



UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
FACULDADE DE ENGENHARIA E ARQUITETURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA

Márcia Helena Beck

**INVESTIGAÇÃO DE ÁREA DEGRADADA PELA
DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO
MUNICÍPIO DE PASSO FUNDO**

Passo Fundo

2005

Márcia Helena Beck INVESTIGAÇÃO DE ÁREA DEGRADADA PELA DISPOSIÇÃO
DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO MUNICÍPIO DE PASSO FUNDO

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Márcia Helena Beck

ORIENTADOR: Prof. Dr. Antônio Thomé

Co-orientador: Prof. Dr. Pedro A. Varela Escosteguy

**INVESTIGAÇÃO DE ÁREA DEGRADADA PELA
DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO
MUNICÍPIO DE PASSO FUNDO**

**Dissertação apresentada à Faculdade
de Engenharia e Arquitetura da
Universidade de Passo Fundo, para
obtenção do título de Mestre em
Engenharia.**

Passo Fundo

2005

Márcia Helena Beck

**INVESTIGAÇÃO DE ÁREA DEGRADADA PELA DISPOSIÇÃO DE
RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO
MUNICÍPIO DE PASSO FUNDO**

Prof. Dr. Antônio Thomé – UPF – Orientador

Prof. Dr. Pedro A. Varela Escosteguy – Co-orientador

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Marcio Vendruscolo– URI– Examinador

Prof. Dr. Marcelo Hemkemeier – UPF – Examinador

Prof. Dr. Pedro Domingos Marques Prietto – UPF - Examinador

Passo Fundo

2005

Dedico esta dissertação à memória de minha mãe,
pelo amor, coragem, dedicação e saudade...
Ao meu pai, que sempre me apoiou nas minhas
escolhas e decisões...
Ao meu marido pela compreensão, carinho e
cumplicidade...

Ao professor Antônio Thomé, pela sábia orientação, amizade e confiança na condução deste trabalho.

Ao professor Pedro A. V. Escosteguy, por ter acreditado nas minhas possibilidades e por ter tantas vezes entendido minhas limitações.

Ao laboratorista Leunir de Freitas, pelas brilhantes sugestões oferecidas, além do carinho e amizade, que me foram de fundamental importância.

As estagiárias e amigas Kátia Pricila do Amaral e Viviane dos Santos, pela essencial participação no desenvolvimento desta dissertação.

Ao estagiário Anderson Fonini, pelo auxílio e disponibilidade.

À Universidade Passo Fundo, pela bolsa concedida.

Ao Mestrado de Engenharia, em especial à secretária Marli Tagliari, pelo companheirismo.

À minha amiga Larissa Francescon Borella, pela inestimável ajuda e por quem sempre guardei um amor de irmã.

Aos meus sobrinhos, Nathalia e Eduardo, pela alegria ternura e inocência.

Aos colegas, os quais se tornaram amigos especiais.

A todos, o meu mais sincero obrigado.

Nós não herdamos a terra de nossos pais, mas a
pegamos emprestada de nossos filhos.
(HENRY BROWN)

RESUMO

O potencial de contaminação ambiental de um aterro sanitário estende-se desde o início da sua operação, até várias décadas após seu fechamento, pois a decomposição dos resíduos sólidos ali depositados continua a produzir lixiviado. O objetivo desta pesquisa foi o monitoramento das águas subterrâneas e lixiviado do local de disposição de resíduos sólidos urbanos do município de Passo Fundo e a verificação da capacidade de atenuação do solo local. O monitoramento das águas subterrâneas e lixiviado do aterro incluíram análises físico-químicas e microbiológicas durante o período de junho de 2004 a janeiro de 2005. A caracterização física do solo local foi realizada através de ensaios de limite de liquidez, limite de plasticidade e granulometria. A capacidade de atenuação foi verificada em equipamento de coluna, através de análises físico-químicas do solo e do lixiviado, antes e após a percolação do lixiviado no solo. Com os resultados do monitoramento, verificou-se que os valores encontrados para as águas subterrâneas de cloreto, sódio, zinco, cobre, nitrito e dureza obedeceram aos padrões de potabilidade. Porém, a qualidade destas águas está comprometida, devido aos valores de condutividade elétrica, DBO e DQO. O solo local é altamente plástico, pois apresentou $IP > 15$, e as frações predominantes do solo foram de argila e silte. Pode-se concluir deste estudo que as águas subterrâneas estão contaminadas com o lixiviado produzido pelos resíduos sólidos e que a capacidade de atenuação do solo é limitada. Porém, a determinação de metais no solo, antes e após o ensaio de coluna, indicou que, quando uma alta vazão do lixiviado percola o solo local, ocorre à solubilização de metais, principalmente o ferro.

Palavras-chave: Capacidade de Atenuação, contaminação do solo e águas subterrâneas, lixiviado, resíduos sólidos.

ABSTRACT

The potential of contamination of water and soil from a municipal solid waste landfill starting since the beginning of its operation until some decades after closed. This happened due the decomposition of the solid residues continues to produce leached during years. The objective of this research was the carried out the monitoring of underground waters quality, the leached characteristics and the verification of the capacity of attenuation of the in situ soil of the place of urban solid waste disposal from Passo Fundo city. The microbiological physico-chemic analyses were carried out in underground waters and leached during the period of June of 2004 the January of 2005. The physical characterization of the soil was carried through Atterberg limits and grain size tests. The attenuation capacity was verified in column equipment. It was analyzed properties of the soil and the leached before and after its percolation in the soil. With the monitoring results it was verified that the values found for chloride, sodium, zinc, copper, nitrite and hardness for underground waters had satisfied the standards for drink waters. However the quality of these waters was compromised to electric conductivity, DBO and DQO values. The in situ soil is highly plastic, because it presented $IP > 15$, and the predominant size of grain of the soil had been of clay and silt. It can be concluded from this study that the underground waters are contaminated with the leached produced by the municipal solid waste and that the attenuation capacity of the soil is limited.

Key words: attenuation capacity, soil and groundwater contamination, solid waste.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Perfil de Latossolo Vermelho distrófico típico	27
Figura 3.1 Mapa de situação e localização da usina	36
Figura 3.2- Vista panorâmica” do “lixão” em 4/02/01	37
Figura 3.3 - Vista da célula do aterro controlado em operação	38
Figura 3.4: Levantamento georeferenciado da área do aterro.....	39
Figura 3.5 - Perfil esquemático dos poços de monitoramento.....	41
Figura 3.6 - Amostrador para retirada de água subterrânea dos poços de monitoramento	42
Figura 3.7 - Detalhe dos amostrador na posição aberta.....	42
Figura 3.8: Detalhe dos amostrador na posição fechada	43
Figura 3.9 – Montagem do corpo de prova no equipamento de coluna , colocação da membrana e pedras porosas.....	44
Figura 3.10 - Montagem do equipamento de coluna (ALVES, 2005).....	45
Figura 3.11 – Equipamento de coluna, da esquerda para a direita cilindro A, B E C.....	46
Figura 3.12 – Latossolo Vermelho distrófico típico-jazida de cobertura do aterro	47
Figura 3.13 – Lagoa de estabilização da célula de resíduos em operação do aterro.....	48
Figura 3.14 - Coleta de água subterrânea nos poços de monitoramento.....	49
Figura 3.15 – Coleta do lixiviado na lagoa.....	50
Figura 3.16 – Amostra de solo deformada – identificação e acondicionamento	51
Figura 3.17: Coleta do lixiviado na saída da massa de resíduos.....	52
Figura 3.18 – Digestão Nitro-Perclorica - Método descrito por Tedesco <i>et al.</i> (1996).	54
Figura 3.19 – Digestão de metais - Método Padrão EPA 3050 B (1996).	54
Figura 3.20 - Espectrofotometro de adsorção atômica, modelo 3110 Perkin-Elmer	55
Figura 3.21 - Local da retirada de amostra de solo indeformada da área de aterro	56
Figura 3.22 - Amostra de solo indeformada da área de aterro.....	56
Figura 3.23 – Torno para moldagem de corpo de prova indeformado	57
Figura 4.1 - Limites de Liquidez, Limite de Plasticidade e Índice de Plasticidade do perfil do solo do poço de monitoramento 1.....	59
Figura 4.2 - Percentuais de argila, silte, areia fina e areia média do perfil do solo do poço de monitoramento 1. 60	
Figura 4.3 - Limites de Liquidez, Limite de Plasticidade e Índice de Plasticidade do perfil do solo do poço de monitoramento 2.....	61
Figura 4.4 - Percentuais de argila, silte, areia fina e areia média do perfil do solo do poço de monitoramento 2. 62	
Figura 4.5 - Limites de Liquidez, Limite de Plasticidade e Índice de Plasticidade do perfil do solo do poço de monitoramento 3.....	64
Figura 4.6 - Percentuais de argila, silte, areia fina e areia média do perfil do solo do poço de monitoramento 3. 65	
Figura 4.7 - Limites de Liquidez, Limite de Plasticidade e Índice de Plasticidade do perfil do solo do poço de monitoramento 4.....	66
Figura 4.8 - Percentuais de argila, silte, areia fina e areia média do perfil do solo do poço de monitoramento 4. 67	

Figura 4.9 – Nível máximo e mínimo de água no lençol freático durante o estudo de monitoramento	68
Figura 4.10 - Concentrações de zinco, cobre e manganês no solo antes e após o ensaio de coluna	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Caracterização e classificação do perfil do solo no poço de monitoramento 1.....	59
Tabela 4.2 – Caracterização e classificação do perfil do solo no poço de monitoramento 2.....	61
Tabela 4.3 – Caracterização e classificação do perfil do solo no poço de monitoramento 3.....	63
Tabela 4.4 – Caracterização e classificação do perfil do solo no poço de monitoramento 4.....	66
Tabela 4.5 - Profundidade dos poços de monitoramento e nível piezométrico a partir do nível do terreno	68
Tabela 4.6 – Análise das águas subterrâneas do poço 01 e valores máximos permitidos	69
Tabela 4.7 - Análise das águas subterrâneas do poço 02 e valores máximos permitidos	70
Tabela 4.8 - Análise das águas subterrâneas do poço 03 e valores máximos permitidos	71
Tabela 4.9 - Análise das águas subterrâneas do poço 04 e valores máximos permitidos	72
Tabela 4.10 – Análise do lixiviado coletado após a entrada na lagoa de estabilização	74
Tabela 4.11 - Análise do lixiviado coletado na saída da lagoa de estabilização.....	75
Tabela 4.12 - Caracterização do solo da amostra indeformada	76
Tabela 4.13.- Análise físico-químicas do lixiviado percolado no dia 16/03/2005 (1º ensaio).....	76
Tabela 4.14 - Análise físico-químicas do lixiviado percolado no dia 18/03/2005 (2º ensaio).....	77
Tabela 4.15 – Análise físico-químicas do lixiviado percolado no dia 22/03/2005 (3º ensaio).....	77
Tabela 4.16 - Concentração de metais no solo antes e após ensaio de coluna.....	79
Tabela 4.17 – Valores médios de concentração de metais encontrados x valores sugeridos - CETESB. 2001.....	81

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 Considerações iniciais	13
1.2 Justificativas	14
1.3 Objetivos.....	15
1.3.1 Objetivo geral	15
1.3.2 Objetivos específicos	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 Considerações iniciais	16
2.2 Sistemas de disposição de resíduos sólidos	18
2.3 Fases do aterro	19
2.4 Águas subterrâneas	21
2.5 Solos	24
2.6 Transporte de contaminantes	31
3 PROGRAMA EXPERIMENTAL, MATERIAIS E MÉTODOS	33
3.1 Delineamento da Pesquisa	33
3.2 Local do estudo	35
3.3 Materiais utilizados.....	39
3.3.1 Poços de monitoramento.....	39
3.3.2 Equipamento de coluna.....	43
3.3.3 Solo	46
3.3.4 Lixiviado.....	47
3.4 Métodos e técnicas.....	48
3.4.1 Estudo de monitoramento	48
3.4.1.1 Análise físico-química das águas subterrâneas.....	48
3.4.1.2 Análise físico-química do lixiviado.....	50
3.4.1.3 Ensaios de caracterização física do solo.....	50
3.4.2 Estudo de atenuação	51
3.4.2.1 Análise físico-química e determinação de metais do lixiviado	51
3.4.2.2 Análise físico-química e determinação de metais no solo.....	55
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	58
4.1 Estudo de monitoramento	58
4.1.1 Caracterização física do solo	58
4.1.2 Análise físico-química das águas subterrâneas.....	67
4.1.3 Análise físico-química do lixiviado.....	73
4.2 Ensaio de atenuação.....	75
4.2.1 Caracterização física do solo	75
4.2.2 Ensaios de permeabilidade.....	76
4.2.3 Análise físico-químicas do lixiviado	76
4.2.4 Determinação de metais no solo e lixiviado	78
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	82
5.1 Conclusões.....	82

5. 2 Sugestões para trabalhos futuros.....	82
REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	84

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações iniciais

Assim como no metabolismo dos seres vivos, nossa sociedade transforma insumos em bens, serviços e alguns subprodutos que se precisam “eliminar”.

Resíduos sólidos urbanos são mais comumente denominados de lixo. Essa palavra deriva do termo latim *lix*, que significa cinza. Lixo, na linguagem técnica, é sinônimo de resíduos sólidos e é representado por diferentes materiais descartados pela atividade humana.

Do ponto de vista sanitário e ambiental, a adoção de soluções inadequadas para o problema do lixo faz com que os efeitos indesejáveis se agravem: os riscos de contaminação de solo, da água e do ar, a proliferação de vetores, doenças e a catação. Com o aumento da população nas cidades e o conseqüente aumento da produção industrial, há um aumento considerável na produção de lixo. Os locais de tratamento e destinação final devem inspirar maiores cuidados de modo a não tornar irreversíveis os danos ambientais daí decorrentes.

A existência de lixões (vazadouros), locais onde são descarregados os resíduos sem quaisquer cuidados, representa uma grave ameaça à saúde pública e ao meio ambiente. Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - PNSB, realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, em 1999/2000 com cobertura em todo o território nacional, 30,5% dos resíduos sólidos urbanos no Brasil são depositados em lixões. Em contrapartida, a pesquisa realizada pelo IPT/CEMPRE, no ano de 1995, o total de resíduos sólidos depositados em lixões era de 76% (REICHERT, 1999). É necessário observar que a maioria das cidades brasileiras dispõe hoje, de um passivo ambiental, resultante do fechamento destes lixões.

O local, onde hoje opera a Usina de Reciclagem, Compostagem e Destinação dos Resíduos Sólidos do Município de Passo Fundo, vem sendo utilizado para a disposição do

lixo produzido pela cidade desde 1991. Até o ano de 2001,, foi operado na forma de lixão, passando a ser recuperado neste ano. Atualmente, opera na forma de aterro controlado, mas, no entanto, nenhuma medida de proteção ao subsolo ou a uma provável contaminação das águas subterrâneas foi levada em consideração para se evitar danos ao meio ambiente.

1.2 Justificativas

O lixo urbano é um sério problema para as administrações públicas, devido ao seu alto custo e seu potencial poluidor. A cada dia uma grande quantidade de resíduos sólidos são depositados diretamente no solo, no ar e nos recursos hídricos. A consequência disso é a poluição e a redução da qualidade de vida do homem, principalmente quando esta disposição ocorre de forma incorreta.

Os resíduos sólidos urbanos depositados em aterros sanitários ou lixões (disposição dos resíduos sólidos a céu aberto, sem sistema de impermeabilização do solo e sem tratamento do lixiviado), passa por processos físicos, químicos e biológicos de decomposição, produzindo frações residuais gasosas e líquidas (LO, 1996 apud PACHECO, 2004). A fração líquida, comumente denominada lixiviado ou chorume, é resultante da decomposição do lixo e sua produção está relacionada a fatores como regime pluviométrico, temperatura do aterro e a composição dos resíduos depositados. A percolação deste lixiviado pelas camadas do solo pode atingir as águas subterrâneas, causando um dano ambiental de difícil recuperação.

Infelizmente, a disposição em lixões é ainda uma forma bastante utilizada para a destinação final dos resíduos sólidos no Rio Grande do Sul e no Brasil. No entanto, esses lixões devem ser fonte de investigação do seu potencial poluidor, principalmente o solo e as águas subterrâneas.

A norma NBR 13896 (ABNT, 1997) estabelece que o local a ser utilizado para a disposição de resíduos sólidos urbanos deve apresentar solo homogêneo, impermeável, e a profundidade do lençol freático deve estar a um nível tal que não cause danos ambientais ao meio, sendo esta distância mínima entre a base do aterro e a cota máxima do aquífero freático igual a 1,50m para solos com permeabilidade $K = 10^{-5}$ cm/s, mas como ideal, a norma considera um manto de solo homogêneo de 3,00m de espessura e coeficiente de permeabilidade de $K = 10^{-5}$ cm/s. Alguns órgãos estaduais ainda exigem impermeabilização suplementar na base do aterro, como maior proteção do aquífero, exigências não consideradas, quando da disposição de resíduos na localidade de São João da Bela Vista, no município de Passo Fundo.

Neste contexto, justifica-se o presente estudo de caso, considerando que o processo de disposição dos resíduos sólidos e os tratamentos empregados ou a falta dos mesmos podem gerar a contaminação do solo, conseqüentemente, podendo haver a migração destes contaminantes para as águas subterrâneas que, uma vez contaminadas, dificilmente o homem dispõe de tecnologia para efetuar sua descontaminação.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

O objetivo desta pesquisa é o monitoramento das águas subterrâneas e lixiviado, bem como a determinação da capacidade de atenuação de contaminante (lixiviado) no solo do local de disposição de resíduos sólidos urbanos, do município de Passo Fundo.

1.3.2 Objetivos específicos

- monitoramento das águas subterrâneas e lixiviado;
- classificação do solo;
- verificação da capacidade de atenuação do solo através de realização de ensaios de coluna em laboratório.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Considerações iniciais

No início da era cristã, havia cerca de 250 milhões de pessoas no mundo. Já em 1750, a população mundial era em torno de 1 bilhão de habitantes, número que, praticamente, se manteve até o final do século passado. Porém, uma série de fatores, entre os quais o avanço da medicina e da tecnologia na agricultura, criou, desde então, condições para um crescimento extraordinário da população mundial, que hoje é muito próxima aos seis bilhões de habitantes. Essa explosão populacional implica um crescente aumento do uso das reservas naturais, da produção de bens de consumo e, inevitavelmente, da geração de lixo (COSTA e COSTA, 2004).

