

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA APLICADA**

**DANIELE NASCIMENTO**

**ESTUDO QUÍMICO DO SOLO E LIXIVIADO DO ATERRO  
CONTROLADO DO BOTUQUARA**

**PONTA GROSSA  
2008**

**DANIELE NASCIMENTO**

**ESTUDO QUÍMICO DO SOLO E LIXIVIADO DO ATERRO  
CONTROLADO DO BOTUQUARA**

Dissertação apresentada para a obtenção do grau em  
Mestre em Química Aplicada, Programa de Pós-  
Graduação em Química Aplicada, Universidade Estadual  
de Ponta Grossa.

Orientador:  
Prof. Dr. Wilson Costa

**PONTA GROSSA  
2008**

Ficha Catalográfica Elaborada pelo Setor de Processos Técnicos BICEN/UEPG

N244e Nascimento, Daniele  
Estudo químico do solo e lixiviado do aterro controlado do Botuquara. / Daniele Nascimento. Ponta Grossa, 2008.  
138f.  
  
Dissertação ( Mestrado em Química Aplicada ), Universidade Estadual de Ponta Grossa.  
Orientador: Prof. Dr. Wilson Costa  
  
1. Resíduos sólidos. 2. Espécies metálicas. 3. Solo.  
4. Lixiviado. I. Costa, Wilson. II. T.

CDD: 628.44


**TERMO DE APROVAÇÃO**

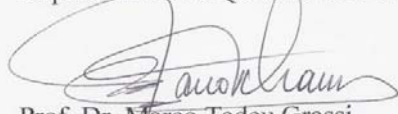
**DANIELE NASCIMENTO**


**ESTUDO QUÍMICO DO SOLO E LIXIVIADO DO ATERRO CONTROLADO DO  
BOTUQUARA**

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau em Mestre no Programa de Pós-Graduação em Química Aplicada da Universidade Estadual de Ponta Grossa, pela seguinte banca examinadora:

Orientador:

  
Prof. Dr. Wilson Costa  
Departamento de Química UEPG/PR

  
Prof. Dr. Marco Tadeu Grassi  
Departamento de Química UFPR/PR

  
Prof. Dr. André Mauricio Brinatti  
Departamento de Física UEPG/PR

Ponta Grossa, 5 de março de 2008.

Dedico à meus pais, Lourdes e José Nascimento, pelo amor, carinho e incentivo em todos os momentos da minha vida, não me permitindo fraquejar durante os obstáculos, em especial durante a elaboração desse trabalho.

A minha amada avó Joanir Branco de Oliveira, *in memoriam*.

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, por sempre estar olhando por mim, protegendo e abençoando meu caminho.

À minha família, ao meu avô Victor, meus irmãos Leivas e José Vitor e cunhadas Mariléia e Odette por todas as orações, incentivo e amor durante os passos tortuosos da minha caminhada. Em especial aos meus pais, pelo apoio e confiança.

Aos meus sobrinhos Vitor Augusto e Érica, verdadeiras bênçãos de Deus.

Ao Carlos Matias Júnior pelo amor, carinho, incentivo, e presença em todos os momentos.

Ao Prof. Dr. Wilson Costa pela confiança, oportunidade, orientação e paciência durante a realização do trabalho.

À Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Mariza Boscacci Marques pela ajuda durante a elaboração do trabalho, e pela sua amizade, levarei seus conselhos por toda a vida.

Aos amigos pelo amor, companhia, papos e festas. Em especial ao Rodrigo Sayka, pelo apoio em todos os momentos e pelas caronas, à Daniele Perufo, Enelise Staron, Kelly Iaroz e Thiago Sequinel pelo apoio e ajuda durante a realização do trabalho, e Lillian Angelo pelos “mates”, companhia e momentos de descontração no RU. Nunca esqueçam que estarão para sempre em meu coração, porque amigos de verdade não se separam, apenas seguem caminhos diferentes.

Aos funcionários dos Laboratórios de Tecnologia da Fermentação, Laboratório de Fertilidade de Solos, e Laboratório de Química Analítica da Universidade Estadual de Ponta Grossa, e ao Laboratório de Análises de Águas da Universidade Estadual do Centro-Oeste. Em especial ao José Luiz Ferrari, pela ajuda, risos e companhia durante as análises.

Aos funcionários do CIPP pela amizade.

À Fundação Araucária pelo apoio financeiro.

À todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste SONHO!!

**“É triste pensar que a natureza fala e que o gênero humano não a ouve.”**

**(Victor Hugo)**



## RESUMO

Atualmente, a produção e armazenamento de resíduos sólidos têm gerado uma gama de discussões acerca de aspectos ligados à veiculação de doenças e danos ambientais, devido principalmente à formação de lixiviado e sua infiltração, podendo causar contaminação do solo, cursos de água e lençóis freáticos. O local de disposição final do lixo na cidade de Ponta Grossa – PR teve início em 1969, na forma de lixão na região do Botuquara, em 2001 passou a aterro controlado. Este estudo tem por objetivo avaliar as características de alguns pontos do solo e do lixiviado do aterro controlado do Botuquara, verificando possíveis tendências a contaminação da área. Foram realizadas análises de pH, MO, carbono orgânico, nitrogênio total, relação C:N, CTC, saturação de bases,  $K^+$ , fosfato e teores de areia, argila e silte para o solo e pH, OC, OD, fosfato,  $K^+$  e nitrogênio para o lixiviado. Também foram verificadas as concentrações de Ag, Cr, Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn no lixiviado e metais biodisponíveis e pseudo-totais para o solo. Os resultados mostram que o lixiviado possui teores elevados de Mn, Fe, Cr, Cd, Pb, Cu, e Zn, baixa concentração de OD e elevada carga de nutrientes. O solo apresentou alta concentração de Cr, Pb, Cd e Ag biodisponíveis e Pb, Cu, Cd e Ag pseudo-totais. A saturação dos colóides do solo indica que o aterro atingiu sua capacidade máxima de retenção. Como a degradação é lenta e há liberação contínua de componentes ao meio, esses podem atingir camadas mais profundas se incorporando ao lixiviado. Se a mistura resultante alcançar corpos de água subterrâneas e/ou superficiais, poderá alterar suas características e comprometer seu uso, caracterizando um processo de contaminação.

Palavras-chave: resíduos sólidos, espécies metálicas, solo, lixiviado.

## ABSTRACT

Currently, the production and storage of solid residues have generated a discuss range about linked aspects to the disease propagation and environment damage, mainly due to the formation of leach and its infiltration, could cause earth contamination, flow and ground water. The final disposition place of trash at Ponta Grossa city started out in 1969, in an appearance of garbage in a Botuquara's region, became controlled garbage earthwork in 2001. The aim in this paper is evaluate the characteristics of some earth points and the leach of Botuquara's controlled garbage earthwork, checking in this area possible trends of contamination. It were accomplishing analyses of pH, OM, organic carbon, total nitrogen, C:N relation, CEC, bases saturation,  $K^+$ , phosphates and sand contents, clay and silt to the earth and pH, CO, DO, phosphates,  $K^+$  and nitrogen to lixivate. It also was checking the concentration of Ag, Cr, Cd, Cu and Fe, Mn, Ni, Pb and Zn on lixivate and biodegradable metals and pseudo-total to earth. In the result show that the leach has risen contents of Mn, Ni, Fe, Cr, Cd, Pb, Cu, and Zn, low concentration of OD and high burden of nutrients. Earth show high concentration of Cr, Pb, Cd and Ag biodegradable and Pb, Cu, Cd, and Ag pseudo-total. The colloids saturation of soil means that the garbage earthwork reached retention capacity maximum. Like the degradation is slow and there is a continuous liberation of components to the environment, its can reached deeper layers is incorporate on lixivate. If the resultant mix reaches ground water, it's able to change the characteristics and pledge its use, characterizing a contamination process.

Key words: solid residues, species metallic, earth, lixivate.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|             |  |    |
|-------------|--|----|
| FIGURA 1 -  | Estruturas de exemplos de carboidratos solúveis: (a) sacarose, (b) frutose.....  | 29 |
| FIGURA 2 -  | Estrutura da lignina.....  | 30 |
| FIGURA 3 -  | Fluxograma : decomposição dos resíduos sólidos.....  | 36 |
| FIGURA 4 -  | Representação da atração e repulsão de íons em um torrão de solo.....  | 41 |
| FIGURA 5 -  | Estrutura proposta para os ácidos fúlvicos.....  | 41 |
| FIGURA 6 -  | Estrutura proposta para os ácidos húmicos.....   | 42 |
| FIGURA 7 -  | Exemplo de formação de cargas negativas por substituição do $Al^{3+}$ por $Mg^{2+}$ no octaedro de uma argila montmorilonita .....                           | 42 |
| FIGURA 8 -  | Formação de cargas negativas pela elevação do pH, nos radicais carboxílicos e fenólicos da matéria orgânica, nos sesquióxidos e em complexos orgânicos ..... | 43 |
| FIGURA 9 -  | Formação de cargas positivas pela protonação das hidroxilas (OH) com a diminuição do pH .....  | 43 |
| FIGURA 10 - | Mapa- Bacias hidrográficas presentes próximas ao local do aterro e pontos da realização das coletas.....   | 68 |
| FIGURA 11 - | Foto Lixão Botuquara: chorume acumulado no solo do local.....  | 69 |
| FIGURA 12 - | Foto Lixão Botuquara: vista do morro de lixo e chorume acumulado escoando pela área do aterro.....   | 69 |
| FIGURA 13 - | Foto Lixão Botuquara: presença de fogo no local de disposição de resíduos.....   | 70 |
| FIGURA 14 - | Foto Lixão Botuquara: catadores fazendo a seleção de material reciclável .....   | 70 |
| FIGURA 15 - | Foto Lixão Botuquara: resíduos industriais lançados a céu aberto sem impermeabilização do solo.....  | 71 |
| FIGURA 16 - | Foto Lixão Botuquara: queima de tambores contendo resíduos industriais.....  | 71 |

|   |    |
|---|----|
| FIGURA 17 - Foto Lixão Botuquara: resíduo hospitalar disposto inadequadamente.....  | 72 |
| FIGURA 18 - Foto Lixão Botuquara: disposição inadequada de embalagens de pesticidas.....                                    | 73 |
| FIGURA 19 - Foto Lixão Botuquara: lagoas de tratamento do lixiviado.....  | 74 |
| FIGURA 20 - Foto Lixão Botuquara: chorume escorrendo da base do aterro. Ao fundo as lagoas de tratamento do lixiviado ..... | 74 |
| FIGURA 21 - Foto Aterro controlado do Botuquara: vista do morro de depósitos de resíduos.....                               | 75 |
| FIGURA 22 - Foto Aterro Controlado do Botuquara: vista de depósitos de resíduos pela PR513.....                             | 75 |
| FIGURA 23 - Foto Aterro controlado do Botuquara: sistema de drenagem de emissões gasosas.....                               | 76 |
| FIGURA 24 - Foto Aterro Controlado do Botuquara: poços de monitoramento construídos no local .....                          | 76 |
| FIGURA 25 - Foto Aterro controlado do Botuquara: portão para controle da entrada de pessoas .....                           | 77 |
| FIGURA 26 - Foto Aterro controlado do Botuquara: lagoas de tratamento do lixiviado .....                                    | 78 |
| FIGURA 27 - Foto da base em relação ao morro do aterro controlado do Botuquara .....  | 79 |
| FIGURA 28 - Coleta do solo do aterro.....   | 80 |
| FIGURA 29 - Amostra de solo antes da catação e secagem.....   | 81 |
| FIGURA 30 - Amostra de solo sendo secas na capela.....  | 81 |
| FIGURA 31 - Amostra de solo triturada e peneirada em malha de 0,297 mm.....   | 82 |
| FIGURA 32 - Poço de monitoramento presente no aterro controlado.....  | 83 |
| FIGURA 33 - Visão interna de um dos poços de monitoramento. Ao fundo percebe-se o líquido lixiviado na calha do poço.....   | 84 |
| FIGURA 34 - Amostras do lixiviado coletado no aterro.....   | 84 |

|  |     |
|--|-----|
| FIGURA 35 - Gráfico: Relação entre pH, MO e CTC.....                             | 103 |
| FIGURA 36 - Gráfico: Relação entre os valores de CTC, argila e MO.....           | 104 |
| FIGURA 37 - Gráfico: Relação do teor de areia e silte entre relação a CTC.....   | 105 |
| FIGURA 38 - Gráfico: Relação entre os teores de C, N, MO e C:N.....              | 106 |
| FIGURA 39 - Gráfico: Relação entre a CTC e a soma dos metais biodisponíveis..... | 114 |
| FIGURA 40 - Gráfico: Relação entre a CTC e a soma dos metais peseudo-totais..... | 115 |

## LISTA DE TABELAS

|            |   |     |
|------------|---|-----|
| TABELA 1 - | Produtos intermediários do processo de degradação dos resíduos sólidos urbanos.....   | 31  |
| TABELA 2 - | Produtos finais do processo de degradação aeróbia dos resíduos sólidos urbanos.....   | 32  |
| TABELA 3 - | Produtos finais do processo de degradação anaeróbia dos resíduos sólidos urbanos.....   | 34  |
| TABELA 4 - | Valores orientadores para solo no estado de São Paulo de acordo com a CETESB.....   | 97  |
| TABELA 5 - | Determinação dos teores de nitrogênio total, carbono orgânico, C:N, M.O, pH, CTC, saturação de bases, potássio, fósforo, argila, areia e silte dos pontos analisados do solo..... | 101 |
| TABELA 6 - | Valores dos metais biodisponíveis encontrados nas amostras de solo.....   | 111 |
| TABELA 7 - | Valores dos metais pseudo-totais encontrados nas amostras de solo.....  | 111 |
| TABELA 8 - | Valores encontrados nas análises de pH, DQO, OD, fosfato, potássio nitrogênio total das amostras de lixiviado.....  | 117 |
| TABELA 9 - | Valores obtidos para metais nas amostras do lixiviado.....  | 121 |

## **LISTA DE ABREVIACOES E SIGLAS.**

|               |  |
|---------------|--|
| <b>ABNT</b>   | Associação Brasileira de Normas Técnicas.                              |
| <b>CETESB</b> | Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo. |
| <b>CONAMA</b> | Conselho Nacional do Meio Ambiente.                                    |
| <b>CTC</b>    | Capacidade de Troca Catiônica.   |
| <b>DBO</b>    | Demanda Bioquímica de Oxigênio.  |
| <b>DNOCS</b>  | Departamento Nacional de Obras contra a Seca.                          |
| <b>DNOS</b>   | Departamento Nacional de Obras de Saneamento.                          |
| <b>EIA</b>    | Estudo dos Impactos Ambientais.  |
| <b>GPS</b>    | Sistema de Posicionamento Global.                                      |
| <b>IAP</b>    | Instituto Ambiental do Paraná.   |
| <b>IBAMA</b>  | Instituto Nacional do Meio Ambiente.                                   |
| <b>IBDF</b>   | Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal.                     |
| <b>ITCF</b>   | Instituto de Terras Cartografia e Florestas.                           |
| <b>MMA</b>    | Ministério do Meio Ambiente.   |
| <b>MO</b>     | Matéria Orgânica.  |
| <b>NBR</b>    | Norma Brasileira.  |
| <b>OC</b>     | Oxigênio Consumido.  |
| <b>OD</b>     | Oxigênio Dissolvido.   |
| <b>PGA</b>    | Ponta Grossa Ambiental.  |
| <b>RIMA</b>   | Relatório dos Impactos Ambientais.                                     |

|                 |   |
|-----------------|---|
| <b>SEMA</b>     | Secretaria do Estado do Meio Ambiente.                  |
| <b>SESP</b>     | Secretaria Especial de Saúde Pública.                   |
| <b>SISNAMA</b>  | Sistema Nacional do Meio Ambiente.                      |
| <b>SUDEPE</b>   | Superintendência da Pesca.                              |
| <b>SUDHEVEA</b> | Superintendência da Borracha.                           |
| <b>SUREHMA</b>  | Superintendência dos Recursos Hídricos e Meio Ambiente. |



## SUMÁRIO

|          |   |    |
|----------|---|----|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO</b> .....                     | 18 |
| 1.1      | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....                  | 21 |
| 1.1.1    | Legislação ambiental.....                   | 21 |
| 1.1.2    | Classificação dos resíduos sólidos .....    | 25 |
| 1.1.3    | Disposição final dos resíduos sólidos ..... | 27 |
| 1.1.4    | Fases de degradação .....                   | 29 |
| 1.1.5    | Formação de poluentes .....                 | 37 |
| 1.1.6    | Contaminação do solo .....                  | 40 |
| 1.1.7    | Contaminação da água .....                  | 45 |
| 1.1.8    | Espécies metálicas .....                    | 46 |
| 1.1.9    | Fosfato .....                               | 54 |
| 1.1.10   | Nitrogênio .....                            | 57 |
| 1.1.11   | Potássio .....                              | 59 |
| 1.1.12   | Eutrofização .....                          | 60 |
| 1.1.13   | Capacidade de troca catiônica (CTC) .....   | 61 |
| 1.1.14   | Porcentagem de saturação de bases (V).....  | 62 |
| 1.1.15   | Oxigênio consumido (OC).....                | 63 |
| 1.1.16   | Oxigênio dissolvido (OD) .....              | 63 |
| 1.1.17   | Matéria orgânica (MO).....                  | 64 |
| 1.1.18   | Relação carbono: nitrogênio (C:N) .....     | 65 |
| 1.1.19   | pH .....                                    | 66 |

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| 1.1.20   | Análise textural ou granulométrica .....         | 67        |
| <b>2</b> | <b>DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....</b>         | <b>68</b> |
| <b>3</b> | <b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>                 | <b>79</b> |
| 3.1      | COLETA E PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS .....           | 79        |
| 3.1.1    | Coleta e preparo das amostras de solo .....      | 79        |
| 3.1.2    | Coleta e preparo das amostras do lixiviado ..... | 83        |
| 3.2      | ANÁLISE DO SOLO .....                            | 85        |
| 3.2.1    | pH .....   | 85        |
| 3.2.2    | Carbono orgânico .....                           | 85        |
| 3.2.3    | MO .....   | 86        |
| 3.2.4    | Nitrogênio total .....                           | 87        |
| 3.2.5    | Relação C:N .....                                | 88        |
| 3.2.6    | CTC .....  | 88        |
| 3.2.7    | Porcentagem de saturação de bases (V) .....      | 90        |
| 3.2.8    | Fosfato .....                                    | 90        |
| 3.2.9    | Potássio.....                                    | 92        |
| 3.2.10   | Análise textural .....                           | 93        |
| 3.2.11   | Espécies metálicas.....                          | 96        |
| 3.3      | ANÁLISE DO LIXIVIADO .....                       | 98        |
| 3.3.1    | pH.....  | 98        |
| 3.3.2    | OC .....   | 98        |
| 3.3.3    | OD .....   | 98        |

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| 3.3.4    | Fosfato .....   | 99         |
| 3.3.5    | Potássio .....  | 99         |
| 3.3.6    | Nitrogênio total .....  | 100        |
| 3.3.7    | Espécies Metálicas.....   | 100        |
| <b>4</b> | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>                                   | <b>101</b> |
| 4.1      | ANÁLISE DE SOLO .....   | 101        |
| 4.1.1    | Análises químicas e textural do solo .....                            | 101        |
| 4.1.2    | Determinação de espécies metálicas no solo .....                      | 110        |
| 4.2      | ANÁLISE DO LIXIVIADO .....  | 117        |
| 4.2.1    | Determinação de pH, fosfato, potássio, OC, OD, nitrogênio total ..... | 117        |
| 4.2.2    | Determinação de espécies metálicas no lixiviado .....                 | 121        |
| <b>5</b> | <b>CONCLUSÕES .....</b>   | <b>125</b> |
| <b>6</b> | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>                                     | <b>127</b> |
|          | <b>REFERÊNCIAS .....</b>  | <b>128</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

Uma das maiores preocupações ambientais atuais é a produção de resíduos sólidos. O homem vem produzindo uma quantidade cada vez maior, muitas vezes, sem uma política clara e eficiente para seu descarte a fim de minimizar os danos à natureza.

Os resíduos produzidos inicialmente eram praticamente de origem natural e não causavam grande impacto, porém, o início da atividade agrícola e de produção, o grande crescimento populacional e vários outros fatores resultantes de uma sociedade consumista ocasionou um crescimento no volume de descartes, criando a necessidade de técnicas adequadas à disposição dos resíduos<sup>1</sup>.

O nome popular dados aos resíduos sólidos foi o de lixo, o qual do latim *lix* significa cinzas ou lixívia e, esses podem ser de diferentes procedências, biodegradáveis ou não, recalcitrantes ou xenobióticos que determinam implicações na qualidade de vida do homem<sup>1</sup>. As características do lixo também podem variar em função de aspectos sociais, econômicos, culturais, geográficos e climáticos, ou seja, os mesmos fatores que diferenciam os aglomerados humanos<sup>2,3</sup>.

No Brasil, o serviço sistemático de limpeza urbana foi iniciado oficialmente em 25 de novembro de 1880, na cidade de São Sebastião do Rio de Janeiro, então capital do Império. Nesse dia, o imperador D. Pedro II assinou o Decreto nº 3024, aprovando o contrato de "limpeza e irrigação" da cidade, que foi executado por Aleixo Gary e, mais tarde por Luciano Francisco Gary, de cujo sobrenome resultou a palavra gari, que hoje denomina os trabalhadores da limpeza urbana em muitas cidades brasileiras<sup>2</sup>. Porém, a gestão dos resíduos sólidos tanto nos tempos imperiais como nos atuais se apresenta de formas diversas, oscilando entre bons e maus momentos.

Diante de um orçamento restrito, como ocorre em grande número dos municípios brasileiros, o sistema de limpeza urbana não hesitará em relegar a disposição final a um segundo plano, dando prioridade à coleta e à limpeza pública<sup>2</sup>.

Na cidade de Ponta Grossa, no estado do Paraná, a coleta dos resíduos sólidos urbanos teve início em 1969, época que não havia grandes preocupações com o meio ambiente e sua degradação e, muitas das principais leis e normas ainda não existiam ou não eram válidas. A coleta era realizada pela prefeitura municipal e os resíduos eram armazenados em um lixão na região do Botuquara, sem os cuidados necessários e a seleção adequada, havendo inclusive a presença de resíduos industriais<sup>4</sup>, o que agrava a possibilidade de contaminação do solo e lençol freático. Em 2001, o lixão foi transformado em aterro, na tentativa de minimizar o número de vetores e poluição visual, mas não a contaminação já citada<sup>5,6</sup>.

Esse trabalho tem por objetivo avaliar as características do solo do Aterro Controlado do Botuquara e a contaminação do mesmo por produtos oriundos da decomposição e degradação dos resíduos sólidos ali dispostos, assim como suas influências na contaminação ambiental da área, através de análises físico-químicas do material de amostragem do solo e poços de monitoramento dispostos no aterro.

Foram realizadas análises de pH, MO, CTC, saturação de bases, nitrogênio total, carbono orgânico, relação C:N, potássio, fosfato, teor de argila, areia e silte do solo das proximidades, da base do aterro a uma profundidade de aproximadamente 30 cm; e análises de pH, OC, OD, fosfato, potássio e nitrogênio total do lixiviado encontrado nos poços de monitoramento do aterro, assim como determinadas as concentrações de Cd, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Ag, Pb e Zn nas amostras de solo e lixiviado. Os dados obtidos foram comparados com referências de qualidade.

O tema da limpeza urbana está assumindo papel de destaque entre as crescentes demandas da sociedade brasileira e das comunidades locais, seja pelos aspectos ligados à veiculação de doenças e, portanto à saúde pública; seja pela poluição de cursos de água e lençóis freáticos na abordagem ambiental; ou ainda, pelas questões sociais ligadas aos catadores – em especial às crianças que vivem nos lixões – finalizando com pressões advindas das atividades turísticas. É fato que vários setores governamentais e da sociedade civil começam a se mobilizar para enfrentar o problema, por muito tempo relegado a um segundo plano, mas ainda há muito por fazer no combate aos problemas ambientais, principalmente no que diz respeito às questões de preservação<sup>2</sup>.

## 1.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 1.1.1 Legislação ambiental

No Brasil há uma numerosa coleção de leis, decretos, resoluções e normas que evidenciam a preocupação com o meio ambiente e, especificamente com a limpeza urbana; há ainda iniciativas do Legislativo Municipal nas leis orgânicas e demais instrumentos legais.

Até a década de 50, as normas existentes tratavam do saneamento, da conservação e da preservação do patrimônio natural, histórico e artístico, bem como dos problemas provocados por secas e enchentes. No período compreendido entre 1930 e 1950, o país foi dotado de instrumentos legais e órgãos públicos que refletiam as áreas de interesse da época e, que de alguma forma estavam relacionados à área do meio ambiente, tais como: o Código de Águas - Decreto nº 24643, de 10 de julho de 1934; o Departamento Nacional de Obras de Saneamento (DNOS); o Departamento Nacional de Obras contra a Seca (DNOCS); a Patrulha Costeira e o Serviço Especial de Saúde Pública (SESP)<sup>7,8</sup>.

Nos anos 60, através de participações em convenções e reuniões internacionais, o estado brasileiro se comprometeu com a preservação e conservação ambiental. Como membro das Nações Unidas também assinou acordos, pactos e termos de responsabilidade entre países no âmbito da Declaração de Soberania dos Recursos Naturais. Porém, somente após a participação na Conferência das Nações Unidas para o Ambiente Humano, realizada em 1972, em Estocolmo, Suécia, é que medidas efetivas foram tomadas<sup>7</sup>.

Em 30 de outubro de 1973 o Decreto nº 73.030 instituiu a Secretaria Especial do Meio Ambiente (SEMA)<sup>9</sup> e, a partir dela foram editadas leis, decretos, portarias e resoluções, no entanto a SEMA não contava com nenhum poder policial para atuar<sup>7,10</sup>.

O Governo Federal, por intermédio da SEMA, instituiu em 1981 a Política Nacional do Meio Ambiente, pela qual foi criado o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) e instituído o Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental<sup>9,11</sup>. A Lei nº 6.938 de 17/01/1981, é considerada a mais importante lei ambiental<sup>8,12</sup>, além de definir que o poluidor é obrigado a indenizar os danos ambientais que causar, independentemente de culpa, também criou os estudos e respectivos Relatórios de Impacto Ambiental (EIA/RIMA)<sup>11</sup>, regulamentados em 1986 pela Resolução CONAMA 001/86<sup>13</sup>. O EIA/RIMA deve ser feito previamente à implantação de atividade econômica que afete significativamente o meio ambiente, como estradas, indústrias ou aterros sanitários, devendo detalhar os impactos positivos e negativos decorrentes das obras ou após a instalação do empreendimento, mostrando ainda como evitar impactos negativos.

Também através da lei nº 6.938 foi criado o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), o qual tem estabelecido indicadores de qualidade para água, solo, ar, bem como limites permitidos para diferentes espécies que podem causar desequilíbrio ambiental<sup>11,14</sup>.

A constituição de 1988 foi decisiva para a construção da política ambiental do Brasil, pela primeira vez na história de uma nação uma constituição dedicou um capítulo inteiro ao meio ambiente, dividindo entre o governo e a sociedade a responsabilidade pela preservação e conservação<sup>7,15</sup>.

