais pesados em áreas rurais próximas a uma indústria de reciclagem de chumbo no vale do rio Paraíba do Sul - SP.** Seropédica: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2002. 234p. Tese (Doutorado).

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras do Triângulo Mineiro.** Rio de Janeiro, 1982, 526p.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo.** 2ª ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA / Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997, 212p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Brasília: Embrapa Produção de Informação, Rio de Janeiro: Embrapa solos, 1999. 412p.

FASSBENDER, H. **Química de suelos, com ênfase em suelos de América Latina.** Turrialba, IICA. 1975. 374p.

FAVERO, J.L.; MUNIZ, A.R.; SANTOS, R.P.B. **Análise teórico-experimental da dispersão de poluentes líquidos em solos.** Rio Grande do Sul: Núcleo de Caxias do Sul-RS, Vol.12-nº4-out/dez 2007, 410-416.

FILHO, S.A.P.; QUEIROZ, F.S.;PACHECO, M. **Avaliação da contaminação do solo pelo lixão de São Pedro da Aldeia.** Nova Friburgo-RJ: Departamento de Engenharia Mecânica e Energia – Instituto Politécnico, IPRJ, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2004.

GIROTTI, E. **Cobre e Zinco no solo sob uso intensivo de dejetos líquidos de suínos.** Santa Maria, 2007.121p. Dissertação de mestrado.

GRIPPI, S. **Lixo Reciclagem e sua história. Guia para as prefeituras brasileiras.** Rio de Janeiro: Interciência, 2006.

GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. (Orgs). **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. 372p.

HE, L. *et.al.* Transport of heavy metals in surface runoff from vegetable and citrus fields. **Soil Science Society of America Journal**, v.68, n.5, p. 1662-1669, 2004.

HSDB-HAZARDOUS SUBSTANCE DATA BANK. Copper. In: TOMES CPSTM system. **Toxicology, occupational medicine and environmental series**. Eglewood: Micromedex, 2000. CD ROM.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL. **O cenário dos resíduos sólidos no Brasil**, [199-]. Disponível em: <http://www.ibam.org.br>. Acesso em: 10 nov. 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA- IBGE, 2009.

KIEHL, E.J.; **Produção de composto orgânico e vermicomposto**. *Informe Agropecuário*. Belo Horizonte. V. 22, p. 40-42, 47-52. Set./out. 2001.

LEITE, A.L. **Migração de íons inorgânicos em alguns solos tropicais, com ênfase nos processos de sorção e difusão molecular**. São Carlos, 2001. 274p. Tese de Doutorado.

McBRIDE, M.B. **Environmental chemistry of soils**. New York, Oxford University Press, 1994, 406p.

MALAVOLTA, E. **Fertilizantes e seu impacto ambiental**. São Paulo: Produquímica, 1994.

MELLIS, E.V **Adsorção e dessorção de Cd, Cu, Ni e Zn, em solo tratado com lodo de esgoto**. São Paulo: ESALQ, 2006. 174p. Tese de Doutorado.

MERTZ, W.E. **Chromium occurrence and function in biological systems**. Physiology Reviews, Baltimore, 1969.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Lei 12.305, de 02 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=636>. Acesso em 12 de set. 2011.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria N° 518, de 25 de março de 2004**. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Disponível em: <www.agrolab.com.br/portaria%20518_04.pdf>. Acesso em 14 de jul. 2009.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria N° 36, de 19 de janeiro de 1990**. Aprova normas e o padrão de potabilidade da água destinada ao consumo humano. Disponível em:

<189.28.128.100/dab/docs/legislacao/portaria36_19_01_90.pdf>. Acesso em: 15 de maio de 2010.

MIRANDA, C. E. S. **Determinação de cádmio por espectrofotometria de absorção atômica com pré-concentração em resina de troca iônica empregando sistema FIA**. São Carlos, 1993. 89p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Física e Química de São Carlos, Universidade de São Paulo.

MITCHELL, J. K. **Fundamentals of soil behavior**. Berkeley, University of California: John Wiley, 1976. 422 p.

MONTEIRO, J.H.P. *et. al.* **Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos**- Rio de Janeiro: IBAM, 2001. 200p.

MUZILLI, O. Fertilidade do sistema de plantio direto. In: FANCELLI, L; TORRADO, P.V. ; MACHADO, J., (Ed.). **Atualização em plantio direto**. Campinas, Fundação Cargill, 1985.p. 147-160.

NASCIMENTO, S.C, HYPOLITO, R., RIBEIRO, A.A. Disponibilidade de metais pesados em aterro de indústria siderúrgica **Eng. Sanit. Ambient.** Rio de Janeiro, v.11, n.3, set. 2006. Disponível em <http://www.scielo.br/41522006000300002&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em 02 jan. 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522006000300002>.

NISHIYAMA, L., BACCARO, C. A. D. Aproveitamento dos recursos minerais nas regiões do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba – uma agressão ao meio ambiente. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 1, n. 1, p. 49-52, jan-dez/1989.

NISHIYAMA, L. Geologia do Município de Uberlândia e áreas adjacentes. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, n. 1, p. 9-16, 1989.