O lixo nada mais é, segundo Grippi (2001, apud COSTA e COSTA, 2004), que matéria prima fora do lugar. A forma com que uma sociedade trata do seu lixo, dos meninos de rua e dos doentes mentais atesta, segundo o autor, seu grau de civilização.

Os resíduos sólidos são considerados a expressão mais visível e concreta dos riscos ambientais, ocupando um importante papel na estrutura de saneamento de uma comunidade urbana e, conseqüentemente, nos aspectos relacionados à saúde pública. Além das conseqüências para a saúde comunitária, deve-se considerar, ainda, o impacto que a disposição inadequada desses resíduos provoca no solo, na atmosfera, na vegetação e nos recursos hídricos (MORITZ, 1997 apud MUÑOZ, 2002).

Segundo Tressoldi e Consoni (1998), a proteção do meio ambiente contra as conseqüências da disposição inadequada dos resíduos sólidos é um problema da atualidade e envolve duas questões fundamentais relacionadas à geotecnia ambiental: a análise da migração dos contaminantes nos locais de disposição e a garantia da estabilidade destes locais.

Segundo a NBR 10.004/04 (ABNT, 2004, p.1), os resíduos sólidos urbanos podem ser definidos como:

Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam da atividade da comunidade de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola de serviços e varrição. Ficam incluídos nestas definições os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgoto ou corpos d'água, ou exijam para isto soluções técnicas e economicamente inviáveis em face a melhor tecnologia disponível.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, conta ainda com diversas outras normas que devem ser observadas, relacionadas a classificação, gerenciamento e disposição final dos resíduos sólidos urbanos, assim como se exige a observação das Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, de Resoluções da Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA, dentre outras.

As composições dos resíduos sólidos urbanos, no entanto são muito particularmente relacionadas a diversos fatores como renda *per capita*, estação do ano, costumes regionais e tantos outros pormenores, a despeito da dita globalização. Cada cidade produz um lixo que lhe é característico, assim como cada cidade é única em situação social, geográfica, econômica, política, e não pode ser tomada por outra, sob pena de graves distorções. (MOREIRA e HESS, 2004).

A composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos do aterro de São João da Bela Vista foi determinado por Mattei (2004). Os percentuais médios encontrados dos componentes segregados no aterro controlado e no antigo lixão foram, respectivamente: matéria orgânica putrescível, 11,10% e 12,95%; papel/papelão, 7,79% e 10,28%; plástico filme, 27,51% e 34,96%; plástico rígido, 4,74% e 29,90%; vidro, 1,20% e 2,84%; metal, 2,99 e 3,55; inertes, 30,11% e 13,96%; outros, 14,57% e 11,88 outros. Em outros estudos da composição gravimétrica de RSU, em aterros da região metropolitana do Recife, realizado por Melo e Jucá (2000), a principal diferença em relação ao aterro de São João da Bela Vista foi o percentual de matéria orgânica putrescível bem maior (de 51% a 60%), sendo a média do Brasil de 60% para RSU não aterrados. Segundo a autora, vários fatores podem estar relacionados com os dados encontrados, dentre eles, o fato de já ter ocorrido a decomposição

do material, a difícil segregação destes componentes com outros, principalmente os inertes, no momento da segregação, etc.

Segundo Reichert (1999), como característica marcante dos resíduos brasileiros, têm-se altas percentagens de matéria orgânica putrescível, acima de 50% em peso, ao contrário dos países economicamente mais desenvolvidos, onde esta parcela é inferior a metade deste valor.

2.2 Sistemas de disposição de resíduos sólidos

Historicamente, existem três tipos de disposição de resíduos sólidos: lixão ou vazadouros, aterro controlado e aterro sanitário. (CHARNOCH e WELLS, 1985 apud MUÑOZ, 2002).

Lixão ou vazadouro é uma forma inadequada de disposição final de resíduos sólidos, que se caracteriza pela simples descarga sobre o solo, sem medidas de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública. Os problemas deste tipo de disposição são a proliferação de vetores de doenças (moscas, mosquitos, baratas, ratos, etc.), geração de maus odores e, principalmente, poluição do solo das águas subterrâneas e superficiais, pela infiltração do lixiviado (ABNT/NBR 8419, 1984; TRESSOLDI, 1998).

Dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) relativos ao saneamento básico no ano de 2000, apontam que cerca de 230 mil toneladas de resíduos são gerados por ano no Brasil, cerca de 22% são destinadas a vazadouros a céu aberto ou lixões. A pesquisa identificou a existência de seis mil lixões reconhecidamente existente no país. Embora proibidos pela portaria nº 53, de 01 de março de 1979, do Ministério do Interior, os lixões ainda são uma forma muito utilizada de disposição de resíduos no Brasil (PHILIPP *et al.*, 2004).

Aterro controlado é uma técnica de disposição de resíduos sólidos no solo, sem causar danos ou risco à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais. Este método utiliza alguns princípios de engenharia para confinar os resíduos, cobrindo-os com uma camada de material inerte no fim de cada jornada de trabalho. Esta forma de disposição produz poluição, porém localizada, pois, similarmente ao aterro sanitário, a área de disposição é minimizada. Geralmente, não dispõe de impermeabilização de base (comprometendo a qualidade das águas subterrâneas), nem de sistema de tratamento de lixiviado ou do biogás gerado (D'ALMEIDA e VILHENA, 2000).

Aterro sanitário é um processo utilizado para a disposição dos resíduos sólidos no solo que, fundamentado em critérios de engenharia e normas operacionais específicas, permite um

confinamento seguro em termos de controle de poluição ambiental e proteção à saúde pública (D'ALMEIDA e VILHENA, 2000).

Dois terços do fluxo total de resíduos sólidos urbanos (RSU) na Europa são depositados em aterros sanitários. No entanto, dentro da União Européia, há uma distinção clara entre os países pró-aterros e os países anti-aterros, dependendo de fatores como a prática tradicional, a aceitação pública e a disponibilidade de terrenos próprios para aterros, mas ainda assim a percentagem de resíduos sólidos urbanos encaminhados para aterros é geralmente superior a 90%, estando, em muitos casos, próxima dos 100%. Os aterros legais estão ficando saturados (COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPÉIAS, 2003).

2.3 Fases do aterro

Um dos principais efluentes gerado pelos resíduos sólidos que causam impactos ambientais em um aterro é o lixiviado, e suas características físico-químicas evoluem com o tempo, ou seja, sua carga ambiental modifica-se de maneira bastante sensível (REICHERT, 1999). O lixiviado é constituído basicamente por água rica em sais, metais tóxicos e matéria orgânica, podendo a concentração dessa última chegar a níveis de até cem vezes o valor da concentração de matéria orgânica em esgotos domésticos (COSTA, 2002).

Segundo Lima (1995, apud REICHERT, 1999), defini-se como chorume o líquido proveniente de três fontes principais: o teor de umidade dos resíduos sólidos, a água de constituição dos materiais que sobra durante a decomposição e o líquido resultante das atividades da dissolução de matéria orgânica pelas enzimas microbianas. Esses líquidos, ao entrarem em contato com a água da chuva ou outras infiltrações, percolam pelo interior das células do aterro, lixiviando diversos compostos do interior da massa de resíduos. Neste contexto, muitos autores preferem o termo lixiviado ou líquidos percolados, utilizando o termo chorume apenas para definir o resultado da atividade hidrolítica microbiana quando da degradação dos resíduos.

Neste trabalho, optou-se pelo termo lixiviado, uma vez, que na prática, seria impossível distinguir as diferentes fontes de água dentro dos aterros sanitários. Além disso, o termo caracteriza melhor os processos físicos ligados à geração deste líquido, como a infiltração das águas da chuva e o arraste ou lixiviação dos compostos solúveis.

No interior da massa de resíduos, a transformação de sólidos orgânicos biodegradáveis em líquidos e gases durante os processos de decomposição da matéria orgânica ocorre tanto por processos aeróbios quanto por processos anaeróbios, dependendo da disponibilidade ou não de oxigênio (TCHOBANOUGLOUS *et al.*, 1993).

A decomposição aeróbia é relativamente curta. Em média dura um mês, consumindo rapidamente o oxigênio presente. O chorume produzido, nesta fase, apresenta elevadas concentrações de sais de alta solubilidade dissolvidos no líquido resultante (QASIM e CHIANG, 1994 apud ALVES *et al.*, 1995).

Uma relação geral para esta decomposição é descrita por MacBean *et al.* (1995).

Decomposição dos resíduos + oxigênio \rightarrow CO₂ + H₂O + biomassa + calor + biomassa = materiais parcialmente degradados.

A amônia (NH₄⁺) é um produto das primeiras fases da decomposição da matéria orgânica, em seguida surgem os nitritos e, não havendo interrupção do processo, formam-se os produtos mais estáveis, os nitratos. O nitrato é estável na presença de oxigênio, negativamente carregado e não é retido pelos colóides argilosos ou orgânicos do solo. Ele é dissolvido nas águas de infiltração, sendo facilmente integrado ao aquífero (MARIOTTI, 1998 apud COSTA, 2002).

Após a diminuição do oxigênio, os microorganismos facultativos (bactérias acetogênicas) começam a predominar. Inicialmente, essas bactérias convertem o material orgânico particulado, como a celulose e outros materiais putrescíveis, em compostos dissolvidos, em um processo chamado hidrólise ou liquefação. Segue-se a fermentação que é um processo bioquímico, pelo qual as bactérias obtêm energia pela transformação da matéria orgânica hidrolisada, contudo sem mineralizá-la (FORESTI *et al.*, 1999 apud ALVES *et al.*, 1995).

As amostras coletadas nesta fase de decomposição têm baixo pH, e altas concentrações de DBO₅ (demanda bioquímica de oxigênio), DQO (demanda química de oxigênio), COT (carbono orgânico total), nutrientes e metais pesados (TCHOBANOGLOUS *et al.*, 1993).

Na fase anaeróbia são gerados, inicialmente, dióxido de carbono, água, amônia e, em seguida, ácidos orgânicos, metais, entre outros produtos que podem gerar sérios danos à saúde humana e ao meio ambiente, desde o cheiro desagradável à toxificação e inutilização da água potável, pelos nitratos (COSTA, 2002).

A relação DBO₅/DQO geralmente superior a 0,7, indica um lixiviado relativamente biodegradável (ALVES *et al.*, 2000; FORESTI *et al.*, 1999 apud ALVES *et al.*, 1995).

O processo de biodegradação dos resíduos, após todo o oxigênio ser consumido, e ocorrendo a redução do potencial redox, as bactérias anaeróbicas metanogênicas do terceiro estágio de decomposição dos resíduos começam a dominar. Esses organismos produzem dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), água e calor. Caracteristicamente, esses organismos

trabalham relativamente devagar as com muita eficiência, levando muitos anos para decompor os materiais restantes. O pH ideal para as bactérias metnogênicas é entre 6,7 a 7,5 próximo do neutro. No entanto, há alguma atividade entre os pH de 5,0 a 9,0 (MACBEAN *et al.*, 1995).

Segundo Tchobanoglous *et al.* (1993), a biodegradabilidade do lixiviado varia com o tempo. A variação da biodegradabilidade pode ser monitorada, relacionando a razão DBO₅/DQO. Inicialmente, as taxas serão de 0,5 ou maior. Taxas de 0,4 a 0,6 levam a indicação de que o material orgânico, no lixiviado, é rapidamente biodegradável. Em lixiviados maduros, a razão freqüentemente é de 0,05 a 0,2. A taxa cai devido à presença de ácidos húmicos e fúlvicos que não são relativamente biodegradáveis.

A evolução dos processos biológicos que ocorrem no interior de um aterro, bem como sua idade e a composição dos resíduos dispostos, influenciam nas características do lixiviado.

Grandolla *et al.* (1995, apud REICHERT, 1999), apresentam os principais parâmetros utilizados na caracterização do lixiviado:

- a) O conteúdo de matéria orgânica expressa em termos de DBO e DQO₅;
- b) O pH;
- c) A concentração de metais;
- d) O fósforo (geralmente em quantidades modestas);
- e) O enxofre (emitido em quantidades pequenas);
- f) O nitrogênio total que é a soma das formas de nitrogênio orgânico mais amoniacal (mineral);
- g) Ácidos orgânicos voláteis (acético, propiônico, butírico, isobutírico, valérico e iso-valérico).

2.4 Águas subterrâneas

Os conceitos de qualidade da água e poluição estão comumente interligados. Porém, a qualidade da água reflete sua composição, quando afetada por causas naturais por atividades antropogênicas. A poluição, entretanto, decorre de uma mudança na qualidade física, química, radiológica ou biológica do ar, água ou solo, causada pelo homem ou por outras atividades antropogênicas que podem ser prejudiciais ao uso presente, futuro e potencial do recurso. Branco (1991, apud LIMA, 2001), salienta a dificuldade de se definir com precisão o que se entende por características naturais ou o que são alterações significativas. O crescimento da demanda mundial por água de boa qualidade, a uma taxa superior à da renovabilidade do ciclo hidrológico, é de consenso mundial e esse crescimento tende a se tornar uma das maiores pressões antrópicas sobre os recursos naturais do planeta, neste século.

Aquífero é definido como uma formação que contenha água subterrânea e seja suficientemente permeável para transmitir água em quantidade utilizável. Existem dois tipos principais de aquíferos: confinados e não confinados. Aquíferos não confinados também conhecidos como aquíferos livres, são reservatórios de água subterrânea contida no meio poroso. Quando não existe argila ou outro material impermeável no topo da camada de água subterrânea, o nível do lençol é livre para variar, nesse caso a superfície de um aquífero constituído por uma superfície onde as pressões da água subterrânea são iguais à pressão atmosférica é o próprio lençol freático. A fonte principal de água subterrânea em aquíferos não confinados é a precipitação que infiltrou no solo acima do aquífero, diretamente quando cai sobre o solo ou indiretamente através do escoamento a partir de corpos de água superficiais (BORGES *et al.*, 1997).

Um aquífero confinado é uma camada de material que contém água confinada entre outras camadas de um material muito menos permeável como, por exemplo, uma camada de areia entre duas camadas de argila. A fonte de água de um aquífero confinado é, principalmente, a precipitação que eventualmente se move através das camadas confinantes ou que se infiltra no material nas suas zonas de recarga. Os aquíferos confinados são completamente saturados e não possuem uma superfície livre de água. As áreas de recarga de aquíferos confinados e os aquíferos livres são as mais suscetíveis à contaminação a partir de locais de disposição, pois estão desprovidas do isolamento por camadas de menor condutividades hidráulicas (BORGES *et al.*, 1997).

Entre as funções que são desempenhadas pelo aquífero, duas delas se destacam como mais importantes: armazenamento e transmissão. A água subterrânea encontra-se em constante movimento, formando, por vezes, extensos percursos, porém este movimento é muito lento, podendo ser medido em centímetros ou metros por dia, ou até mesmo por ano. A maior parte das águas subterrâneas não contém matéria suspensa e praticamente, nenhuma bactéria, sendo considerada de superior qualidade sanitária (CETESB, 1974).

A composição das águas subterrâneas é influenciada pelo material geológico na qual se insere. Suas características químicas dependem, inicialmente, da composição das águas de recarga, e em seguida da sua evolução química, influenciada diretamente pelas litologias atravessadas. As variações naturais de qualidade das águas subterrâneas são pequenas. Assim características extremas ou diferentes daquelas esperadas indicam a presença de situações anômalas (corpos de minério, metamorfismo de rochas, ação antrópica) (CETESB, 2001; CHARBENELOU *et al.*, 1992).

No Brasil os padrões de potabilidade são definidos pelo Ministério da Saúde, através da portaria nº 518/GM, de 25 de março de 2004. Segundo essa portaria, água potável é *água para consumo humano, cujos parâmetros microbiológicos, físicos, químicos e radiativos atendam ao padrão de potabilidade e que não ofereça riscos à saúde* (BRASIL, 2004), e, considerando que as águas subterrâneas são em grande parte responsáveis pela alimentação dos corpos de água superficiais, a preservação destes mananciais é de extrema importância para a saúde pública (BARROS, 1995).

Uma fonte de contaminação das águas subterrâneas, segundo Charbeneou *et al.* (1992), envolve atividades associadas à prática da disposição de resíduos. Nos Estados Unidos, um estudo do efeito da disposição dos resíduos na qualidade das águas subterrâneas levou a Agência de Proteção Ambiental, em 1977, a conduzir uma pesquisa da prática de disposição de resíduos, incluindo resíduos domiciliares que poderiam colocar em risco a qualidade das águas subterrâneas que suprem os sistemas públicos de abastecimento de água e investigou meios de controle. Este estudo concluiu que a fonte de contaminação não é descoberta até que atinja uma fonte de água potável. Isso aponta para um problema a longo prazo, pois a água subterrânea se move lentamente levando um longo tempo para os contaminantes atingirem um ponto receptor potencial, o que significa muito tempo para remediar a liberação inicial de contaminante.

A ação antrópica sobre o solo, por mais que seja cuidadosa, leva a um desequilíbrio na qualidade e quantidade de água. O uso e manejo dos solos conduzem à contaminação dos mananciais de água, cuja velocidade e grau poderão ser tão severos que, em apenas uma geração, se pode transformar um ecossistema limpo e abundante em um ecossistema escasso e com água de má qualidade (RHEINHEIMER *et al.*, 2004).

O uso das águas superficiais torna-se cada vez mais problemático em virtude da precariedade dos sistemas de saneamento básico, da quantidade insuficiente e dos elevados custos do sistema de tratamentos, necessários para o atendimento dos padrões de potabilidade. Assim, os recursos hídricos subterrâneos tornam-se uma alternativa de abastecimento simples, confiável, eficiente, de baixo custo e com alta disponibilidade. Segundo diagnóstico efetuado pela CETESB (2001), o uso das águas subterrâneas para o abastecimento público, no estado de São Paulo, vem crescendo gradativamente. Atualmente, 71,6% dos municípios do estado são total ou parcialmente abastecidos por águas subterrâneas. Isso demonstra a importância de se proteger a qualidade das águas subterrâneas. Baseado nessa premissa, a CETESB publicou, em 2001, um relatório onde apresenta valores de referência de qualidade para solos e água subterrânea no estado de São Paulo (CETESB,

2001). Este relatório apresenta como valores de intervenção aqueles estabelecidos para substâncias em águas subterrâneas conforme a portaria 1469, de 29 de dezembro de 2000, revogada pela portaria nº 518/GM, de 25 de março de 2004, do Ministério da Saúde. Para as substâncias não legisladas pela portaria acima citada, calcula-se o valor de intervenção, utilizando-se a teoria do equilíbrio de partição solo-água. Como se espera que a concentração de uma substância nas águas de um aquífero seja menor que sua concentração na solução do solo, esta foi dividida por fator de atenuação e diluição (DAF) de 10, com base no que é praticado na Holanda. Este fator pode ser considerado alto, uma vez que a EPA-*Environmental Protection Agency*, em 1996, adotou um DAF para cálculos genéricos igual a 20. Quanto maior for o DAF, menor contaminação é esperada no aquífero (CETESB, 2001).