Em 1989 é criado o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) através da lei nº 7.735 de 22 de fevereiro, pela fusão da SEMA, Superintendência da Borracha (SUDHEVEA), Superintendência da Pesca (SUDEPE) e Instituto



Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF)<sup>16</sup>. O IBAMA possui a finalidade de formular, coordenar, executar e fazer executar a Política Nacional do Meio Ambiente e da preservação, conservação e uso racional, fiscalização, controle e fomento dos recursos naturais renováveis<sup>7</sup>. Em 19 de novembro de 1992, nasce o Ministério do Meio Ambiente – MMA, órgão de hierarquia superior, através da lei nº 8.490, com o objetivo de estruturar a política ambiental brasileira<sup>7,17</sup>.

No mesmo ano, o Instituto Ambiental do Paraná (IAP) foi instituído pela Lei Estadual nº10.066 de 27 de julho com a criação da Secretaria do Estado do Meio Ambiente<sup>18,19</sup>. Houve ainda a fusão da Superintendência dos Recursos Hídricos e Meio Ambiente (SUREHMA) com o Instituto de Terras, Cartografia e Florestas (ITCF), dando origem ao atual IAP, vinculado à SEMA. O IAP tem como missão proteger, preservar, conservar, controlar e recuperar o patrimônio ambiental, buscando melhor qualidade de vida e o desenvolvimento sustentável com a participação da sociedade<sup>18,19</sup>.

Lei ambiental exemplar é a Lei nº7.347 de 24/07/1985 de ação civil pública, a qual trata de responsabilidades por danos causados ao meio ambiente, e ao patrimônio artístico, turístico ou paisagístico. A ação pode ser requerida pelo Ministério Público, a pedido de qualquer pessoa ou por uma entidade constituída há pelo menos um ano<sup>20</sup>.

A Lei Estadual nº12.493 de 22 de janeiro de 1999 estabelece princípios, procedimentos, normas e critérios referentes à geração, acondicionamento, armazenamento, coleta, transporte, tratamento e destinação final dos resíduos sólidos no Estado do Paraná, visando controle da poluição, da contaminação e minimização de seus impactos. Ainda, segundo o art. 9º, os resíduos sólidos urbanos provenientes de residências, estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços, bem como os de limpeza pública urbana, deverão ter acondicionamento, coleta, transporte, armazenamento, tratamento e destinação final adequados, atendendo às normas aplicáveis da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT e às condições estabelecidas

pelo IAP, respeitadas as demais normas legais vigentes; enquanto o art. 10 define normas específicas de coleta e destinação final dos resíduos sólidos industriais<sup>21</sup>.

A resolução CONAMA 257/99 trata especificamente de descartes de pilhas e baterias, o art. 1 deixa claro que se esses materiais contiverem Pb, Cd, Hg e seus compostos, após o esgotamento energético deverão ser entregues pelos usuários aos estabelecimentos que os comercializam para que sejam adotados os procedimentos de reutilização, reciclagem, tratamento ou disposição final ambientalmente adequada<sup>22</sup>. Porém, infelizmente, o que acontece na maioria das vezes é o descarte direto no lixo comum.

Outro exemplo significativo é o inciso VI e IX do art. 23 da Constituição Federal de 1988, o qual define “ser competência comum da União, dos estados, do Distrito Federal e dos municípios proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer das suas formas”; já os incisos I e V do art. 30 estabelecem como atribuição municipal “legislar sobre assuntos de interesse local, especialmente quanto à organização dos seus serviços públicos” como é o caso da limpeza urbana<sup>15</sup>.

Há ainda a contribuição do capítulo VI que, no art. 225 reza que “todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum e essencial à sadia qualidade de vida, sendo imposto ao Poder Público e à coletividade a defesa e a preservação para as presentes e futuras gerações”<sup>15</sup>.

## 1.1.2 Classificação dos resíduos sólidos

De acordo com a NBR nº10.004/2004 da ABNT, os resíduos no estado sólido ou semi-sólido são aqueles que resultam de atividade da comunidade de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nessa 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 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<sup>2,3</sup>.

São várias as maneiras de classificar os resíduos sólidos, sendo as mais comuns as que consideram riscos potenciais de contaminação do meio ambiente, sua natureza ou origem<sup>2,3</sup>.

De acordo com a NBR 10.004:2004 da ABNT<sup>2,3</sup>, os resíduos sólidos podem ser classificados segundo seus riscos potenciais em:

➤ Classe I – Resíduos Perigosos: “são aqueles que, em função de suas características intrínsecas de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade, apresentam riscos à saúde pública através do aumento da mortalidade ou da morbidade, ou ainda, provocam efeitos adversos ao meio ambiente quando manuseados ou dispostos de forma inadequada”.

➤ Classe II – Não Perigosos: os quais se decompõem em:

a) Resíduos classe II A – Não Inertes: “são os resíduos que podem apresentar propriedades tais como: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água, com possibilidade de acarretar riscos à saúde ou ao meio ambiente, não se

enquadrando nas classificações de resíduos Classe I – Perigosos – ou Classe II B – Inertes”.

b) Resíduos classe II B – Inertes: “quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a ABNT NBR 10007 e, submetidos a um contato dinâmico e estatístico com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, conforme ABNT NBR 10006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez e sabor”.

Quanto à fonte geradora, podemos classificar os resíduos sólidos em<sup>2</sup>:

- Lixo doméstico e residencial: são os resíduos gerados nas atividades diárias em casas, apartamentos, condomínios e demais edificações residenciais;
- Lixo comercial: são os resíduos gerados em estabelecimentos comerciais, cujas características dependem da atividade ali desenvolvida;
- Lixo de limpeza pública: são os resíduos presentes nos logradouros públicos, em geral resultantes da natureza e também aqueles descartados irregular e indevidamente pela população. Nas atividades de limpeza urbana, os tipos doméstico e comercial constituem o chamado lixo domiciliar que, junto com o lixo de limpeza pública, representam a maior parcela dos resíduos sólidos produzidos nas cidades.
- Lixo da construção civil: são os que compreendem os entulhos de obras;
- Lixo industrial: são os resíduos gerados pelas atividades industriais e apresentam características diversificadas, pois estas dependem do tipo de produto manufaturado. Devem, portanto, ser estudados caso a caso. É adotada a NBR 10.004/2004 da ABNT para classificação dos resíduos industriais: Classe I (Perigosos), Classe II (Não-Perigosos, sendo IIA - Não-Inertes e IIB - Inertes);

➤ Lixo agrícola: formado basicamente por restos de embalagens impregnadas com pesticidas e fertilizantes químicos, que são perigosos;

➤ Lixo de serviços da saúde: compreendendo todos os resíduos gerados nas instituições destinadas à preservação da saúde da população.

Os resíduos de origem domiciliar ou aqueles com características similares, como os comerciais e os resíduos da limpeza pública, são normalmente encaminhados para a disposição em aterros sob responsabilidade do poder municipal<sup>3</sup>.

### 1.1.3 Disposição final dos resíduos sólidos

De acordo com a resolução CONAMA nº005/93<sup>24</sup>: “Sistema de Disposição Final de Resíduos Sólidos é o conjunto de unidades, processos e procedimentos que visam ao lançamento de resíduos no solo, garantindo a proteção da saúde pública e a qualidade do meio ambiente”. Porém, não são todas as cidades brasileiras que cumprem tal resolução.

63,6% dos municípios brasileiros, principalmente os de menor porte, possuem Lixões como sistemas de disposição final dos resíduos<sup>25</sup>, ou seja, locais de descarte direto sobre o solo, sem qualquer medida de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública. Há proliferação de vetores de doenças como ratos causadores da peste bubônica e leptospirose, moscas que podem abrigar agentes transmissores de cólera, amebíase e teníase, mosquitos que podem transmitir virose, dengue, febre amarela e aves como o urubu- veiculadores da toxoplasmose. Também são produzidos gases com odores nauseabundos e poluição do ar, contaminação tanto do solo como de águas subterrâneas e superficiais possivelmente pela infiltração do lixiviado - mistura do chorume formado pela degradação da matéria orgânica com a água da chuva. Somado a todos

estes fatores há o efeito estético indesejável e o sério problema social vivenciado pelos catadores, indivíduos que fazem da catação do lixo um meio de sobrevivência<sup>1,2,3</sup>.

Outro modo de gerenciamento seria o Aterro Controlado, com menores conseqüências ambientais do que as causadas pelos lixões. Os resíduos dispostos são recobertos diariamente com argila, reduzindo assim a proliferação de vetores, o efeito estético indesejável e o mau cheiro do local, porém, mais e mais resíduos são descartados novamente sobre o solo. Embora seja uma solução preferível ao lançamento a céu aberto, não substitui o Aterro Sanitário<sup>1,3,26</sup> e apenas 18,4% das cidades brasileiras a utilizam<sup>25</sup>.

Por sua vez, o Aterro Sanitário proporciona um confinamento seguro dos resíduos através da compactação da argila e impermeabilização do solo antes da recepção do material, também há cobertura com argila do lixo ao final de cada dia, sistema de drenagem periférica e superficial para afastamento de águas da chuva, drenagem de fundo para a coleta do lixiviado, tratamento do lixiviado drenado, drenagem e queima dos gases gerados durante o processo de bioestabilização de matéria orgânica. O Aterro Sanitário evita a proliferação de vetores, espalhamento de papéis, plásticos e outros materiais leves, a permanência de catadores e a poluição de águas superficiais ou subterrâneas pelo lixiviado<sup>1,3,26</sup>, mas somente 13,8% das localidades possuem esse sistema de disposição final dos resíduos<sup>25</sup>.

É de responsabilidade do poder municipal o destino final do lixo de origem domiciliar, comercial e de varrição, porém, a administração pode ser executada:

- diretamente pelo Município;
- através de uma empresa pública específica;
- por uma empresa de economia mista criada para desempenhar especificamente esta função.

Os serviços ainda podem ser objetos de concessão ou terceirizados junto à iniciativa privada<sup>2</sup>.

#### 1.1.4 Fases de degradação

Os detritos são constituídos de uma mistura de materiais orgânicos e inorgânicos e, portanto, podem sofrer biodegradação aeróbia - em presença de O<sub>2</sub> e, após o consumo total desse, uma degradação anaeróbia. Entretanto, deve ser considerada a possibilidade da presença de organismos anaeróbios facultativos<sup>3</sup>.

Os resíduos sólidos gerados nos municípios brasileiros possuem, na sua maioria, uma maior fração de materiais orgânicos<sup>3</sup>. Essa composição pode ser de fácil degradação como os açúcares mais solúveis, mostrado na figura 1, ou de difícil degradação como celulose, lignina representada na figura 2, hemicelulose e proteínas, sendo esses últimos responsáveis pelo controle da velocidade de reação<sup>27</sup>.

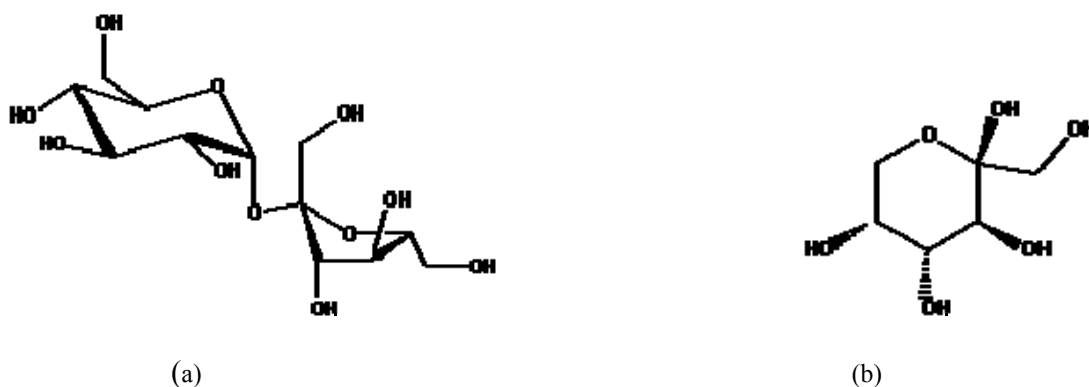


FIGURA 1. Estruturas de exemplos de carboidratos solúveis: (a) sacarose, (b) frutose.  
Fonte: Revista eletrônica do Departamento de Química da UFSC<sup>28</sup>.

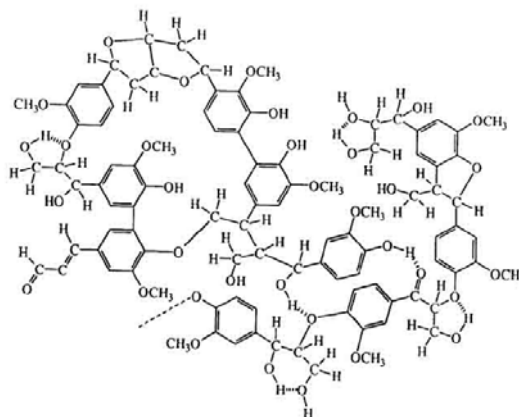


FIGURA 2. Estrutura da lignina.

Fonte: Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia<sup>29</sup>.

As diferentes fases de decomposição não são totalmente delimitadas, o aterramento constante de novas camadas de resíduos faz com que haja uma variação da idade das camadas, assim as fases costumam ocorrer simultaneamente dentro de um aterro<sup>30</sup>.

#### FASE DE DEGRADAÇÃO AERÓBIA

A degradação aeróbia dos resíduos muitas vezes tem início nas lixeiras, tendo continuidade nos lixões, aterros controlados ou sanitários<sup>31</sup>. Uma vez armazenados, a decomposição microbiana dos resíduos continua e devido à aeração do meio, ocorre primeiramente a fase aeróbia. Esta é de curta duração (geralmente 1 mês), limitada pela alta concentração de O<sub>2</sub> exigida e pela baixa concentração presente<sup>30</sup>. Em aterros, o O<sub>2</sub> perfaz 20% do total e o N<sub>2</sub> aproximadamente 80%<sup>27,32</sup>.

Nessa fase, ocorre uma elevação da temperatura do meio devido à exotermicidade da reação de oxidação do material orgânico<sup>27</sup>, que aumenta a solubilidade de muitos íons havendo

<sup>32</sup>Schueler apud IPT/CEMPRE 2000



então a formação de alguns sais contendo metais<sup>3,32</sup>. Também há produção de CO<sub>2</sub>, sais minerais de N, P, K e outros macro e micro nutrientes solúveis em água e facilmente assimiláveis pelo sistema radicular das plantas, além de alguns compostos orgânicos de mais lenta biodegradabilidade, geralmente de natureza fibrosa ou coloidal, bons condicionadores do solo<sup>3,27</sup>. De forma geral, os microrganismos aeróbios promovem a seguinte reação química<sup>3</sup>:



Parte da energia liberada nesta reação será utilizada para a síntese de novas células quando da multiplicação de microrganismos presentes. Considerando apenas a oxidação do C, temos:



Essa equação esquematiza uma sucessão de reações que conduzem, a partir de substratos inicialmente presentes, à liberação de uma série de metabólitos intermediários (tabela 1) no meio, os quais dependem da natureza do substrato inicial<sup>3</sup>.

TABELA 1. Produtos intermediários do processo de degradação dos resíduos sólidos urbanos

| Natureza da matéria orgânica | Principais classes de intermediários |
|------------------------------|--------------------------------------|
| Proteínas                    | Polipeptídios, ácidos aminados       |
| Graxas                       | Ácidos Graxos                        |
| Hidratos de Carbono          | Polissacarídeos, açúcares, Aldeídos  |
| Hidrocarbonetos              | Ácidos Graxos, Aldeídos              |

Fonte: Castilhos Júnior, 2003<sup>3</sup>

Os metabólitos intermediários formados causam poluição do lixiviado por meio da matéria orgânica, ação complexante de certos produtos (ácidos aminados e compostos aminocarboxílicos) sobre metais e estimulação da atividade biológica (contaminação bacteriana). Já os metabólitos finais mostrados na tabela 2, influenciam o pH do meio aquoso e sua capacidade tampão através do CO<sub>2</sub>, dos carbonatos e bicarbonatos, precipitação de íons metálicos na forma de hidróxidos, fosfatos e carbonatos pouco solúveis e liberação de elementos eutrofizantes para as águas (nitratos e fosfatos)<sup>3</sup>.

TABELA 2. Produtos finais do processo de degradação aeróbia dos resíduos sólidos urbanos

| Elementos constituintes da matéria orgânica | Produtos finais                             |
|---|---|
| H   | H <sub>2</sub> O                            |
| C   | CO <sub>2</sub> , bicarbonatos e carbonatos |
| N   | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>                |
| P   | PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>               |
| S   | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>               |
| Metais                                      | seus hidróxidos e carbonatos                |

Fonte: Adaptado de Castilhos Júnior, 2003<sup>3</sup>

O recobrimento do lixo causa a diminuição da disponibilidade de C e variações das condições do meio, assim a fase aeróbia vai chegando ao seu fim e começa a mudar as populações dos microrganismos e o desenvolvimento de condições anaeróbias<sup>27, 30</sup>.

#### FASE DE DEGRADAÇÃO ANAERÓBIA

Com o decréscimo de O<sub>2</sub> no aterro começam a predominar microrganismos anaeróbios facultativos, ou seja, aqueles que preferencialmente não usam O<sub>2</sub>. O nitrato e o sulfato presentes

participam em reações de conversão biológica como receptores de elétrons sofrendo redução a  $N_2$  (g) e  $H_2S$ . Nesta fase da decomposição dos resíduos há também a produção de gás inflamável, causando problemas de poluição ambiental devido a sua composição:  $CH_4$  (40-65%),  $CO_2$  (25-40%),  $N_2$  (0-10%),  $O_2$  (1-4%),  $H_2$  (0,05%) e  $H_2S$  (0,001-0,002%)<sup>27</sup>.

A decomposição anaeróbia é lenta, gerando subprodutos em estágios intermediários de degradação como o  $H_2S$ , tóxico e de odor desagradável<sup>1</sup>. Em geral, apresenta as seguintes fases: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese<sup>1,27,30,31</sup>. Ao longo do processo materiais complexos de maior dificuldade de degradação são reduzidos a compostos mais simples e hidrossolúveis, podendo assim ser eliminados na forma de chorume ou convertidos em  $CH_4$  e  $CO_2$ .

#### *Hidrólise:*

Nesta fase, as bactérias fermentativas transformam os compostos orgânicos complexos em outros de cadeia mais curta, solúveis, como aminoácidos e peptídeos, os quais podem penetrar no interior das células bacterianas para serem metabolizados<sup>3,27,31</sup>.

#### *Acidogênese:*

A segunda fase se caracteriza por ser um processo bioquímico no qual bactérias obtêm energia pela transformação da matéria orgânica hidrolisada<sup>3,31</sup>, podendo durar anos e tendo como

produtos finais álcoois,  $\text{NH}_3$ , ácidos graxos voláteis, liberação de  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2$ , além de novas células bacterianas<sup>3,27,31</sup>.

#### *Acetogênese:*

Aqui, ácidos orgânicos produzidos são transformados em  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}_2$  e também grandes quantidades de nitrogênio amoniacal. Da mesma forma, podem se misturar ao chorume pré-existente e reduzir o pH a valores entre 4 e 6. O caráter ácido da mistura ajuda a solubilização de materiais inorgânicos, principalmente metais pesados, podendo ocorrer o aparecimento de gases causadores de mau cheiro como o  $\text{H}_2\text{S}$  e  $\text{NH}_3$ . Os lixiviados produzidos nessa fase contêm grande quantidade de matéria orgânica<sup>3,27</sup>.

#### *Metanogênese:*

Na última fase, os microrganismos estritamente anaeróbios (bactérias metanogênicas) convertem os ácidos orgânicos e o  $\text{H}_2$  em  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$ <sup>3,20</sup> (tabela 3).

TABELA 3. Produtos finais do processo de degradação anaeróbia dos resíduos sólidos

| Elementos constituintes da matéria orgânica | Produto final da biodegradação                              |
|---|---|
| H   | $\text{H}_2\text{O}$ , $\text{H}_2\text{S}$ , $\text{CH}_4$ |
| C   | $\text{CO}_2$ , $\text{CH}_4$                               |
| N   | Nitratos  |
| O   | $\text{CO}_2$   |
| S   | $\text{S}^{-2}$ , $\text{H}_2\text{S}$                      |
| Metais                                      | seus sulfetos   |

Fonte: Adaptado de Castilhos Júnior, 2003<sup>3</sup>

Com o consumo dos ácidos voláteis o pH começa a atingir valores próximos de 7 e pode haver redução nos valores de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), e da concentração de matéria orgânica<sup>3</sup>.

Esse aumento do pH reduz a solubilidade de compostos inorgânicos, assim a quantidade de metais pesados presentes no lixiviado também diminuirá<sup>3,27</sup>.

O lixiviado continua migrando e garantindo a umidade, enquanto que os materiais biodegradáveis anteriormente indisponíveis e os substratos restantes de difícil degradação são decompostos.

A degradação anaeróbia é o principal processo que ocorre em um aterro e, portanto na formação do chorume<sup>33</sup>.

#### CRESCIMENTO MICROBIANO

Os substratos nutritivos são fontes de alimento para os microorganismos, eles fornecem energia para seu crescimento e para as atividades enzimáticas. Alguns elementos como Ca, Mg, K, Na, Zn, Fe, Co, Cu, Mo e Mn são necessários em pequenas doses, sendo em fortes concentrações inibidores do processo<sup>3</sup>.

São importantes para as atividades enzimáticas o C, N, O, P e S, podendo também estimular ou inibir o processo de fermentação, dependendo de suas concentrações<sup>3</sup>.

Outros fatores importantes são a temperatura e o pH<sup>3, 27</sup>. Alterações bruscas de temperatura causam desequilíbrio nas culturas envolvidas, principalmente para as que formam o CH<sub>4</sub>, em torno de 10°C a atividade é reduzida e acima de 65°C as enzimas são destruídas pelo calor. Alterações do pH são dependentes da fase de degradação relacionada, porém, melhores

resultados do crescimento de microrganismos são obtidos em pH reduzido ou próximo da neutralidade<sup>3, 27</sup>. Substâncias as espécies metálicas e amoníaco são inibidoras do processo de crescimento biológico<sup>27</sup>.

Em resumo, o processo de decomposição está apresentado na figura 3:

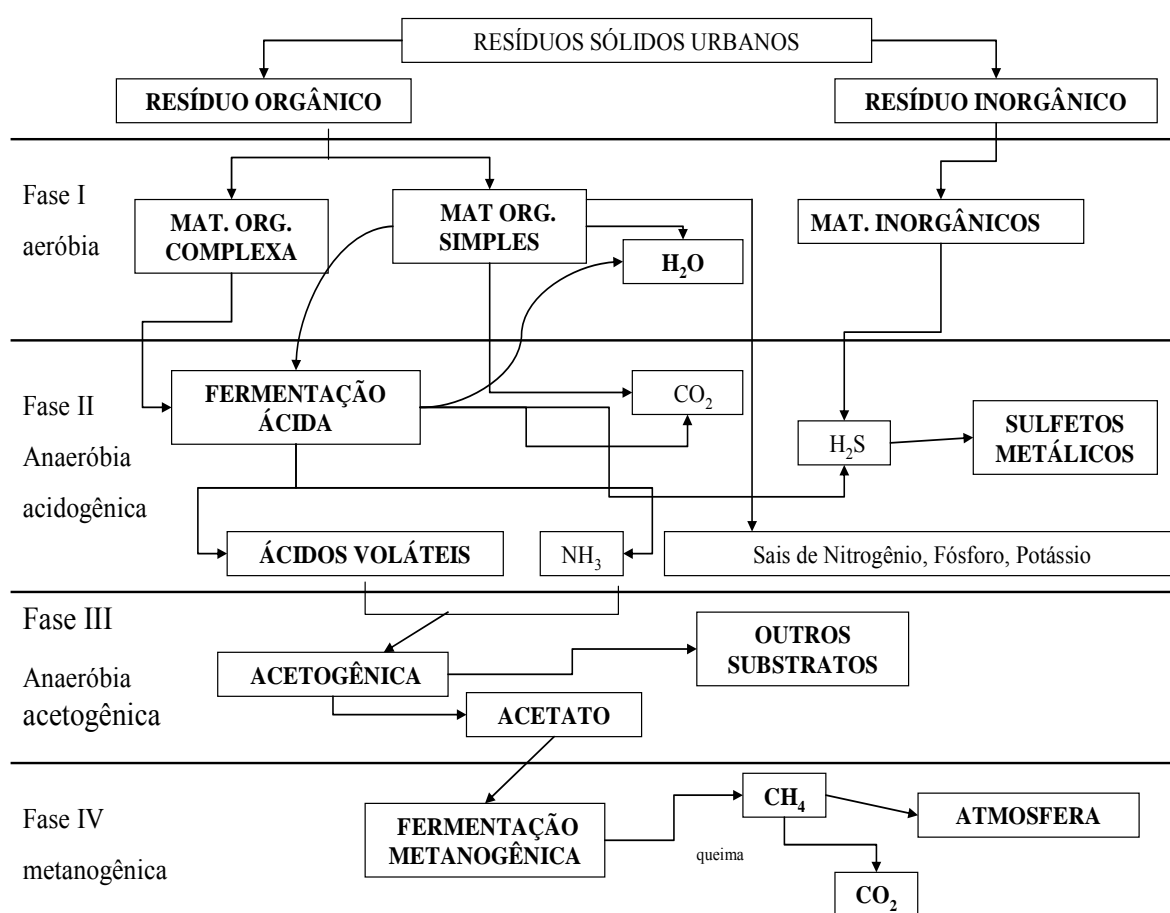


FIGURA 3: Fluxograma: decomposição dos resíduos sólidos.  
Fonte: Adaptado de BIDONE<sup>1</sup>.

### 1.1.5 Formação de poluentes

Uma vez armazenados os resíduos continuam sofrendo transformações por longos períodos não sendo, portanto inativos<sup>3</sup>. Formados por uma variedade química, ao longo do tempo sofrem influências de uma diversidade de agentes naturais (chuva, microrganismos, temperatura, pressão), levando a complexas evoluções através de mecanismos físicos, químicos e biológicos<sup>3,33</sup>.

O conjunto destes fenômenos promove a transformação e degradação do material aterrado, e em consequência, além de novos compostos, dão origem aos maiores vetores de poluição em aterros: o biogás e o lixiviado<sup>3,31</sup>.

#### *LIXIVIADO*

A decomposição do material orgânico por ação de bactérias, microrganismos e mudanças das condições do meio leva a formação do chorume<sup>3,31,33</sup>. Esse é um líquido altamente poluidor de composição bastante heterogênea, a qual depende da natureza dos resíduos armazenados, idade do aterro, estágio de evolução, técnica de armazenamento, entre outros<sup>31,33</sup>.

Em geral, o chorume pode conter quatro tipos de contaminantes essenciais: matéria orgânica dissolvida, compostos orgânicos antrópicos, elementos principais (como  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^{+2}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}^{+4}$ ,  $\text{Fe}^{+2}$ ,  $\text{Mn}^{+2}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ) e metais pesados<sup>31</sup>.

Quando a quantidade de líquido do aterro excede a capacidade de retenção da umidade do material presente, esse começa a infiltrar entre camadas do solo<sup>3</sup>.

Nesse sentido, os lixiviados são resultado do processo da infiltração de líquidos através da cobertura do solo de um aterro (água da chuva) somado ao chorume, a umidade natural dos resíduos e a água de constituição dos diferentes materiais que sobram durante o processo de decomposição<sup>1,3,33</sup>.

O lixiviado atualmente é de grande preocupação ambiental e de problemas relacionados à saúde pública uma vez que possui uma composição muito variada, grandes concentrações de material orgânico e de metais pesados, e pode entrar em contato com o solo.