NISHIYAMA, L. **Procedimentos de mapeamento geotécnico como base para análises e avaliações ambientais do meio físico, em escala 1:100.000: aplicação no município de Uberlândia – MG**. Tese de Doutorado. São Carlos: 1998.

OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N. A.(eds). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia- ABES, 1996. 586p.

OLIVEIRA, D.M.; CASTILHOS Jr.; MEIOTELLO, E. 2003. **Avaliação da solidificação/estabilização de borras oleosas utilizando caulinita e vermiculita como materiais adsorventes**. In: 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Joinville, 2003. Anais... Joinville, 2003, 12 p.

PEREIRA NETO, J.T. **Quanto vale o nosso lixo**. Viçosa (MG): Orion, 1999.70 p.

PETRI, S.; FÚLFARO, V. J.. **Geologia do Brasil (fanerozóico)**. EDUSP ed. São Paulo, 1988. 631 p.

PINTO, C.S. **Curso básico de mecânica dos solos. 3º ed.** São Paulo: Oficina de textos, 2009. 355p.

PINTO-COELHO, R. M. **Reciclagem e desenvolvimento sustentável no Brasil.** Belo Horizonte: Recóleo Coleta e Reciclagem de Óleos, 2009. 340p.

PINTO, T.P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana.** São Paulo, 1999. 189p. Tese de Doutorado.

Portal da Prefeitura de Romaria. Disponível em: <http://www.romariaaguasuja.mg.gov.br/conteudo.php?id=19>. Acesso em Agosto 2009.

RADAMBRASIL. **Levantamento dos Recursos Naturais.** Folha SE 22 Goiânia, Rio de Janeiro, v. 31, 1983.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H. & QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais.** Campinas, Instituto Agrônomo, 2001. 284p.

RESCK, D.V.S. **O plantio direto como alternativa de sistema de manejo e conservação do solo e da água na região dos cerrados.** In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 30., 1997. 21p. Palestras, CD-ROM.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S.B.; CORRÊA, G.F. **Pedologia: Base para distinção de ambientes.** Viçosa: NEPUT, 1999. 338p.

REZENDE, P.S. **Avaliação da distribuição e mobilidade de elementos traço em sedimentos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco.** Belo Horizonte: UFMG, 2009. 128p. Dissertação de mestrado.

REVISTA VEJA- ESPECIAL SUSTENTABILIDADE- 22/12/2010.

ROJAS, J.W.J.; CONSOLI, N.C.; HEINECK, K.S. **Tratamento do solo contaminado: análise e encapsulamento de metais pesados.** Estudos Tecnológicos - Vol. 5, nº 1:79-88 (jan/abr 2009).

SILVA, E. M. **Análise das relações climato-hidrológicas e das demandas hídricas no Alto Curso da Bacia Hidrográfica do Rio Bagagem – MG.** Uberlândia: UFU, 2007. Dissertação de mestrado.

SILVA, J.E.; LEMAINSKI, J.; RESCK, D.V.S. Perdas da matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região de cerrados do oeste baiano. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, V.18, p.541-547, 1994.

SILVA, M.S., FILHO, P.L.G. Acúmulo de Cádmio por *Saccharomyces cerevisiae* em caldo de cana-de-açúcar contaminado com acetato de cádmio. **Sci. Agric**, Piracicaba, v. 56, n.2, 1999.

SOARES, M.R. **Coefficiente de distribuição (KD) de metais pesados em solos do Estado de São Paulo.** Piracicaba: 2004.202p. Tese de Doutorado.

SOSA, M.A. Reciclage: Solución empresarial al problema de los desechos sólidos. **Reciclage, alternativa ambientalista**. Caracas, Adan, 1992.

STEVENSON F.J. **Humus Chemistry, Genesis, Composition and Reactions**. W.J.Riley and Sons, New York, N.Y. 1994.496p.

SVIZERO, D. P, FELITTI, W e ALMEIRA, J. S. Geologia **da Mina de Diamantes de Romaria (Antiga Água Suja) Município de Romaria**. Anais. VII Simpósio Brasileiro de Mineração. Romaria, 1977.

TEIXEIRA, R.S. **Caracterização e avaliação da contaminação do solo laterítico da área do depósito de resíduos sólidos urbanos de Londrina por metais pesados**. Florianópolis-SC.2008. 253p. Tese de Doutorado.

TILLER, K.G. Heavy metals in soils and their environmental significance. In: TILLER, K.G. **Advances in soil science**. New York: Springer, 1989. v.9. p. 113-114.

USEPA. **Method 3050**. 1998. Disponível em: <http://www.epa.gov/SW846/pdfs/3050b.pdf>. Acesso em 15 de out. de 2011.

VALLADARES, G.S. et. al. Assessment of heavy metals in soils of a vineyard region with the use of principal component analysis. **Sci.agric.** (Piracicaba, Braz.), Piracicaba, v.66. n.3, jun. 2009. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010390162009000300011&lng=pt&nrm=iso>. acessos em 03 jan. 2012.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2.ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. 243p.

WALKLEY, A.; BLACK, I.A. An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification on the chromic acid titration method. **Soil Science**, v.37, p.29, 1934.