Jain (2004) afirma que a poluição do ecossistema aquático tem assumido sérias proporções, devido à sua toxicidade e comportamento cumulativo. A toxicidade e o fato do aparecimento dos metais na água são dependentes da sua forma química e, por isso, a quantificação das diferentes formas de metais seriam mais significativas do que a estimativa do total de suas concentrações.

Segundo Freeze e Cherry (1979), o nitrogênio dissolvido na forma de nitrato é o contaminante mais comumente encontrado na água subterrânea.

Segundo Rheinheimer *et al.* (2004), o nitrato é a principal forma de nitrogênio encontrado nas águas e concentrações superiores a 2 mg L^{-1} já podem causar distúrbios nos sistemas aquáticos, embora o nível crítico estabelecido na legislação brasileira seja 10 mg L^{-1} .

2.5 Solos

A literatura internacional aponta para um crescente interesse em entender os mecanismos da condutividade hidráulica em solos argilosos, tendo em vista a migração de lixiviados de aterro sanitário e sítios para disposição de resíduos perigosos (GOULART *et al.*, 2003). Em geral, os solos com alto teor de argila apresentam baixas permeabilidades. Devido a essa característica esses solos, são frequentemente usados como barreiras naturais e artificiais em sítios de disposição de resíduos para limitar o escape dos contaminantes, tanto para as águas subterrâneas como para o solo. É de fundamental importância conhecer algumas características físicas e físico-químicas dos solos argilosos, para compreender melhor sua função na impermeabilização e retenção/atenuação de lixiviados gerados nas células dos aterros.

Em estudo realizado por Prim (2003), os locais para disposição de resíduos, mesmo atendendo às especificações da norma NBR 13896 (ABNT, 1997), necessitam de impermeabilização de base para uma proteção ambiental mais efetiva ao longo do tempo.

Nesse caso, como características desejáveis para ser utilizado como manta de impermeabilização de base do aterro, o solo deve possuir limite de liquidez (LL) igual ou superior a 30% e índice de plasticidade igual ou superior a 15% (CETESB, 1997).

O objetivo da caracterização e classificação do solo é poder prever o seu comportamento mecânico e hidráulico, conhecendo-se, ao mesmo tempo, suas formas de ocorrência e a geometria das camadas nos locais em estudo (PASTORE e FONTES, 1998).

O procedimento recomendado pela NBR 13895 (ABNT, 1997) para a investigação do perfil do solo é a extração de amostras de solo, de metro em metro, quando da perfuração dos poços de monitoramento.

Segundo Pinto (2002), a enorme diferença de comportamento apresentada pelos diferentes solos perante as solicitações de interesse da engenharia levou ao seu natural agrupamento em conjuntos distintos, aos quais podem ser atribuídas algumas propriedades. Dessa tendência racional de organização da experiência acumulada, surgiram os sistemas de classificação dos solos.

O sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS) foi originalmente desenvolvido por Arthur Casagrande para obras de aeroportos, tendo hoje seu emprego generalizado (Pinto, 2002). Essa classificação divide os solos em três grandes grupos:

- solos de granulação grosseira – mais de 50% em peso dos grãos são retidos na peneira número 200;
- solos de granulação fina – mais de 50% em peso dos grãos passam na peneira número 200;
- turfas – solos essencialmente orgânicos;

Neste sistema de classificação, todos os solos são identificados pelo conjunto de duas letras, a primeira indicando o tipo de solo e a segunda, fornecendo informação complementar a respeito do mesmo.

As cinco letras a seguir indicam os tipos de solos:

- G pedregulho (*gravel*)
- S areia (*sand*)
- C argila (*clay*)
- M silte (*mo - pó em sueco*)
- O solo orgânico (*organic*)

- Pt turfa (*peat*)

As informações complementares são dadas pelas 4 letras a seguir:

- W bem graduado (*well graded*)
- P uniforme (*poorly graded*)
- H alta compressibilidade (*high compressibility*)
- L baixa compressibilidade (*low compressibility*)

O sistema rodoviário de classificação ou HRB (*Highway Research Board*) foi originalmente proposto nos Estados Unidos e é baseado, como o Sistema Unificado de Classificação, na granulometria e nos limites de Atterberg. São considerados solos de graduação grosseira, os que têm menos de 35% de material passante na peneira nº 200 e não 50% como na Classificação unificada. Estes são os solos dos grupos A-1, A-2, A-3. Os solos com mais de 35% de material passante na peneira nº 200 formam os grupos A-4, A-5, A-6, A-7 (PINTO, 2002).

Outras formas de classificação dos solos são pela sua origem, pela sua evolução, pela presença ou não de matéria orgânica, pela estrutura, pelo preenchimento dos vazios. Os sistemas baseados no tipo e no comportamento que constituem o solo são mais conhecidos na engenharia de solos.

Segundo a classificação pedológica (MARCHI, 2001), os latossolos se caracterizam pelo acentuado grau de intemperismo, predominando os minerais de argila 1:1 e óxidos de Fe e Al, o que lhes confere grande capacidade de adsorção aniônica. A presença de grupos de –OH na superfície dos óxidos e faces quebradas das partículas de caulinita faz com que as maiores das cargas seja dependente do pH, sendo, portanto, variáveis.

Segundo Streck (2002), na unidade de mapeamento do estado do Rio Grande do Sul, Passo Fundo, foi classificado no Levantamento de Reconhecimento dos Solos desse estado – Boletim 30 de 1973, como Latossolo Vermelho-Escuro Distrófico textura argilosa. Em 1999, a EMPRAPA (1999) propôs um novo sistema de classificação dos solos Brasileiros através da CNPS- Classificação Nacional Pedológica de Solos. De acordo com esse sistema, o solo da unidade de mapeamento Passo Fundo passou a ser classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico.

Segundo o Brasil (1973), a área de abrangência desta unidade de mapeamento no estado do Rio Grande do Sul é de aproximadamente 7.560km² e representa cerca de 2,8% do solos do estado.

Os latossolos (Figura 2.1) são solos bem drenados, de coloração avermelhada e muito friáveis. Com o horizonte B latossólico, podendo ocorrer uma ligeira podzolização. A textura

é argilosa (mais de 40% de argila em todo o perfil), porém a fração de areia é maior que 30% no horizonte superficial. A presença de grãos de quartzo, lavado ao longo do perfil, diferenciam estes solos do Santo Ângelo, Erechim e Durox.

O pH desses solos é fortemente ácido, o conteúdo de matéria orgânica é médio a baixo (em torno de 2,5% no horizonte A). A capacidade de troca catiônica – CTC é alta a média em todo o perfil, diminuindo com a profundidade.

Ainda, conforme Brasil (1973), podem ser encontrados em cerca de 5% da área mapeada como Unidade Passo Fundo, solos hidromórficos, que não são considerados latossolos.

Os gleissolos são solos de deposição recente, mal drenados, fortemente ácidos, pouco profundos e de textura argilosa dominante. Apresentam condições hidromórficas, o que proporciona condições de oxidação e redução no perfil. Os compostos férricos se reduzem a ferrosos ou se oxidam a férricos, conforme a oscilação do nível do lençol freático, podendo provocar o aparecimento de mosqueados amarelos, avermelhados ou mesmo vermelhos, dentro do perfil. São solos com baixo teor de matéria orgânica, em média 2,5% no horizonte A superficial, e com estrutura subangular ou angular no horizonte B, quando secos, e massivos, quando molhados (VIEIRA, 1975).



Fonte: EMBRAPA(1999)

Figura 2.1 – Perfil de Latossolo Vermelho distrófico típico.

Já segundo Streck (2002), os gleissolos são solos pouco profundos, muito mal drenados, de cor acinzentada ou preta, apresentando no perfil uma seqüência de horizonte A-

Cg ou H-Cg, onde os horizontes Bg e Cg são horizontes do tipo glei (horizonte subsuperficial B, C ou eventualmente superficial A, com espessura > 15cm). Esses solos ocorrem tipicamente em depressões mal drenadas em todo o estado do Rio Grande do Sul,).

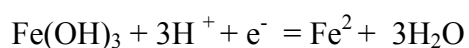
Segundo Braga (2002), partículas coloidais presentes na fração argilosa dos solos, bem como a matéria orgânica e alguns óxidos, podem apresentar cargas elétricas, que repelem ou absorvem íons e radicais, e que conferem ao solo capacidade de troca iônica. Quando o solo apresenta excesso de cargas negativas, ele é trocador de cátions (CTC) e quando ocorre excesso de cargas positivas ele é trocador de ânions (CTA). Os solos com CTC elevada retêm nutrientes essenciais às plantas, como cálcio, potássio e magnésio, não retendo ânions como nitratos e cloretos. Assim esses últimos passando livremente para as águas do lençol subterrâneo. Em alguns casos podem ocorrer contaminação dessas águas, quando verifica-se teores maiores de 10 mg/L de nitrato, o que pode provocar a metemoglobinemia, ou síndrome do bebê azul. Os solos com pH inferior a 5,5 favorecem a solubilização do alumínio, do manganês e do ferro. A acidez reduz a atividade de bactérias decompositoras da matéria orgânica, diminuindo a quantidade de nitrogênio, fósforo e enxofre contidos no solo. Por outro lado, solos com pH mais elevados, acima de 6,5, apresentam menor disponibilidade de Zn, Cu, Fé e Mn.

Segundo Charbeneou *et al.* (1992), o conteúdo de água no solo varia tipicamente de 15 a 30% do seu volume, sendo que com 35% de água esses solos são considerados saturados.

Quando os solos estão saturados, ou seja, quando a água ou algum líquido substituem o ar nos espaços porosos do solo, o equilíbrio natural deste solo é alterado. Ao comprimir o ar remanescente dentro dos referidos espaços, os agregados são destruídos. O solo adquire um estado semifluido, não sendo possível distinguir sua estrutura.

A atividade microbiológica aeróbia utiliza energia para a realização de seus processos vitais à custa da oxidação do carbono da matéria orgânica do solo através de reações redox (reação de oxidação e redução) (SOUSA *et al.* apud MEURER, 2004).

O potencial redox é uma reação química na qual os elétrons são transferidos completamente de uma espécie química para outra. As espécies que perdem elétrons nesse processo de transferência de cargas são chamadas de oxidadas enquanto que as que recebem elétrons são consideradas reduzidas. Por exemplo, tem-se a redução do ferro (SPOSITO, 1989):



Os microorganismos metabolizam os compostos orgânicos para obter energia para crescimento e manutenção. Neste processo, elétrons não completamente oxidados (reduzidos)

são transferidos ao longo das cadeias de transporte de elétrons. A energia é capturada pelos microorganismos e oxidadas por produtos finais, como dióxido de carbono. Sob condições aeróbicas, o oxigênio é um aceptor terminal de elétron. Quando não há mais oxigênio o nitrato, o ferro, o manganês e o sulfato podem ser os aceptores de elétrons, se os organismos têm os sistemas de enzimas apropriados (CHARBENEU *et al.*, 1992).

O oxigênio é o primeiro componente do solo a ser reduzido e torna-se instável, após um dia de submersão. Em seguida, o nitrato se reduz quando a concentração de oxigênio cai a valores muito baixos. O dióxido de manganês é o próximo a ser reduzido, porém a sua influência é fraca, em comparação ao nitrato, pois está insolúvel na água e é usado como receptor de elétrons na respiração de um número limitado de bactérias. Continuando esta seqüência termodinâmica, verifica-se a transformação óxidos férricos $\text{Fe}(\text{OH})_3$ para óxidos ferrosos Fe^{2+} e, finalmente o sulfato (SOUSA *et al.* apud MEURER, 2004).

Em solos alagados os valores de pH se elevam até próximo à neutralidade. O pH de solos ácidos sofre um pequeno decréscimo nos primeiros dias de alagamento, diminuindo em seguida para estabilizar-se entre 6,5 e 7,0. O decréscimo inicial se dá em decorrência do acúmulo de CO_2 devido às reações de oxirredução, que se processam com o consumo de hidrogênio (SOUSA *et al.* apud MEURER, 2004).

Os solos atuam freqüentemente como um “filtro”, possuindo a capacidade de depuração e imobilização de grande parte das impurezas nele depositadas. Esta capacidade é limitada, podendo ocorrer alteração da qualidade do solo, devido ao efeito cumulativo da deposição de poluentes atmosféricos à aplicação de defensivos agrícolas e fertilizantes e à disposição de resíduos sólidos industriais, urbanos, materiais tóxicos e radioativos (MOREIRA-NODERMANN, 1987 apud CETESB, 2001).

A concentração de metais no ambiente com sua disseminação no solo, água e atmosfera, tem sido crescente motivo de preocupação no mundo. Os metais pesados podem ser percolados com o lixiviado de aterros de resíduos sólidos, infiltrando-se no solo e alcançando o lençol freático e, conseqüentemente, causando contaminação. Além de provocar a contaminação da água, essa disposição inadequada polui o solo, atingindo as plantas, os animais e o homem (MAGOSSO e BONASSELLA, 1992; SERRA *et al.*, 1998, apud MUÑOZ, 2002).

A expressão “metal pesado” é comumente utilizada para designar metais classificados como poluentes, englobando um grupo muito heterogêneo de metais, semi-metais e mesmo não metais como o selênio. Na lista de metais pesados estão, com freqüência os seguintes

elementos: cobre, ferro, manganês, molibdênio, zinco, cobalto, níquel vanádio, alumínio, prata, cádmio, cromo, mercúrio e chumbo (CETESB, 2001).

A quantidade de metais pesados em um solo sem interferência antropogênica depende do seu teor nas rochas de origem e do grau de intemperização a que este material foi submetido. Os metais podem estar na forma solúvel, fixada pelos minerais do solo, precipitada com outros componentes, na biomassa e complexada com a matéria orgânica. A atividade de um dado metal na solução do solo é determinada entre o seu equilíbrio e entre as partículas de argila, matéria orgânica, hidróxidos de ferro, alumínio, manganês e quelantes solúveis (PEDROZO e LIMA, 2001).

Segundo Lindsay (1972), sempre que a atividade de um íon metálico na solução do solo excede a concentração de equilíbrio de um mineral, este mineral começa a precipitar. Quando a concentração de um metal na solução do solo cai abaixo do equilíbrio da solubilidade com a fase sólida, esse metal começa a dissolver. Dessa maneira, os minerais das fases sólidas tendem a tamponar a concentração dos metais solúveis no solo.

Segundo Escosteguy (2004), “metais tóxicos” são perigosos em sua forma catiônicas e também quando ligados a cadeias curtas de átomos de carbono, como o mercúrio, o chumbo, e o cádmio. Esta definição impede que metais com densidades elevadas ou elemento traço, como alguns nutrientes vegetais ou animais, sejam confundidos com aqueles essencialmente tóxicos e sem papel nutricional. Os mecanismos de ação tóxica estão relacionados com a forte afinidade da forma catiônica desses elementos pelo enxofre no grupo das sulfidrilas, os quais ocorrem em enzimas que participam do metabolismo dos seres humanos.

A análise da biodisponibilidade de metais no solo, apesar de depender de muitos fatores, como solo, ambiente, fonte de metal e da interação entre eles e dos métodos de determinação desses metais no solo, consiste em uma estratégia utilizada internacionalmente, no monitoramento ambiental (ESCOSTEGUY, 2004).

O relatório de estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Água Subterrânea no estado de São Paulo (CETESB, 2001) estabeleceu como procedimento para determinação de metais no solo e em lodos de esgoto o método EPA 3050B do SW 8462 descrito em US-EPA (1996).

Outros métodos de determinação das concentrações de metais descritos na literatura são o da digestão nitro-perclórica, descrito em Tedesco *et al.* (1995, p. 98) e a extração por Água Regia, utilizada pela nova legislação Alemã, Lei e Decreto Federal de Proteção do Solo (17/03/1998) (CETESB, 2001).

Berton e Andrade (1996) compararam os dois métodos de extração de metais (nitro-perclórica e Água Régia) em resíduos sólidos urbanos, dejetos de suínos e esgotos. Em um recipiente selado foram adicionados 500 mg de resíduos e 16 mL de água régia, ou 10mL de ácido nítrico concentrado. A digestão com Água Régia se mostrou mais eficiente na extração de metais e também apresentou estatisticamente maiores valores de ferro, magnésio, zinco e cromo para os resíduos sólidos urbanos, esgoto e dejetos de suíno. Os autores concluíram que as quantidades analisadas pelos métodos USEPA 3051 e as técnicas nitro-perclóricas convencionais não foram consistentes para todos os materiais orgânicos.

2.6 Transporte de contaminantes

Os contaminantes, quando dispostos no solo, atravessam os diferentes horizontes não saturado e a zona capilar, atingindo a zona saturada. A zona não saturada, cujos poros são preenchidos por água e ar, o fluxo da água depende das forças da gravidade e da forma dos poros, já na zona saturada os poros são preenchidos por água, e o fluxo é dependente do gradiente hidráulico e os contaminantes podem espalhar-se cobrindo longas distâncias após um certo período de tempo, e formando plumas de contaminação com diferentes concentrações de contaminante (PASTORE e FORTES,1998).

Para a determinação do transporte de contaminantes no solo, a literatura sugere os ensaios de colunas, que são realizados para obtenção de parâmetros em projetos destinados a retenção de poluentes e que consistem na percolação de soluções de concentrações conhecidas em colunas de solos compactados. As soluções percoladas são analisadas e comparadas com as concentrações iniciais conhecidas (PARAGUASSÚ *et al.*, 2002).

Outro equipamento que pode ser utilizado para determinar os parâmetros de transporte dos contaminantes no solo, ou seja, coeficiente de dispersão hidrodinâmica, fator de retardamento, a partir do qual pode-se estimar os parâmetros de sorção, além da condutividade hidráulica saturada do solo e sua variação durante a percolação da solução, pode ser o permeâmetro de carga constante (BORGES *et al.*, 1997).