Em contato com o solo um contaminante ou poluente pode ser adsorvido, arrastado pelo vento ou infiltrar como o próprio lixiviado para as camadas inferiores atingindo águas subterrâneas comprometendo seu uso por longo tempo, ou mesmo extravasar e atingir águas superficiais<sup>33,34,35</sup>.

### ***TRANSPORTE DE POLUENTES***

A contaminação tem origem na infiltração do lixiviado nas camadas superiores do solo, sendo até mesmo o usado na cobertura dos resíduos influente na contaminação, pois dependendo do tipo desse material a infiltração e percolação de líquidos, especialmente da água da chuva, serão favorecidos ou não, o que pode aumentara o volume de lixiviado a penetrar em camadas inferiores<sup>3</sup>.

A interação do solo com contaminantes é muito complexa devido ao envolvimento simultâneo de fenômenos físicos, químicos e biológicos, sendo, portanto, inúmeros os responsáveis pelo transporte de poluentes em meios porosos<sup>3</sup>.



Quando a capacidade de retenção de poluentes pelo solo chega ao seu limite esse é dito saturado e a adição de novos poluentes no solo fará com que sua capacidade seja excedida, permitindo que o lixiviado e os contaminantes nele presentes infiltrem para camadas de subsolo<sup>47</sup>.

Essa infiltração do lixiviado é a penetração do líquido para camadas inferiores do solo, impulsionado pela gravidade através dos espaços vazios até atingir uma região de suporte formando a água do subsolo<sup>3</sup>.

O contato de contaminantes com águas, sejam elas superficiais ou subterrâneas, leva ao possível carregamento para outras regiões através de seu curso, podendo tornar-se uma fonte de poluição para outros solos e cursos de água<sup>35</sup>. O movimento desses não depende apenas do fluxo do fluido no qual estão dissolvidos, mas também dos mecanismos no qual são submetidos<sup>3</sup>.

Os processos químicos podem influenciar a capacidade de retenção, porém dependem do solo e da solução contaminada em cada situação. As reações de adsorção/desorção e precipitação/dissolução podem causar transferência real do poluente da fase líquida para a fase sólida.

Outros processos tais como oxidação/redução, complexação e quelação, podem atuar de duas formas: afetando a disponibilidade dos poluentes para os processos de transferência ou alterando a sua forma, aumentando ou diminuindo seus efeitos de contaminação<sup>3</sup>.

Em geral, transferências para a fase sólida são temporárias e alterações no ambiente químico podem resultar em aumento da mobilidade de poluentes<sup>3</sup>.

### 1.1.6 Contaminação do solo

O solo, dependendo de suas características, é capaz de reter uma grande quantidade de poluentes aumentando a quantidade dos mesmos presentes<sup>35</sup>.

Segundo a CETESB<sup>29</sup>: “O solo será dito contaminado quando apresentar concentrações de determinada espécie química acima do esperado em condições naturais, sendo um solo poluído o que possui concentrações de um determinado contaminante que possam afetar os componentes bióticos do ecossistema comprometendo seu funcionamento, portanto, um solo contaminado não é necessariamente um solo poluído”.

As trocas iônicas do solo são processos reversíveis ou temporariamente irreversíveis, pelos quais as partículas sólidas absorvem os íons da fase aquosa<sup>36</sup>, isso faz com que haja um retardamento na velocidade de avanço do mesmo<sup>3</sup>.

À medida que os solos são formados alguns minerais e a matéria orgânica são reduzidos a partículas extremamente pequenas - os colóides (argila ou húmus), estes apresentam, em geral, um balanço de cargas negativas (-), desenvolvido durante o processo de formação<sup>37</sup>.

Isto significa que eles podem atrair e reter íons com cargas positivas (+), ao passo que repelem outros íons de carga negativa, como representado na figura 4. Em certos casos, podem, também, desenvolver cargas positivas (+)<sup>37</sup>.

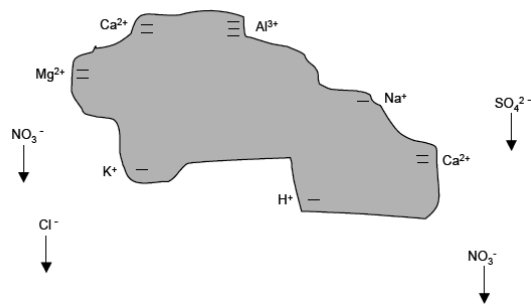


FIGURA 4. Representação da atração e repulsão de íons em um torrão de solo.  
 Fonte: adaptado de Boletim Técnico nº 2 - Análise do Solo<sup>37</sup>.

A mistura de vários produtos em estágio de decomposição diferenciada forma a matéria orgânica.

Essa matéria orgânica é chamada de húmus, ou substâncias húmicas, que por sua vez, são geralmente formadas por humina, ácidos húmicos e ácidos fúlvicos, ambos apresentam alto teor de grupos funcionais contendo oxigênio como carboxilas, hidroxilas fenólicas, e carbonilas de vários tipos<sup>38,39</sup>.

Estruturalmente, as três frações húmicas são similares, mas diferem em massa molar e conteúdo de grupos funcionais<sup>39</sup>, como mostrado nas figuras 5 e 6.

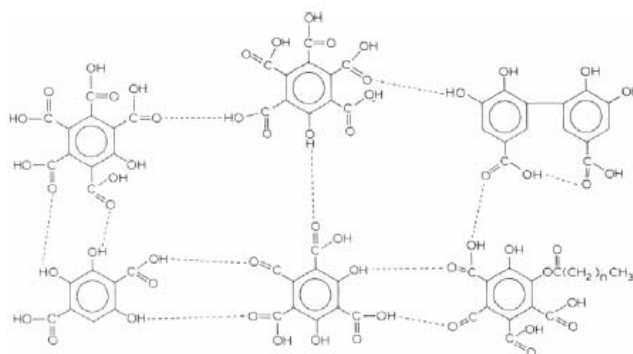


FIGURA 5. Estrutura proposta para os ácidos fúlvicos.  
 Fonte: Rosa, 1998<sup>38</sup>.

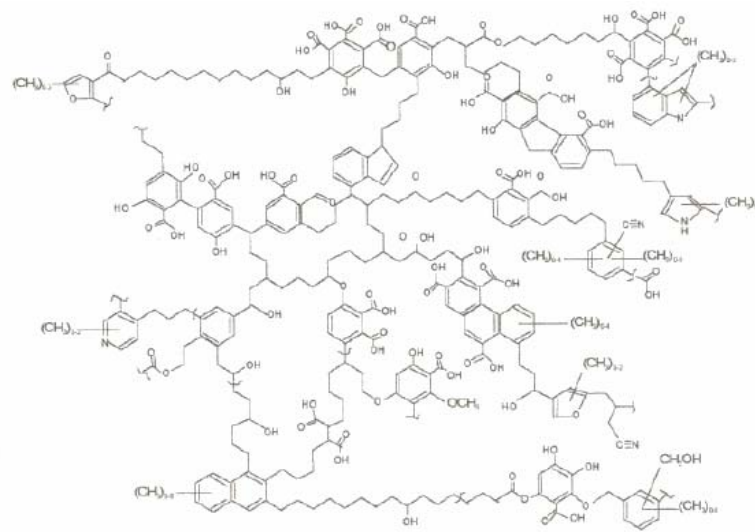


FIGURA 6. Estrutura proposta para os ácidos húmicos.  
 Fonte: EMEPA Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária da Paraíba S/A<sup>39</sup>

Cargas negativas, as quais podem ser originadas por substituição isomórfica, também podem ser encontradas, um exemplo é mostrado na figura 7. Cada substituição resulta em uma valência (carga) negativa livre não atendida. Este tipo de formação de carga é dita permanente uma vez que não depende do pH do solo para ocorrerem e, portanto estão sempre operantes<sup>37,39</sup>.

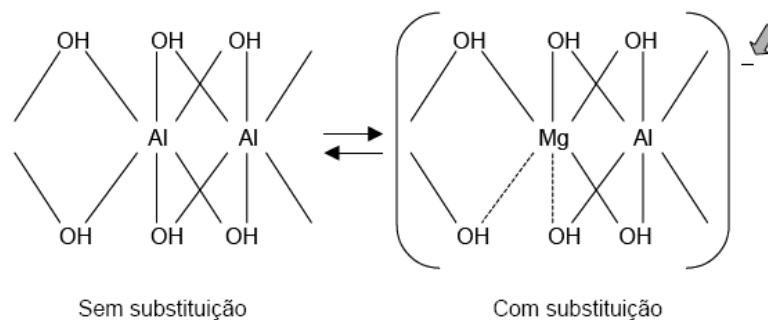


FIGURA 7. Exemplo de formação de cargas negativas por substituição do  $Al^{3+}$  por  $Mg^{2+}$  no octaedro de uma argila montmorilonita.  
 Fonte: Boletim Técnico n° 2- Análise do Solo<sup>37</sup>.

Outro modo seria através da dissociação do grupo hidroxila. A presença do grupo OH nas bordas de um cristal de argila ou da matéria orgânica pode levar à dissociação de H<sup>+</sup>, havendo a formação de uma carga elétrica negativa (Fig.8).

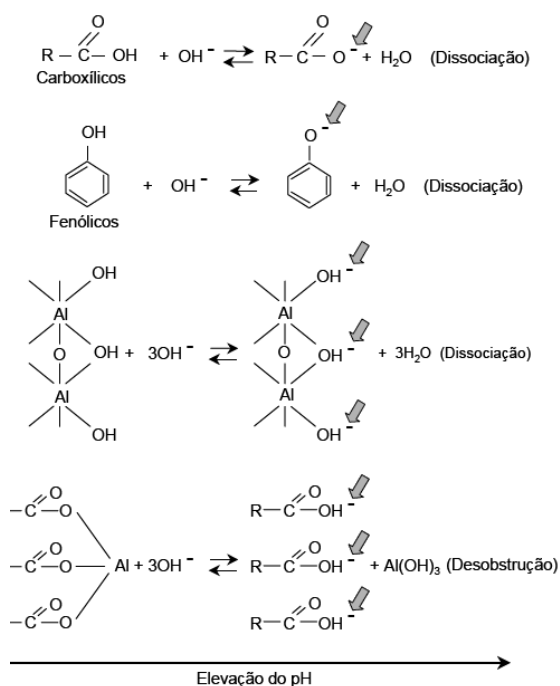


FIGURA 8. Formação de cargas negativas pela elevação do pH, nos radicais carboxílicos e fenólicos da matéria orgânica, nos sesquióxidos e em complexos orgânicos.

Fonte: adaptado de Boletim Técnico n° 2- Análise do Solo<sup>37</sup>.

Já quando há protonação das hidroxilas dos óxidos e hidróxidos de Fe e Al, em condições de pH extremamente baixo há formação de cargas positivas (Fig. 9). Cargas formadas desse modo são ditas dependentes do pH do meio<sup>37,39</sup>.

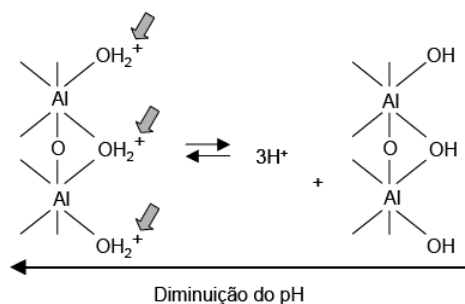


FIGURA 9. Formação de cargas positivas pela protonação das hidroxilas (OH) com a diminuição do pH.

Fonte: Boletim Técnico n° 2- Análise do Solo<sup>37</sup>.

Mesmo em solos que apresentarem um teor considerável de cargas elétricas positivas, a presença da matéria orgânica, cuja quase totalidade é formada por cargas negativas e dependem do pH, leva a um balanço final de cargas negativas nas camadas superiores<sup>37</sup>.

Isto não elimina a possibilidade de ocorrer em certos solos uma predominância de cargas positivas<sup>37</sup>.

Devido ao alto teor de oxigênio encontrado na estrutura das substâncias húmicas elas têm excepcional capacidade para ligar-se e reter cátions, principalmente metais pesados. Podendo também, devido aos grupos presentes na sua estrutura ligar-se a alguns ânions<sup>38, 39</sup>. O mesmo pode ser relacionado às outras cargas formadas no solo, como, por exemplo, as provenientes dos minerais argilosos presentes que, por sua vez possuem na sua maioria cargas negativas sendo bons retentores de cátions.

A preocupação com a retenção de espécies metálicas no solo se justifica devido ao fato de não serem degradáveis em altas concentrações e permanecerem no solo e sedimentos por longos períodos ou serem recolocados no meio devido a transformações químicas e alterações nas condições ambientais<sup>40,41,42</sup>, bem como infiltrar para camadas inferiores com sérias conseqüências ambientais<sup>40</sup>.

Outros elementos que podem atingir concentrações poluidoras no solo e na água são o N, K e P, pois quando presentes em quantidades maiores do que as plantas podem absorver, ou as necessárias ao bom funcionamento dos microrganismos acabam por infiltrar, não sendo considerados necessariamente problemas sérios para o solo, mas sim para mananciais<sup>40</sup> podendo causar eutrofização<sup>8,40,42,43,44,45,46</sup>.

Segundo Roberto Novais<sup>40</sup>: “Além dos impactos no funcionamento e biodiversidade do ecossistema, a contaminação do solo é uma ameaça direta ou indireta à saúde pública, necessitando de ações remediadoras. Geralmente, em ambientes contaminados não ocorre

revegetação espontânea, necessitando de ações que vão desde ações de recomposição do solo até recomposição da flora do local, procurando uma melhoria estética e estabilização da área degradada”.

#### 1.1.7 Contaminação da água

Um curso de água é considerado contaminado quando alguma substância está presente em concentrações acima das naturais, e poluído quando há alteração de alguma qualidade ambiental para a qual a comunidade exposta é incapaz de neutralizar os efeitos negativos, sendo algum tipo de risco identificado<sup>8</sup>.

Quando presentes no meio ambiente as substâncias estão sujeitas a vários processos os quais podem influenciar no seu destino e comportamento. Para avaliar a persistência de um contaminante é necessário verificar as transformações que esse pode sofrer<sup>44</sup>.

Além desse fato, há a questão da diversidade de substâncias presentes nos resíduos. Isto faz com que haja uma grande quantidade de compostos químicos e materiais orgânicos presentes no meio, e que podem infiltrar no solo caso esse não possua sistema impermeabilizante, o que os torna um contaminante em potencial de cursos de águas superficiais e subterrâneas uma vez em contato com as mesmas<sup>11,3,44,47</sup>.

Segundo André Luciano<sup>47</sup>: “Apesar do poluente sofrer uma diluição em contato com águas superficiais ou subterrâneas, o que leve a uma diluição uma vez que estará misturado a uma maior quantidade de água, a quantidade total de poluente no sistema de água não diminuirá. Se algum tempo depois for detectado que o poluente é prejudicial para a qualidade da água a sua

dispersão sobre uma grande área pode tornar impraticável a recuperação dessa água por ação remediadora”.

#### 1.1.8 Espécies metálicas.

Atualmente a definição de metais pesados está relacionada à saúde pública, na qual metais pesados são aqueles que possuem efeitos adversos à saúde humana<sup>33</sup>, como efeito acumulativo no organismo, toxicidade, poluentes do ar, água, solo, plantas e alimentos<sup>40,41</sup>.

Alguns metais são essenciais ao organismo em pequenas quantidades, porém, em altas concentrações podem tornar-se perigosos ou mesmo tóxicos aos organismos vivos<sup>33,48</sup>.

A sua presença no meio aquático em concentrações elevadas causa a mortalidade de peixes e seres fotossintetizantes<sup>38</sup>, no solo podem causar toxidez para as plantas e organismos presentes, reduzir sua fertilidade e o desenvolvimento das plantas<sup>38,40</sup>.

A intoxicação nos seres humanos seria a manifestação (clínica e/ou laboratorial) de efeitos adversos que resultam em um estado patológico ocasionado pela interação de um “toxicante”, isto é, de um agente químico com o organismo. Os agentes tóxicos seriam, portanto, substâncias químicas que rompem o equilíbrio orgânico<sup>41</sup>, assim algumas substâncias metálicas uma vez em contato com organismo humano pode causar inúmeras doenças, deficiências e até mesmo a morte<sup>38,40,49</sup>.

As espécies metálicas podem atingir o solo por meio de diversas rotas. A maioria do material a ser decomposto, como restos de alimentos, é relativamente ausente desse material, porém, sua contaminação ocorre através da mistura (durante a estocagem, transporte e compostagem propriamente dita) com outros resíduos ricos nesses metais.



São dois os mecanismos principais de contaminação da matéria orgânica: a contaminação direta, por adesão de partículas de pequeno diâmetro de óxidos metálicos, cinzas e limalhas à matéria orgânica úmida e a contaminação por lixiviação de íons metálicos da fração inorgânica para a orgânica<sup>27,50</sup>.

Assim a presença de espécies metálicas nos detritos é devido a sua utilização em produtos de uso doméstico como: pilhas, baterias, jornais, tintas, tecidos, têxtil, enlatados, entre outros.

Porém, a grande quantidade está presente nos resíduos industriais. Rejeitos com altas concentrações de diversos metais são gerados nas indústrias, especialmente na metalúrgica, na indústria de tintas, pigmentos, de artefatos galvanizados e outras. Esses materiais podem ser dispostos em lixões ou aterros e, uma vez sofrendo transformações químicas, podem ser biodisponibilizados no meio<sup>40</sup>.

Uma vez que isso ocorre, as espécies metálicas podem interagir com os materiais presentes no solo e sedimentos como argilas e substâncias húmicas, sendo por eles retidos<sup>37</sup>.

A interação do íon metálico com o solo pode ocorrer de algumas formas, entre elas adsorção e ligações químicas. A presença de cargas elétricas na estrutura das substâncias húmicas lhe permite formar ligações de hidrogênio com as águas de hidratação do cátion metálico, bem como interações eletrostáticas mais fracas como forças de Van der Waals<sup>33</sup>.

A capacidade de complexação pelos ácidos húmicos está ligada ao teor de oxigênio encontrado na sua estrutura<sup>33,51</sup>. Em relação aos argilominerais a formação das cargas negativas e conseqüentemente, a interação com o íon metálico, ocorre por substituição isomórfica dos seus óxidos de ferro e alumínio ou pela dissociação do grupo hidroxila existente na superfície dos mesmos<sup>37,51</sup>.

Portanto, a absorção de espécies metálicas irá depender da quantidade e disponibilidade das substâncias húmicas e argilominerais presentes no solo, bem como da saturação das cargas negativas presentes<sup>51</sup>.

Outro fator importante para a sua retenção é a capacidade de troca catiônica (CTC) do mesmo. A CTC está relacionada as concentrações dos íons trocáveis presentes na solução do solo e aos sítios de troca nas interfaces coloidais do sistema<sup>42,51,52</sup>.

A fixação das espécies metálicas com o solo e sedimentos não é, contudo, permanente podendo esses ser recolocados novamente no meio, devido a alterações nas condições ambientais<sup>36</sup>, sendo então infiltrados no solo como material solúvel do lixiviado.

A concentração e a forma presentes no lixiviado também variam de acordo com a fase de decomposição do lixo<sup>27,33</sup>. Durante hidrólise e acidogênese, há uma tendência de solubilização, no instante que eles são liberados da fração sólida e incorporados ao lixiviado.

Ao longo da acetogênese há uma tendência de aumento da concentração de metais no meio, em função da lixiviação microbiana e da acidez. Neste período, essas substâncias conferem maior periculosidade, se forem liberadas para o meio ambiente.

Na fase metanogênica há um declínio brusco da concentração de metais em função da precipitação química decorrente da capacidade de tamponamento do meio. Neste momento inicia-se a formação de hidróxidos, fazendo com que os metais sejam menos solúveis e, portanto, menos perigosos<sup>27</sup>.

As espécies metálicas determinadas neste trabalho são: Ag, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn.

Cada espécie metálica possui suas particularidades tanto no que diz respeito a seus limites de periculosidade, como ação tóxica ao organismo e necessidades biológicas.

**Cádmio (Cd)**: O cádmio se encontra nos seres vivos, animais e vegetais, nos alimentos e na atmosfera de centros industrializados. A sua concentração na água, solo, ar e alimentos varia consideravelmente, dependendo dos depósitos naturais e poluição ambiental<sup>52</sup>. O cádmio tem mais mobilidade em ambientes aquáticos do que a maioria dos outros metais. É bioacumulativo e persistente no meio ambiente (10-30 anos). Quando presente em uma forma biodisponível, sabe-se que tanto organismos aquáticos quanto terrestres bioacumulam o cádmio<sup>42</sup>. Não apresenta função biológica essencial, sendo altamente tóxico para plantas e animais<sup>42</sup>.

Existem muitas aplicações para o cádmio na tecnologia moderna, sendo usado para: fabricação de pigmentos<sup>40,49</sup>; galvanoplastia<sup>33,40,42,53,54</sup>; ligas para cobertura de extintores automáticos<sup>40,55</sup>; baterias de níquel e cádmio<sup>2,40,42,49,54,55</sup>, em células fotovoltaicas<sup>49</sup>; lâmpadas a vapor de cádmio<sup>33,49,55</sup>; proteção de ferro contra oxidação (proteção de metais - emprego de recipientes para conservação de alimentos)<sup>54</sup>; pilhas<sup>2</sup>; tubos de televisão<sup>33,54</sup>; extintores automáticos e tampas de segurança de caldeiras, por apresentar ponto de fusão muito baixo<sup>40,55</sup>; indústrias de automóveis e aviões, em cerâmica e fotografia; pigmentos e estabilizador de plásticos polivinílicos<sup>33,40,42,54</sup>; fabricação de ligas, varetas para soldagem<sup>42,54</sup>; esmalte e tinturas têxteis<sup>42,54</sup>; fabricação de semicondutores, células solares<sup>54</sup>; radiadores<sup>40</sup>.

**Chumbo (Pb)**: O chumbo é um elemento de ocorrência natural, amplamente utilizado há milhares de anos. Atualmente, é um dos contaminantes mais comuns do ambiente, devido às inúmeras atividades industriais que favorecem a sua grande distribuição. No entanto, este metal não possui nenhuma função fisiológica conhecida no organismo, e seus efeitos tóxicos sobre os homens e animais já são conhecidos há muito tempo por afetarem praticamente todos os órgãos e sistemas do corpo humano<sup>56</sup>.

A contaminação do solo pode advir de forma natural ou geológica (ocorre naturalmente como o sulfeto mineral galena, o carbonato cerusita e o sulfato anglesita)<sup>8</sup>, ou pode decorrer das atividades exercidas pelo homem<sup>33,49</sup>.

Quando o chumbo é lançado ao meio ambiente, possui um longo tempo de residência comparado a maioria dos outros metais. Como resultado, ele tende a acumular-se em solos e sedimentos, onde, devido à baixa solubilidade, pode permanecer acessível à cadeia alimentar e ao metabolismo humano por muito tempo<sup>42</sup>. Os efeitos do chumbo na saúde humana dependem da intensidade e duração da exposição. Dependendo do nível de exposição pode resultar em uma série de efeitos<sup>41,49,56</sup>. Possui efeito acumulativo no organismo, provocando uma doença crônica chamada saturnismo (envenenamento) que consiste em um efeito sobre o sistema nervoso central<sup>33,41,53,55</sup>.

É utilizado em baterias eletroquímicas<sup>2,54,55</sup>; aditivo antidetonante da gasolina (no Brasil substituído pelo álcool)<sup>55</sup>; indústria química, automobilística<sup>55</sup>, ligas metálicas, soldas<sup>42,55</sup>, tratamento de fios metálicos, louças de barro impropriamente vidradas<sup>55</sup>; tintas<sup>33,42,49,54,55</sup> corantes<sup>54</sup>; pilhas<sup>2</sup>; produção de cerâmica<sup>54</sup>, indústria gráfica<sup>33,49</sup>; indústria extrativa, petrolífera<sup>49,54</sup>, tubulações<sup>42,54</sup> e munições<sup>54</sup>; presentes em bebidas e alimentos naturalmente ou por contaminação de embalagen<sup>53</sup>; podem ser incorporados ao cristal na fabricação de copos, jarras e outros utensílios<sup>55</sup>, favorecendo seu brilho e durabilidade. Assim pode ser incorporado aos alimentos durante o processo de industrialização ou no preparo doméstico<sup>54</sup>; presente na água devido a descargas de efluentes industriais, bem como ao uso indevido de tintas, tubulações e acessórios a base de chumbo<sup>42,53</sup>.

Os estudos com animais de laboratório, indicam que o chumbo inorgânico, quando administrado em doses oras elevadas, pode promover o aparecimento de tumores em diversos locais, especialmente nos rins<sup>49</sup>.

O chumbo é, também, tóxico para toda a biota aquática, e, embora não seja considerado um dos metais de maior mobilidade no meio ambiente, há evidências consideráveis mostrando a biodisponibilidade de chumbo associado a sedimentos para espécies que se alimentam de depósitos<sup>42</sup>.

**Cobre (Cu)**: O cobre é essencial aos animais e vegetais<sup>33,42,53,55</sup>, como por exemplo catalisando a assimilação do ferro e seu aproveitamento na síntese da hemoglobina do sangue, facilitando a cura de anemias<sup>53</sup>.

Possui aplicação como material condutor (fios e cabos), destinação de aproximadamente 45% do consumo anual de cobre<sup>40,42,57</sup>. Também é utilizado como: tubos de condensadores e encanamentos<sup>42</sup>; pigmentos<sup>40,57</sup>; pesticidas<sup>57</sup>; em circuitos integrados<sup>42,57</sup>; corantes<sup>57</sup>; cunhagem de moedas (com o níquel)<sup>42</sup>; em ligas com zinco (latão)<sup>42</sup>, estanho (bronzes)<sup>42</sup> e prata (jóias)<sup>42</sup>; baterias<sup>40</sup>.

**Cromo (Cr)**: É considerado um elemento essencial ao organismo humano<sup>33,49</sup>. O cromo ocorre na natureza principalmente como cromita no estado trivalente<sup>49</sup>.

Embora existam muitos estados de oxidação do cromo na natureza, apenas as formas trivalente (octaédrica) e hexavalente (tetraédrica) são consideradas de importância biológica. Enquanto o cromo (III) é um elemento traço essencial em animais, o cromo (VI) é não-essencial e tóxico, mesmo em baixas concentrações<sup>26,42</sup>.

Os principais usos industriais do cromo estão relacionados com a resistência à corrosão<sup>49</sup>, sendo empregado em: ligas metálicas acidorresistentes<sup>33,40,49,53,54</sup>; tintas anticorrosivas<sup>49</sup>; operações de cromagem (ácido crômico)<sup>49</sup>; na impregnação de madeiras (sais diversos)<sup>49</sup>; metalurgia<sup>33,49</sup>; construção e fabricação de tijolos e refratários<sup>33</sup>; indústria de tintas e vernizes<sup>54</sup>; galvanoplastias, onde a cromeação é um dos revestimentos de peças mais comuns<sup>40,53,54</sup>; pode ocorrer como contaminante de águas sujeitas a lançamentos de efluentes de curtumes<sup>54</sup> e de circulação de águas de refrigeração, onde é utilizado para o controle da corrosão<sup>53</sup>; indústria fotográfica e de vidros<sup>33</sup>; soldagens<sup>54</sup>; produção de cromatos, dicromatos<sup>54</sup>; pigmentos<sup>40,54</sup>.

O cromo pode ser introduzido no organismo por via oral, dérmica ou pulmonar e sua absorção é dependente do seu estado de oxidação de sua concentração e do tempo de contato<sup>49,54</sup>.