A relação que existe entre o solo e o contaminante é muito complexa, pois envolve fenômenos físicos, químicos e biológicos, que podem ocorrer isolados ou simultaneamente. São inúmeros os fenômenos que controlam o transporte de contaminantes em meios porosos, onde o contaminante considerado é a massa de alguma substância tóxica dissolvida (poluente), movendo-se com algum fluido (água) nos vazios do meio poroso (solo) seja ele saturado ou não (NOBRE, 1987). O movimento de poluentes não depende apenas do fluxo do fluido no qual essas substâncias estão dissolvidas, mas sim, de mecanismos que, por sua vez,

dependem de processos físicos, químicos e biológicos, aos quais estas substâncias são submetidas. A compreensão desses mecanismos e a análise e modelagem numérica do problema, associadas a programas de monitoramento de campo, permitem a avaliação da contaminação do subsolo e das águas subterrâneas causada por esses empreendimentos. Os aspectos gerais dos mecanismos físicos de transporte e retenção de contaminantes em meios porosos saturados são:

a) Transporte por advecção (fluxo): mecanismo de transporte ocasionado pelo fluxo de água, uma vez que com o deslocamento da água, os contaminantes (solutos) presentes na mesma se movem na direção das linhas de fluxo com uma velocidade que, em princípio, é igual à velocidade média linear da água e sem alterar sua concentração na solução (GOULART *et al.*, 2003).

b) Transporte por mistura mecânica ou dispersão: é decorrente da dispersão em canais individuais, do desenvolvimento de velocidades médias diferentes em canais diferentes, devidas à variação das dimensões dos poros ao longo das linhas de fluxo e do desvio da trajetória das partículas em decorrência da tortuosidade, reentrâncias e interligações entre os canais (BEAR, 1972). A dispersão que ocorre na direção do fluxo é chamada dispersão longitudinal e a que ocorre na direção perpendicular ao fluxo é chamada dispersão transversal.

c) Dispersão hidrodinâmica: o processo de difusão molecular não pode ser separado da dispersão mecânica no fluxo de água pelo solo. Esses dois processos são combinados para definir um parâmetro chamado coeficiente de dispersão hidrodinâmica. (COELHO, [S.n.t.]

Os mecanismos químicos de transporte e retenção de contaminantes em meios porosos saturados podem ocorrer dependendo do solo e da solução contaminada, em cada situação. Geralmente, essas reações causam um retardamento do fenômeno de transporte de poluentes em solos. As reações de adsorção-desorção e precipitação-dissolução podem causar uma transferência real de poluente da fase líquida para a fase sólida. Os outros processos, tais como óxido-redução, complexação e quelação, podem atuar de duas formas: seja afetando a disponibilidade dos poluentes para os processos de transferência ou alterando a forma do poluente, aumentando ou diminuindo seus efeitos de contaminação. As atividades biológicas também podem atuar tanto nos processos de transferência quanto nos processos de óxido-redução. Em geral, transferências para a fase sólida não são permanentes e alterações do ambiente químico do solo podem resultar num aumento da mobilidade de poluentes transferidos para a fase sólida (NOBRE, 1987).

3 PROGRAMA EXPERIMENTAL, MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Delineamento da Pesquisa

Esta pesquisa constitui-se de um estudo de monitoramento ambiental das águas subterrâneas e lixiviado da Usina de Reciclagem, Compostagem e Destinação dos Resíduos Sólidos do Município de Passo Fundo, bem como um estudo da capacidade de atenuação do solo local.

Como primeiro passo, para a execução do programa de monitoramento, buscou-se, junto à Secretaria de Serviços Urbanos, entidade responsável pelo gerenciamento dos resíduos sólidos do Município, autorização para a realização do projeto. Posteriormente, foi solicitado junto ao Fundo Municipal de Meio Ambiente, entidade com representantes da sociedade civil, o financiamento para a execução dos poços de monitoramento a serem instalados junto ao local.

No mês de abril de 2004, contratou-se a empresa Multisolos Estaqueamento e Sondagens Ltda, para executar a perfuração dos poços. Durante a perfuração, para cada metro de solo escavado foi retirada uma amostra de solo deformado para realização dos ensaios de Limite de Liquidez, Limite de Plasticidade e Granulometria, que permitiram a classificação do solo local, segundo os sistemas propostos por *Highway Research Board* – HRB e *Unifield Classification System* – SUCS. Imediatamente após a perfuração, foram executados os poços de monitoramento. O próximo passo foi efetuar o levantamento georeferenciado da área do aterro.

Visando facilitar o esgotamento dos poços e amostragem da água subterrânea, foi desenvolvido no laboratório de Geotecnia da Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo - FEAR/UPF, amostradores de material inerte. As amostragens de água subterrânea e lixiviado da lagoa da massa de resíduos em operação foram realizadas nos meses de junho, julho, agosto, outubro, novembro de 2004 e janeiro de 2005. Estas

amostras foram imediatamente levadas aos laboratórios para que fossem executados os ensaios físico-químicos e microbiológicos.

O número de análises, procedimentos e ensaios descritos acima encontram-se no quadro no quadro 3.1.

Equipamentos / Amostras / Ensaios	Quantidade
Construção de poços de monitoramento	04 unidades
Levantamento topográfico georeferenciado da área	01 unidade
Construção de amostrador para coleta de água subterrânea	04 unidades
Amostras de solo deformado	34 coletas
Amostras de água subterrânea	24 coletas
Amostras de lixiviado	12 coletas
Ensaio de Limite de Liquidez	34 unidades
Ensaio de Limite de Plasticidade	34 unidades
Ensaio de Granulométrica	34 unidades
Classificação HRB	34 unidades
Classificação SUCS	34 unidades
Análise físico-química de água subterrânea e lixiviado	36 unidades
Análise microbiológica de água subterrânea e lixiviado	36 unidades

Quadro 3.1 - Delineamento do programa de monitoramento

Para a execução do estudo de atenuação, foi coletado no local uma amostra de solo indeformado. Desta amostra de solo, também foram executados os ensaios de Limite de Liquidez, Limite de Plasticidade e Granulometria, que permitiram a classificação do solo local segundo o sistema o HRB - *Highway Research Board* e SUC - *Unified Classification System*. Desta mesma amostra de solo foram moldados corpos de prova que foram ensaiados em equipamento de coluna para determinação da permeabilidade e capacidade de atenuação de contaminante. O solo, antes e após o ensaio de coluna, foi analisado quanto aos teores de metais por dois métodos diferentes, a digestão Nitro-perclórica e o método 3050B da EPA(1996). O lixiviado, utilizado para o ensaio de atenuação em equipamento de coluna, foi analisado quanto aos parâmetros físico-químico antes e após ter percolado as amostras de solo, e também quanto aos teores de metais pelos mesmos métodos utilizados para determinação de metais no solo.

O número de análises, procedimentos e ensaios descritos anteriormente encontra-se no quadro 3.2.

Equipamentos / Amostras / Ensaios	Quantidade
Amostras de solo indeformado	01 coleta
Amostras de lixiviado	03 coletas
Ensaio de Limite de Liquidez	01 unidade
Ensaio de Limite de Plasticidade	01 unidade
Ensaio de Granulométrica	01 unidades
Classificação SUCS	01 unidade
Classificação HRB	01 unidade
Ensaio de percolação de lixiviado em equipamento de coluna	03 unidade
Ensaio de permeabilidade no equipamento de coluna	01 unidade
Análise físico-química de lixiviado	06 unidades
Análise para determinação de metais método 3050 B	34 unidades
Análise para determinação de metais método nitro-perclórico	34 unidades

Quadro 3.2 - Delineamento do estudo de atenuação

3.2 Local do estudo

O Município de Passo Fundo está localizado na região norte do Estado do Rio Grande do Sul, a 687m de altitude e o clima é temperado, com características subtropical úmido, apresentando chuvas bem distribuídas durante o ano e temperatura média anual de 17,5 °C. Atualmente possui uma população 168.458 habitantes e uma área de 780 km² (IBGE,2000).

O presente estudo foi realizado na Usina de Reciclagem, Compostagem e Destinação Final dos Resíduos Sólidos Urbanos, localizada próxima às margens da RS 324, rodovia Passo Fundo – Marau, entre as coordenadas 28°25' de latitude Sul e 52°40' de longitude Oeste, conforme Figura 3.1.



Figura 3.1 Mapa de situação e localização da usina

O local vem sendo utilizado para a disposição dos resíduos do Município desde o ano de 1991. Durante os anos de 1991 a 2001 foi operado pela Prefeitura Municipal, na forma de “lixão” (Figura 3.2), passando em fevereiro de 2001, mediante concessão, a ser operado pela empresa Salomão Imóveis, Construções, Terraplenagem e Serviços Ltda, que realizou melhoramentos, transformando o local de lixão em aterro controlado. Esta empresa operou a usina até junho de 2003, quando então a concessão passou para a Companhia de Desenvolvimento de Passo Fundo (CODEPAS), que operou a usina até dezembro de 2004. Atualmente, a usina é operada pela Empresa Nova Era Coleta e Separação de Resíduos.



Figura 3.2- Vista panorâmica” do “lixão” em 4/02/01

A usina possui uma área de aproximadamente 3,5 hectares e recebe diariamente 150 toneladas de resíduo sólido, sendo cem toneladas de resíduo domiciliares.

A coleta dos resíduos sólidos urbanos de origem domiciliar, pública e comercial é realizada pela Empresa Nova Era Coleta e Separação de Resíduos, enquanto que a coleta dos resíduos sólidos de outras origens, como entulhos, resíduos sólidos dos serviços de saúde e industriais são de responsabilidade dos geradores. Os resíduos que chegam à usina passam por

uma triagem na qual os materiais recicláveis como papel, papelão, metais ferrosos e não ferrosos, plásticos rígidos e uma parte dos plásticos filme, são armazenados no local para posterior revenda. O rejeito desta triagem vai para o aterro controlado (Figura 3.3).



Figura 3.3 - Vista da célula do aterro controlado em operação

Segundo estudos realizados por Mattei (2004) a composição gravimétrica dos resíduos encontrada no aterro controlado em percentuais médios dos componentes segregados foram respectivamente: matéria orgânica putrescível 11,10%; papel/papelão 7,79%; plástico filme 27,51%; plástico rígido 4,74% ; vidro 1,20%; metal 2,99%; inertes 30,11%; outros 14,57%.

A área destinada para a disposição de resíduos sólidos caracteriza-se pela inexistência de camadas de impermeabilização (*liners*) na base do aterro, e no fundo da lagoa de recebimento de lixiviado, o que pode provocar a contaminação do solo e das águas subterrâneas.

Em junho de 2004, foi executado levantamento topográfico da área do aterro com auxílio de GPS - *Global Positioning System*, quando pode ser demarcado exatamente o posicionamento dos poços de monitoramento, a localização do local de recebimento de agrotóxicos, a célula de resíduos em operação e a lagoa de lixiviado, como apresentado na Figura 3.4.

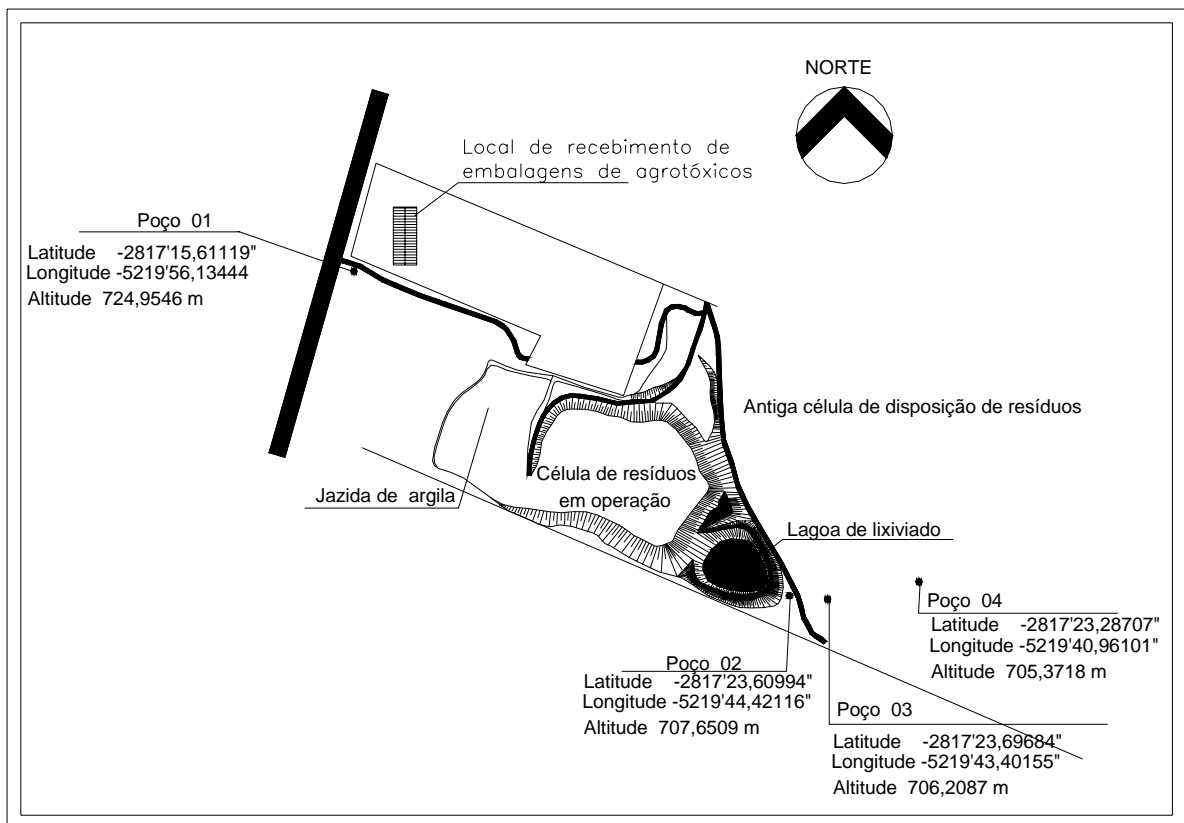


Figura 3.4: Levantamento georreferenciado da área do aterro

3.3 Materiais utilizados

3.3.1 Poços de monitoramento

Os poços de monitoramento foram executados de acordo a norma CETESB-6410 Amostragem e monitoramento das águas subterrânea (CETESB, 1998), que descreve o procedimento para construção de poços de monitoramento de aquífero freático.

A execução dos poços ocorreu no mês de maio de 2004, um a montante (poço 1) e três a jusante (poço 2, 3 e 4) da célula de resíduo em operação, conforme indicado na Fig 3.4. Os poços foram escavados com auxílio de perfuratriz mecânica. O diâmetro do trado foi de 250mm. Os poços de monitoramento foram executados em tubos de PVC de 100mm de

diâmetro e profundidade variável, dotados de tampão fixo na extremidade inferior. O filtro foi ranhurado de maneira aleatória e em sua volta foi fixada uma manta geotextil para evitar o entupimento das ranhuras. A instalação dos poços se deu imediatamente após a perfuração. O pré-filtro, que ocupa o espaço anular entre o filtro e a parede de perfuração foi preenchido com areia lavada até acima do nível do lençol, após foi executado um selo com bentonita para impedir a passagem de água de um nível para outro. O restante do espaço anular da zona não saturada foi preenchido com o mesmo material da perfuração (solo escavado). Para proteção sanitária dos poços, foram executadas caixas de inspeção, devidamente fechadas com cadeado junto ao nível do terreno. O esquema da execução dos poços é apresentado na Figura 3.5.

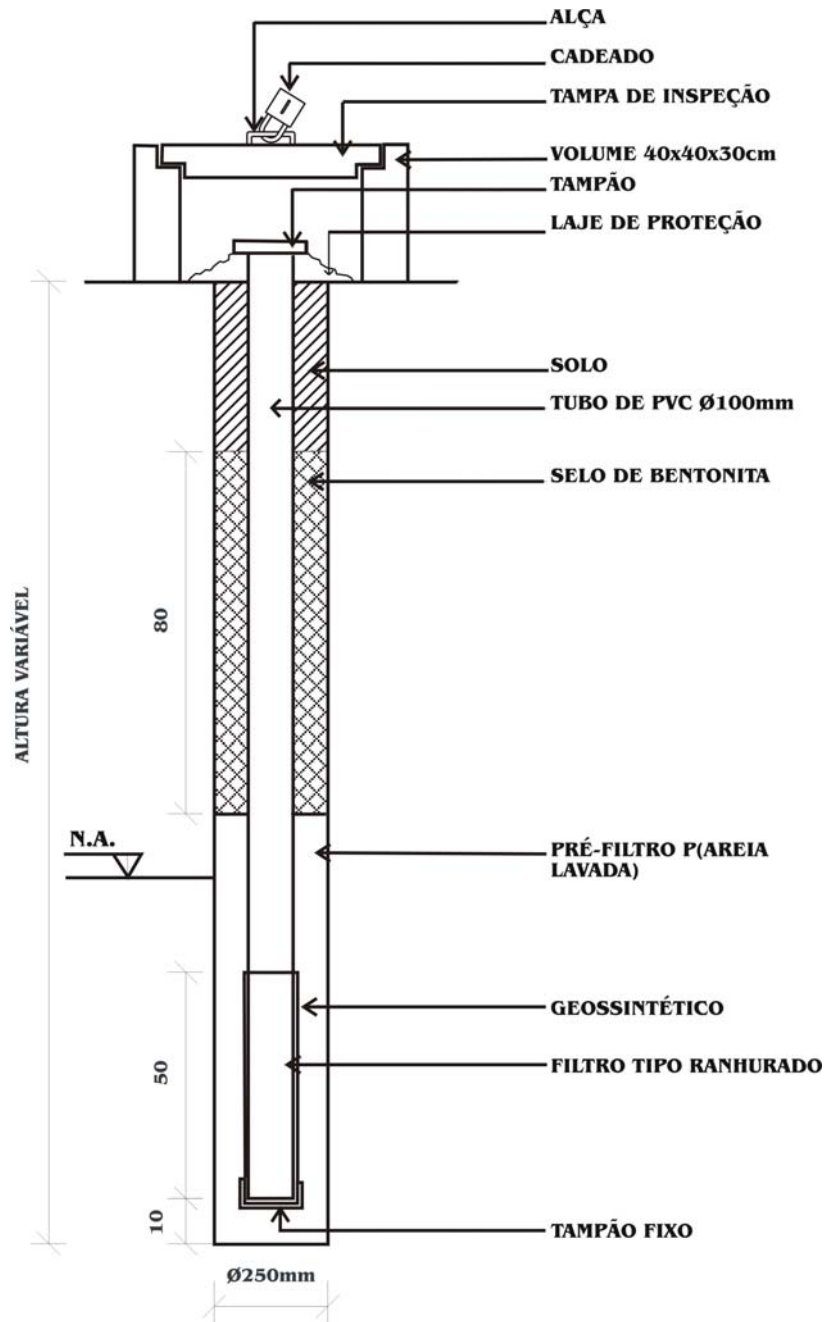


Figura 3.5 - Perfil esquemático dos poços de monitoramento.