**Ferro (Fe):** Entre os nutrientes catiônicos, o ferro é o mais abundante no solo, sendo, aliás, um dos principais constituintes desse, é encontrado fazendo parte da composição de diversos minerais, entre eles muitos óxidos<sup>58</sup>.

O ferro é o metal mais usado, com 95% em peso da produção mundial de metal. É indispensável devido ao seu baixo preço e dureza, especialmente empregado em automóveis, barcos e componentes estruturais de edifícios<sup>58</sup>; produção de aço, ligas metélica<sup>58</sup>; tintas<sup>58</sup>; aplicações magnéticas<sup>58</sup>;

**Manganês (Mn)**: O manganês está presente em solos como parte da estrutura cristalina de minerais, na forma de óxidos hidratados de baixa solubilidade, ligado à matéria orgânica, nas formas trocáveis e em solução<sup>41,42</sup>.

Possui aplicação em fábricas de vidro<sup>54</sup>; pinturas<sup>54</sup>; cerâmicas<sup>54</sup>; agricultura<sup>31,49,54</sup>; pilhas secas<sup>2,33,49,54</sup>; eletrodos para solda<sup>33,49,54</sup>; baterias<sup>2</sup>; ligas com o níquel e o cobre empregadas na indústria elétrica<sup>49</sup>; na indústria de fertilizantes e fungicidas<sup>33,49,54</sup>; materiais elétricos<sup>54</sup>; produtos farmacêuticos<sup>54</sup>.

**Níquel (Ni)**: Alguns experimentos têm demonstrado que esse é um elemento essencial para os animais, mas a injeção crônica de Ni<sup>+2</sup> pode causar degeneração do coração e de outros tecidos, além de proporcionar o desenvolvimento de câncer<sup>42</sup>.

O níquel é utilizado na fabricação de aço inoxidável<sup>40,42</sup>; superligas de níquel<sup>42</sup>; outras ligas metálicas<sup>40,42</sup>; baterias recarregáveis<sup>2,40,42</sup>; reações de catálise<sup>42</sup>; cunhagens de moedas<sup>42</sup>; fundição<sup>42</sup>; pigmentos<sup>40</sup>; galvanoplastia<sup>40,53</sup>.

**Prata (Ag)**: Os compostos de prata são absorvidos pelo corpo e permanecem no sangue até se depositarem nas membranas mucosas, formando uma película acinzentada<sup>53</sup>.

Possuem aplicações como adstringente<sup>53</sup>; anti-séptico<sup>53</sup>; baterias, pilhas<sup>2</sup>; galvanoplastia<sup>53</sup>; fotografia<sup>53</sup>.

**Zinco (Zn)**: O zinco é um elemento essencial aos seres vivos<sup>33,42</sup>. No entanto, se plantas e

animais são expostos a concentrações elevadas de zinco biodisponível, pode ocorrer bioacumulação, com possíveis efeitos tóxicos<sup>42</sup>.

Possui aplicação em produtos farmacêuticos<sup>33</sup>; fabricações de ligas<sup>40</sup>; galvanização<sup>33,40,53</sup>; baterias<sup>2,40</sup>; cosméticos<sup>33</sup>; inseticidas<sup>33</sup>; na produção de pilhas secas<sup>2,33,40</sup>; como pigmento para tinta na cor branca<sup>33,40</sup>; fios elétricos<sup>33</sup>.

É de grande importância a comparação dos teores de metais encontrados no solo com parâmetros de referência a fim de verificar uma possível contaminação ou poluição do mesmo.

Porém, conforme afirma Francisco Fadigas<sup>54</sup>: “Para se avaliar a extensão da poluição de uma área, é comum comparar os teores totais de metais pesados encontrados em um solo com aqueles defrontados em condições naturais (não poluído) ou com valores de referência (padrões); todavia, no Brasil ainda não foi elaborado um sistema contendo padrões de referência de metais pesados no solo”.

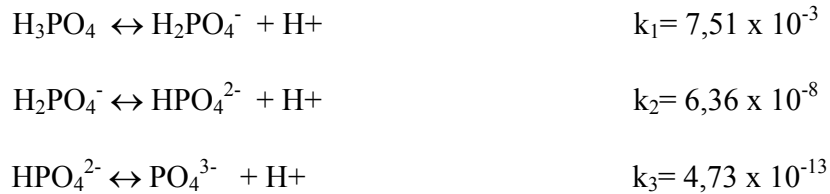
O IAP de Ponta Grossa, para avaliação dos valores de metais utiliza os indicados pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB)<sup>60</sup> do estado de São Paulo.

#### 1.1.9 Fosfato

O fósforo orgânico provém da decomposição de resíduos vegetais e animais. A matéria orgânica é fonte de fósforo pelo processo de decomposição de tecidos orgânicos, quando na fase de mineralização o fósforo presente é liberado para o solo. Outras fontes orgânicas seriam os ossos, que podem apresentar em média 30% de fósforo na sua constituição<sup>42</sup>.

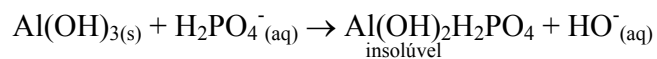
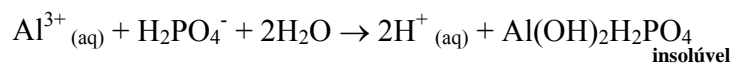


No solo sua forma disponível pode variar de acordo com o pH e teor de argila<sup>42,63</sup>. O  $\text{H}_3\text{PO}_4$  apenas está presente em solução em pH baixo. Este ácido e seus íons se dissociam do seguinte modo<sup>42</sup>:

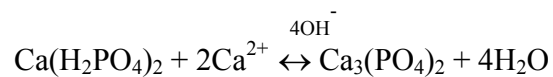


Solos com pH entre 5 e 7 possuem predominantemente o íon  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  o qual pode<sup>36,64</sup>:

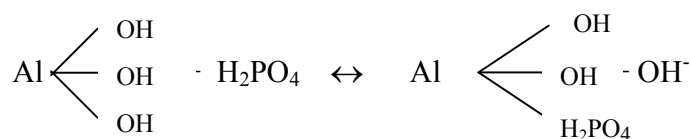
- *Formar precipitados com: Fe, Al, Mn ou Ca:*



Em solos ácidos a presença de  $\text{Al}^{3+}$  pode levar a precipitação de fosfato de alumínio<sup>36,61</sup> ou haver combinações com Fe. Já nos neutros aparecem fosfatos de Ca de baixa solubilidade<sup>61</sup>.

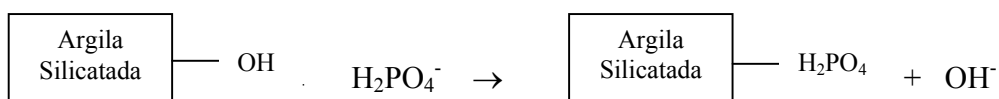


- *Reagir com óxidos hidratados*: devido a grande quantidade de óxidos hidratados de Fe, Al, Ti, Mn, etc. em solos ácidos os íons fosfatos podem ficar retidos em suas superfícies provavelmente na forma de fosfatos básicos desses metais.



Solos ricos em óxidos hidratados, sobretudo em Fe e Al, fixam fósforo em grandes quantidades.

- *Ser adsorvidos por argilas*: Argilas silicatadas fixam o fósforo por substituição de grupos OH<sup>-</sup> da superfície.



- *Substituição de hidroxilas da superfície da caulinita por tetraedros de fosfato*: sendo esse fenômeno mais intenso em valores menores de pH, pois há uma maior dissociação das hidroxilas.

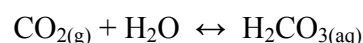
O fósforo tem como principal função a de nutrição, sendo essencial para o crescimento das plantas e microrganismos<sup>43</sup>. Porém, em excesso em lagos e águas com baixa correnteza pode

ser prejudicial, causando supernutrição<sup>44,45</sup>. Essa supernutrição é a responsável pelo fenômeno chamado eutrofização<sup>43,44,47</sup>.

#### 1.1.10 Nitrogênio

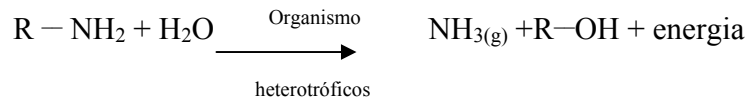
O nitrogênio é um macro elemento vital para a vida por se tratar de um dos principais componentes dos aminoácidos formadores das proteínas<sup>8</sup>. A matéria orgânica (MO) é uma importante fonte desse nutriente para o solo, devido a isso o seu teor está associado aos detritos orgânicos, de origem animal ou vegetal que ao serem decompostos liberam nitrogênio para o solo<sup>36</sup>.

Sua lixiviação se dá principalmente na forma de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), devido a carga negativa<sup>36,43</sup>. A decomposição da MO em compostos contendo nitrogênio acontece, em síntese, da seguinte forma<sup>36</sup>:

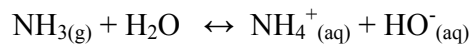
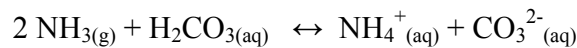


A MO, possuindo proteínas, é transformada em aminas ( $\text{R}-\text{NH}_2$ ) e outros compostos, entre eles  $\text{CO}_2$ , o qual será perdido em sua maioria para a atmosfera.

Quando o meio apresenta umidade adequada, as aminas em presença de microrganismos heterotróficos produzem  $\text{NH}_3(\text{gás})$ , sendo uma parte perdida para a atmosfera. Devido a esse fator é comum em lugares com acúmulo de resíduos sentir o cheiro de amônia:



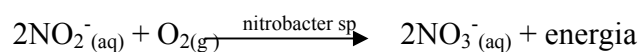
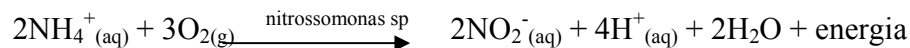
Parte da  $\text{NH}_3$  formada, quando na presença de  $\text{H}_2\text{CO}_3$  produz carbonato de amônio, o qual se apresenta solubilizado na solução do solo na forma de amônio e carbonato, o qual pode sofrer hidrólise por ser um ânion de ácido fraco ( $\text{H}_2\text{CO}_3(\text{aq})$ ):



O íon amônio formado pode suprir a necessidade de nitrogênio das plantas, esta forma de íon está protegida da lixiviação devido sua carga positiva, o que lhe permite ficar adsorvido nos colóides do solo nas cargas dependentes do pH, e dessa forma em equilíbrio e disponível para as plantas.

Porém, devido a processos que envolvem bactérias, pode ser facilmente transformado em nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) com liberação de  $4\text{H}^+$  acidificantes para o meio.

O nitrito formado é altamente tóxico para as plantas, porém, este transforma-se rapidamente em  $\text{NO}_3^-$  na presença de  $\text{O}_2$ , sendo, portanto esta última a forma predominante<sup>36,43</sup>:



A ingestão de bebidas e alimentos contendo  $\text{NO}_3^-$  pode causar sérios problemas de saúde para seres humanos e animais, principalmente para crianças com até três meses de idade.

É pouco tóxico para mamíferos sendo rapidamente absorvido e excretado, porém, em animais e em crianças é reduzido por bactérias gastrointestinais em nitrito, este quando presente na corrente sanguínea reage com a hemoglobina produzindo a metahemoglobina, a qual não é capaz de transportar  $\text{O}_2$ , diminuindo a concentração desse elemento no sangue.

Os sintomas aparecem quando cerca de 10% da hemoglobina já foi convertida em metahemoglobina e, em geral, a morte ocorre quando esse número aumenta para 50 a 75%<sup>43</sup>.

O nitrogênio é um dos elementos responsáveis pela supernutrição em lagos e córregos por se tratar de um nutriente muito importante, sendo assim em excesso também contribui para a formação do fenômeno de eutrofização<sup>43,44,46,47</sup>.

A maioria dos solos apresenta teores entre 0,02 e 0,4% de nitrogênio na camada arável do solo<sup>64</sup>.

#### 1.1.11 Potássio

Encontra-se no solo na forma iônica,  $\text{K}^+$ , em solução e como cátion trocável<sup>61</sup>. O  $\text{K}^+$  que se encontra adsorvido nos colóides do solo é chamado potássio trocável, e pode ser removido por soluções de sais neutros em tempo relativamente curto<sup>64</sup>.

Solos com baixa CTC perdem  $\text{K}^+$  com relativa facilidade, fazendo com que haja infiltração no mesmo<sup>64</sup>.

Assim como o nitrogênio e o fósforo, o potássio é um importante nutriente, contribuindo também, quando presente em excesso nas águas, para a supernutrição e conseqüentemente para a eutrofização<sup>43,44,64</sup>.

#### 1.1.12 Eutrofização

O nitrogênio, o potássio e o fósforo constituem o chamado grupo nobre de adubação, sendo de grande importância para o desenvolvimento de plantas e microrganismos<sup>64</sup>.

Todavia, quando presentes em excesso em lagos, córregos ou águas de baixa correnteza provocam um excesso de nutrientes, levando a uma supernutrição no local. O excesso de nutrientes na água é o responsável pela formação da eutrofização<sup>43,44,45,46</sup>. Portanto, a eutrofização é caracterizada como o fenômeno no qual há uma multiplicação excessiva de cianobactérias, algas verde azuladas que efetuam fotossíntese, isto faz com que a superfície da água fique toda recoberta por microrganismos impedindo que a luz solar atravesse, fazendo com que as algas da parte inferior morram<sup>44</sup>.

O aumento de material orgânico para ser decomposto pelas bactérias aeróbias presentes diminui a quantidade de O<sub>2</sub> do meio, utilizado para transformar o material orgânico complexo em outros mais simples, como CO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>. Ocorrendo um aumento da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) do meio, haverá, conseqüentemente, uma diminuição do O<sub>2</sub> presente, as vezes ao ponto de outros animais aquáticos do meio como os peixes, morrerem<sup>44,45</sup>.

Quando os valores de O<sub>2</sub> presente caem a valores muito baixos começa então o processo de decomposição anaeróbia, essas bactérias fazem a redução da MO transformando-a em materiais fétidos como H<sub>2</sub>S, CH<sub>3</sub>SH e aminas<sup>44,45,46</sup>.

Para precaver a manifestação excessiva de algas deve haver o gerenciamento do nutriente essencial para o seu crescimento. Assim, geralmente, o fósforo é considerado como o nutriente de maior preocupação no controle da eutrofização, uma vez que esse não é encontrado em grandes concentrações em águas naturais, e algumas algas podem fixar o nitrogênio atmosférico se acaso houver insuficiência deste na água<sup>65</sup>.

A maior preocupação com a eutrofização é quando as espécies envolvidas liberam toxinas à água, podendo causar a morte de peixes e até mesmo de dos seres humanos, como no caso do acidente ocorrido com pacientes de hemodiálise em Caruaru em Pernambuco entre 7 e 13 de fevereiro de 1996<sup>44,66</sup>.

### 1.1.13 Capacidade de troca catiônica (CTC)

Entende-se por troca iônica do solo os processos reversíveis, ou temporariamente irreversíveis, pelos quais as partículas sólidas do solo, minerais, MO, argila, absorvem os íons da fase aquosa e ao mesmo tempo liberam quantidades equivalentes de outros íons de mesma carga e estabelecem o equilíbrio entre as fases<sup>36</sup>.

Os colóides do solo podem apresentar cargas elétricas negativas e/ou positivas, dependendo da quantidade de argila, MO presentes e da sua rocha de origem.

Porém, mesmo em solos que apresentam um teor considerável de cargas elétricas positivas, a presença da MO, cuja quase totalidade é formada por cargas negativas leva a um

balanço final de negativo nas camadas superiores do solo. Isto significa que o solo pode atrair e reter preferencialmente íons com cargas positivas (troca catiônica), do que negativas (troca aniônica)<sup>37</sup>.

Cátions retidos (adsorvidos) nos colóides podem ser substituídos por outros em quantidades equivalentes, isto, em termos práticos, significa que eles são trocáveis; a quantidade total que pode ser retida em um solo é conhecida como CTC<sup>37,53</sup> e, quanto maior a CTC do solo, maior o número de cátions que este solo pode reter.

Solos com valores de CTC maiores que 5 cmol<sub>c</sub>/kg possuem uma alta capacidade de troca<sup>53</sup>. O poder de retenção pode ser afetado pelo teor de argila e MO presentes. Quanto maior a quantidade desses mais altos os valores de CTC encontrados<sup>36</sup>.

Seu estudo é de grande importância na verificação da capacidade de retenção e permuta de elementos percolados nos diferentes pontos do solo estudado, bem como sua maior ou menor lixiviação pelo mesmo.

#### 1.1.14 Porcentagem de saturação de bases

A soma dos teores de cátions presentes na forma trocável de um solo é denominada como soma das bases trocáveis, esta por sua vez indica o número de cargas negativas dos colóides que está ocupado por cátions. A soma destes, em comparação com a CTC efetiva, permite calcular a porcentagem de saturação de bases<sup>37,64</sup>.

O cálculo da porcentagem de saturação de bases reflete quantos por cento dos pontos de troca de cátions potencial do complexo coloidal do solo estão ocupados<sup>37,62</sup>.



#### 1.1.15 Oxigênio consumido (OC)

Existem dois modos de verificar, indiretamente, a quantidade de material orgânico em águas através de agentes químico: a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DQO) e o Oxigênio Consumido (OC)<sup>67,68,70</sup>.

Segundo Carlos Pereira<sup>70</sup>: “A oxidação de uma amostra utilizando o permanganato de potássio em meio ácido, como agente oxidante, tem sido empregada há bastante tempo na determinação indireta da quantidade de matéria, sendo o seu resultado expresso em termos de oxigênio consumido, que reflete uma Demanda Química de Oxigênio”.

Portanto, o método de quantificação de material orgânico utilizando permanganato de potássio é chamado de oxigênio consumido<sup>68,71</sup>. Esta técnica possui, quimicamente, o mesmo significado que a DQO, sendo essa um indicador da MO<sup>68,71</sup>.

A adição em excesso de MO na água acaba por consumir uma grande quantidade de O<sub>2</sub> durante sua oxidação por microrganismos. Este fato, além de provocar odores desagradáveis, pode comprometer a vida aquática devido ao decréscimo na quantidade de O<sub>2</sub> do local.

#### 1.1.16 Oxigênio dissolvido (OD)

O oxigênio é um elemento essencial aos seres vivos, ele entra na água via difusão na superfície, bem como via processos fotossintéticos, e vai sendo consumido para a sobrevivência de organismos aquáticos e nos processos de oxidação da MO onde é utilizado como acceptor de elétrons<sup>36</sup>.

Apesar da MO de origem biológica ser a substância mais habitualmente oxidada pelo oxigênio dissolvido também ocorre a oxidação da amônia e do íon amônio, o que também consome grandes quantidades<sup>26</sup>.

Para manter a vida em ambientes aquáticos é fundamental o adequado fornecimento de O<sub>2</sub>. Se esse é consumido pela oxidação de grande quantidade de MO presente no meio e não há reposição do mesmo o ambiente é prejudicado. Valores abaixo de 5 mg/L de O<sub>2</sub> já podem causar mortalidade de peixes<sup>26</sup>.

#### 1.1.17 Matéria orgânica (MO)

No solo, além de argila e óxidos metálicos, existe outro componente coloidal: A Matéria Orgânica<sup>72</sup> esta inclui todos os compostos orgânicos, exceto os materiais não decompostos e os organismos vivos (biomassa)<sup>72,73</sup>.

Durante a decomposição de plantas e animais no solo há formação de substâncias húmicas, polímeros naturais largamente insolúveis em água, essas possuem alta capacidade de transporte, biodisponibilidade e complexação de nutrientes e metais no solo devido ao alto teor de oxigênio encontrado na sua estrutura garantindo-lhes uma excepcional capacidade para reter cátions<sup>26,39,74</sup>.

Além de exercer grande influência nos principais mecanismos de atenuação de poluentes no solo, a MO pode ajudar no seu aquecimento, no suprimento de nutriente para as plantas, na CTC do solo e permitir troca de gases. Também está presente no chorume e tem importância na complexação e transporte de metais pesados e na retenção de alguns contaminantes orgânicos<sup>74</sup>.

A presença de MO no solo, que sofrem influência de lixiviado, em concentrações mais elevadas do que os presentes em solos naturais evidencia que o solo está sofrendo contaminação<sup>74</sup>, podendo isto ocorrer em diferentes profundidades.

A MO presente na solução do solo, sob a influência de processos físicos, químicos, e biológicos pode transferir poluentes nele adsorvido para o lixiviado aumentando a concentração de constituintes presentes no mesmo. Assim, os poluentes podem ser novamente colocados no meio, podendo atingir camadas mais profundas do solo e até mesmo águas subterrâneas<sup>1,3</sup>.

#### 1.1.18 Relação carbono: nitrogênio (C: N)

Quando os resíduos orgânicos atingem o solo, a decomposição é iniciada pelos microrganismos, caso as condições o permitirem. Eles necessitam de C e N para continuar seu desempenho na decomposição<sup>64</sup>.

O Carbono representa a fonte de energia disponível necessário para ativação do processo de síntese celular e para oxidação e o Nitrogênio, o material básico para a constituição da matéria celular sintética<sup>27,64</sup>.

Se o quociente C: N for demasiadamente elevado, haverá abundância de C, porém, insuficiência de N, os microrganismos não terão esses elementos em proporção adequada para sintetizar estruturas básicas da própria célula, e o processo de decomposição tende a ser lento. Por outro lado, se a quantidade de N for grande em relação à quantidade de C, pode-se observar uma excessiva solubilidade do N e sua conseqüente perda na forma de  $\text{NH}_3$ <sup>20,64</sup>.

Quando a relação C/N é maior que 30, indica que a decomposição é lenta; quando é menor que 30 e maior que 20, a decomposição é satisfatória. Sendo a relação C/N menor que 20, a decomposição ocorre com facilidade<sup>20</sup>.

#### 1.1.19 pH

Nos processos anaeróbios, em decorrência das reações de hidrólise, há grande produção de substâncias de caráter ácido, o que tende a baixar o valor do pH de acordo com a capacidade tamponante do meio.

Tal capacidade tamponante é resultado da alcalinidade, que pode ser entendida como o conteúdo total de substâncias que, ao reagirem com os íons  $H^+$  excedentes, mantêm o pH inalterado. As principais espécies responsáveis pela alcalinidade são os íons bicarbonatos, carbonatos, hidróxidos e compostos nitrogenados<sup>3</sup>.

O pH pode afetar o processo de biodigestão anaeróbia de forma direta, quando afeta as atividades enzimáticas, ou de forma indireta, quando influencia a toxicidade de alguns compostos, alterando o potencial de oxirredução do meio<sup>3</sup>.

Também influencia na CTC do solo, uma vez que alterações do pH do meio podem permitir uma dissociação dos radicais orgânicos e, ou, sesquióxidos de ferro e alumínio. A influência do pH do meio na CTC será tanto maior, quanto maiores forem as presenças de espécies de minerais de argila com dominância de cargas dependentes de pH e, ou, MO que, praticamente, só apresenta esta característica<sup>37,51</sup>.

### 1.1.20 Análise textural ou granulométrica

A análise textural do solo tem a finalidade de determinar as principais frações granulométricas que compõe um tipo ou classe de solo as quais são normalmente divididas em areia, silte e argila<sup>75</sup>.

A quantidade de argila presente no solo influencia na sua CTC e, conseqüentemente no seu poder de retenção de cátions. Estudos realizados demonstram que solos com maior teor de argila e menor teor de areia tende a apresentar maior quantidade de metais<sup>76</sup>. Portanto, maior a quantidade de argila presente, maior a capacidade de retenção de cátions do solo<sup>37</sup>.

## 2 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A implantação do depósito de resíduos sólidos urbanos em Ponta Grossa ocorreu em 1969, com o início das atividades de limpeza urbana<sup>77,78,80</sup>. O Local escolhido está localizado na região do Botuquara, área situada a 11 km da sede do município (a leste do perímetro urbano), o acesso ao local é feito pela rodovia PR 513 que leva ao distrito de Itaiacoca<sup>77,79</sup>. A escolha foi decorrente de, na época, a prefeitura apenas dispor deste lugar devido sua distância do centro urbano, topografia e tamanho. Porém situa-se dividindo águas da bacia dos rios Cará - Cará, Botuquara e Verde, o que aumenta o risco ambiental de contaminação<sup>77</sup>,

A figura 10 evidencia a presença de bacias hidrográficas próximas a área do Aterro Controlado. O mapeamento foi organizado por Everaldo Ferreira.

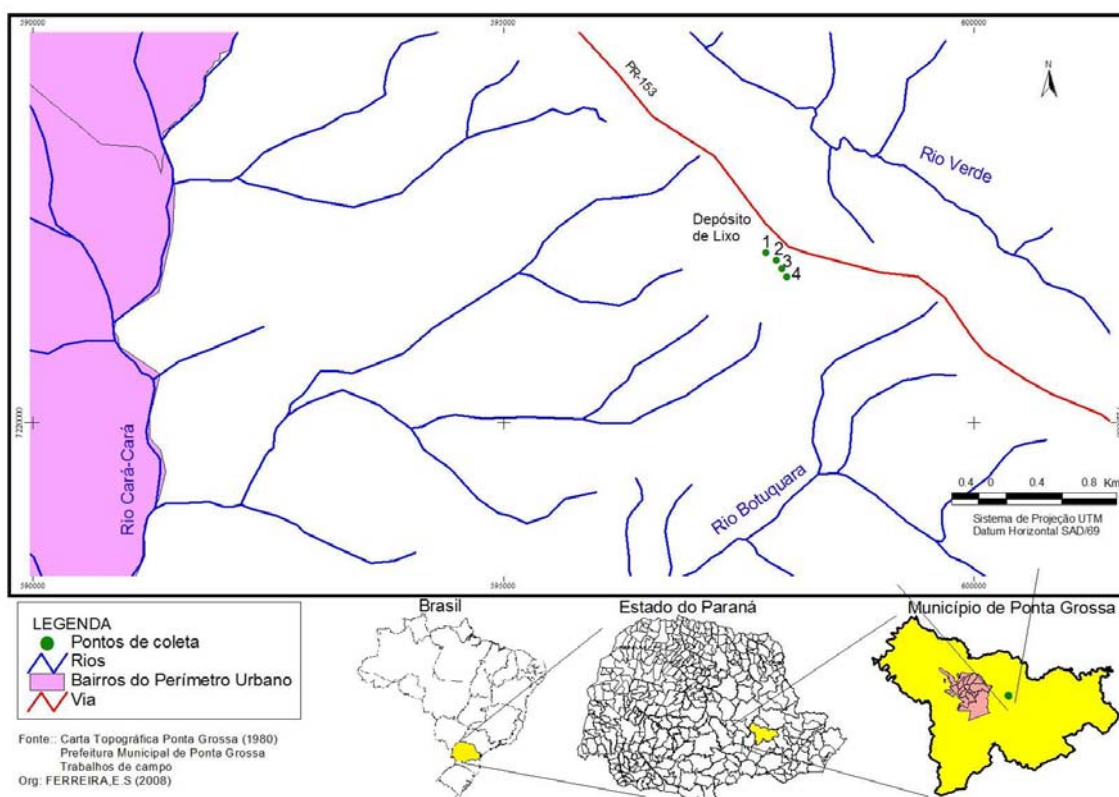


FIGURA 10: Bacias hidrográficas presentes próximas ao local do aterro e ponto da realização das coletas  
Fonte: Carta Topográfica Ponta Grossa (1980). Prefeitura Municipal de Ponta Grossa.  
OBS: Onde lê-se PR153 na carta topográfica substituir por PR513.