Para a coleta do material foi desenvolvido, no laboratório de Geotecnia da Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo - FEAR/UPF, um equipamento composto de tubo de PVC de 75mm de diâmetro que possui em uma das extremidades uma válvula de retenção (Figura 3.6).



Figura 3.6 - Amostrador para retirada de água subterrânea dos poços de monitoramento

Quando o equipamento desce e encontra o nível da água, a válvula se abre permitindo a entrada de água, (Figura 3.7) ao se puxar o equipamento acima do nível da água a válvula se fecha (Figura 3.8), permitindo assim o rápido esgotamento dos poços. Foi executado um equipamento para cada poço de monitoramento, a fim de se evitar a contaminação cruzada.



Figura 3.7 - Detalhe dos amostrador na posição aberta



Figura 3.8: Detalhe dos amostrador na posição fechada

3.3.2 Equipamento de coluna

O equipamento de coluna desenvolvido no Laboratório de Geotecnia da FEAR/UPF segue os padrões da norma ASTM D 4875(2001) *Standard Test Method for Leaching Solid Material in a Column Apparatus* com modificações. Segundo a norma, a amostra de solo deve possuir as mesmas dimensões da célula cilíndrica, que deve ser resistente ao contaminante ou lixiviado percolado. Para diminuir a possibilidade de ocorrer fluxo preferencial entre a amostra e a parede do equipamento, quando da percolação do contaminante, foi alterado o diâmetro da amostra, para que a mesma receba o revestimento de uma membrana, com função de formar uma parede flexível, ao invés de parede rígida, além de permitir um melhor controle sobre as pressões aplicadas nas amostras. Nas extremidades do corpo de prova são colocadas pedras porosas com o objetivo de distribuir uniformemente o líquido percolado, conforme Figura 3.9.



Figura 3.9 – Montagem do corpo de prova no equipamento de coluna , colocação da membrana e pedras porosas

O equipamento permite ensaiar um corpo de prova por vez, sendo constituído por três cilindros em aço inox, a fim de se evitar reações químicas entre o lixiviado e equipamento. O cilindro B recebe a amostra de solo indeformada e água, a fim de se aplicar as tensões confinantes ao corpo de prova. O cilindro A armazena o lixiviado que passa pelo solo. Todo o equipamento se mantém hermeticamente fechado durante a execução do ensaio, afim de se evitar odores desagradáveis e reações do lixiviado com o meio. Na figura 3.10, observa-se um desenho esquemático do equipamento de coluna.

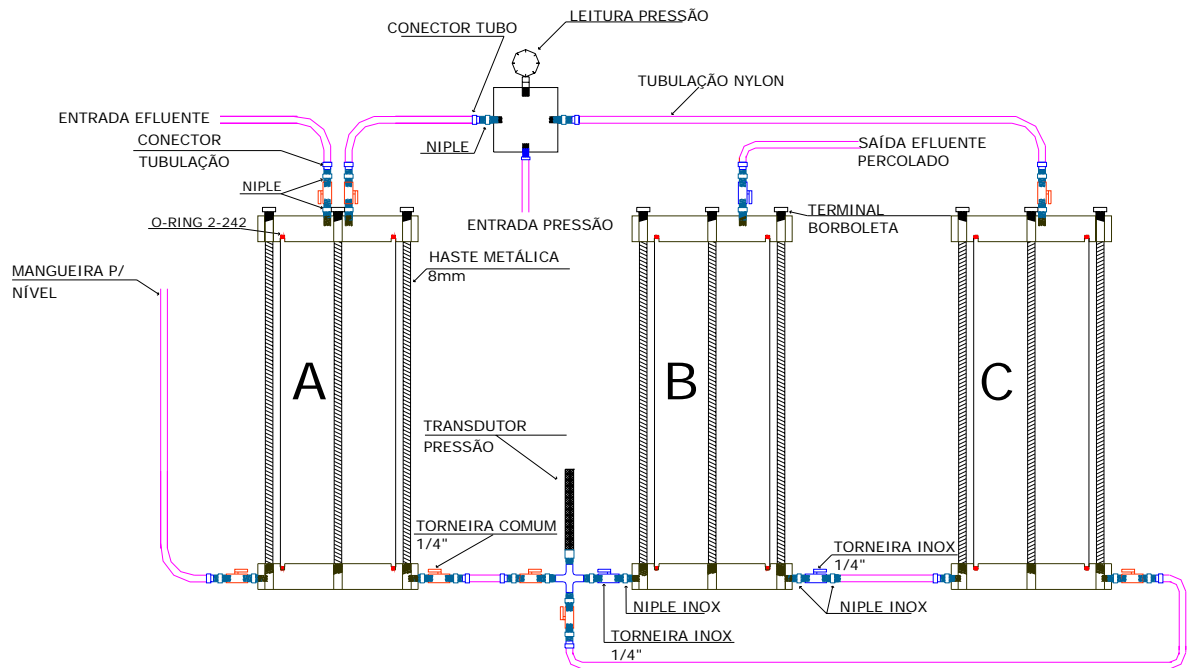


Figura 3.10 - Montagem do equipamento de coluna (ALVES, 2005)

O cilindro A possui uma entrada e uma saída para o lixiviado e uma entrada para o ar comprimido. O cilindro B, possui uma entrada para o lixiviado, uma saída para o mesmo e uma entrada para água. Neste cilindro, é acondicionada a amostra de solo envolvida em uma membrana de látex, (Figura 3.9), pela qual ocorre a passagem de efluente em fluxo ascendente através de uma pedra porosa, com pressões que simulam as condições de campo, a amostra de solo é confinada pela pressão da água. O cilindro C, possui uma entrada para a água e uma para o ar comprimido.

O cilindro C, tem a função de aplicar as tensões de confinamento no corpo de prova. Todas as entradas e saídas possuem registros para facilitar a execução do ensaio, e são interligadas com tubulação de nylon. As pressões aplicadas foram controladas através de um regulador de pressão que era mantido por um compressor da marca Schulz – MSI – 5,2 M/L100 (Fig. 3.11).

Um recipiente foi ligado junto à saída do corpo de prova do cilindro B com a finalidade de coletar o lixiviado percolado para realização das análises.

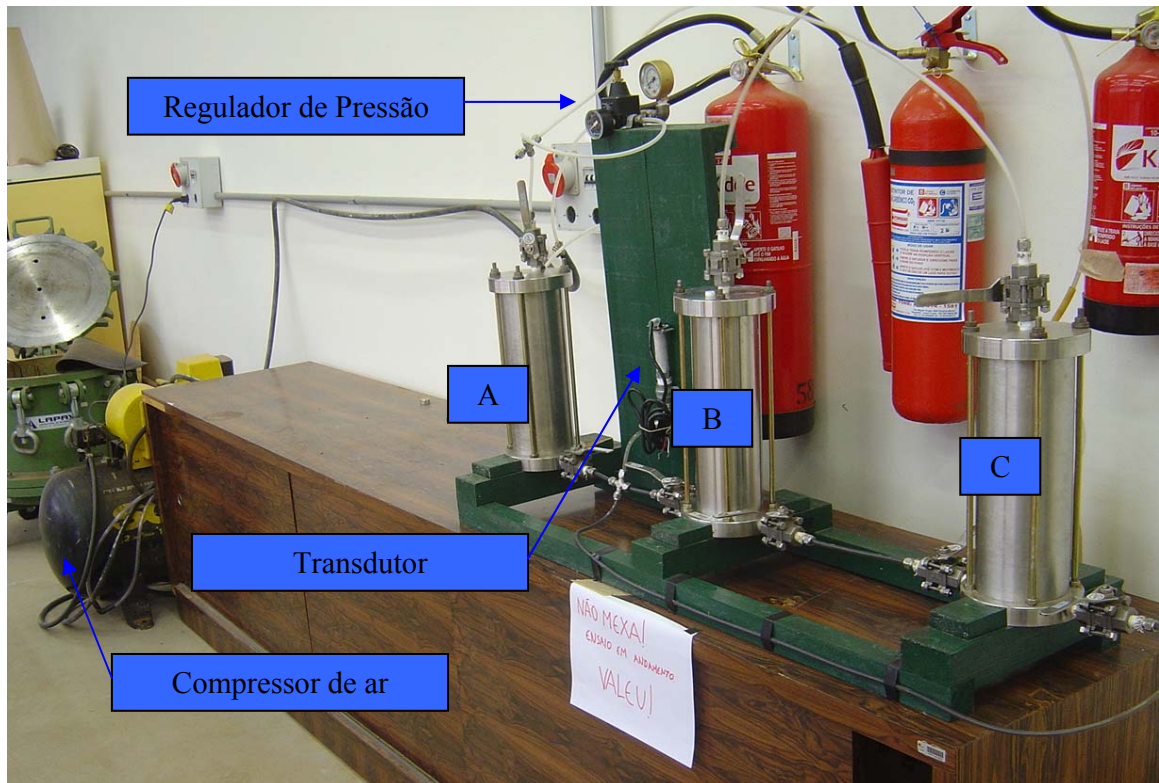


Figura 3.11 – Equipamento de coluna, da esquerda para a direita cilindro A, B E C.

3.3.3 Solo

O solo utilizado neste trabalho foi obtido na área adjacente ao local de disposição dos resíduos coletados em Passo Fundo, sendo classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico (BRASIL, 1973; EMBRAPA, 1999). Esse solo foi utilizado para a coleta de amostras indeformadas, utilizadas no estudo de atenuação. A vegetação estabelecida sobre esse solo era composta predominantemente por pastagens naturais, sendo o uso do mesmo restrito à jazida de material de cobertura do aterro. (Figura 3.12) Para o estudo de monitoramento, além desse solo coletado na perfuração dos poços de monitoramento de números 1,2,3, o solo presente no ponto de monitoramento a jusante número 4 é mal drenado, não sendo considerado um Latossolo. As características morfológicas desse solo mal drenado enquadram o mesmo como sendo um Gleissolo (BRASIL, 1973).



Figura 3.12 – Latossolo Vermelho distrófico típico-jazida de cobertura do aterro

3.3.4 Lixiviado

Foram coletadas amostras de lixiviado, junto à lagoa de estabilização da célula de resíduos em operação do aterro para o estudo de monitoramento (Figura 3.13), e imediatamente junto à saída do lixiviado da massa de resíduos para o estudo de atenuação.



Figura 3.13 – Lagoa de estabilização da célula de resíduos em operação do aterro

3.4 Métodos e técnicas

3.4.1 Estudo de monitoramento

3.4.1.1 Análise físico-química das águas subterrâneas

Os procedimentos de amostragem para as águas subterrâneas seguiram a norma da CETESB 6420 - Preservação e manuseio de amostras de água e chorume relacionados aos parâmetros de análise (CETESB, 1999).

As amostras de água subterrânea, retiradas dos poços de monitoramento (Figura 3.14), foram submetidas à caracterização físico-química e microbiológica Laboratório de Controle de Efluentes – LACE, do Instituto de Ciências Biológicas, e ao Laboratório de Águas do Curso de Química, que analisaram os parâmetros físico-químicos e para o Centro de Pesquisas e Alimentos - CEPA que analisou os parâmetros microbiológicos, ambos pertencentes à Universidade de Passo Fundo. O nível piezométrico dos poços foi medido com

auxílio de uma trena, em cada um dos meses em que foram executadas as amostragens da água subterrânea.



Figura 3.14 - Coleta de água subterrânea nos poços de monitoramento

As análises físico-química e microbiológica das águas subterrâneas (quadro 3.3) seguiram a metodologia descrita no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1998).

Variáveis analisadas	Determinação	APHA
pH	Eletrométrica	4500-H ⁺ B.
DQO (mg/LO ₂)	Refluxo aberto	5220 B.
DBO (mg/LO ₂)	DBO de 5 dias a 20°C	5210 B.
Cromo hexavalente (mg/L)	Colorimétrica	3500-Cr B.
Cloretos (mg/L)	Nitrato de mercúrio	4500-Cl ⁻ C.
Sódio (mg/L)	Fotometria de chamas	3500-Na B.
Zinco (mg/L)	Colorimétrica	Zinc Test –Merck
Cobre (mg/L)	Colorimétrica (batocuproina)	3500-Cu C.
Ferro total (mg/L)	Colorimétrica ortofenanirolina	3500-Fe B.
Magnésio (mg/L)	Titulometria (EDTA)	3500-Ca B. e 3500-Mg B.
Potássio (mg/L)	Fotometria de chamas	3500-K B.
Dureza (mg/L)	Titulometria (EDTA)	2340 C.
Turbidez (NTU)	Nefelométrico	2130 B.
Nitrito (mg/L)	α -naftil-etilenodeamina	4500-NO ₂ ⁻ B.
Nitrato (mg/L)	Potenciométrica (eletrodo seletivo de nitrato)	4500-NO ₃ ⁻ D.
Nitrogênio Total (mg/L)	Titulometria (Kjeldahl)	4500 _{org.} B.
Condutividade (μ s/cm)	Condutivimétrico	2510 A.
Coliformes Totais NMP/100mL	Tubos múltiplos	9221 B.
Coliformes Fecais NMP/100mL	Tubos múltiplos	9221 B.
Contagem de Bact. Heterotróficas UFC/mL	Tubos múltiplos	9215 A.

Quadro 3.3 – Parâmetros analisados na águas subterrâneas e lixiviado

3.4.1.2 Análise físico-química do lixiviado

Na lagoa de estabilização da célula de resíduos em operação do aterro (Figura 3.13), foram retiradas amostras de lixiviado na entrada (Figura 3.15) e saída da lagoa. Essas amostras foram encaminhadas para os mesmos laboratórios citados no item 3.4.11, e sua caracterização obedeceu aos mesmos parâmetros descritos anteriormente.



Figura 3.15 – Coleta do lixiviado na lagoa

3.4.1.3 Ensaios de caracterização física do solo

Na área adjacente ao local de disposição dos resíduos coletados em Passo Fundo, foram retiradas amostras de solo quando da perfuração dos poços de monitoramento. Foi retirada uma amostra de solo deformado para cada metro de profundidade de solo escavado nos quatro poços executados, que foram devidamente identificadas, acondicionadas e classificadas (Figura 3.16). Após, elas foram trazidas ao Laboratório de Geotecnia da FEAR/UPF. Os ensaios de caracterização físicos do solo executados foram os seguintes:

- a) granulometria, realizadas por peneiramento e por sedimentação segundo o método da NBR 7181/84;
- b) limites de consistência (LL, LP, IP) do solo de acordo com os métodos da NBR 6459 (ABNT, 1984c), NBR 7180 (ABNT, 1984d) e NBR 7183 (ABNT, 1984);
- c) massa específica (γ_g), realizada seguindo a NBR 6508 (ABNT, 1984);

- d) permeabilidade medida no equipamento de coluna, através do método de carga constante.

Com os resultados dos ensaios de caracterização foi possível classificar os solos pelos sistemas *Highway Research Board* – HRB e *Unifield Classification System* – SUC.



Figura 3.16 – Amostra de solo deformada – identificação e acondicionamento

3.4.2 Estudo de atenuação

3.4.2.1 Análise físico-química e determinação de metais do lixiviado

As coletas do lixiviado seguiram os procedimentos descritos no item 3.4.1.1.

No mês de março de 2005, foram coletadas três amostras de lixiviado, junto à saída desse líquido na massa de resíduos (Figura 3.17), para serem percoladas no equipamento de coluna. Essa percolação foi efetuada nos dias 16, 18 e 22 de março de 2005. As amostras do lixiviado, antes e após percolarem na coluna, foram encaminhadas para os mesmos laboratórios referidos no item 3.4.1.1.



Figura 3.17: Coleta do lixiviado na saída da massa de resíduos

As análises do lixiviado seguiu o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* e as variáveis analisadas estão apresentadas no quadro 3.4.

Parâmetros Analisados	Determinação	ASTM
pH	Eletrométrico	4500-H+ B.
DQO (mg/LO ₂)	Refluxo aberto	5220 B.
DBO (mg/LO ₂)	Teste da DBO de 5 dias a 20°C	5210 B.
Sódio (mg/L)	Fotometria de chamas	3500-Na B.
Condutividade (µs/cm)	Condutivimétrico	2510 A.
Nitrogênio Total (mg/L)	Titulometria (Kjeldahl)	4500org. B.
Potássio (mg/L)	Fotometria de chamas	3500-K B.

Quadro 3.4 – Variáveis analisadas no lixiviado ante e após percolação em equipamento de coluna

As análises das concentrações de metais nas amostras do lixiviado foram realizadas no Laboratório de Solos e Resíduos Sólidos, da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, da Universidade de Passo Fundo. Após a coleta, as amostras foram preservadas, sendo acidificadas com ácido nítrico ($\text{pH} < 2$) e acondicionadas sob refrigeração ($4\text{ }^{\circ}\text{C}$), por um período máximo de 27 dias.

No ensaio de coluna, foi possível determinar a capacidade de atenuação do solo, medida através de análises comparativas das concentrações do lixiviado inicialmente aplicadas e as concentrações finais após a passagem pelo corpo de prova de solo.

As amostras de lixiviado, antes e após percolarem o solo por aproximadamente 25h no equipamento de coluna e submetidas a uma pressão de 25Psi (17,22 m.c.a.) foram analisadas para a determinação de alguns metais, como ferro, zinco, cobre e manganês. A determinação

destes elementos seguiu dois procedimentos diferentes. No primeiro método, utilizou-se a digestão nitro-perclórica, técnica muito usual na área agrônômica para determinação do teor total de vários nutrientes e considerada exata para a determinação de metais em resíduos orgânicos (TEDESCO *et al.*, 1995).

O segundo método adotado para a determinação de elementos químicos do lixiviado foi o método 3050 B padrão da EPA (1996), que permite verificar a quantidade de metais ambientalmente disponíveis no lixiviado.

Para todas as determinações executadas foram realizadas análises dos brancos concomitantemente, utilizando-se nestes casos, unicamente os reagentes usados na detecção dos metais. Os valores na análise dos brancos foram subtraídos dos valores detectados para cada amostra.

Todos os reagentes e solventes utilizados apresentaram grau P.A. (Merck). A vidraria utilizada nos ensaios foi lavada com HCl a 2 moles/L, após enxaguada com água destilada e deionizada três vezes.