Quando implantado, o método de disposição utilizado era de lixão, ou seja, havia apenas a coleta e descarte no local a céu aberto, conforme a figuras 11 e 12. A coleta e remoção dos resíduos eram realizadas pela própria prefeitura municipal, sendo depois o serviço terceirizado para a empresa Vega Sopave<sup>78,80</sup>.



FIGURA 11: Foto Lixão Botuquara: chorume acumulado no solo do local.  
Fonte: Ponta Grossa Ambiental, período de 1995.



FIGURA 12: foto lixão Botuquara: Vista do morro de lixo e chorume acumulado, escoando pela área do aterro.  
Fonte: DEMARIO, 1992<sup>77</sup>.

Na época havia o risco de contaminação pelo lixão devido ao contato com vetores e animais presentes, o perigo da contaminação de arroios, ocorrência de auto combustão decorrente da presença de metano, (como demonstrado na figura 13), além do problema social decorrente da presença de catadores de materiais recicláveis, figura 14<sup>77,78</sup>.



FIGURA 13: Foto lixão Botuquara: presença de fogo no local de disposição de resíduos.  
Fonte: Ponta Grossa Ambiental, período próximo a 1995.



FIGURA 14: Foto lixão Botuquara: presença de catadores fazendo a seleção de material reciclável.  
Fonte: MROSK JUNIOR, 1992<sup>78</sup>.



Fotos disponíveis em trabalhos de conclusão de curso<sup>77,78</sup> sobre o lixão e no site da empresa Ponta Grossa Ambiental (PGA)<sup>4</sup>, atual concessionária do serviço de coleta e disposição final de resíduos sólidos, demonstram a falta de controle e cuidados com o meio ambiente no descarte adequado, ocorridos na época, figuras 15 e 16.



FIGURA 15: Foto Lixão Botuquara: resíduos industriais lançados a céu aberto, sem impermeabilização do solo; Fonte: Ponta Grossa Ambiental, período próximo a 1995.



FIGURA 16: Foto Lixão Botuquara: queima de tambores contendo resíduos industriais presentes no local. Fonte: MROSK JUNIOR, 1992<sup>78</sup>.

Não era realizado nenhum controle quando o material adentrava ao aterro, não sendo feita qualquer classificação de periculosidade havendo a presença até mesmo de detritos industriais, ignorando, dessa forma, seus riscos (pois há contaminantes em potencial presentes nessa classificação de resíduos).

Havia, também, grande quantidade de lixiviado presente e apenas o resíduo da classe hospitalar era aterrado, porém, sem cobertura impermeável do solo como mostrado na figura 17<sup>4,77</sup>. Estes fatos são resultantes da inexistência de leis ambientais específicas em 1969, época de sua implantação, uma vez que, as principais normas a esse respeito surgiram em momento posterior.



FIGURA 17: Foto Lixão Botuquara: resíduo hospitalar disposto inadequadamente.  
Fonte: Ponta Grossa Ambiental, período próximo a 1995.

Embalagens de pesticidas também eram dispostos na área do lixão sem nenhum método preventivo de impermeabilização do solo, como mostrado na figura 18.



FIGURA 18: Foto Lixão Botuquara: disposição inadequada de embalagens de pesticidas.  
Fonte: DEMARIO, 1992<sup>77</sup>.

O local já contava com as lagoas para tratamento do lixiviado, figura 19, porém, uma grande quantidade de líquido escoava da base pelo terreno causando um aspecto desagradável, bem como, inadequado, figura 20.



FIGURA 19: Foto Lixão do Botuquara: lagoas de tratamento do lixiviado.  
Fonte: DEMARIO, 1992<sup>77</sup>.



FIGURA 20: Foto Lixão Botuquara: chorume escorrendo da base do aterro. Ao fundo as lagoas de tratamento do lixiviado.  
Fonte: DEMARIO, 1992<sup>77</sup>.

No ano de 2001 a Vega Engenharia Ambiental, sucedânea da Vega Sopave e responsável pela coleta na época, passou a transformá-lo em aterro sanitário controlado<sup>5,6,79</sup>, ou seja, o local teria o seu lixo compactado e coberto diariamente por uma camada de terra, figura 21.



FIGURA 21: Foto Aterro Controlado do Botuquara: vista do morro de depósito de resíduos, agora com cobertura de argila.  
Fonte: autoria própria, 2006.

A observação local pela PR 513, que liga Ponta Grossa ao distrito de Itaiacoca, revela o tamanho do morro de resíduos formado durante os anos de funcionamento como local de disposição final de resíduos, como observado na figura 22.



FIGURA 22: Foto Aterro Controlado do Botuquara: vista do depósito de resíduos pela PR 513.  
Fonte: autoria própria, 2006.

Foram construídos 26 drenos de gás, figura 23, drenos de chorume e de águas pluviais, e cinco postos de monitoramento de água subterrânea, figura 24, havendo assim, um menor impacto ambiental<sup>4,5,6</sup>.



FIGURA 23: Foto Aterro Controlado do Botuquara: Sistema de drenagem de emissões gasosas.  
Fonte: Ponta Grossa Ambiental, período próximo a 2001.



FIGURA 24: Foto Aterro Controlado do Botuquara: poços de monitoramento construídos no local.  
Fonte: Ponta Grossa Ambiental, período próximo a 2001.

Para evitar a presença de catadores de material reciclável foi reforçada a vigilância instalando portões para controlar o fluxo de transeuntes , como demonstra a figura 25.



FIGURA 25: Foto Aterro Controlado do Botuquara: portão para controle da entrada de pessoas.  
Fonte: Ponta Grossa Ambiental, período próximo a 2001.

O aterro conta com o mesmo sistema de tratamento do lixiviado da época do lixão, sendo acrescentada mais uma lagoa no processo, apresentada na figura 26.



FIGURA 26: Foto Aterro Controlado do Botuquara: lagoas de tratamento do lixiviado.  
Fonte: Ponta Grossa Ambiental, período próximo a 2001.

Em junho de 2004, a Recicle Ambiental adquiriu as cotas da Vega Engenharia Ambiental, constituindo uma nova empresa, a Ponta Grossa Ambiental a qual passou a ser responsável pela coleta e remoção do lixo no município<sup>6</sup>.

No mês de outubro do mesmo ano, terminou a vida útil do Aterro Controlado do Botuquara. Em notícia veiculada no Diário da Manhã,<sup>5</sup> consta informações de que o aterro já estava saturado, e atingia 27 metros de altura de dejetos.



### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta pesquisa foram estudados o solo e o lixiviado do aterro controlado do Botuquara da cidade de Ponta Grossa -PR a fim de avaliar a sua influência na poluição ambiental da área devido a produtos oriundos da degradação dos resíduos sólidos ali dispostos.

#### 3.1 COLETA E PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

##### 3.1.1 Coleta e preparo das amostras de solo

As amostras do solo foram coletadas no dia 25 de setembro de 2006, sendo realizadas manualmente em quatro pontos diferentes em torno da base do aterro, em pontos localizados próximos dos poços de monitoramento de líquidos. A figura 27 demonstra a base do local em relação ao morro de resíduos.



FIGURA 27: Foto da base em relação ao morro do aterro controlado do Botuquara.  
Fonte: Autora própria, 2006.

A coleta atingiu em média 30 cm de profundidade em cada ponto. O material recolhido para amostragem foi disposto em frascos de polietileno, figura 28.



FIGURA 28: Coleta do solo do aterro.  
Fonte: Autoria própria, 2006.

Posteriormente, as amostras levadas ao laboratório foram submetidas à catação a com a finalidade de retirar raízes, folhas e pedaços de resíduos nela existente, como mostra a figura 29.



FIGURA 29: Amostra de solo antes da catação e secagem.  
Fonte: Autoria própria, 2006.

As amostras foram secas a temperatura ambiente (próximo a 25°C), em capela com exaustor ligado, figura 30.



FIGURA 30: Amostras de solo sendo secas na capela.  
Fonte: Autoria própria, 2006.

Após a secagem, as quatro amostras de solo foram trituradas e homogeneizadas com o auxílio de almofariz de porcelana e pistilo, pois as frações mais finas compreendem os principais carreadores dos componentes naturais e antropogênicos, demonstrando um melhor estudo do grau de contaminação devido à elevada superfície específica<sup>42</sup>.

Posteriormente, as amostras foram peneiradas em malha de 0,297 mm, como demonstra a figura 31, reservadas e secas em estufa a temperatura de 40 °C, até atingir peso constante.



FIGURA 31: Amostra de solo triturada e peneirada em malha de 0,297 mm  
Fonte: autoria própria, 2006.

### 3.1.2 Coleta e preparo das amostras do lixiviado

A coleta das amostras do lixiviado foi realizada no dia 3 de julho de 2007. Nessa época havia estiagem desde 28 de maio de 2007, segundo dados do Simepar<sup>81</sup>. A coleta foi realizada em quatro pontos, utilizando os poços de monitoramento presentes no aterro, observados na figura 32.



FIGURA 32: Poço de monitoramento presente no aterro controlado.  
Fonte: Autoria própria, 2007.

As amostras foram armazenadas em frascos de polietileno com volume de aproximadamente 1 litro cada. O líquido que flui pela base do aterro passa por esses poços de monitoramento, como observado na figura 33, e vai sendo levado por gravidade até as lagoas de tratamento de lixiviado.



FIGURA 33: Visão interna de um dos poços de monitoramento. Ao fundo percebe-se o líquido lixiviado na calha do poço.  
Fonte: Autoria própria, 2007.

O aterro possui um total de oito poços de monitoramento para a retirada das amostras foi realizada a coleta em poços alternados, sendo que os pontos foram determinados por GPS. As amostras de solo foram retiradas em locais próximos a localização dos poços, mais precisamente entre os pontos nos quais foram realizadas as coletas de lixiviado.

A figura 10 (página 68) localiza os pontos de coleta, assim como as bacias hidrográficas do local.

As amostras de lixiviados foram levadas diretamente ao laboratório para análises, a figura 34 mostra o aspecto das amostras de lixiviado.

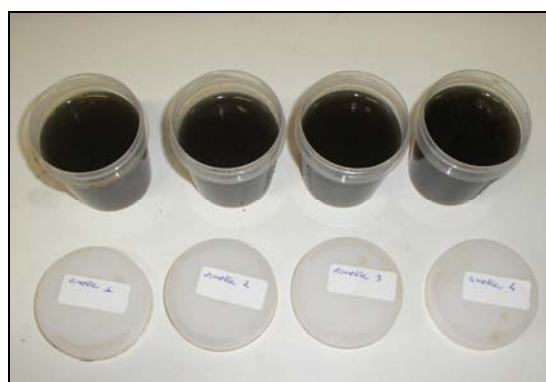


FIGURA 34: Amostras do lixiviado coletado no aterro.  
Fonte: Autoria própria, 2007

## 3.2 ANÁLISES DO SOLO

As análises do solo foram realizadas em triplicata. Para cada ponto de amostragem foram determinados: pH, carbono orgânico, MO, nitrogênio total, relação C:N, CTC, porcentagem de saturação de bases, fosfato, potássio, análise textural e metais (Ag, Cu, Cr Cd, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn).

### 3.2.1 pH

Realizada potenciométricamente em suspensão solo-solução. Na amostra de solo foi adicionada solução de  $\text{CaCl}_2$ , 0,01mol/L. Foi misturada em agitador magnético Quimis – Q261.2, e deixado em repouso. Logo após houve a realização da leitura do pH utilizando pH-metro Quimis – 400A<sup>51,59</sup>.

### 3.2.2 Carbono orgânico

Para a análise de carbono orgânico foi adicionada à amostra solução de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , 1mol/L e  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado, agitando-a e deixando-a em repouso. Após foram adicionados água deionizada,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , concentrado e solução indicadora de difenilamina,  $\text{C}_{12} \text{H}_{11} \text{N}$ , a 1% (m/v). depois desse procedimento foi titulada com solução de sulfato ferroso amoniacal,  $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , 1mol/ L<sup>36,59</sup>.

Valores de porcentagem de C abaixo de 0,6% indicam um baixo teor de carbono, entre 0,6% e 1,2% teores médios e acima de 1,2% alto teor de carbono no solo<sup>64</sup>

### 3.2.3 MO

O solo possui uma mistura orgânica com diversos teores de C, N, H, P e outros elementos. A MO do solo é constituída em média de 52 a 58% de carbono. As moléculas de MO existentes no solo, em geral, são macromoléculas pertencentes as substâncias húmicas, que, embora sejam diferentes, os cálculos do teor do carbono resultarão na mesma média de 52 a 58%, assim, poderá ser calculado, em média, o fator que informa o número de vezes que a massa orgânica é maior que a massa de carbono orgânico<sup>36,64,89</sup>:

$$\frac{100g \text{ de MO}}{X} = \frac{58,00g \text{ de}}{1g \text{ de C}}$$

$$X = \frac{100}{58} = 1,724$$

Assim, será determinado o teor de carbono orgânico pela oxidação desse pelo dicromato e multiplicado esse teor pelo fator 1,724 para obter a MO<sup>36</sup>.

Os valores de MO abaixo de 1,6% indicam um baixo teor de material orgânico. Os valores entre 1,6% e 3,0% indicam um teor médio e acima de 3,0% será considerado um alto teor de material orgânico no solo<sup>64</sup>.



### 3.2.4 Nitrogênio total

Para a determinação do nitrogênio total foi utilizada a técnica de Kjeldahl. Que fornece a quantidade de nitrogênio em uma amostra nas formas amoniacal e orgânica<sup>65</sup>.

A amostra de solo foi introduzida em um tubo de Kjeldahl e adicionada a mistura digestora (100 partes de sulfato de potássio,  $K_2SO_4$ , 1 parte de sulfato de cobre,  $CuSO_4$ , e 0,8 parte de selênio metálico) e  $H_2SO_4$  a 95-97%. O tubo foi aquecido em chapa digestora até seu conteúdo ficar límpido. O conteúdo foi resfriado e diluído com água deionizada.

Houve transferência do conjunto de destilação imediatamente para o aparelho de Kjeldahl MA 36, onde foi adicionada uma solução de NaOH 1 mol/L. Foi adicionada solução  $H_3BO_3$  0,65 mol/L e gotas de solução de indicador vermelho de metila a 0,2%, adaptando-se ao conjunto de destilação para receber a amônia. Destilado o conteúdo, foi verificado a alteração de vermelho para verde, sendo após titulado com solução de HCl 0,02mol/L, até mudança para vermelho novamente<sup>48</sup>.

O cálculo da % de nitrogênio foi realizado pela fórmula:

$$N\% = \frac{V \times 1,4008 \times n \times f_{c_a}}{P_a}$$

onde:

V = volume gasto de HCl

1,4008 = massa molar de N x 100 / 1000

n = normalidade do ácido

$f_{c_a}$  = fator de correção do ácido

$p_a$  = peso da amostra

As análises foram realizadas em parceria com o Laboratório de Tecnologia de Fermentações da Universidade Estadual de Ponta Grossa.

### 3.2.5 Relação C:N

A relação C:N será calculada pelo valor de carbono orgânico dividido pelo valor de nitrogênio encontrados pelo modo descrito anteriormente<sup>64</sup>.

$$C/N = \frac{\text{valor do carbono orgânico}}{\text{valor de nitrogênio}}$$

### 3.2.6 CTC

A capacidade de troca catiônica efetiva é calculada pela soma dos cátions metálicos totais trocáveis (bases) + (H + Al)<sup>42</sup>. Sendo assim:

- a) Determinação de cátions metálicos totais trocáveis: Foi adicionada a amostra de solo CH<sub>3</sub>COOH 1,00 mol/L, formando uma suspensão, que foi agitada em agitador magnético Quimis – Q 261.2, sendo determinado o pH da suspensão. Da mesma forma com o pH da solução de CH<sub>3</sub>COOH, ambos utilizando pH-metro Quimis – 400A<sup>42</sup>.

Para os cálculos dos cátions metálicos totais trocáveis das amostras foi utilizada a seguinte equação<sup>42</sup>:

Cátions metálicos trocáveis ( $\text{cmol}_e/\text{kg}$ ) =  $[\text{pH}_1 - \text{pH}_2] \times 22$ , onde:

$\text{pH}_1$  = pH da suspensão

$\text{pH}_2$  = pH da solução de ácido acético

22 = constante logarítmica

b) Acidez trocável: foram adicionados à amostra solução de KCL 1 mol/L. Foi agitado manualmente algumas vezes e deixado em repouso. Foi realizada a filtração em papel de filtro JP40, sendo adicionado porções de KCl 1 mol/L. Foi adicionado ao filtrado gotas de fenolftaleína, a 0,1%*m/v*, titulando-o com NaOH 0,01 mol/L<sup>42</sup>.

Pela equação a seguir, foi determinada a acidez trocável<sup>42</sup>:

$$\text{Acidez trocável (cmol}_e/\text{kg)} = \frac{V \times C \times 100}{m}$$

onde:

V = volume (em mL) de NaOH gastos na titulação

C = concentração (em mol/L) do NaOH

M = massa (em g) da amostra

Os valores de CTC maiores que 5  $\text{cmol}_e/\text{kg}$  evidenciam uma alta capacidade de troca de cátions<sup>42</sup>.

### 3.2.7 Porcentagem de saturação de bases (V)

A porcentagem de saturação de bases é calculada pelo valor da soma dos cátions trocáveis (S) dividido pelo valor da CTC<sup>64</sup>:

$$V = \frac{S \times 100}{CTC}$$

Os valores de V abaixo de 50 são considerados baixos. Aqueles entre 51 e 80 são considerados médios e os acima de 80 são considerados altos. Um índice V alto significa que existe uma grande quantidade de cátions saturando as cargas negativas dos colóides do solo<sup>64</sup>.

### 3.2.8 Fosfato

Para a análise do fosfato foi adicionada a amostra solução do extrator Mehlich-1 (HCl 0,05 mol.L<sup>-1</sup> e H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 ml.L<sup>-1</sup>). Em seguida, misturado em agitador magnético Q 261.2, permanecendo em repouso.

Após este período foi retirada uma alíquota do sobrenadante da solução e a ela adicionado molibdato de amônio e ácido ascórbico.

A mistura foi homogeneizada e deixada em repouso para o desenvolvimento da cor azul. Foi realizada a determinação espectrofotométrica, utilizando espectrofotômetro Perkin-Elmer 35 spectrophotometer, com leitura de absorbância em 660 nm<sup>82,84</sup>.

As soluções padrões de fosfato – 1 mg/L, 2 mg/L, 3 mg/L, 4 mg/L, 5 mg/L e 6 mg/L de  $\text{PO}_4^{3-}$  – foram preparadas a partir do sal di-hidrogenofosfato de potássio, dessecado<sup>83,84</sup>.

As análises foram realizadas no Laboratório 53 de Química Analítica do campus de Uvaranas da Universidade Estadual de Ponta Grossa.

O extrator de Mehlich 1 é baseado no princípio da dissolução de minerais contendo P e/ou deslocamento de P retido na superfície sólidas do solo para a solução, por ânions capazes de competir com o P pelos sítios de retenção<sup>85</sup>.

Quando adicionado ao fosfato uma solução acidulada de molibdato, ocorre a formação de um heteropoliânion:



↓

Cor azul intensa

O íon fosfomolibdato é utilizado em análise de fosfato porque produz uma espécie de coloração azul intensa<sup>44</sup>.

O conteúdo de fósforo total no solo é variável, expresso em  $\text{P}_2\text{O}_5$  raramente excede 0,5%, variando geralmente entre 0,12 e 0,15%<sup>64</sup>.

### 3.2.9 Potássio

À amostra de solo foi adicionada uma solução de Mehlich-1. Misturando em agitador magnético Q 261.2 e deixado em repouso<sup>59,84</sup>. Foi realizada a filtragem da amostra em papel filtro quantitativo JP 40 para posterior análise.

A determinação do K foi feita por Emissão Atômica de Chama, utilizando aparelho Micronal B 462. A curva de referência foi preparada de soluções padrões do sal cloreto de potássio dessecado. Foram preparados concentrações de padrões de 0; 2,5; 5,0; 7,5 e 10mg/L<sup>84</sup>.

As análises foram realizadas em parceria com o Laboratório de Fertilidade de Solos, no Setor de Ciências Agrárias, do campus de Uvaranas da Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Nas análises, foi determinado o potássio por um extrator químico que retira, de modo análogo aos extratores para fósforo, uma determinada quantidade de potássio. Muitos extratores químicos podem ser utilizados para medir esta disponibilidade de potássio, entretanto o extrator Mehlich-1 é o mais adotado<sup>86</sup>.

O teor de potássio no solo é geralmente expresso em termos de  $K_2O$ , variando de acordo com o material de origem, com as perdas que tenha sofrido e com adições efetuadas. Encontra-se uma maior quantidade de potássio em solos argilosos do que nos arenosos, e em solos com altas CTC<sup>64</sup>.

### 3.2.10 Análise textural

A análise textural diz respeito à distribuição das partículas do solo quanto ao seu tamanho. Tradicionalmente, as partículas do solo são divididas em três frações de tamanho, chamadas frações texturais: areia (maiores que 20 $\mu$ m e menores que 2mm), silte (2 $\mu$ m e menores que 20 $\mu$ m) e argila (menores que 2 $\mu$ m)<sup>75,87,90</sup>.

Primeiramente, foi determinada a densidades das partículas de cada amostra pelo método do picnômetro, posteriormente as frações de areia, argila e silte foram especificadas pelo método da pipeta.

#### ➤ Densidades de Partículas:

Primeiramente, foi verificada a temperatura ambiente. O picnômetro foi aferido, e em seguida pesada a amostra do solo, o volume do picnômetro foi completado com água destilada, foi anotado o volume de água necessário. A densidade foi calculada pela equação abaixo<sup>87</sup>:

$$d \text{ (g/cm}^3\text{)} = \frac{M_{(g)}}{V_{(mL)} - V_{G(mL0)}}$$

onde:

$d \text{ (g/cm}^3\text{)}$  = densidade de partículas

$M \text{ (g)}$  = massa do solo

$V \text{ (mL)}$  = volume do picnômetro

$V_G \text{ (mL)}$  = o volume de água gasto para completar a capacidade volumétrica do picnômetro.

➤ Método da pipeta:

A amostra de solo foi pesada em Erlenmeyer, adicionado NaOH 1 mol/L, água destilada, deixado em repouso. Após o repouso as amostras foram colocadas no aparelho de ultra-som VCx750 para a quebra das partículas. Após esse procedimento as amostras foram peneiradas em peneira de malha de 20 µm. As que permaneceram na peneira foram transferidas para uma placa de Petri e levadas a estufa a 50°C até atingir peso constante, sendo a fração areia da amostra. Transferiu-se o filtrado para uma proveta e o volume foi completado 1000 mL.

A amostra foi agitada de forma a dispersar suas partículas. Através da Lei de Stokes<sup>87</sup> foi estipulado o tempo de espera para decantação das partículas na temperatura de trabalho. A fórmula utilizada foi a seguinte:

$$t = \frac{18 h \eta}{D^2 g(d_s - d_f)}$$

onde:

t = tempo de sedimentação

h (cm) = altura de líquido superficial que será retirado para completar  
50 mL de líquido coletado,

η (poise) = coeficiente de viscosidade (tabelado)<sup>88</sup>

D (cm) = diâmetro médio das partículas, utilizou-se  $2 \times 10^{-4}$  cm

g (cm/s<sup>2</sup>) = aceleração da gravidade local, 978 cm/s<sup>2</sup>

d<sub>s</sub> (g/cm<sup>3</sup>) = densidade de partículas do solo

d<sub>f</sub> (g/cm<sup>3</sup>) = densidade do fluido (água, 1 g/cm<sup>3</sup>)



Decorrido o tempo calculado pela Lei de Stokes foi coletado o fluido a 2,7 cm de altura, a qual corresponde a fração argila, a mesma foi colocada em uma Placa de Petri e levada à estufa a 45°C até atingir um peso constante<sup>87</sup>.

Assim foi determinada a fração areia por tamisação; a fração argila por coleta e a fração de silte através da diferença das outras frações em relação a amostra original.

Após encontrado os valores referente as frações areia, argila e silte, foram utilizadas as equações abaixo para encontrar os teores<sup>87</sup>.

$$T_{\text{argila}} = \frac{M_{2(g)} \times 100}{M_{1(g)}}$$

$$T_{\text{areia}} = \frac{M_{3(g)} \times 100}{M_{1(g)}}$$

$$T_{\text{silte}} = \frac{M_{4(g)} \times 100}{M_{1(g)}}$$

onde:

$T_{\text{argila}}$  = teor de argila da amostra

$M_2$  (g) = massa de argila, obtida através da diferença da massa de argila pipetada e a massa do dispersante (prepara-se uma solução com 1 litro de água destilada e 10 mL de NaOH, coleta-se 10ml desta suspensão e seca-se em estufa até peso constante)

$M_1$  (g) = massa inicial do solo

$T_{\text{areia}}$  = teor de areia da amostra

$M_3$  (g) = massa de areia

$T_{\text{silte}}$  = teor de silte da amostra

$M_4$  (g) = massa de silte obtida através da diferença da massa inicial com a soma das massas de areia e argila.

As análises foram realizadas em parceria com o Laboratório de Física Aplicada a Solos e Ciências Ambientais – FASCA, da Universidade Estadual de Ponta Grossa.

### 3.2.11 Espécies metálicas

Para determinar as espécies metálicas presentes no solo foram realizados experimentos relacionados com metais biodisponíveis (ou fracamente adsorvidos) e com metais pseudo-totais (ou fortemente adsorvidos).

A digestão do solo para metais biodisponíveis foi realizada através de ataque da amostra com solução de HCl 0,1 mol/L<sup>93</sup>.

Para metais pseudo-totais as amostras foram submetidas ao ataque com uma mistura de ácido fluorídrico e ácido perclórico (HF: HClO<sub>4</sub>) na proporção 5:1, conforme o método de Tessier<sup>91,92,94,95</sup>.

O método de Tessier é o mais citado e utilizado na literatura entre os métodos de extração. Foi criado para determinação de metais pesados em sedimentos, mas teve seu uso estendido para solos contaminados<sup>94</sup>.

A disponibilidade de metais depende de uma série de fatores, tais como: pH, CTC, temperatura, teor de MO e composição argilosa do solo<sup>52</sup>.

---

<sup>93</sup> Chen, 1992 apud Teódulo, 2004.

Foram verificados os teores de Cu, Cr, Ni, Zn, Cd, Pb, Ag, Fe e Mn em ambos os métodos.

Os teores das espécies metálicas presentes nas soluções resultantes foram analisados por espectroscopia de absorção atômica utilizando o aparelho Varian Spectra AAS- 220.

As análises foram realizadas no Laboratório de Análises de Águas do campus universitário CEDETEG (Centro de Desenvolvimento Educacional e Tecnológico de Guarapuava), da Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO).

Os valores utilizados como referência na avaliação de metais no solo são descritos segundo os orientados pela CETESB<sup>60</sup>.