A seguir uma breve descrição dos métodos utilizados:

a) Digestão Nitro-Perclórica ($\text{HNO}_3 - \text{HClO}_4$):

As amostras de lixiviado, devidamente preservadas, foram homogeneizadas, após o que foi retirado 1 mL de cada amostra e colocou-se em tubos de digestão (foto 3.18).

Adicionaram-se 6ml de HNO_3 em 1 mL de amostra de lixiviado, deixou-se em repouso por 24h. No dia seguinte, foram aquecidas a $80^\circ\text{-}90^\circ\text{C}$ por meia hora, aumentou-se a temperatura para 120°C até restar 0,5-1 mL de ácido, adicionou-se 1,0 mL de HClO_4 e aqueceu-se a amostra a $180^\circ\text{C-}190^\circ\text{C}$. Neste momento, ocorreu a explosão da amostra não sendo possível o término do ensaio.



Figura 3.18 – Digestão Nitro-Perclórica - Método descrito por Tedesco *et al.* (1996).

b) Digestão ácida com ácido nítrico (HNO_3):

A preparação das amostras de lixiviado seguiu o mesmo procedimento descrito na digestão nitro-perclórica.

Para análise por absorção atômica, as amostras foram objeto de digestão ácida ($\text{HNO}_3 + \text{HCl} + \text{H}_2\text{O}_2$) e filtração, conforme procedimento descrito no método 3050 B padrão da EPA (1996) (Figura 3.19).

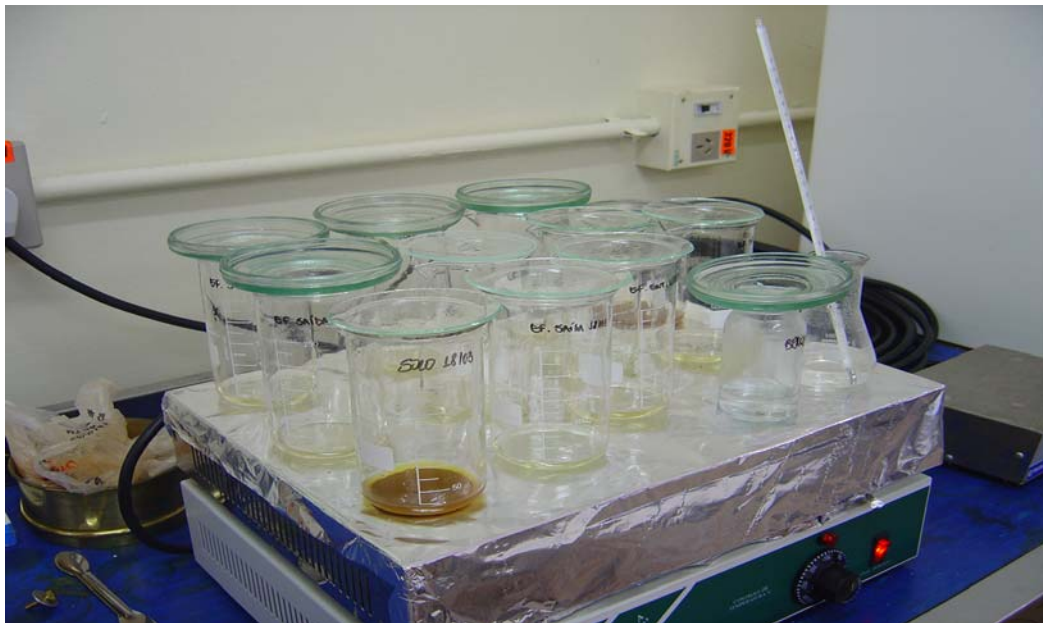


Figura 3.19 – Digestão de metais - Método Padrão EPA 3050 B (1996).

Após a digestão dos metais no lixiviado, o extrato foi acondicionado em frascos *snap-cap* para, então, serem lidos no espectrofotometro de adsorção atômica, modelo 3110 Perkin-Elmer com chama de ar-acetileno pertencente ao Laboratório de Solos da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da UPF (Figura 3.20).



Figura 3.20 - Espectrofotometro de adsorção atômica, modelo 3110 Perkin-Elmer

3.4.2.2 Análise físico-química e determinação de metais no solo

A amostra de solo indeformada foi retirada de um talude existente no local, de onde é retirado o solo para a cobertura diária dos resíduos próximo ao poço monitoramento 1. Por situar-se a montante do local de disposição dos resíduos, assumiu-se que não apresenta contaminação com resíduos sólidos.

Na retirada da amostra, foram descartados os primeiros 40cm de solo (Figura 3.21) para somente então ser moldado um bloco de solo de aproximadamente 40 x 40 x 40cm. A profundidade da coleta para retirada da amostra foi de aproximadamente 1,00m (horizonte BA).

Esse foi imediatamente envolvido em camadas de plástico filme de maneira a se preservar a umidade natural do solo, fator este que facilitou a moldagem dos corpos de prova no laboratório. (Figura 3.22).



Figura 3.21 - Local da retirada de amostra de solo indeformada da área de aterro



Figura 3.22 - Amostra de solo indeformada da área de aterro

Da amostra de solo indeformada foram moldados, manualmente, 04 corpos de prova (3 para os ensaios de atenuação e 1 para determinação da permeabilidade do solo), com auxílio de torno para moldagem de corpo de prova (Figura 3.23) que após foram embalados em sacos plásticos para evitar perdas de umidade. Devido às altas temperaturas do mês de fevereiro de 2005, estes corpos de prova foram preservados sob refrigeração.



Figura 3.23 – Torno para moldagem de corpo de prova indeformado

A amostra de solo indeformada foi submetida aos mesmos ensaios de caracterização físicos descritos no item 3.4.1.3.

Para as análises dos metais pelos métodos nitro-perclórico e pelo método 3050 B padrão da EPA (1996), foi retirada uma quantidade aleatória de amostra de solo indeformada antes e após o ensaio de coluna, que foi pesada e colocada em estufa de circulação de ar forçada por 7 dias a uma temperatura de 65-70° C. Este solo foi moído manualmente até a obtenção de material passante na peneira nº 35; pesou-se 1g de solo para a digestão da amostra.

A determinação dos metais no solo seguiu os mesmos procedimentos de análises descritos no item 3.4.2.1.

Não foi possível a determinação dos metais no solo que passou na coluna pelo método nitro perclórico, pois as amostras explodiram quando da adição do ácido perclórico, assim como o ocorrido com as amostras de lixiviado.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Estudo de monitoramento

4.1.1 Caracterização física do solo

O solo foi caracterizado no laboratório de Geotecnia da Faculdade de Engenharia e Arquitetura da FEAR/UPF. Nas tabelas 4.1 a 4.4 são apresentados os resultados das caracterizações obtidas para cada metro de solo escavado nas perfurações dos poços de monitoramento, bem como a interpretação gráfica de alguns dos dados encontrados.

A tabelas 4.1 mostra a variação dos limites de liquidez, plasticidade e o índice de plasticidade ao longo do perfil do solo no poço de monitoramento 1. Observa-se que o limite de liquidez variou pouco ao longo do perfil, os valores encontrados variaram de 79,50% na camada de 4-5m até 105,00% na camada 1-2m. O limite de plasticidade variou de 53,84% a 66,60%, demonstrando um comportamento plástico do material longo do perfil. (Figura 4.1)

O índice de plasticidade que é a diferença entre o limite de liquidez e o de plasticidade e que, segundo Caputo (1988), indica que as argilas são tanto mais compressíveis quanto maior for o IP sugere que:

Solos fracamente plásticos: $1 < IP < 7$;

Solos mediantemente plásticos: $7 < IP < 15$;

Solos altamente plásticos: $IP > 15$;

Isto demonstra que o solo, ao longo do poço de monitoramento 1 é altamente plástico ($IP > 15$), pois os índices de plasticidade variaram de 22,25% a 50,16%.

A figura 4.2 mostra a distribuição das frações argila, silte e areia fina ao longo do perfil do solo. Pode-se observar que, na profundidade de 8-9m, os dados referentes ao percentual de argila encontrados decaem, mas a plasticidade do material aumenta. Podendo-se

dizer que os dados encontrados para o ensaio de plasticidade, neste ponto, não são consistentes.

Tabela 4.1 – Caracterização e classificação do perfil do solo no poço de monitoramento 1

Camadas	0-1m	1-2m	2-3m	3-4m	4-5m	5-6m	6-7m	7-8m	8-9m	9-10m	10-11m	11-12m	12-13m	13-14m
Classificação ‘HRB’	A-7-5	A-7-5	A-7-5	A-7-5	A-7-5	A-7-5	A-7-5	A-7-5	A-7-5	A-7-5	A-7-5	A-7-5	A-7-5	A-7-5
Classificação ‘SUCS’	MH	MH	MH	MH	MH	MH	MH	MH	MH	MH	MH	MH	MH	MH
Argila (%)	79,41	77,20	67,61	66,07	56,70	69,60	63,27	49,59	34,90	69,76	51,30	42,64	43,68	26,89
Silte (%)	14,96	15,20	23,04	18,97	27,40	20,00	26,84	36,60	19,30	19,15	31,70	39,61	45,95	37,51
Areia Fina (%)	5,63	7,60	9,35	14,95	15,90	10,40	9,89	13,75	45,80	11,09	16,80	14,59	5,98	34,96
Areia Média (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,20	3,16	4,39	0,64
Limite de Liquidez (LL)	100,00	105,00	86,00	82,50	79,50	83,00	85,00	88,00	104,00	101,00	97,00	92,50	90,50	90,00
Limite de Plasticidade (LP)	56,53	66,60	61,59	60,25	54,52	57,58	57,15	62,71	53,84	62,02	58,36	62,22	56,57	58,02
Índice de Plasticidade (IP)	43,47	38,40	24,41	22,25	24,98	25,42	27,85	25,29	50,16	38,98	38,64	30,28	33,93	31,98
Peso específico dos grãos	2,71	2,62	2,68	2,88	2,78	2,76	2,58	2,62	2,63	2,50	2,51	2,53	2,72	2,47

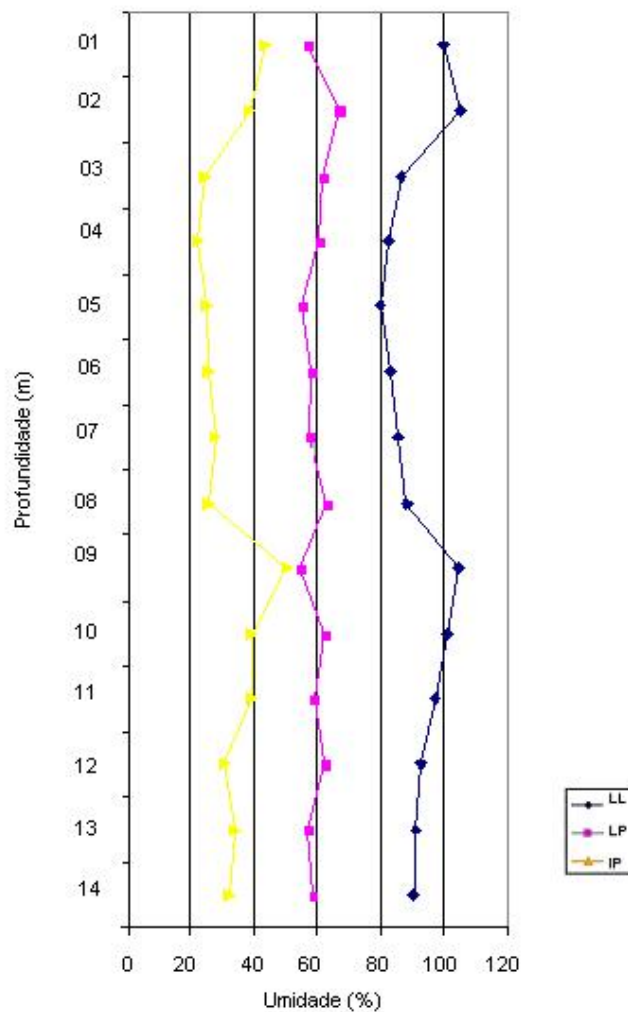


Figura 4.1 - Limites de Liquidez, Limite de Plasticidade e Índice de Plasticidade do perfil do solo do poço de monitoramento 1

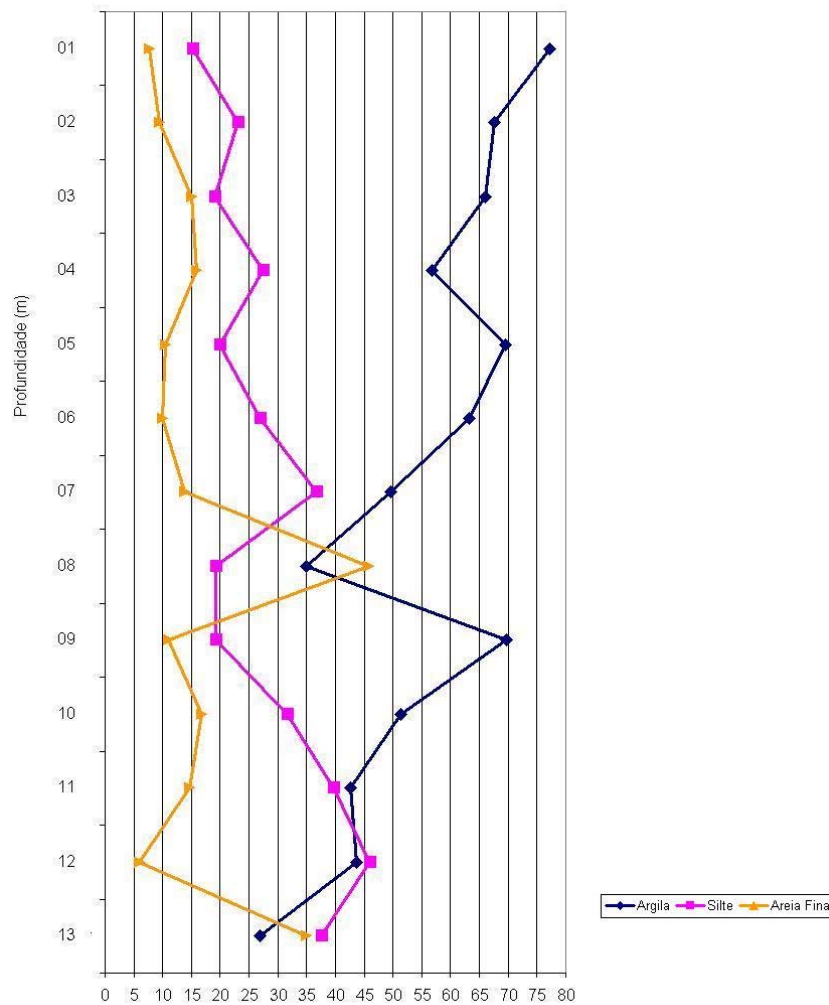


Figura 4.2 - Percentuais de argila, silte, areia fina do perfil do solo do poço de monitoramento 1.

Na tabela 4.2, referente ao poço de monitoramento 2, observa-se que o limite de liquidez variou ao longo do perfil, de 51,71% na camada mais superficial a 85,50% na camada de profundidade 2-3m. O limite de plasticidade ao longo do perfil do solo do poço de monitoramento 2, se eleva, à medida que aumenta a profundidade nos três primeiros metros, mantendo-se praticamente constante ao longo das camadas seguintes.

Os índices de plasticidade encontrados ao longo do perfil do solo do poço de monitoramento 2, variam de 20,60% na primeira camada a 31,74% na camada 2-3m, indicando, como no perfil do solo do poço de monitoramento 1, um solo altamente plástico ($IP > 15$) (Figura 4.3).

Na figura 4.4 pode-se observar que os teores de argila do perfil do solo do poço de monitoramento 2, variam ao longo das camadas. Nas duas últimas camadas, os teores de

argila caem, mas sobem os de silte, não alterando consideravelmente a plasticidade do material.

Tabela 4.2 – Caracterização e classificação do perfil do solo no poço de monitoramento 2

Camadas	0-1m	1-2m	2-3m	3-4m	4-5m	5-6m	6-7m	7-8m
Classificação ‘HRB’	A-7-5	A-7-5	A-7-5	A-7-5	A-7-5	A-7-5	A-7-5	A-7-5
Classificação ‘SUCS’	MH	MH	MH	MH	MH	MH	MH	MH
Argila (%)	58,80	74,10	70,12	64,60	65,90	44,40	37,67	38,60
Silte (%)	16,33	14,60	15,97	17,09	16,90	36,60	41,49	36,50
Areia Fina (%)	22,40	11,30	13,91	18,30	17,20	19,00	20,84	24,90
Areia Média (%)	2,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Limite de Liquidez (LL)	51,71	67,83	85,50	83,50	80,50	81,00	78,50	80,50
Limite de Plasticidade (LP)	31,12	41,66	53,76	52,91	52,02	58,11	52,46	54,61
Índice de Plasticidade (IP)	20,60	26,17	31,74	30,59	28,48	22,89	26,04	25,89
Peso específico dos gãos	2,40	2,46	2,75	2,78	2,72	2,76	2,78	2,75

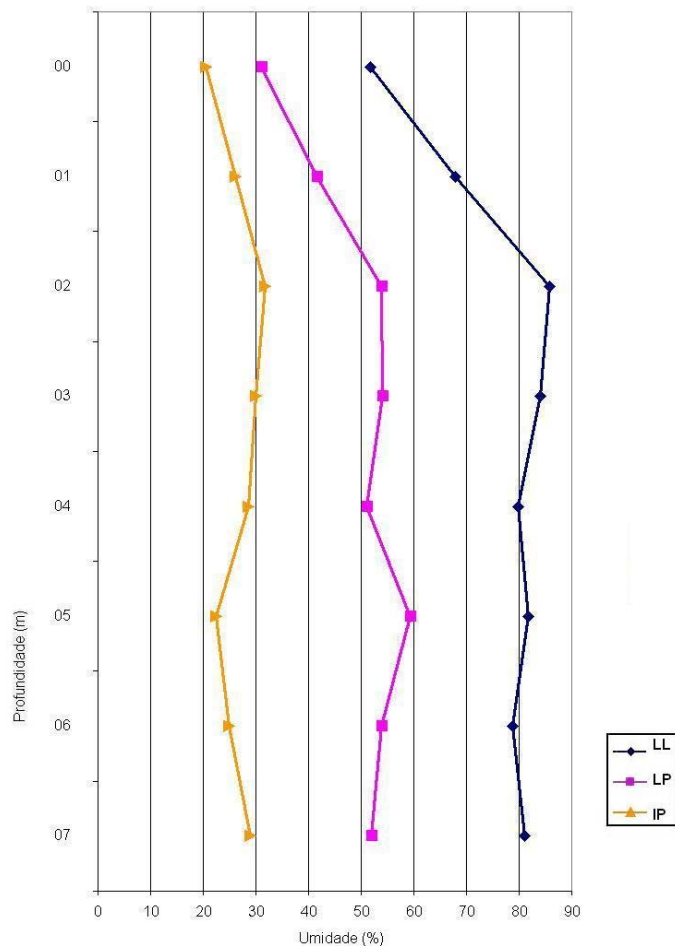


Figura 4.3 - Limites de Liquidez, Limite de Plasticidade e Índice de Plasticidade do perfil do solo do poço de monitoramento 2

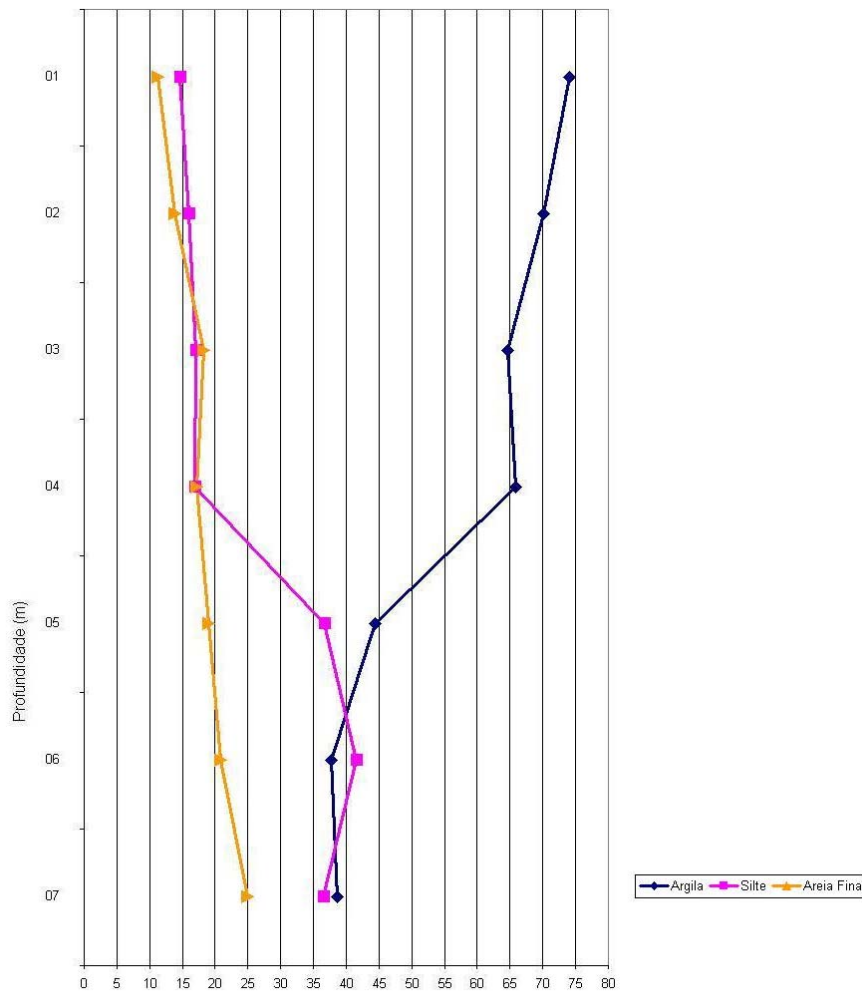


Figura 4.4 - Percentuais de argila, silte, areia fina do perfil do solo do poço de monitoramento 2

Na tabela 4.3, referente ao poço de monitoramento 3, pode-se observar que o limite de liquidez variou ao longo do perfil, de 51,04% a 67,83%, apresentando o menor valor na camada inicial.

Segundo Caputo (1988), uma pequena porcentagem de matéria orgânica pode elevar o valor do limite de plasticidade sem elevar simultaneamente o valor do limite de liquidez, pois estes solos apresentam baixos valores de índice de plasticidade. Este fato pode explicar o que ocorre nas camadas 4-5m e 5-6m (Figura 4.5), levando-se em consideração que a localização do poço de monitoramento 3 encontra-se em uma depressão e que tais solos possuem maiores concentrações de matéria orgânica. Este fato pode não estar ocorrendo nas primeiras camadas do solo do poço 4, pois acima do mesmo houve intensa movimentação de terra quando do fechamento da célula de resíduos hoje desativada, podendo ter ocorrido erosão, acumulando este solo no fundo desta depressão.

Os índices de plasticidade mantêm-se praticamente constante nas profundidades 0-1, 1-2, 2-3 e 3-4, quatro primeiras camadas, indicando um solo altamente plástico. Nas duas camadas finais o índice de plasticidade cai para valores abaixo de 15, passando a indicar um solo medianamente plástico, e corroborando com o acima exposto.

A figura 4.6 mostra a distribuição das frações argila, silte e areia fina demonstrando que nas quatro primeiras camadas os teores de argila são semelhante, decaído nas duas camadas finais.

Tabela 4.3 – Caracterização e classificação do perfil do solo no poço de monitoramento 3

Camadas	0-1m	1-2m	2-3m	3-4m	4-5m	5-6m
Classificação ‘HRB’	A-7-6	A-7-5	A-7-5	A-7-5	A-7-5	A-7-5
Classificação ‘‘SUCS’’	MH	MH	MH	MH	MH	MH
Argila (%)	53,68	61,83	58,50	57,88	32,20	21,10
Silte (%)	16,33	19,06	11,40	23,29	43,80	40,40
Areia Fina (%)	28,35	19,11	30,00	18,83	24,00	38,40
Areia Média (%)	1,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Limite de Liquidez (LL)	51,04	67,83	67,07	59,53	56,19	53,35
Limite de Plasticidade (LP)	28,68	41,66	41,87	39,90	44,54	45,74
Índice de Plasticidade (IP)	22,36	26,17	25,20	19,63	11,65	7,61
Peso específico dos grãos	2,62	2,75	2,73	2,65	2,71	2,70

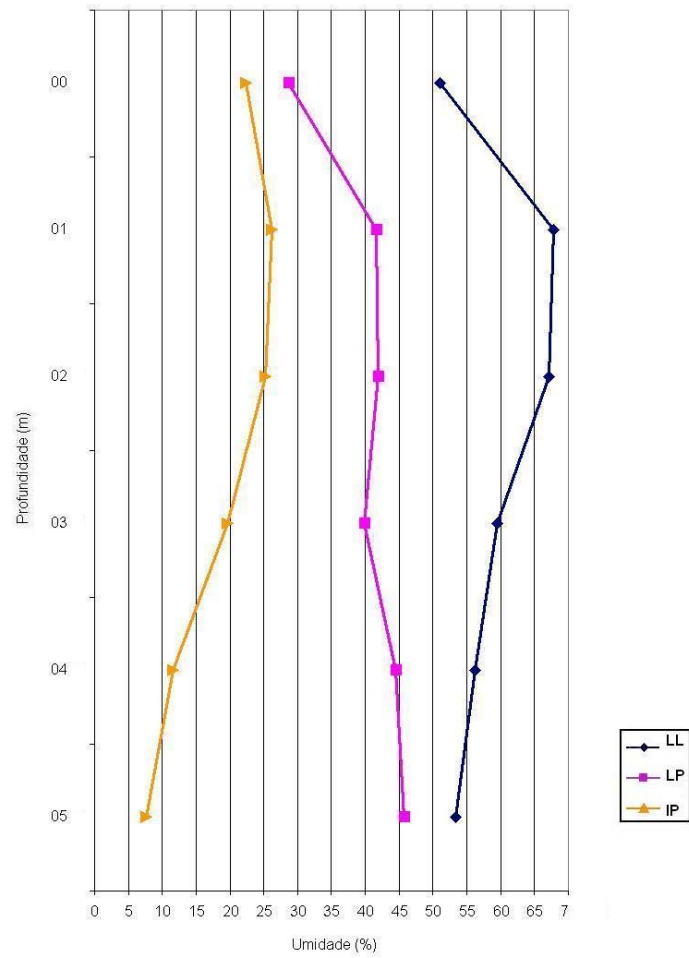


Figura 4.5 - Limites de Liquidez, Limite de Plasticidade e Índice de Plasticidade do perfil do solo do poço de monitoramento 3

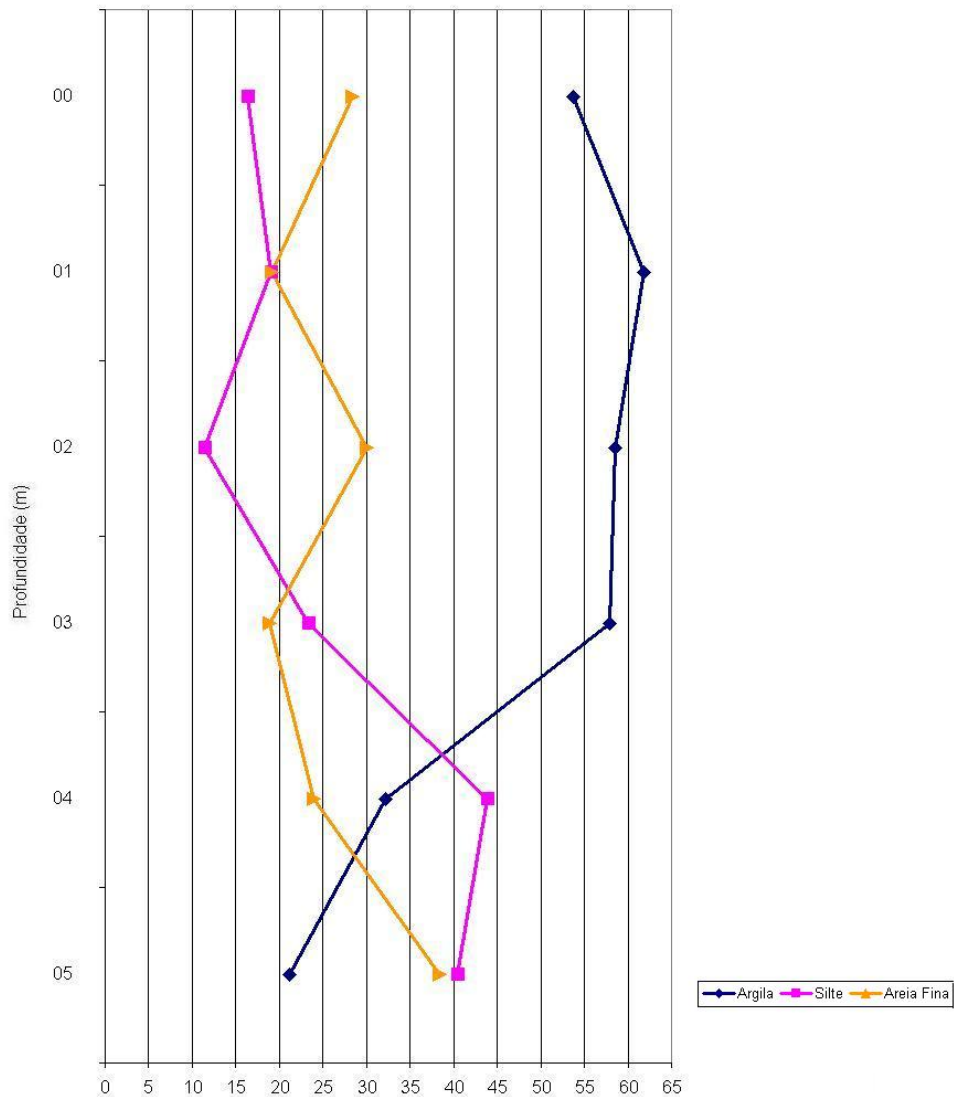


Figura 4.6 - Percentuais de argila, silte, areia fina do perfil do solo do poço de monitoramento 3.

Observa-se na tabela 4.4, referente ao poço de monitoramento 4 que o limite de liquidez variou ao longo do perfil, de 41,49% na profundidade de 0 a 1, a 94,22% na profundidade de 3 a 4, demonstrando ser o perfil de solo mais heterogêneo dos quatro analisados (Figura 4.7). A localização do poço de monitoramento 4, está próxima ao leito de uma sanga onde, visualmente, quando da perfuração do poço, pode-se observar os diferentes tipos de solo nas camadas escavadas. O limite de plasticidade, ao longo do perfil do solo, se eleva à medida em que aumenta a profundidade.

Os índices de plasticidade encontrados demonstram ser o solo deste perfil, altamente plástico ($IP > 15$).

A figura 4.8 mostra a distribuição das frações argila, silte, areia fina e areia média nas camadas do solo e observa-se que os teores de argila aumentam nas quatro primeiras camadas decrescendo nas duas ultimas.

Tabela 4.4 – Caracterização e classificação do perfil do solo no poço de monitoramento 4

Camadas	0-1m	1-2m	2-3m	3-4m	4-5m	5-6m
Classificação ‘HRB’	A-7-6	A-7-5	A-7-5	A-7-5	A-7-5	A-7-5
Classificação ‘SUCS’	CL	MH	MH	MH	MH	MH
Argila (%)	38,80	42,90	52,04	67,34	27,37	13,51
Silte (%)	17,96	26,13	17,96	15,90	22,86	19,59
Areia Fina (%)	34,79	28,02	25,69	16,15	42,18	66,08
Areia Média (%)	8,45	2,95	4,30	0,61	7,59	0,81
Limite de Liquidez (LL)	41,49	70,34	67,67	94,22	79,55	75,01
Limite de Plasticidade (LP)	22,17	33,91	33,94	47,23	50,65	49,45
Índice de Plasticidade (IP)	19,32	36,43	33,73	46,99	28,90	25,56
Peso específico dos grãos	1,56	2,58	2,61	2,69	2,43	3,32

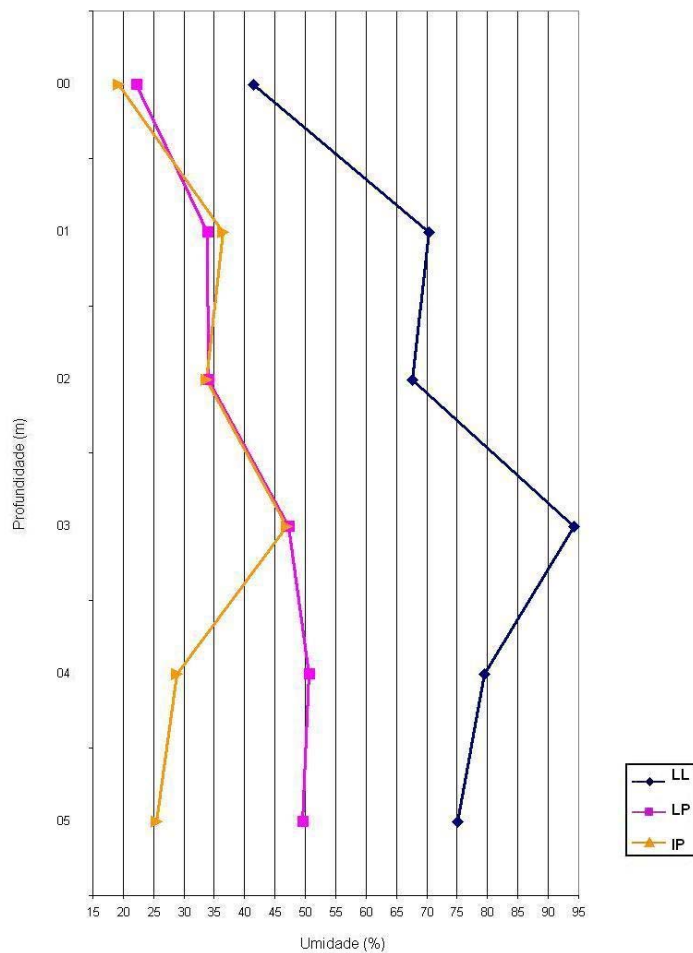


Figura 4.7 - Limites de Liquidez, Limite de Plasticidade e Índice de Plasticidade do perfil do solo do poço de monitoramento 4

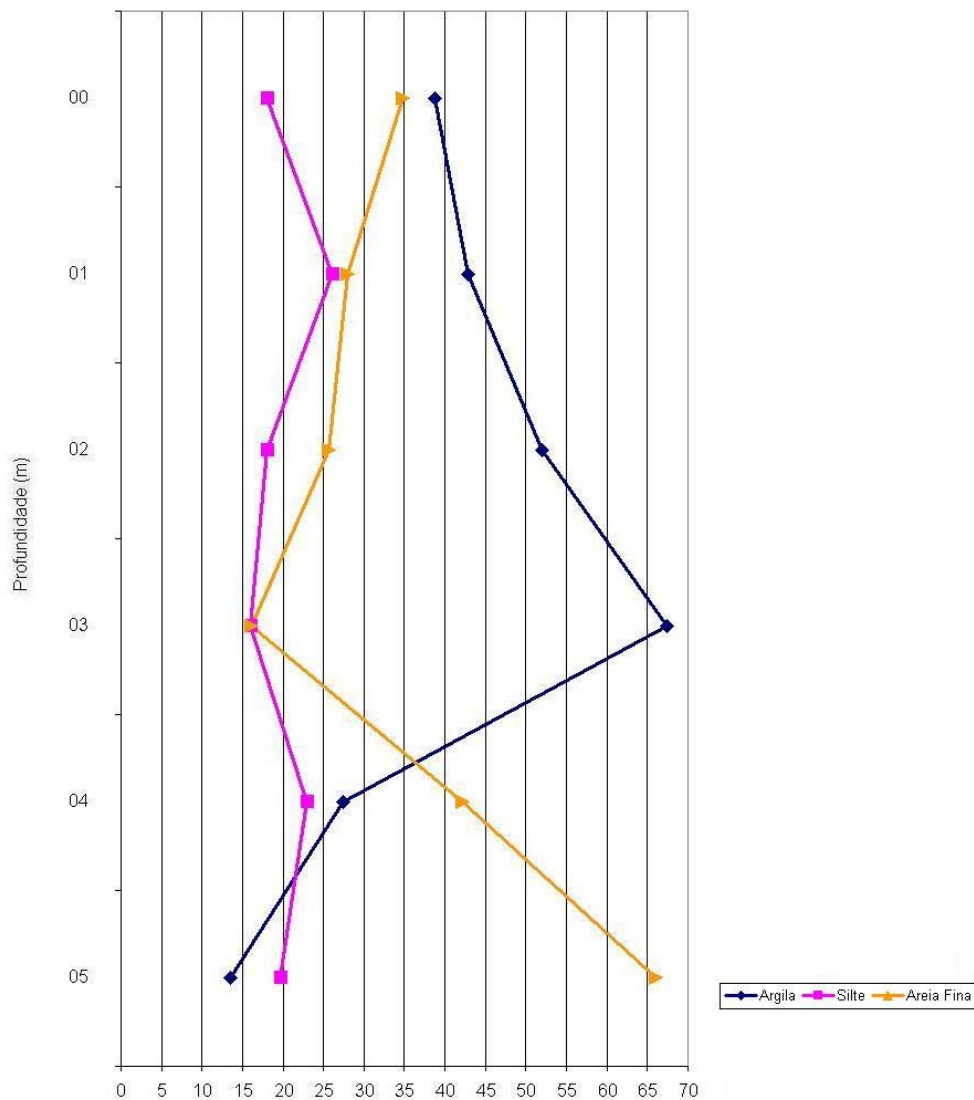


Figura 4.8 - Percentuais de argila, silte, areia fina do perfil do solo do poço de monitoramento 4

4.1.2 Análise físico-química das águas subterrâneas

A Tabela 4.5 mostra a profundidade dos poços de monitoramento e o nível de água no lençol freático, a partir do nível do terreno, em cada um dos meses em que foram amostradas as águas subterrâneas. A Figura 4.9 mostra o nível mínimo e máximo de água no lençol freático encontrados durante o projeto de monitoramento das águas subterrâneas a partir das altitudes encontradas no georeferenciamento da área (Figura 3.3), e a profundidade dos poços de monitoramento a partir do nível do terreno. Observa-se que o nível máximo no poço 1 ocorreu no mês de julho de 2004, enquanto que nos restantes isso ocorreu no mês de junho de 2004, quando era período de inverno e ocorreu maior intensidade de chuvas. Já o nível

mínimo do lençol foi verificado no mês de janeiro de 2005, fato este caracterizado pela forte estiagem que atingiu a estado do Rio Grande do Sul no final do ano de 2004 e início de 2005.