TABELA 4. Valores orientadores para solo no estado de São Paulo de acordo com a CETESB<sup>60</sup>.

| Substância | CAS n°    | Concentração (mg/kg)    |           |             |             |            |
|------------|-----------|-------------------------|-----------|-------------|-------------|------------|
|            |           | Referência de Qualidade | Prevenção | Intervenção |             |            |
|            |           |                         |           | Agrícola    | Residencial | Industrial |
| Alumínio   | 7429-90-5 | -                       | -         | -           | -           | -          |
| Antimônio  | 7440-36-0 | <0,5                    | -         | 5           | 10          | 25         |
| Arsênio    | 7440-38-2 | 3,5                     | 15        | 35          | 55          | 150        |
| Bário      | 7440-39-3 | 75                      | 150       | 300         | 500         | 750        |
| Boro       | 7440-42-8 | -                       | -         | -           | -           | -          |
| Cádmio     | 7440-48-4 | <0,5                    | 1,3       | 3           | 8           | 20         |
| Chumbo     | 7440-43-9 | 17                      | 72        | 180         | 300         | 900        |
| Cobalto    | 7439-92-1 | 13                      | 25        | 35          | 65          | 90         |
| Cobre      | 7440-50-8 | 35                      | 60        | 200         | 400         | 600        |
| Cromo      | 7440-47-3 | 40                      | 75        | 150         | 300         | 400        |
| Ferro      | 7439-89-6 | -                       | -         | -           | -           | -          |
| Manganês   | 7439-96-5 | -                       | -         | -           | -           | -          |
| Mercúrio   | 7439-97-6 | 0,05                    | 0,5       | 12          | 36          | 70         |
| Molibdênio | 7439-98-7 | <4                      | 30        | 50          | 100         | 120        |
| Níquel     | 7440-02-0 | 13                      | 30        | 70          | 100         | 130        |
| Prata      | 7440-22-4 | 0,25                    | 2         | 25          | 50          | 100        |
| Selênio    | 7782-49-2 | 0,25                    | 5         | -           | -           | -          |
| Vanádio    | 7440-62-2 | 275                     | -         | -           | -           | -          |
| Zinco      | 7440-66-6 | 60                      | 300       | 450         | 1.000       | 2.000      |

Fonte: Adaptado de CETESB

### 3.3 ANÁLISES DO LIXIVIADO

As análises do lixiviado foram realizadas em triplicata logo após a coleta das mesmas. Foram analisados pH, OC, OD, fosfato, potássio, nitrogênio total e metais.

#### 3.3.1 pH

Realizada potenciométricamente diretamente na amostra utilizando pH-metro Quimis – 400A<sup>83</sup>.

#### 3.3.2 OC

Foi retirada uma alíquota da amostra de lixiviado em um erlenmeyer, em seguida adicionado  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1:3 e  $\text{KMnO}_4$  0,002 5mol/L até cor rosa permanente. Posteriormente, foi aquecido até a ebulição. Na seqüência foi adicionado  $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$  0,00625 mol/L a solução, a qual ficou incolor. Finalmente foi titulada com solução de  $\text{KMnO}_4$  0,0025 mol/L até adquirir a primeira cor rósea permanente<sup>70</sup>.

#### 3.3.3 OD

Foi adicionado ao frasco padrão de análise de OD uma alíquota da amostra de lixiviado e o restante foi completado com água de diluição. Após foi adicionado KI,  $\text{MnSO}_4$  e azida sódica,  $\text{NaN}_3$ . Foi aguardada a sedimentação.

Posteriormente, foi acrescentado  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado e agitado até a completa dissolução do sedimento. Logo após houve a transferência de uma alíquota da solução para um erlenmeyer e a titulação com solução de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  0,021 mol/L, utilizando amido 1% como indicador<sup>83</sup>.

#### 3.3.4 Fosfato

Para a determinação de fosfato foi realizado o procedimento já descrito anteriormente no item 4.2.8<sup>83,84</sup>, porém sem a necessidade de ser realizada a extração com Mehlich- 1.

Essas análises foram realizadas no Laboratório 53 de Química Analítica do Campus de Uvaranas da Universidade Estadual de Ponta Grossa.

#### 3.3.5 Potássio

A determinação do potássio foi realizada conforme descrito anteriormente no item 4.2.9 por emissão atômica de chama, utilizando aparelho Micronal B 462<sup>83,84</sup>, porém sem ser realizado a extração com Mehlich-1.

As análises foram realizadas em parceria com o Laboratório de Fertilidade de Solos, no Setor de Ciências Agrárias, do Campus de Uvaranas da Universidade Estadual de Ponta Grossa.

### 3.3.6 Nitrogênio total

Para a determinação de nitrogênio total nas amostras de lixiviado também foi utilizado a técnica de Kjeldahl.<sup>48</sup>

Essas análises foram realizadas em parceria com o Laboratório de Tecnologia de Fermentações da Universidade Estadual de Ponta Grossa.

### 3.3.7 Espécies metálicas

Para as amostras de lixiviado também foram determinados Cu, Cr, Ni, Zn, Cd, Pb, Ag, Fe e Mn.

Os teores das espécies metálicas presentes foram verificados por espectroscopia de absorção atômica utilizando o aparelho Varian Spectra AAS - 220<sup>83</sup>.

As análises foram realizadas no Laboratório de Análises de Águas do campus universitário CEDETEG (Centro de Desenvolvimento Educacional e Tecnológico de Guarapuava), da Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 ANÁLISES DO SOLO

Os resultados obtidos nas análises do solo são referentes a coletas realizadas a uma profundidade de aproximadamente 30 cm. As análises foram realizadas em triplicata, porém serão apresentadas apenas as médias obtidas.

#### 4.1.1 Análises químicas e textural do solo.

Os resultados obtidos das análises realizadas no encontram-se na tabela 5.

TABELA -5 Determinação dos teores de nitrogênio total, carbono orgânico, C:N, M.O, pH, CTC, saturação de bases, potássio, fósforo, argila, areia e silte dos pontos analisados do solo.

| Amostras                          | Ponto  | Ponto  | Ponto  | Ponto  |
|-----------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Análises                          | 1      | 2      | 3      | 4      |
| Nitrogênio Total (%)              | 0,08   | 0,09   | 0,11   | 0,04   |
| Carbono Orgânico (%)              | 1,0    | 1,2    | 1,2    | 0,5    |
| Relação C:N                       | 12,2   | 13,4   | 11,6   | 13,3   |
| Matéria Orgânica (%)              | 1,7    | 2,1    | 2,1    | 0,9    |
| pH                                | 5,4    | 5,5    | 6,3    | 5,8    |
| CTC (cmol/kg)                     | 3,3    | 4,7    | 6,0    | 3,0    |
| Saturação de Bases (%)            | 92,2   | 92,8   | 97,1   | 94,3   |
| K <sub>2</sub> O (%)              | 0,03   | 0,11   | 0,15   | 0,05   |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%) | 0,0042 | 0,0015 | 0,0003 | 0,0002 |
| Argila (%)                        | 2,3    | 1,3    | 1,2    | 1,0    |
| Areia (%)                         | 57,3   | 62,7   | 59,9   | 81,1   |
| Silte (%)                         | 40,5   | 36,1   | 38,9   | 17,9   |

A análise de pH demonstrou valores entre 5,36 do ponto 1 e 6,24 do ponto 3, sendo que os pontos 2 e 4 possuem valores próximos ao do ponto 1, sendo de 5,50 e 5,84 respectivamente, não havendo uma grande variação de valores entre os pontos.

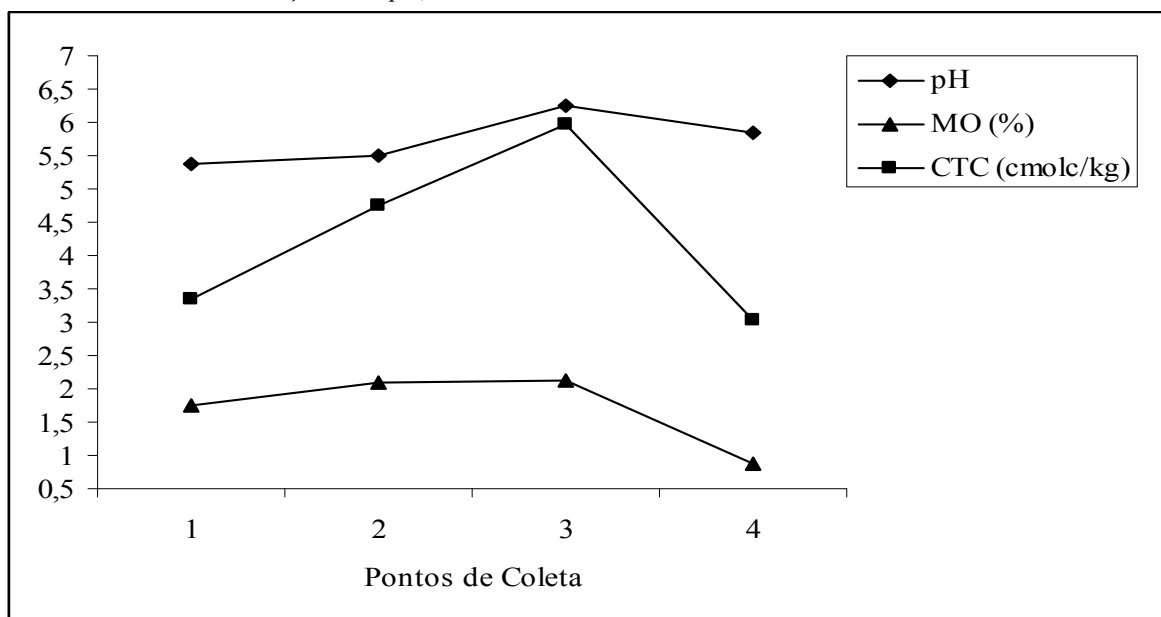
No solo existe uma resistência à variação nos valores de pH devido a sua capacidade de tamponamento. Essa se dá, principalmente, devido à quantidade de material coloidal, orgânico e inorgânico que o solo contém, portanto quanto maior for a CTC, maior será o seu poder tampão<sup>64</sup>.

Então, com o aumento dos valores de CTC e MO temos uma variação também no pH como é o caso do ponto 3, o qual possui os maiores valores CTC, MO e pH. Processo semelhante ocorre com os pontos 1 e 2. Para o ponto 4 a maior contribuição ao tamponamento se deve a CTC, uma vez que dos pontos analisados, este é o que apresenta menor MO, e sua CTC é próxima ao do ponto 1.

Percebe-se, portanto, que apesar das variações discretas dos valores obtidos em relação ao pH dos pontos 1, 2 e 4; MO dos pontos 2 e 3 e CTC dos pontos 1 e 4 a correlação entre os dados é verdadeira, estando o pH relacionado com os valores obtidos. Esses dados são apresentados na figura 35.



FIGURA 35. Gráfico da relação entre pH, MO e CTC.



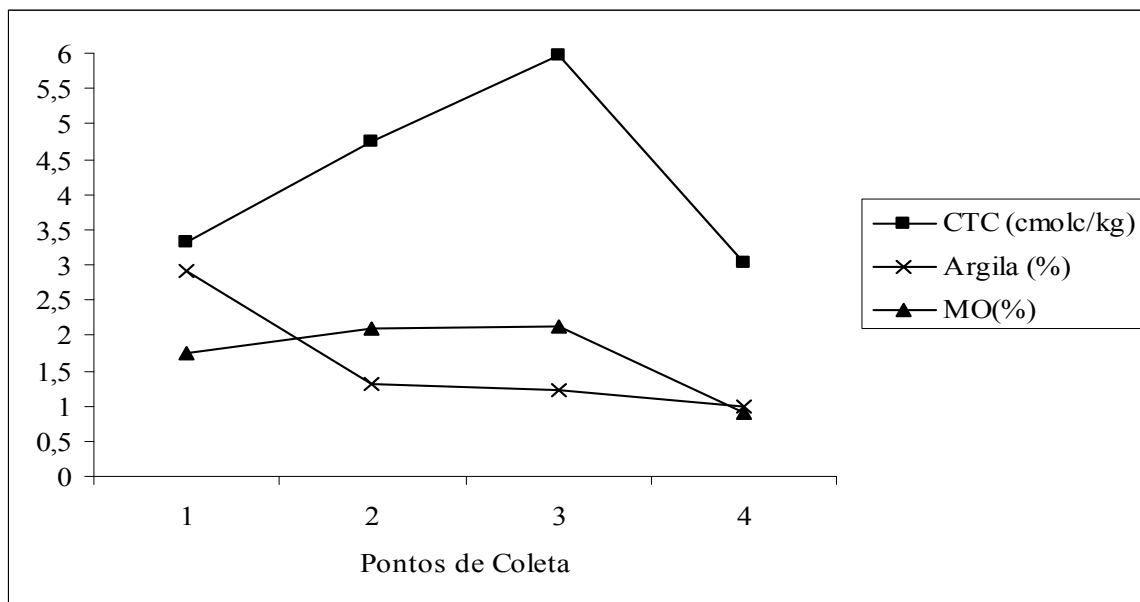
Os valores de pH dos pontos mostram uma tendência a serem mais ácidos com a diminuição dos teores de MO e, principalmente, da CTC, portanto fenômenos que levem a diminuição desses teores conseqüentemente ocasionaram um possível decréscimo do pH e, valores ácidos tendem a influenciar na solubilização de compostos inorgânicos.

Valores de CTC acima de 5 cmol<sub>c</sub>/kg evidenciam uma alta capacidade de troca de cátions do solo com o meio, ou seja, maior será o número de cátions que este solo pode reter<sup>42</sup>. Assim, o único ponto que se mostrou capaz de trocar íons efetivamente com o meio e conseqüentemente reter uma maior quantidade de cátions é o ponto 3.

A variação apresentada entre os pontos é representativa uma vez que o menor valor é de 3,0 (ponto 4) e o maior é de 6,0 (ponto 3). A CTC é diretamente afetada pelo teor de argila e MO presentes no solo, uma vez que estas espécies apresentam em suas estruturas, predominantemente, cargas negativas, as quais são responsáveis pela adsorção e, conseqüentemente, pela imobilização e diminuição de contaminantes e outras espécies de cargas

positivas depositadas no solo<sup>37</sup>. A figura 36 demonstra a relação entre a CTC, MO e argila dos pontos em estudo.

FIGURA. 36 – Gráfico da relação entre os valores de CTC, argila e MO.

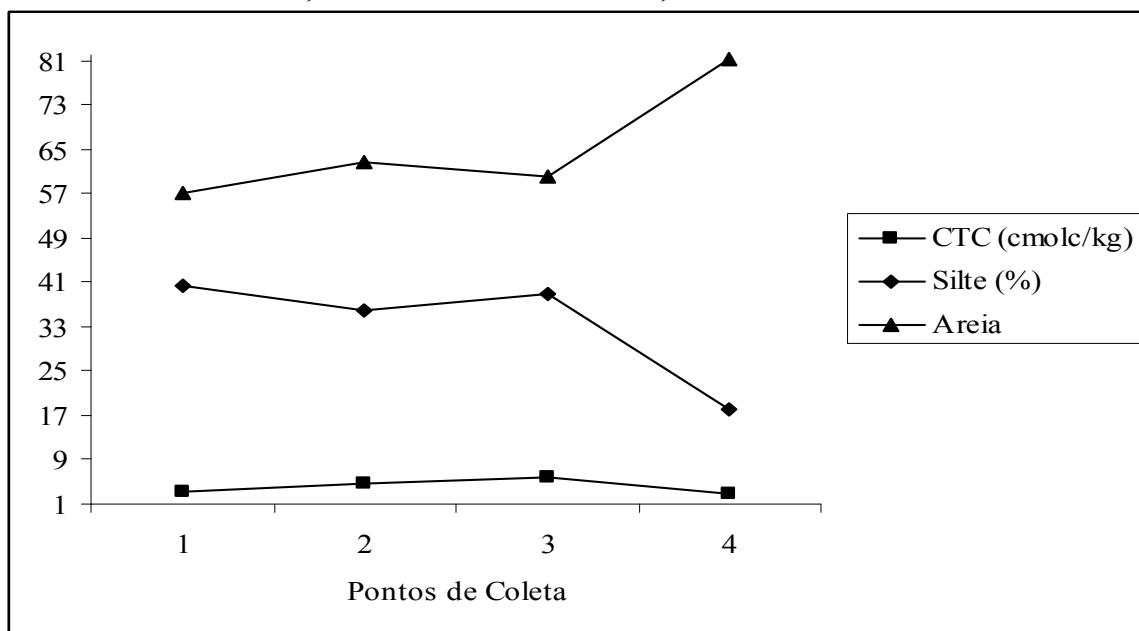


Para os pontos 1 e 4 a diferença entre os valores de CTC é de 0,3%, esse é caracterizado pelos menores teores de MO e argila encontrados no ponto 4 em relação a todos os demais pontos. Já o ponto 1, apesar de apresentar o maior teor de argila entre os demais pontos, possui menor MO que os pontos 2 e 3.

Os valores de argila dos pontos 2 e 3 apresentaram variação muito discreta, sendo de 1,3% (ponto 2) e 1,2% (ponto 3), o mesmo foi verificado para MO, com valor para ambos de 2,1%. Porém para silte a variação foi mais significativa sendo de 36,1% (ponto 2) e 38,9% (ponto 3), influenciando no valor total da CTC.

Apesar de ter uma influencia menor que a argila, a fração silte devido a seus tamanhos de partícula também é de suma importância na adsorção de contaminantes<sup>64</sup>. Os dados de silte e areia em relação à CTC são apresentados na figura 37.

FIGURA.37 - Gráfico da relação do teor de areia e silte em relação a CTC.



Solos com teores de argila inferiores a 15% são considerados de textura arenosa, solos assim possuem baixa capacidade de retenção de água, ocasionando uma alta taxa de infiltração de água no solo e elevadas perdas por lixiviação<sup>97</sup>. Todas as amostras demonstram ser predominantemente arenosas, porém a do ponto 4 apresenta o maior teor de areia (81,1%).

O ponto 3 apresenta a maior valor de MO (2,1%), em relação ao seu teor de argila (1,2%), tendo portanto uma maior influência da MO em relação a argila para a CTC. O valor de silte é de 38,9%, valor entre os maiores para silte, estando apenas abaixo do ponto 1. O conjunto desses teores leva o ponto 3 a apresentar a maior CTC entre os pontos e portanto, maior capacidade de retenção de cátions e trocas com o meio.

O ponto 1 apesar de apresentar um maior valor de argila (2,3%) e silte (40,5%), apresenta um menor teor de MO (1,7%), assim a contribuição para a CTC do ponto um se dá por maior influencia do teor argila e do silte.

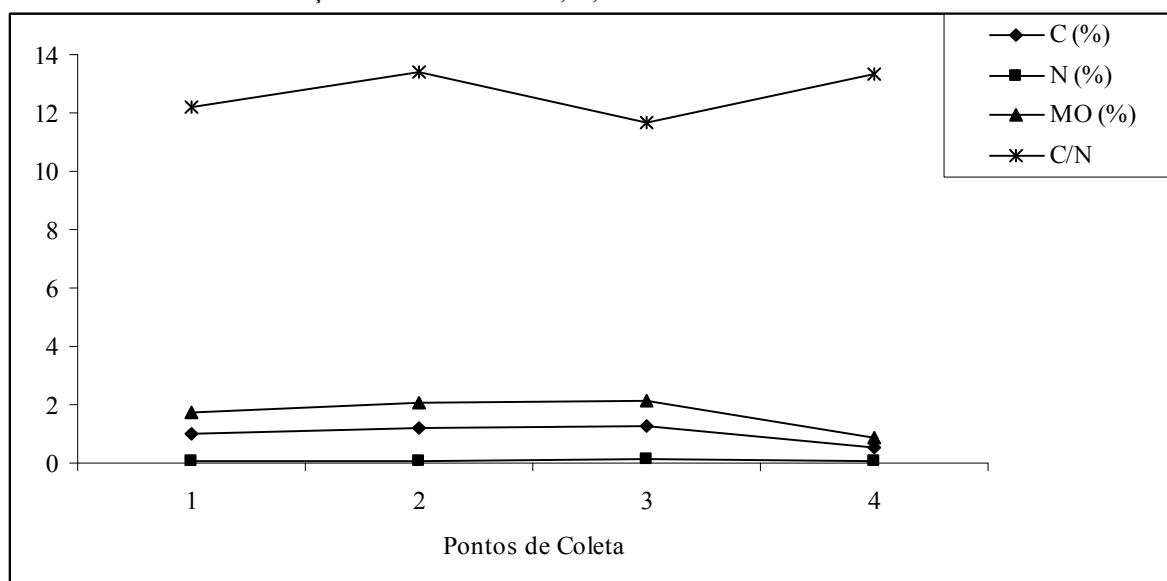
Para o ponto 2 a maior influência está no teor de MO com 2,1%, uma vez que apresentou teores de argila de 1,3%, a fração silte influencia no total do resultado, porém menos do que a fração argila.

O ponto 4 apresenta os menores teores para ambos os parâmetros, sendo de 0,9% para MO, 1,0% para argila e 17,9% para silte. Assim MO e argila tem praticamente a mesma influência sobre a CTC desse ponto, sendo a mais baixa.

A quantidade de MO presente parece ter uma maior influência na CTC seguida do teor de argila e silte, uma vez que houve pontos com maior MO e menor teor de argila que apresentam uma maior CTC.

Como um todo esse resultado não é satisfatório em termo de estabilidade desse material no solo do aterro. Análises de C e N mostram que a degradação do material no meio, incluso MO, ocorre com facilidade em todos os pontos, pois apresenta razão menor que 20, como demonstrado na figura 38.

FIGURA .38 - Gráfico da relação entre os teores de C, N, MO e C:N.



Os teores de nitrogênio e carbono orgânico estão correlacionados com o teor de MO em cada amostra, ou seja, o ponto 4 apresentou os menores teores de N e C e o ponto 3 os maiores valores, sendo os dos pontos 1 e 2 intermediários.

Para o C, os pontos 2 e 3 apresentaram o mesmo teor (1,2%), sendo esse valor 0,7% maior do que o encontrado no ponto 4. O ponto 1 apresentou um teor 0,35% maior que o ponto 4 e 0,2% menor que os pontos 2 e 3.

A variação para os valores de nitrogênio foi 0,07% maior no ponto 3 em relação ao ponto 4. Já para os pontos 1 e 2 a variação não foi muito expressiva, sendo 0,01% maior para o ponto 2. A variação média foi de 0,025% maior para o ponto 3 em relação aos pontos 1 e 2. Na comparação com o ponto 4 a variação foi 0,045% maior para o ponto 3. A variação como um todo entre os resultados foi pequena devido aos valores baixos obtidos nas análises.

Os teores de nitrogênio variam de acordo com os valores de MO devido à parte do mesmo ser decorrente da sua degradação. Teores entre 0,02 a 0,4% de nitrogênio são comumente encontrados na camada arável do solo<sup>64</sup>.

Assim, os valores encontrados para o N estão entre os esperados e necessários aos microorganismos para o bom desempenho da degradação em relação ao C.

Isto fica claro ao verificar a relação C:N. Quanto menor o valor da razão entre C:N mais fácil é a degradação de material, pois terá uma quantidade de nutrientes em concentração satisfatória para a manutenção dos microrganismos responsáveis pela decomposição.

Todos os pontos apresentam uma C:N representativa de fácil decomposição do material orgânico presente, sendo mais efetiva para o ponto 3, o qual apresenta a maior concentração de C e N e conseqüentemente a menor razão entre eles, e menor para o ponto 2 devido a uma maior concentração de C em relação ao N encontrada.

Portanto, a relação C:N é mais expressiva para o ponto 3 o qual apresenta o menor valor entre os pontos, sendo 1,8 menor que o ponto 2 (maior valor encontrado). A variação entre o ponto 2 e 4 é muito pequena, sendo de 0,1 maior para o ponto 2, porém esse fato é decorrente da quantidade de N e C presentes em cada amostra. O ponto 1 apresentou um aumento de 0,6 em relação ao ponto 3.

Os pontos 2 e 3 possuem influência maior da MO, em relação a argila, no valor de CTC. Possuindo o solo fatores que demonstram a fácil decomposição de material orgânico presente, os pontos citados podem vir a sofrer uma diminuição na quantidade de MO no decorrer do tempo, e por consequência um decréscimo no valor total de CTC, além da possível redistribuição do material adsorvido para o meio.

Para o ponto 4 a quantidade de argila e MO estão muito próximas, assim com a possível degradação da MO os valores desta poderão diminuir e os de argila tendem a permanecer constantes, havendo um decréscimo significativo no valor total da CTC, porém menor do que nos pontos 2 e 3.

No ponto 1 a contribuição maior está no teor de argila, sendo portanto esse o ponto de menor impacto na CTC e maior estabilidade do material adsorvido, se acaso sofrer alterações no teor de MO.

Outro fator importante com relação à capacidade de retenção de contaminantes é a porcentagem de saturação de bases. Todas as amostras analisadas apresentam-se com valores acima de 80%, o que é considerado alto segundo a literatura de referência<sup>64</sup>.

Os resultados elevados da porcentagem de saturação de bases evidenciam a presença de uma grande quantidade de cátions, incluso os metais, saturando as cargas negativas do solo, isto implica na baixa capacidade desses solos em reter contaminantes que futuramente possam ser

lançados ao meio por mecanismos de decomposição dos resíduos, o qual continua ativo, ou por transferência entre o lixiviado e o solo.

Os teores de fosfato e potássio foram analisados em relação à porcentagem de  $P_2O_5$  e  $K_2O$  respectivamente. Os valores de fosfato geralmente variam entre 0,12% e 0,15%<sup>64</sup>, estando os valores encontrados muito abaixo dessa faixa, como apresentado na tabela – 5, página 101.

O teor de potássio no solo varia de acordo com o material de formação, adições efetuadas e perdas sofridas<sup>64</sup>, os teores de potássio das amostras demonstrarem uma variação de 0,12% maior para o ponto 3 em relação ao ponto 1. Os valores dos pontos 1 e 4 revelaram uma variação menor, sendo de 0,02% maior para o ponto 4. Os pontos 1 e 4 possuem uma variação média de 0,11% menor em relação ao ponto 3, já em relação ao ponto 2 a variação dos pontos 1 e 4 é em média 0,07% menor. Os valores do teor de fósforo das amostras revelaram-se baixos, com variação de 0,004% maior para o ponto 1 em relação ao ponto 4.

Os resultados obtidos de potássio e fósforo são relativamente baixo, podendo esses estar infiltrando no meio solubilizados no lixiviado, fortemente adsorvidos no solo ou formando complexo estáveis. A provável adsorção dessas espécies no solo pode estar contribuindo para a alta porcentagem de saturação do mesmo.

Em suma: Os valores de CTC estão diretamente relacionados com o teor de argila e MO estando esta última promovendo uma maior influência no resultado final. Os pontos analisados, com exceção do ponto 3, apresentam baixa capacidade de troca e retenção de cátions com o meio.

A relação C:N mostra um meio propício a degradação dos resíduos, o que leva a uma possível decomposição do material orgânico presente no solo com o decorrer do tempo, o que poderá ocasionar uma diminuição da sua capacidade de retenção além da liberação do material a ela agregado.

O pH sofre influência da CTC e MO do solo, o decréscimo desses parâmetros levaria a sua diminuição, uma vez que as análises revelaram que quanto menor a CTC, menor o pH encontrado. A diminuição nos valores de pH propicia uma maior tendência a liberação de material inorgânico no meio.

Os solos dos pontos analisados estão com os colóides saturados, dificultando a retenção de futuros contaminantes que podem vir a ser adicionados devidos as prováveis mudanças anteriormente mencionadas.

As amostras analisadas demonstraram, na maioria das análises, uma variação discreta dos teores obtidos entre os pontos, porém a interpretação dos dados pode ser realizada devido à combinação entre as análises efetuadas, uma vez que as mesmas possuem vinculação nos resultados.

#### 4.1.2 Determinação de espécies metálicas no solo

Para a análise de metais foram realizados experimentos para verificação da concentração dos metais biodisponíveis no solo e da concentração dos metais pseudo-totais, nas amostras dos quatro pontos de coleta. Os valores obtidos nas análises foram comparados com os valores estabelecidos pela CETESB<sup>62</sup>. Os resultados encontram-se nas tabelas 6 e 7 respectivamente:



TABELA 6 - Valores dos metais biodisponíveis encontrados nas amostras de solo.

| Concentração<br>(mg/kg) | Amostras           |                    |                     |                     |
|-------------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
|                         | Ponto<br>1         | Ponto<br>2         | Ponto<br>3          | Ponto<br>4          |
| Fe                      | 717,0              | 1234,5             | 986,5               | 195,0               |
| Cr                      | 19,0               | 28,0               | 51,5*               | 13,0                |
| Mn                      | 27,0               | 45,5               | 32,5                | 22,5                |
| Pb                      | 95,0* <sup>+</sup> | 90,0* <sup>+</sup> | 150,0* <sup>+</sup> | 110,0* <sup>+</sup> |
| Zn                      | 11,0               | 9,0                | 10,5                | 15,0                |
| Cu                      | 10,0               | 14,5               | 11,5                | 6,0                 |
| Cd                      | < 0,5*             | < 0,5*             | < 0,5*              | < 0,5*              |
| Ni                      | < 0,5              | < 0,5              | < 0,5               | < 0,5               |
| Ag                      | < 0,5*             | < 0,5*             | < 0,5*              | < 0,5*              |

\* valores acima do valor de referência de qualidade estabelecido pela CETESB.

+ valores acima do valor de prevenção estabelecido pela CETESB.

O fato das espécies metálicas não serem degradáveis, portanto, acumulativas em organismos e ambientes naturais, leva a uma preocupação especial com o teor desses encontrados no meio.

TABELA 7 - Valores dos metais pseudo-totais encontrados nas amostras de solo.

| Concentração<br>(mg/kg) | Amostras           |                    |                    |                    |
|-------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                         | Ponto<br>1         | Ponto<br>2         | Ponto<br>3         | Ponto<br>4         |
| Fe                      | 33.750,0           | 28.100,0           | 35.750,0           | 35.300,0           |
| Cr                      | 25,0               | 15,5               | 25,5               | 18,0               |
| Mn                      | 80,5               | 82,0               | 101,5              | 128,5              |
| Pb                      | 22,5*              | 19,0*              | 29,5*              | 19,5*              |
| Zn                      | 36,0               | 33,0               | 29,5               | 21,5               |
| Cu                      | 63,0* <sup>+</sup> | 57,0* <sup>+</sup> | 61,0* <sup>+</sup> | 40,5* <sup>+</sup> |
| Cd                      | < 0,5*             | < 0,5*             | < 0,5*             | < 0,5*             |
| Ni                      | 3,0                | < 0,5              | < 0,5              | < 0,5              |
| Ag                      | 3,0* <sup>+</sup>  | 4,0* <sup>+</sup>  | 3,0* <sup>+</sup>  | 4,0* <sup>+</sup>  |

\* valores acima do valor de referência de qualidade estabelecido pela CETESB.

+ valores acima do valor de prevenção estabelecido pela CETESB.

Segundo a CETESB<sup>62</sup>: “O valor de referência de qualidade estabelecido para solos é a concentração de determinada substância no solo que define um solo como limpo, deve ser utilizado como referência nas ações de prevenção da poluição do solo e das águas subterrâneas e de controle de áreas contaminadas. Já o valor de prevenção é a concentração de determinada substância, acima da qual podem ocorrer alterações prejudiciais à qualidade do solo. Para os valores de intervenção temos a concentração de determinada substância no solo acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana”.

Para o Fe biodisponível do solo obteve-se valores entre 195,0 mg/kg do ponto 4 e 1.234,0 mg/kg do ponto 2 e para os pseudo-totais o máximo encontrado foi de 33.750,0 mg/kg no ponto 3, sendo que os pontos 1 e 4 obtiveram valores próximos a esse, e o valor mínimo encontrado foi de 28.100,0 mg/kg do ponto 2.

Para o Mn biodisponível o valor mínimo foi de 22,5 mg/kg para o ponto 4 e máximo de 45,5 mg/kg para o ponto 2, já para os metais pseudo-totais a mínima foi de 80,5 mg/kg do ponto 1 e máxima de 125,5 mg/kg do ponto 4.

Apesar dos valores de Fe e Mn estarem aparentemente elevados, principalmente no que diz respeito ao Fe pseudo-total, não podemos relacionar esses resultados a uma contaminação ou poluição da área, uma vez que não há valores referências.

As quantidades elevadas de Fe e Mn encontradas nas amostras pode também ser de ocorrência natural devido às características do solo da região, porém apenas análises mais detalhadas sobre a composição do solo dos pontos analisados podem garantir essa característica.

O Fe e o Mn são os metais que normalmente aparecem em maior quantidade nos solos. Suas concentrações, em geral, são muitas vezes maiores que a dos demais elementos, especialmente do Fe<sup>54</sup>.

A amostra do ponto 3 para metal biodisponível apresentou valor acima do referencial para Cr, o qual é de 40 mg/kg, as amostras dos demais pontos, tanto biodisponíveis quanto pseudo-total, estão abaixo desse valor para esse metal.

Os valores encontrados em todos os quatro pontos para Pb nas amostras de metais pseudo-totais estão acima do de referência de qualidade que é de 17 mg/kg, já para os metais biodisponíveis todos os pontos, além de estarem acima do valor de referência, estão também acima do valor de prevenção, 72 mg/kg, estando a mostra do ponto 3 com valor acima do dobro do valor estabelecido como de prevenção.

O Zn apresentou os valores para todos os pontos de amostragem abaixo do valor de referência, que é de 60 mg/kg.

As amostras de Cu para pseudo-total apresentaram valores acima do de referência, que é de 35 mg/kg. Os pontos 1 e 3 encontram-se acima do de prevenção, que é de 60 mg/kg.

As amostras biodisponíveis e pseudo-totais para Cd apresentaram valores abaixo de 0,5 mg/kg para os quatro pontos de amostragem, o que os iguala ao valor de referência de qualidade que é menor que 0,5 mg/kg.

Para o Ni tanto os valores biodisponíveis quanto os pseudo-totais estão abaixo do valor de referência de qualidade.

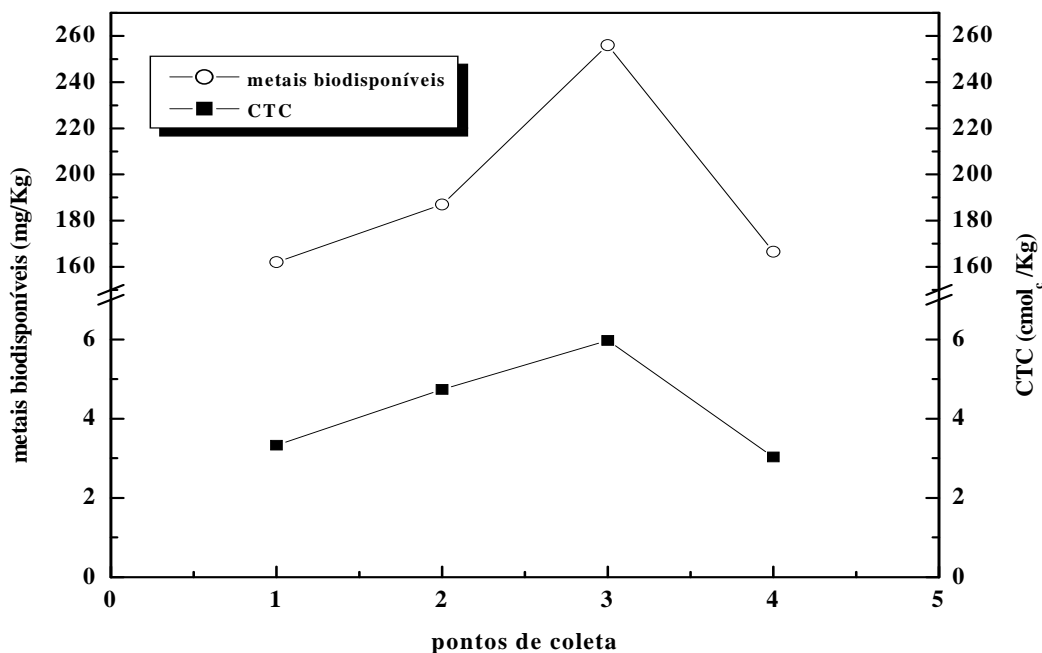
Os valores encontrados para Ag biodisponível foram iguais para todos os pontos, sendo este valor menor que 0,5 mg/kg. O valor de referência de qualidade é de 0,25 mg/kg, assim, as amostras biodisponíveis dos 4 pontos estão provavelmente acima do valor de referência, pois não é possível estabelecer o quanto menor que 0,5 mg/kg é a concentração na amostra. Os valores pseudo-totais das amostras dos quatro pontos estão acima do de referência de qualidade e também acima do valor de prevenção que para Ag é de 2,0 mg/kg.

Portanto, temos que a concentração de metais biodisponíveis para o Cr do ponto 3, Pb, Cd e Ag de todas as amostras encontram-se acima dos valores estabelecidos como de referência de qualidade, sendo os valores de Pb de todas as amostras acima também dos valores de prevenção.

Para pseudo-totais temos que os valores de Pb, Cu, Cd e Ag de todas as amostras estão acima dos valores de referência de qualidade e o Cu das amostras dos pontos 1 e 3 assim como os valores de Ag para todos os pontos obtiveram valores acima do valor de prevenção.

A quantidade de metais retidos pelo solo está diretamente relacionada com o teor de CTC e conseqüentemente aos de MO e argila do mesmo, devido às características já discutidas. A relação CTC e metais biodisponíveis é mostrada na figura 39.

FIGURA.39 - Gráfico da relação entre a CTC e a soma dos metais biodisponíveis.

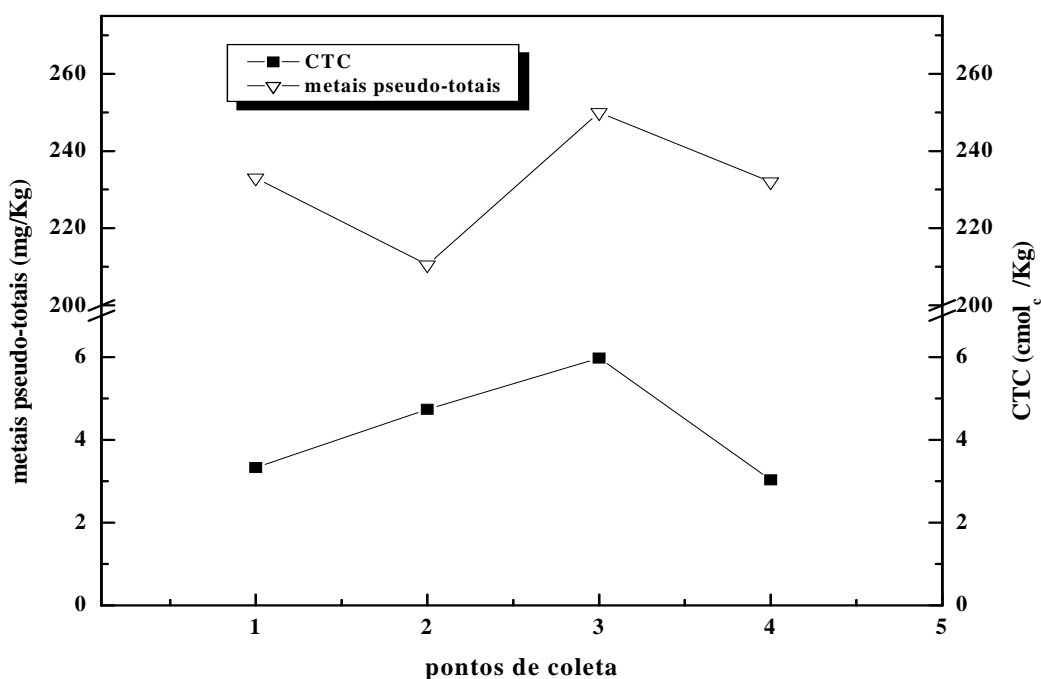


Segundo estudos realizados<sup>54,98</sup>, solos com maior teor de argila e menor teor de areia tende a apresentar maior quantidade de metais.

Porém, percebe-se que a quantidade de metais biodisponíveis está correlacionada com a CTC, sendo, portanto a MO um fator influente nas concentrações de metais em cada amostra.

Na figura 40 estão representados os metais pseudo-totais em relação a CTC.

FIGURA.40 - Gráfico da relação entre a CTC e a soma dos metais pseudo-totais.



Para os metais pseudo-totais a relação com os valores de CTC também é válida, porém, no ponto 2 houve uma variação. Isto pode ser devido ao fato do ponto 2 apresentar uma maior quantidade de areia e menor quantidade de silte do que os pontos 1 e 3.

Outro fator interferente é o da difícil homogeneização de amostras sólidas, o que pode também ter interferido nos resultados discrepantes entre os metais biodisponíveis e pseudo-totais em algumas amostras.

A presença de espécies metálicas em concentrações elevadas no solo causam toxidez para plantas e organismos presentes, reduzem a fertilidade e o desenvolvimento das plantas<sup>38,40</sup>, em altas concentrações nos organismos vivos podem ser tóxicos, podendo causar inúmeras doenças e até mesmo a morte<sup>38,40,49</sup>.

A adsorção de espécies metálicas no solo não é permanente, existe o risco de serem transportados devido a movimentação de materiais que os retém, ou serem recolocados no meio devido a mudanças nas condições químicas e físicas ou nas condições ambientais<sup>40,42</sup>.

A decomposição da MO presente no solo poderá diminuir a capacidade de retenção do mesmo e acabar por, gradativamente, recolocar esse material no meio.

Grande quantidade de metais está retida nos sítios de oxigênio da MO, sendo, portanto influenciados por ela.

O ponto 1 por apresentar o maior teor de argila influenciando a CTC seria o ponto de menor riscos com perdas devidos a degradação. O ponto 3 poderia causar maiores danos por apresentar um teor maior de MO e por, aparentemente, sua CTC decorrer desses fato.

As amostras dos 4 pontos em estudo demonstraram variações discretas com relação a CTC, MO e argila, como comentado anteriormente.

O solo também está na sua capacidade máxima de retenção em todos os pontos, muito provavelmente devido aos metais presentes estarem saturando as cargas negativas dos colóides do solo.

A adição de novos teores de contaminantes levaria a infiltração a camadas mais internas a procura de solos capazes de retenção.

## 4.2 ANÁLISES DO LIXIVIADO

Os resultados obtidos nas análises do lixiviado, apesar de coletado em poços de monitoramento e não diretamente da célula de armazenamento dos resíduos sólidos, reflete as características no líquido no interior do aterro, ou seja, do material que está infiltrando no solo. As análises foram realizadas em triplicata, porém serão apresentadas apenas as médias obtidas.

### 4.2.1 Determinação de pH, fosfato, potássio, OC, OD, nitrogênio total

Os resultados obtidos nas análises do líquido lixiviado nos quatro pontos de coleta encontram-se na tabela 8 abaixo:

TABELA 8. Valores encontrados nas análises de pH, OC, OD, fosfato, potássio nitrogênio total das amostras de lixiviado.

| Análise                 | Ponto 1 | Ponto 2 | Ponto 3 | Ponto 4 |
|-------------------------|---------|---------|---------|---------|
| pH                      | 8,2     | 8,3     | 8,1     | 8,3     |
| OC (mg/L)               | 746,4   | 880,0   | 960,0   | 800,0   |
| OD (mg/L)               | 0,028   | 0,028   | 0,027   | 0,028   |
| Fosfato (mg/L)          | 28,8    | 26,4    | 22,2    | 26,4    |
| Potássio (mg/L)         | 2.180,0 | 1.960,0 | 1.960,0 | 2.380,0 |
| Nitrogênio Total (mg/L) | 1,6     | 1,6     | 1,6     | 1,6     |

Valores de pH em locais de disposição de resíduos sólidos entre 7 e 8 identificam uma avançada fase de decomposição.

O esperado para os resíduos dispostos no local, devido à idade do aterro estudado levando em consideração desde a época em que era lixão, é que estejam com sua degradação em estado avançado.

O pH das quatro amostras em estudo demonstra valores para uma degradação em fase avançada (metanogênese). Contudo é necessário avaliar que não é possível identificar apenas uma fase na degradação dos resíduos, uma vez que essas fases não são totalmente delimitadas devido ao aterramento constante, levando a uma variação do estágio de decomposição entre as camadas, ocorrendo fases simultâneas no interior do aterro<sup>30</sup>. Pensar em apenas uma fase de degradação seria esquecer os complexos processos que ocorrem simultaneamente durante a decomposição.

Assim a relação do pH obtido nas análises do lixiviado está na decomposição do líquido que percola pelo aterro, ou seja, degradação do próprio lixiviado. Este ao entrar em fase de decomposição metanogênica tem suas características alteradas, como o consumo de ácidos voláteis anteriormente formados, o que ocasiona o aumento do valor de pH.

Para que a decomposição do líquido seja satisfatória é essencial a presença de nutrientes em condições adequadas para o crescimento microbiano, são eles também que forneceram energia para suas atividades enzimáticas.

O fosfato, o potássio e o nitrogênio são de grande importância nutricional para manutenção de plantas e microrganismos.

Os valores de fosfato variaram entre 22,2 mg/L (ponto 3) e 28,8 mg/L (ponto 1), sendo os quatro pontos analisados considerados de teores elevados. Os valores de potássio são altos



para todos os pontos, sendo o maior valor encontrado no ponto 4. A quantidade de nitrogênio mostrou-se a mesma para os quatro pontos estudados.

Apesar de esses nutrientes serem importantes para o metabolismo de microrganismos, em excesso nas águas naturais podem ser prejudiciais.

Os teores de potássio encontrados estão muito acima da média mundial em águas naturais, que é de aproximadamente 2 mg/L<sup>26</sup> e da concentração em águas naturais, que dificilmente passa de 10 mg/L<sup>67</sup>.

O fósforo é considerado como o fator limitante para a eutrofização, vez que possui concentrações muito baixas em águas naturais. O nitrogênio pode ser obtido por algumas espécies através do ar, se acaso esse estiver em concentrações baixas na água<sup>45,65</sup>.

Segundo Von Sperling<sup>65</sup> corpos de água com teor de fósforo total acima de 0,005mg/L são considerados eutrófico. Já para Takaro Tundisi<sup>45</sup> os valores encontrados em lagos, segundo várias análises de eutrofização realizadas em diferentes países, demonstram que valores de fósforo acima de 0,084 mg/L são considerados eutróficos.

Para ambos os casos o teor de fósforo encontrado estaria bem acima do contribuinte para eutrofização.

Segundo ainda o mesmo autor, valores de nitrogênio de 0,753 mg/L identificam lagos mesotróficos e acima de 1,8 é de característica eutrófica. Assim, o teor de nitrogênio está próximo ao de concentração eutrófica, porém mesmo estando em concentração menores, o mesmo pode ser adquirido pelos organismos através de outros meios.

Portanto, apesar do lixiviado sofrer uma diluição quando em contato com a água o acréscimo desses nutrientes em concentrações elevadas pode contribuir para a supernutrição e conseqüentemente para a eutrofização de corpos de água.

Outro fator importante na decomposição do lixiviado está relacionado com a quantidade de material orgânico que pode ser degradado.

Esse material em processo de degradação vem a formar o  $\text{CH}_4$ . A formação desse gás é benéfica, pois, retira MO da fase líquida, uma vez que, o metano apresenta baixa solubilidade na água<sup>65</sup>.

A quantidade de MO encontrada no lixiviado é elevada, apesar de esperada para esse tipo de líquido. Todavia, os valores elevados de material orgânico na água exigem uma grande quantidade de  $\text{O}_2$  para sua redução.

Esse alto consumo de  $\text{O}_2$  gera o decréscimo de OD no lixiviado, o qual é utilizado para a oxidação da MO presente. Essas quantidades são muito baixas, estando, portanto sob ação de bactérias anaeróbias.

A dispersão do lixiviado para corpos de água, tendo uma concentração de MO tão elevada, pode causar danos à vida aquática aeróbica, pois levaria a diminuição das concentrações de  $\text{O}_2$  do meio; e concentrações menores que 5 mg/L de  $\text{O}_2$  já causam danos, comprometendo a existência de peixes<sup>26</sup>.

As quantidades de nutrientes e MO presente no líquido demonstram que as células do aterro apresentem ótimas condições de degradação do material ali depositado. Porém, grande parte desse material está lixiviando pelo local, sendo transferido para outras áreas.

Esses materiais solubilizados passarão pelas lagoas de tratamento do lixiviado antes de serem lançados no meio ambiente, podendo tanto diminuir a concentração do material poluidor através da diluição, sedimentação e adsorção do solo da área das lagoas, quanto, aumentar devido a soma com o material já existente. Porém, apenas estudando o material presente nas lagoas poderão ser identificadas as reais conseqüências.

Todavia, a grande preocupação desse trabalho está no risco do contato do lixiviado com cursos de água presente na área do aterro, o que poderia alterar as características da água e assim, interferir em seu uso.

A preocupação aumenta porque o lixiviado das lagoas é liberado num arroio, em que pessoas e animais têm acesso, e a seguir deságua no o rio Cará-cará que é afluente do rio Tibagi, interferindo na sua qualidade, pois ao entrar em contato com corpos de água o lixiviado apenas sofrerá uma diluição, não diminuindo a quantidade total de poluente no sistema de água<sup>47</sup>.

#### 4.2.2 Determinação de espécies metálicas no lixiviado

Foram verificadas as concentrações das espécies metálicas presentes nas amostras dos quatro pontos. Os valores encontrados nas amostras do lixiviado estão na tabela a seguir:

TABELA 9.- Valores obtidos para metais nas amostras do lixiviado (Concentrações em mg/L).

| Parâmetro  | Ponto 1 | Ponto 2 | Ponto 3 | Ponto 4 |
|------------|---------|---------|---------|---------|
| Inorgânico |         |         |         |         |
| Cádmio     | 0,02    | < 0,01  | < 0,01  | < 0,01  |
| Chumbo     | 0,16    | 0,13    | 0,16    | 0,16    |
| Cobre      | 0,03    | 0,03    | 0,03    | 0,03    |
| Cromo      | 1,05    | 0,96    | 1,08    | 1,04    |
| Ferro      | 13,24   | 12,41   | 12,38   | 13,97   |
| Manganês   | 0,30    | 0,29    | 0,29    | 0,29    |
| Níquel     | 0,01    | 0,01    | 0,01    | < 0,01  |
| Prata      | 0,01    | < 0,01  | < 0,01  | < 0,01  |
| Zinco      | 0,28    | 0,27    | 0,27    | 0,28    |

As quantidades de cádmio dos pontos 2, 3 e 4, a de níquel do ponto 4 e as de prata dos pontos 2,3 e 4 mostraram valores inferiores a 0,01 mg/L durante a análise, não podendo ser discutidos .

O pH básico do líquido (8,1 a 8,3) reduz a solubilidade de compostos inorgânicos, contribuindo para a formação de hidróxidos e sulfetos metálicos, o que os torna menos perigosos<sup>27</sup>.

Porém, considerando o contato desse líquido com corpos de água de característica de recreação de contato primário ou até mesmo consumo humano e irrigação, algumas concentrações de metais pesados estariam além do recomendado. Uma referência comparativa seria o CONAMA 357<sup>99</sup> para águas classe 2. Assim teríamos a seguinte situação:

Para o Cd, a amostra do ponto 1 demonstrou valor de 0,02 mg/L, o que estaria acima do padrão de referência que é de 0,001 mg/L.

O Pb presente na amostra do ponto 2 apresentou um valor de 0,13 mg/L , já os pontos 1, 3 e 4 apresentaram valor de 0,16 mg/L, assim, mesmo havendo uma pequena diferença no ponto 1, todas as amostras estão acima do padrão, que é de 0,01 mg/L de Pb.

O Cu também apresenta valores em todas as amostras acima do padrão, que é de 0,009 mg/L.

O Cr variou entre 0,96mg/L e 1,08mg/L, apesar dessa variação ocorrida todos os quatro pontos da amostragem estão fora da referência que é de 0,05 mg/L de Cr.

A concentração de Fe demonstrou uma pequena variação entre as amostras, sendo que o mínimo verificado foi de 12,38 mg/L no ponto 3 e máximo de 13,97 mg/L no ponto 4. As quatro amostras demonstraram valor acima da referência, que seria de 0,3 mg/L.

A amostra do ponto 1 demonstrou valor de 0,30 mg/L para o Mn, já os pontos 2, 3 e 4 obtiveram valor de 0,29 mg/L. Apesar da variação as quatro amostras apresentaram valor acima da referência, que é de 0,1 mg/L.

O Ni demonstrou a mesma concentração de 0,01 mg/L para os pontos 1, 2 e 3, porém, o ponto 4 apresentou valor abaixo de 0,01 mg/L. Os quatro pontos apresentam valor abaixo do padrão de referência, a qual é de 0,025 mg/L para Ni.

A amostra do ponto 1 demonstrou valor de 0,01 mg/L para a Ag, sendo igual ao de referência, já os pontos 2, 3 e 4 apresentaram valor menor que 0,01 mg/L.

As amostras dos pontos 2 e 3 apresentaram valor de 0,27 mg/L de Zn, sendo que as amostras dos pontos 1 e 4 apresentaram valor de 0,28 mg/L. As amostras dos quatro pontos estão acima do estabelecido, que é de 0,18 mg/L.

A amostra do ponto 1 apresentou valor acima da referência comparativa para Cd, sendo que os valores de Pb, Cu, Cr, Fe, Mn e Zn de todos os pontos das amostras de lixiviado estariam acima. Verifica-se uma maior atenção para Pb, Cu, Fe e principalmente Cr, que demonstram valores muito acima dos adotados para referência.

Segundo ainda a mesma referência (CONAMA 357)<sup>99</sup>, porém, analisando o Art.34, referente aos valores permitidos de lançamento de efluentes em corpos de água, teríamos um parâmetro diferente, uma vez que os valores máximos permitidos para lançamento de efluentes em corpos de água são maiores. Assim, entre todas as espécies metálicas analisadas apenas o Cr apresentaria valor acima da referência.

A análise dos teores em relação a efluentes se faz necessária, porém como o maior problema seria o efeito acumulativo de tais substâncias em corpos de água próximos, a relação com águas com características próximas aos locais de risco é importante no fator de comparativo, a fim de avaliar o teor do acréscimo de tais substâncias que pode estar ocorrendo no local.

O maior problema relacionado com as espécies metálicas é que elas não são degradáveis, permanecendo nos sedimentos de rios e lagos durante longos períodos, podendo ser transportados contaminando outros locais ou serem recolocados no meio devido a alterações nas condições ambientais<sup>41,42</sup>.

A presença de metais em altas concentrações em ambientes aquáticos causa a morte de peixes e seres fotossintetizantes<sup>38</sup>. Em contato com o organismo humano leva ao desenvolvimento de inúmeras doenças, alterações no organismo, dificuldade de desenvolvimento, efeito tóxico, podendo causar até mesmo a morte<sup>49</sup>.

## 5 CONCLUSÕES

O solo dos pontos analisados a uma profundidade de aproximadamente 30 cm demonstram uma tendência a lixiviação de materiais a ele depositados devido a aparente saturação de seus colóides.

As condições de nutrientes do solo demonstram uma facilidade na decomposição do material orgânico nele depositado, este fato influencia na CTC dos pontos devido a possível decomposição da MO presente no decorrer do tempo.

A CTC dos pontos revela uma baixa capacidade de adsorção de cátions, confirmando a saturação do solo. O decréscimo da MO levaria a um agravamento dessa situação, diminuindo a CTC dependente do material orgânico e liberando para o meio contaminantes a ela aderidos.

O pH ácido do solo também contribui para a solubilização de compostos inorgânicos.

Em relação aos metais temos que a concentração de Cr do ponto 3, Pb, Cd e Ag de todas as amostras foram encontradas acima dos valores estabelecidos como de referência de qualidade, sendo os valores de Pb de todas as amostras acima também dos valores de prevenção da CETESB.

Para metais pseudo-totais temos que os valores de Pb, Cu, Cd e Ag de todas as amostras estão acima dos valores de referência de qualidade e o Cu das amostras dos pontos 1 e 3 assim como os valores de Pb e Ag de todos os pontos obtiveram valores acima do valor de prevenção da CETESB.

A elevada concentração de metais presentes no solo pode estar influenciando na saturação de seus colóides.

A infiltração de novos contaminantes somada as possíveis adições devido a mudanças nas condições do meio leva a uma preocupação com as condições do lixiviado.

As concentrações de nutrientes como potássio, fósforo e nitrogênio presente no lixiviado demonstram teores elevados, sendo preocupante principalmente em relação ao fósforo, o qual não é encontrado em concentrações significativas naturalmente na água. O excesso desses nutrientes em contato com corpos pode levar a eutrofização do meio.

O material orgânico do lixiviado também apresenta valores bastante elevados, o que contribui para a diminuição do oxigênio dissolvido do meio. Essas condições em contato com água podem alterar as características do sistema interferindo na concentração de oxigênio dissolvido do mesmo e na sua vida aeróbia.

Essas condições somadas a novos contaminantes só tende a aumentar a periculosidade de contaminação pelo líquido percolado.

Comparando os valores encontrados para o lixiviado com águas de classe 2 (segundo CONAMA 357), foi verificado que o Cd no ponto 1, bem como, os valores de Pb, Cu, Cr, Fe, Mn e Zn de todos os pontos possuiriam concentrações acima da referência. Já para a mesma resolução, porém segundo os padrões de lançamento de efluentes, somente o cromo estaria acima da concentração máxima permissível.

Em geral, o lixiviado possui características preocupantes, porém ele ainda passará pelas lagoas de tratamento de lixiviado do aterro, o que pode interferir em suas características antes de ser lançado em corpos de águas.

A maior preocupação está da infiltração do lixiviado pelas camadas do solo até lençóis de água subterrânea. As condições do solo estudado apontam essa possível tendência, porém, será interessante a comparação desses dados com camadas mais internas a fim de verificar alterações em suas características.



## **6 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Estudos detalhados sobre as condições das lagoas, seus sedimentos e do líquido lançado, assim como das condições dos córregos que recebem esse líquido são necessários para uma melhor avaliação dos impactos ambientais.

Trabalhos sobre as concentrações naturais de Fe e Mn no solo da área também se fazem necessários.

O monitoramento dos córregos e bacias de água próximos é de suma importância para uma avaliação das condições ambientais e de possíveis alterações nas características dos cursos de água.

## REFERÊNCIAS

- 1 BIDONE, F.R.A. **Conceitos básicos de resíduos sólidos**. São Paulo: EESC/USP, 1999.
- 2 ZVEIBIL, V.Z. (Coord.); INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL. **Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2001. 200p.
- 3 CASTILHOS JÚNIOR, A.B. de (Coord.). **Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte**. Rio de Janeiro: ABES, RIMA, 2003. 294p.
- 4 PONTA GROSSA AMBIENTAL. **Aterro sanitário do Botuquara**. Disponível em: <<http://www.pgambiental.com.br/index.php?pag=aterro>>. Acesso em: 14 jan. 2007.
- 5 TITULAR da ponta grossa ambiental alerta para possível "desastre ambiental". **Diário da manhã**, Ponta Grossa, 2006. Disponível em: <<http://www.diariodamanha.com.br/edicoesanteriores/050123/geral2.htm>>. Acesso em: 15 mai. 2006.
- 6 LAUDO do IAP diz que empresa está operando irregularmente o Aterro do Botuquara; empresa se defende e diz que forma de operar está correta. **Diário da manhã**, Ponta Grossa, 2005. Disponível em < <http://www.diariodamanha.com.br> >. Acesso em: 15 mai. 2006.
- 7 IBAMA. **O Ibama e sua história**. Disponível em: < <http://www.ibama.gov.br/>>. Acesso em: 17 jul.2007.
- 8 BRASIL. **Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934**. Decreta o código das águas. Disponível em: < <http://www.planalto.gov.br/CCIVIL/decreto/D24643.htm>>. Acesso em 12 ago. 2007.
- 9 BRASIL. **Decreto nº 73.030 de 30 de outubro de 1973**. Cria, no âmbito do Ministério do Interior, a Secretaria Especial do Meio Ambiente - SEMA, e da outras providências. Disponível em: [http:// www6.senado.gov.br/legislacao/ListaPublicacoes.action?id=202556](http://www6.senado.gov.br/legislacao/ListaPublicacoes.action?id=202556). Acesso em: 12 ago. 2007.

10 ROCHA, J.C.; ROSA, A.H.; CARDOSO, A.A. **Introdução a química ambiental**. Porto Alegre: Bookman, 2004. 154p.

11 BRASIL. **Lei nº 6.938 de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a política nacional do meio ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: < [http:// www.planalto.gov.br/CCIVIL/LEIS/L6938.htm](http://www.planalto.gov.br/CCIVIL/LEIS/L6938.htm)>. Acesso em: 12 ago. 2007.

12 JORNAL DO MEIO AMBIENTE. **As 17 leis ambientais mais importantes**. Disponível em <[http:// www.portaldomeioambiente.org.br/legislacao\\_ambiental/17\\_leis.asp](http://www.portaldomeioambiente.org.br/legislacao_ambiental/17_leis.asp)>. Acesso em: 12 ago.2007.

13 BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução nº 001 de 23 de janeiro de 1986**. Avaliação de Impacto Ambiental. Disponível em [www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html](http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html) . Acesso em: 12 ago. 2007.

14 CONAMA. **O que é conama?**. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/estr.cfm> > . Acesso em 13 ago. 2007.

15 BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**: promulgada em 5 de outubro de 1988, Brasília. Disponível em: < <http://www.presidencia.gov.br/legislaca/> > Acesso em: 22 mai. 2006.

16 BRASIL. **Lei nº 7.735 de 22 de fevereiro de 1989**. Dispõe sobre a extinção de órgão e de entidade autárquica, cria o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis e dá outras providências. Disponível em: < <http://www.planalto.gov.br/CCIVIL/leis/L7735.htm> > . Acesso em: 13 ago. 2007.

17 BRASIL. **Lei nº 8.490 de 19 de novembro de 1992**. Dispõe sobre a organização da Presidência da República e dos Ministérios e dá outras providências. Disponível em: < <http://www.planalto.gov.br/ccivil/LEIS/L8490.htm> >. Acesso em: 13 ago. 2007.

18 IAP. **Histórico do instituto ambiental do Paraná.** Disponível em: < <http://www.iap.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=186>>. Acesso em: 20 jul. 2007.

19 PARANÁ. **Lei Estadual nº 10.066 de 27 de julho de 1992.** Cria a secretaria de estado do meio ambiente - SEMA, a entidade autárquica instituto ambiental do Paraná - IAP e adota outras providências. Diário Oficial nº 3813 de 27 jul. 1992. Disponível em: < <http://celepar7cta.pr.gov.br/SEEG/sumulas.nsf/319b106715f69a4b03256efc00601826/bdc610526e95ed83256f9a00696b86?OpenDocument> >. Acesso em: 13 ago. 2007.

20 BRASIL. **Lei nº 7.347 de 24 de julho de 1985.** Disciplina a ação civil pública de responsabilidade por danos causados ao meio-ambiente, ao consumidor, a bens e direitos de valor artístico, estético, histórico, turístico e paisagístico (vetado) e dá outras providências. Disponível em: < <http://www.planalto.gov.br/ccivil/LEIS/L7347orig.htm> >. Acesso em: 13 ago. 2007.

21 PARANÁ. **Lei nº 12.493 de 22 de janeiro de 1999.** Estabelece princípios, procedimentos, normas e critérios referentes a geração, acondicionamento, armazenamento, coleta, transporte, tratamento e destinação final dos resíduos sólidos no Estado do Paraná, visando controle da poluição, da contaminação e a minimização de seus impactos ambientais e adota outras providências. Diário Oficial nº 5430, Curitiba, 05 fev. 1999. Disponível em:< [www.pr.gov.br/meioambiente/pdf/lei\\_12493\\_1999.pgf](http://www.pr.gov.br/meioambiente/pdf/lei_12493_1999.pgf)>. Acesso em: 17 set. 2006.

22 BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução nº 257, de 30 de junho de 1999.** Procedimentos especiais ou diferenciados para destinação adequada quando do descarte de pilhas e baterias usadas, para evitar impactos negativos ao meio ambiente. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/conama/> >. Acesso em 20 abr. 2006.

23 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 1004 Resíduos sólidos: classificação.** Rio de Janeiro: ABNT, 2004

24 BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução nº 005, de 1993.** Estabelece definições, classificação e procedimentos mínimos para o gerenciamento de resíduos sólidos oriundos de serviços de saúde, portos e aeroportos, terminas ferroviários e rodoviários. Disponível em < <http://www.mma.gov.br/conama> >. Acesso em: 5 jul. 2006.

25 IBGE. Instituto Brasileiro de Pesquisa Estatística. **Pesquisa nacional de saneamento básico: publicação completa.** Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb/pnsb.pdf> >. Acesso em : 22 jan. 2007.

26 BAIRD, C. **Química ambiental.** Tradução de Maria Angeles Lobo e Luiz Carlos Marques Carrera. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

27 MONTEIRO, V.E.D. **Análises físicas, químicas e biológicas no estudo do comportamento do aterro da Muribeca.** 2003, 232f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003.

28 Revista eletrônica do departamento de química da UFSC. Disponível em: < <http://www.qmc.ufsc.br/qmcweb/artigos/sugar>> . Acesso em: 25 set. 2007.

29 HERNANDEZ, E. Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia. Disponível em: < [http://www.revfacagronluz.org.ve/vol\\_1/v011z005.html](http://www.revfacagronluz.org.ve/vol_1/v011z005.html)>. Acesso em: 25 set. 2007.

30 SCHUELER A.S. de. **Estudo de caso e proposta para classificação de áreas degradadas por disposição de resíduos sólidos urbanos.** 2005, 223p. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005. Disponível em:< <http://www.poc.ufrj.br/~mahler/doutorado.html>>. Acesso em: 9 set. 2007.

31 BARBOSA, R.M. O chorume dos depósitos de lixo urbano: composição, evolução, diluição, extensão, processo, poluição e atenuação. **TECBAHIA Revista Baiana de Tecnologia**, Camaçari, v.14, n.1, p.110-125, jan/abr. 1999.

32 IPT/CEMPRE (2000). **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado.** 1ª ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas/IPT;

33 PAES, R.F.C. **Caracterização do chorume produzido no aterro da Muribeca – PE.** 2003, 122f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Estadual de Campina Grande, Campina Grande, 2003.

34 CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Introdução de resíduos sólidos.** Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/solo/residuo/introducao.asp>>. Acesso em: 18 out. 2007.

35 CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Poluição**. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/solo/solo/poluicao.asp>>. Acesso em: 18 out. 2007.

36 LUCHESE, E. B.; FAVERO, L.O.B.; LENZI, E.. **Fundamentos da química do solo**. Teórica e Prática. Rio de Janeiro: Frutas Bastos, 2001. 182p.

37 LOPES, A.S.; GUILHERME L. R. G. ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS. **Boletim técnico nº 2 interpretação de análise do solo: conceito e aplicações**. São Paulo: ANDA, 1992. 64 p.

38 ROSA A.H. **Desenvolvimento de metodologia para extração de substâncias húmicas de turfas utilizando-se hidróxido de potássio**, 1998, 99p. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Estadual Paulista Júlio Mesquita Filho, Araraquara, 1998.

39 SILVA FILHO, A.V. da.; SILVA, M.I.V.da. **Importância das Substâncias Húmicas para a agricultura**. Disponível em < <http://www.emepa.org.br/anais/volume2/av209.pdf>>. Acesso em 6 set. 2007.

40 NOVAIS, R. F. de.; ALVAREZ, V.H.; SCHAEFER, E.G.R. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. v.1, 2000.

41 NASCIMENTO, S.C.; HYPOLITO, R.; RIBEIRO, A.A. Disponibilidade de metais pesados em aterro de indústria siderúrgica. **Revista de Engenharia Sanitária Ambiental**, Rio de Janeiro, v.11, n.3,p.196-202, jul/set. 2006.

42 COTTA, J.A.O. **Diagnóstico ambiental do solo e sedimento do parque estadual turístico do Alto Ribeira (PETAR)**. 2003, 116f. Dissertação (Mestrado em Ciências – Química Analítica) – Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

43 DECHEN, A.R. (coord.) **XX Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas**. Campinas: Fundação Cargil, 1992.

44 OSÓRIO, V.K.L; OLIVEIRA, W. Polifosfatos em Detergente em Pó Comerciais. **Quím.Nova**, São Paulo, v.24, nº5, p. 700-708, set./out.2001.

45 TUNDISE, T. M. **Lagos e reservatórios - qualidade da água**: O Impacto da Eutrofização.(tradução). UNEP- IETC- ILEC- IIE. São Carlos, v. 3, 28, 2002. (Série Planejamento e Gerenciamento de Lagos e Reservatórios). Disponível em: <<http://www.rimaeditora.com.br/lagos.pdf>>. Acesso em: 05 jan.2008.

46 BAPTISTA, G..M.; ARAÚJO NETO, M.D. de. **O Processo de eutrofização artificial no lago paranoá**. Geonomos, Minas Gerais, p. 31-39. Disponível em: <[http://www.igc.ufmg.br/geonomos/PDFs/2\\_2\\_31\\_39\\_Batista.pdf](http://www.igc.ufmg.br/geonomos/PDFs/2_2_31_39_Batista.pdf)>. Acesso em: 12 jan. 2008.

47 CARVALHO.A.L. **Contaminação de águas subsuperficiais em área de disposição de resíduos sólidos urbanos- o caso do antigo lixão de Viçosa (MG)**. 2001, 122f. Tese (Pós-Graduação em Engenharia Civil)- Universidade de Viçosa, Viçosa, 2001. [http://www.ufv.br/dec/ppg/Teses/ms\\_Carvalho2/ms\\_Carvalho.pdf](http://www.ufv.br/dec/ppg/Teses/ms_Carvalho2/ms_Carvalho.pdf)>. Acesso em: 17 set. 2007.

48 JORDÃO, C.P. et al. Adsorção de íons Cu<sup>2+</sup> em latossolo vermelho – amarelo húmico. **Quím.Nova**, Rio de Janeiro, v.23, n.1, p.6-11, jan/fev. 2000.

49 LARINI, L. **Toxicologia**. 3.ed. São Paulo: Manole, 1997.

50 EGREJA FILHO, F.B. et al. Avaliação quiométrica da distribuição de metais pesados em compostos de lixo urbano domiciliar. **Quím. Nova**, São Paulo, v. 22, n.3, p.324-328, mai/jun 1999.

51 SODRÉ, F. F.; LENZI, E.; COSTA, A.C.S.da. Utilização de Modelos Físico-Químicos de Adsorção no Estudo do Comportamento do Cobre em Solos Argilosos. **Quím.Nova**, Paraná, v.24, n°3, p.324-330, mai./jun. 2001.

52 PIGOSSO, A.T.J.et al. Disponibilidade de metais de transição no solo tratado com lodo de esgoto. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v.26, n.4, p.443-451, 2004. Disponível em: <[http://www.ppg.uem.br/Docs/ctf/Agronomia/2004\\_4/10\\_006\\_04\\_Pigozzo%20et%20al\\_Disponibilidade%20de%20metais%20de%20transicao.pdf](http://www.ppg.uem.br/Docs/ctf/Agronomia/2004_4/10_006_04_Pigozzo%20et%20al_Disponibilidade%20de%20metais%20de%20transicao.pdf)>. Acesso em: 12 ago. 2007.

53 COTTA, J.A.O.; REZENDE, M.O.; PIOVANI, M.R. Avaliação do teor de metais em Sedimento do Rio Betari no Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira – Petar, São Paulo, Brasil. **Quím. Nova**, São Paulo, v.29, n° 1, p. 40-45, jan./fev. 2006.

54 FADIGAS. F.S. et al. Proposição e valores de referência para a concentração natural de metais pesados em solos brasileiros. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**,

Campina Grande, v. 10, n.3, p. 699-705, 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v10n3/v10n3a24.pdf>>. Acesso em : 5 out. 2007.

55 TOXICOLOGIA dos metais pesados. Disponível em <[http://www.mundodoquimico.hpg.ig.com.br/toxicologia\\_dos\\_metais\\_pesados.htm](http://www.mundodoquimico.hpg.ig.com.br/toxicologia_dos_metais_pesados.htm)>. Acesso em: 13 jun. 2006.

56 CAMPOS, M.J.A. **Metais pesados e seus efeitos**. Disponível em: <[http://www.mundodoquimico.hpg.ig.com.br/metais\\_pesados\\_e\\_seus\\_efeitos.htm](http://www.mundodoquimico.hpg.ig.com.br/metais_pesados_e_seus_efeitos.htm)>. Acesso em: 13 jun. 2006.

57 BARBOSA, A.C. **Agentes químicos tóxicos**. IBAMA Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/ambtec/documentos/Parte%204.pdf>>. Acesso em: 5 abr. 2006.

58 MOREIRA, F.R.; MOREIRA, J.C. A cinética do chumbo no organismo humano e sua importância para a saúde. **Cienc. Saúde Coletiva**, v.9,n.1,p.167-181,2004. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/csc/v9n1/19834.pdf>>. Acesso em 15 jun.2006.

59 COSTA, A.C.S. da. et al. Determinação de cobre, alumínio e ferro em solos derivados do basalto através de extrações sequenciais. **Quím. Nova**, São Paulo, v.25, n.4, p. 548-552, jul/ago. 2002.

60 FERRO: aplicações, papel biológico e precauções. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/ferro>>. Acesso em: 3 abr. 2006.

61 VIEIRA, J.L.F.; PASSARELLI, M.M. Determinação de mercúrio total em amostras de corpos aquáticos por espectroscopia de absorção atômica com gerador de vapor a frio. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v.30, n.3, p. 159-162, jun. 1996.

62 CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Decisão de diretoria nº195-2005 - e, de 23 de novembro de 2005. dispõe sobre a aprovação dos Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo – 2005, em substituição aos Valores Orientadores de 2001, e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/relatorios/tabela\\_valores\\_2005.pdf](http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/relatorios/tabela_valores_2005.pdf)>. Acesso em: 18 nov. 2006.



63 RAID, B.V. **Avaliação da Fertilidade do Solo**. Piracicaba: Instituto da Potassa e do Fosfato, 1981. 142p.

64 MELLO, F.A.F.de. et al. **Fertilidade do Solo**. 3. ed. São Paulo: Nobel, 1988. 400p.

65 SPERLING, M.V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2.ed. Belo Horizonte:SEGRAC, 1996. 243p.

66 CRUZ, A.S. **O veneno das águas**. A toxina que contaminou os doentes renais de uma alga azul e bela. Disponível em: < [http://www.veja.abril.com.br/idade/em\\_dia/caruaru-caoa.htm](http://www.veja.abril.com.br/idade/em_dia/caruaru-caoa.htm). > Veja on-line. Acesso em: 2 dez. 2007.

67 CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Variáveis na qualidade de água**. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/variaveis.asp#demanda>>. Acesso em: 15 nov. 2007.

68 VALENTE, J. P.S.; PADLHA, P.M.; SILVA, A.M.M. Oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO) como parâmetros de poluição no ribeirão Lavapés/Botucatu- SP. **Eclética Química**, São Paulo, v.22, 1997. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-46701997000100005&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-46701997000100005&script=sci_arttext)>. Acesso em: 20 jan. 2008.

69 PEREIRA, C. E. B.; ORNELAS, R.M.; SÁ, P.F.G. de. **Estimativa e Quantificação de Matéria Orgânica em Águas** – Uma Avaliação Metodológica e Proposição de Mudanças. ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Disponível em: < <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes97/estimativa.pdf> >. Acesso em: 10 jan. 2008.

70 ADAD, J. M. J. **Controle Químico de Qualidade**. p.76. Belo Horizonte: Vega, 1969, 382p.

71 PEREIRA, S. **Determinação de oxigênio consumido em águas**, Método do Permanganato de Potássio. Universidade Federal do Pará. Disponível em: <[http://www.ufpa.br/ccen/quimica/laboratorio%20de%20qanalmoderna\\_arquivos/page0015.htm](http://www.ufpa.br/ccen/quimica/laboratorio%20de%20qanalmoderna_arquivos/page0015.htm)>. Acesso em: 15 jan.2008.

72 YÚFERA, E.P.; DORRIEN, J.M.C. **Química agrícola I, Suelos y Fertilizantes**. 1.ed. Madrid, España: Alhambra, 1973. 470p.

73 CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Propriedades**. Disponível em: < [http:// www.cetesb.sp.gov.br/solo/solo/propriedades.asp](http://www.cetesb.sp.gov.br/solo/solo/propriedades.asp)>. Acesso em: 02/09/2007.

74 LEITE, M.B.; BERNARDES, R.S.; OLIVEIRA, S.A. de. Métodos walkley na determinação da matéria orgânica em solos contaminados por chorume. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.8, n.1, p.111-115, 2004.

75 REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo- planta – atmosfera**. 4 ed. Campinas: Fundação Cargill., 1985, 466p.

76 FADIGAS, F.S. et al. Concentrações naturais de metais pesados em algumas classes de solos brasileiros. **Bragantia**, Campinas, v.61, n.2, mai./ago. 2002. Disponível em: < [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0006-87052002000200008](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0006-87052002000200008)>. Acesso em: 26 out. 2007.

77 DEMARIO, E.F. et al. **Estudo relativo ao destino do lixo hospitalar da cidade de Ponta Grossa**. 1992. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Agronomia)-Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 1992.

78 MROSK JÚNIOR, E.C. et al. **Diagnóstico e projeto de recuperação da área de lixo de Ponta Grossa, Paraná**. 1992. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 1992.

79 EMPRESA que gerencia lixão de Ponta Grossa é multada. **Band pé no rio**, Ponta Grossa, 29 mar. 2005. Disponível em: < <http://www.bandpenorio.com.br/pages/noticias> >. Acesso em: 5 abr. 2006.

80 CASTILHO, L.C. Prefeitos da história de Ponta Grossa. **Plantão Online da Cidade**. Disponível em: < [http:// www.plantaodacidade.com.br/prefeitos/prefeitos.htm](http://www.plantaodacidade.com.br/prefeitos/prefeitos.htm)>. Acesso em: 12/10/2007.

81 STRINGARI, O. SIMEPAR- Sistema Meteorológico do Paraná. **Informações sobre o período de chuva referentes aos meses de junho a outubro de 2006, e fevereiro a julho de 2007.** Curitiba, 2007. 06 dez. 2007. contato por e-mail.

82 VETTORI, L. **Métodos de análise de solo.** Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1969.p. 11. jul. 24p. (Boletim Técnico,nº7).

83 APHA – AWWA – WEF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** 20. ed. Washington: American public Health Association, 1998.

84 PAVAN. M.A.; et al. **Manual de análise química de solo e controle de qualidade.** Londrina, IAPAR, 1992.

85 CORRÊA, L.A. de. Disponibilidade de fósforo pelos extratores de Melich-1 e resina em latossolo vermelho amarelo, álico cultivado com três gramíneas forrageiras. **Sci.agri.**, Piracicaba, v.50, n.2, p. 287-294, jun./set., 1993.

86 VASCONCELOS. C. A. et al. Produtividade em alta. Revista Cultivar Grandes Culturas, n.18, julho, 2000. **Embrapa** milho e sorgo. Disponível em:< <http://www.grupocultivar.com.br/arquivos/cultivar18-produtividademilho.pdf> >. Acesso em: 22/09/2007

87 EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. **Manual de métodos de análise de solo**, 2 ed. Rio de Janeiro,1997.212p.

88 TANNER, C.B.; JACKSON, M. L. **Monographs of Sedimentaion Times for Soil ParticlesUnder Gravity ou Centrifugal Acceleration.** Soil Science Society Proceedings, 1947.

89 DIAS, J. C.; LIMA, W.N. de. **Comparação de métodos para a determinação de matéria orgânica em amostras ambientais.** Revista Científica da UFPA, v.4, abr. 2004. Disponível em< <http://www.ufpa.br/revistaic> >Acesso em: 22. mai.2007.

90 RUIZ, H.A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila).**R.Bras.Ci.Solo**, Viçosa, v. 29, p. 297-300, 2005.

91 TESSIER, A.; CAMPBELL, P.G.C. & BISSON,M. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. **Anal.chem.**, v. 51,p. 844-851, 1979.

92 TEÓDULO, M.J.R. et al. Comparação de métodos de extração parcial de metais em solos e sedimentos de um estuário tropical sob a influência de um complexo industrial portuário, Pernambuco Brasil. **Estudos Geológicos**, Pernambuco, v.13, p.23-34, 2003. Disponível em:< [http://www.ufpe.br/geologia/estudos\\_geologicos/v13-trab3.pdf](http://www.ufpe.br/geologia/estudos_geologicos/v13-trab3.pdf) >. Acesso em: 10 set. 2007.

93 CHEN, Z.S. 1992. Metal contamination of foods, soils, rice plants and surface waters in Asia. In: Biogeochemistry of trace metals. Adriano, D.C (ed), Lewis Publishers, p. 85-108.

94 RIBEIRO FILHO, M.R. et al. Fracionamento e biodisponibilidade de metais pesados em solo contaminado, incubado com materiais orgânicos e inorgânicos. **R.Bras.Ci.Solo**, v. 25, p. 495-507, 2001.

95 NIEUWENHUIZE, J. et al. Comparison of microwave and conventional extraction techniques for the determination of metals in soil, sediment and sludge samples by atomic spectrometry. **Analyst**, v. 116, p.347-351, abril. 1991. Disponível em:< <http://comut.ibict.br/comut/do/atendimento> >. Acesso em: 31/05/2007.

96 LÃ, O.R. et al. Avaliação dos métodos de extração seqüencial de Tessier, Keller e Miller na determinação de ferro nativo em três tipos de solo: Orgânico, Brunizem e Latossolo. **Quím. Nova**, São Paulo, v.26, n.3, p.323-330, maio/junho.2003.

97 MEDEIROS, J.C.; CARVALHO, M.C.S.; FERRERA, G. B. **Embrapa algodão**. Solos. Cultivo de algodão irrigado. set. 2006. Disponível em:< [http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Algodao/AlgodaoIrigado\\_2ed/solos.html](http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Algodao/AlgodaoIrigado_2ed/solos.html) >. Acesso em: 10 set. 2007.

98 BOAVENTURA, G. R. et al. **Geoquímica de solos e argila no aterro sanitário (lixão) do distrito federal, Brasília**. 1995. Disponível em: < [ftp://ftp.unb.br/pub/download/ig/ProdCient/Resumos/BoaventuraEtAl\\_1995.PDF](ftp://ftp.unb.br/pub/download/ig/ProdCient/Resumos/BoaventuraEtAl_1995.PDF) > . Acesso em: 24 out. 2007.

99 BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução nº 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, e dá outras providências. Disponível em [www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf](http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf) . Acesso em: 22 jun. 2006.