Tabela 4.5 - Profundidade dos poços de monitoramento e nível piezométrico a partir do nível do terreno

DATA DAS COLETAS	POÇO 01 (PROF. 13,60m)	POÇO 02 (PROF. 7,95m)	POÇO 03 (PROF. 5,3m)	POÇO 4 (PROF. 6,30m)
16/6/2004	6,90	1,03	1,37	1,03
7/7/2004	6,40	1,05	1,47	1,05
9/8/2004	8,38	1,48	1,85	1,48
5/10/2004	7,20	1,20	1,66	1,20
22/11/2004	7,25	1,30	1,70	1,30
25/01/2005	9,6	1,96	1,45	1,96

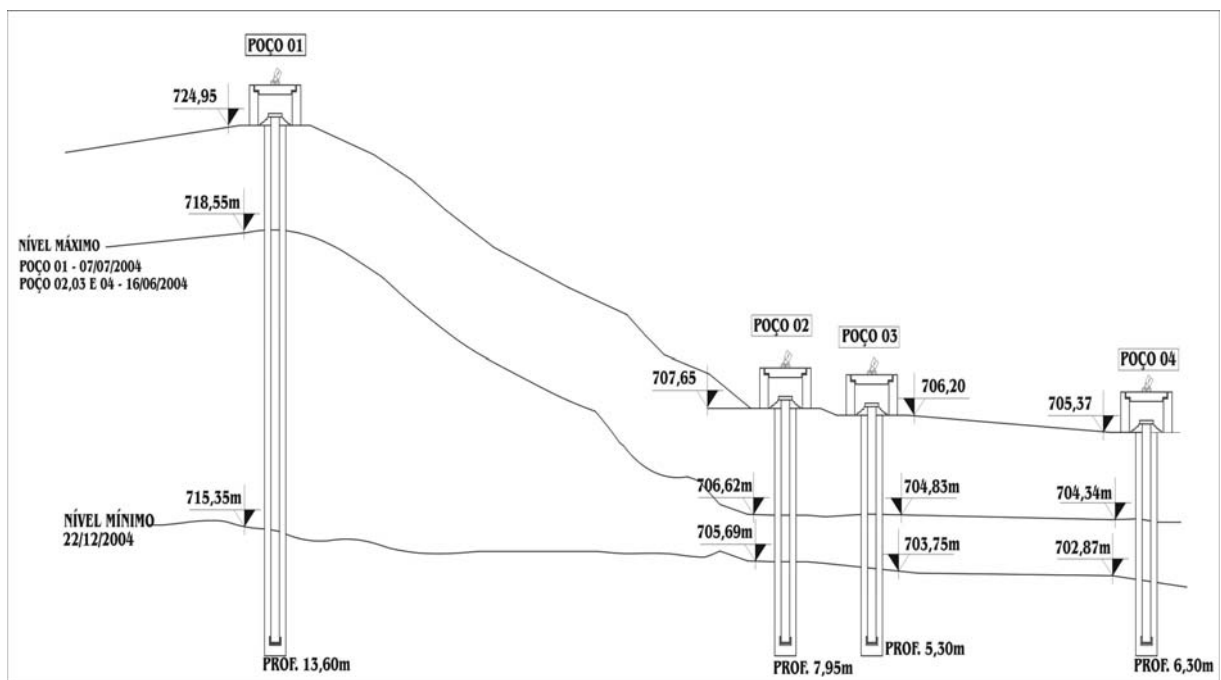


Figura 4.9 – Nível máximo e mínimo de água no lençol freático durante o estudo de monitoramento

Nas Tabelas 4.6, 4.7, 4.8 e 4.9 são apresentados os resultados das análises das águas subterrâneas para cada um dos quatro poços de monitoramento instalados no aterro. Na última coluna são apresentados os valores máximos permitidos pela Portaria N° 518 de 25 de março de 2004, que estabelece os procedimentos e responsabilidades inerentes ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano, estabelecendo ainda o padrão de potabilidade.

Tabela 4.6 – Análise das águas subterrâneas do poço 01 e valores máximos permitidos

Parâmetros analisados nas águas subterrâneas	Jun. 2004	Jul. 2004	Ago. 2004	Out. 2004	Nov. 2004	Jan. 2005	VMP (Portaria nº 318 de 25/03/04)
pH	6,75	6,97	5,65	5,99	5,83	5,81	6,00 - 9,50
DQO (mg/LO ₂)	24,00	15,20	60,00	4,10	8,00	12,00	N.R.
DBO (mg/LO ₂)	9,80	6,50	27,20	1,80	4,50	3,60	N.R.
Cromo hexavalente (mg/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.A.	N.A.	N.R.
Cloretos (mg/L)	0,20	3,47	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	250,00
Sódio (mg/L)	0,30	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	200,00
Zinco (mg/L)	0,01	N.A.	N.D.	N.A.	N.A.	N.A.	5,00
Cobre (mg/L)	N.D.	N.A.	N.D.	N.A.	N.A.	N.A.	2,00
Ferro (mg/L)	0,43	N.A.	0,15	N.A.	N.A.	N.A.	0,30
Magnésio (mg/L)	N.D.	N.A.	0,22	N.A.	N.A.	N.A.	N.R.
Potássio (mg/L)	0,18	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.R.
Dureza (mg/L)	3,93	3,60	8,34	0,80	4,28	1,60	500,00
Turbidez (NTU)	71,13	133,10	1,32	22,56	10,73	0,80	5,00
Nitrito (mg/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1,00
Nitrato (mg/L)	0,90	5,53	4,62	N.D.	2,07	0,50	10,00
Nitrogênio Total (mg/L)	2,03	1,93	4,39	0,85	1,49	1,00	N.R.
Condutividade (µs/cm)	65,90	38,00	206,00	13,61	2,17	18,05	N.R.
Coliformes Totais NMP/100mL	2,20x10 ³	4,90x10 ²	3,60	23,00	3,60	23,00	ausência/100ml
Coliformes Fecais NMP/100mL	7,00x10 ²	3,30x10 ²	ausência	ausência	ausência	ausência	ausência/100ml
Contagem de Bact. Heterotróficas UFC/mL	2,00x10 ⁵	2,80x10 ⁵	4,50x10 ³	4,50x10 ³	2,50x10 ⁴	7,00x10 ³	> 500

N.R. - Não referenciado

N.D. - Não detectado

N.A. - Não analisado

VPM – Valor máximo permitido

Tabela 4.7 - Análise das águas subterrâneas do poço 02 e valores máximos permitidos

Parâmetros analisados nas águas subterrâneas	Jun. 2004	Jul. 2004	Ago. 2004	Out. 2004	Nov. 2004	Jan. 2005	VMP (Portaria nº 318 de 25/03/04)
pH	7,16	6,56	5,65	5,81	5,49	5,44	6,00 - 9,50
DQO (mg/LO ₂)	16,00	144,00	53,00	8,30	4,00	3,72	N.R.
DBO (mg/LO ₂)	11,30	62,00	25,50	3,20	2,20	1,20	N.R.
Cromo hexavalente (mg/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.A.	N.A.	N.R.
Cloretos (mg/L)	6,90	6,90	N.D.	10,40	N.D.	N.D.	250,00
Sódio (mg/L)	1,13	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	200,00
Zinco (mg/L)	0,02	N.A.	0,01	N.A.	N.A.	N.A.	5,00
Cobre (mg/L)	N.D.	N.A.	N.D.	N.A.	N.A.	N.A.	2,00
Ferro (mg/L)	0,11	N.A.	N.D.	N.A.	N.A.	N.A.	0,30
Magnésio (mg/L)	0,03	N.A.	0,16	N.A.	N.A.	N.A.	N.R.
Potássio (mg/L)	0,89	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.R.
Dureza (mg/L)	6,29	7,20	5,64	1,50	2,15	1,00	500,00
Turbidez (NTU)	10,60	78,00	0,36	2,14	1,33	16,56	5,00
Nitrito (mg/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1,00
Nitrato (mg/L)	0,35	4,31	4,19	N.D.	2,10	0,64	10,00
Nitrogênio Total (mg/L)	2,24	2,46	4,07	0,96	0,43	N.A.	N.R.
Condutividade (µs/cm)	140,1	31,00	103,50	15,66	15,55	12,89	N.R.
Coliformes Totais NMP/100mL	7,80x10 ²	ausente	ausente	3,60	12,00	1,10	ausência/100ml
Coliformes Fecais NMP/100mL	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausência/100ml
Contagem de Bact. Heterotróficas UFC/mL	6,0x10 ⁵	1,2x10 ⁴	2,0x10 ³	2,5x10 ³	2,0x10 ³	1,0x10 ³	> 500

N.R. - Não referenciado

N.D. - Não detectado

N.A. - Não analisado

VPM – Valor máximo permitido

Tabela 4.8 - Análise das águas subterrâneas do poço 03 e valores máximos permitidos

Parâmetros analisados nas águas subterrâneas	Jun. 2004	Jul. 2004	Ago. 2004	Out. 2004	Nov. 2004	Jan. 2005	VMP (Portaria 318 de 25/03/04)
pH	7,10	6,01	5,50	5,64	5,14	5,24	6,00 - 9,50
DQO (mg/LO ₂)	106,00	186,00	36,00	8,30	96,00	7,90	N.R.
DBO (mg/LO ₂)	22,00	74,00	15,50	3,93	32,00	3,64	N.R.
Cromo hexavalente (mg/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.A	N.A	N.R.
Cloretos (mg/L)	0,00	3,47	N.D.	13,90	3,22	7,80	250,00
Sódio (mg/L)	0,53	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	200,00
Zinco (mg/L)	0,03	N.A	N.D.	N.A	N.A	N.A	5,00
Cobre (mg/L)	N.D.	N.A	N.D.	N.A	N.A	N.A	2,00
Ferro (mg/L)	0,16	N.A	N.D.	N.A	N.A	N.A	0,30
Magnésio (mg/L)	0,10	N.A	0,61	N.A	N.A	N.A	N.R.
Potássio (mg/L)	0,72	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.R.
Dureza (mg/L)	6,29	8,45	15,30	1,20	10,80	1,20	500,00
Turbidez (NTU)	12,43	49,90	1,28	13,05	2,07	2,45	5,00
Nitrito (mg/L)	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D.	1,00
Nitrato (mg/L)	0,32	3,97	4,07	17,10	10,80	2,01	10,00
Nitrogênio Total (mg/L)	2,32	2,25	3,01	2,38	1,07	1,93	N.R.
Condutividade (µs/cm)	108,50	21,00	82,20	20,70	25,30	28,00	N.R.
Coliformes Totais NMP/100mL	3,50x10 ⁴	ausente	6,90	ausente	ausente	ausente	ausência/100m l
Coliformes Fecais NMP/100mL	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausência/100m l
Contagem de Bact. Heterotróficas UFC/mL	1,50x10 ⁵	9,90x10 ⁴	2,50x10 ³	1,50x10 ⁴	6,50x10 ³	5,00x10 ³	> 500

N.R. - Não referenciado

N.D. - Não detectado

N.A. - Não analisado

VPM – Valor máximo permitido

Tabela 4.9 - Análise das águas subterrâneas do poço 04 e valores máximos permitidos

Parâmetros analisados nas águas subterrâneas	Jun. 2004	Jul. 2004	Ago. 2004	Out. 2004	Nov. 2004	Jan. 2005	VMP (Portaria nº 318 de 25/03/040)
pH	6,75	6,49	6,38	6,65	6,60	6,52	6,00 - 9,50
DQO (mg/LO ₂)	43,50	152,30	94,80	38,00	36,00	17,70	N.R.
DBO (mg/LO ₂)	8,10	55,00	43,80	13,70	12,80	8,20	N.R.
Cromo hexavalente (mg/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.A	N.A	N.R.
Cloretos (mg/L)	0,0	0,0	N.D.	48,70	N.D.	12,60	250,00
Sódio (mg/L)	0,90	N.A	N.A	N.A	N.D.	N.A	200,00
Zinco (mg/L)	0,03	N.A	0,01	N.A	N.D.	N.A	5,00
Cobre (mg/L)	N.D.	N.A	N.D.	N.A	N.D.	N.A	2,00
Ferro (mg/L)	5,25	N.A	0,43	N.A	N.D.	N.A	0,30
Magnésio (mg/L)	0,46	N.A	0,55	N.A	N.D.	N.A	N.R.
Potássio (mg/L)	3,41	N.A	N.A	N.A	N.D.	N.A	N.R.
Dureza (mg/L)	5,19	12,6	10,8	5,6	6,8	2,8	500,00
Turbidez (NTU)	143,10	35,04	56,60	52,12	23,79	106,60	5,00
Nitrito (mg/L)	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	1,00
Nitrato (mg/L)	0,34	4,16	3,78	N.D.	1,44	0,20	10,00
Nitrogênio Total (mg/L)	0,21	1,28	4,71	0,96	2,24	N.D.	N.R.
Condutividade (µs/cm)	99,00	1.792,00	7,19	54,20	59,00	109,60	N.R.
Coliformes Totais NMP/100mL	3,50x10 ⁴	9,40x10 ²	ausente	ausente	3,60	5,10	ausência/100m l
Coliformes Fecais NMP/100mL	2,00x10 ²	2,30x10 ²	ausente	ausente	ausente	5,10	ausência/100m l
Contagem de Bact. Heterotróficas UFC/mL	5,00x 10 ⁵	2,0x 10 ⁵	2,00x10 ³	5,50x10 ²	7,00x10 ⁴	8,00x1 ³	> 500

N.R. - Não referenciado N.D. - Não detectado N.A. - Não analisado VPM – Valor máximo permitido

Os valores de DBO, DQO, cromo hexavalente, magnésio, potássio, nitrogênio total e condutividade não são referenciados na norma de qualidade para consumo humano, sugerindo que a presença destes valores não são permitidos na água potável.

A Portaria N° 318 em seu Art. 16 inciso 1°, recomenda que o pH da água esteja na faixa de 6 a 9,5. O único poço de monitoramento a atender este parâmetro, em todos os meses de monitoramento, foi o poço 4. Nos demais poços, os valores de pH encontrados nas águas subterrâneas variaram de 5,44 a 7,16. Valores semelhantes foram encontrados por Schneider, *et al.* (2003), em antiga área de disposição de resíduos sólidos do município de Passo Fundo.

Os valores de cloreto, sódio, zinco, cobre, nitrito e dureza encontrados nos quatro poços nas seis amostragens obedecem, quando analisados, aos padrões de potabilidade, mas segundo Lima *et al.* (2004), isso não significa que a água seja boa para consumo humano, pois outras características físico-químicas da água podem estar comprometendo a sua qualidade. No presente estudo, verificam-se, por exemplo, valores elevados de condutividade elétrica da água monitorada, o que evidencia a contaminação com teores elevados de sais.

As quantidades de ferro presentes nas amostras não atenderam ao padrão de potabilidade no mês de Junho de 2004, para os poços de monitoramento 1 e 4 e em agosto de 2004 no poço 4, nas demais amostragens atenderam aos parâmetros de legislação.

Em concordância com os valores de condutividade elétrica e de carga orgânica (DBO e DQO), registrados ao longo do período de monitoramento, os valores de turbidez de todos os poços se mostraram, em vários meses, superior ou muito superior aos permitidos na Portaria N° 318.

Quanto às variáveis microbiológicas (coliformes totais, coliformes fecais e contagem de bactérias heterotróficas), elas se mostraram inconsistentes, pois algumas amostras apresentaram alta contaminação e outras ausências de contaminação. Não houve relação entre o aumento da carga orgânica e a contaminação microbiológica. O que sugere que os microorganismos avaliados nesse trabalho estão associados à outra fonte de contaminação, que não o lixiviado do aterro, pois este apresenta carga orgânica elevada.

4.1.3 Análise físico-química do lixiviado

A caracterização durante o período de monitoramento junto à lagoa de lixiviado da célula de resíduos em operação do aterro é apresentada nas Tabelas 4.10 e 4.11. A última coluna da tabela apresenta os valores das variações encontradas em aterros sanitários por Tchobanoglous *et al.* (1993), para aterros jovens (menos de 2 anos) e por Gomes (1995).

Tabela 4.10 – Análise do lixiviado coletado após a entrada na lagoa de estabilização

Parâmetros analisados	Jun. 2004	Jul. 2004	Ago. 2004	Out. 2004	Nov. 2004	Jan. 2005	Faixa de valores p/ aterro novo
pH	8,54	7,42	7,99	8,10	8,07	7,27	4,50-7,50 ¹ / 5,3-8,4 ²
DQO (mg/LO ₂)	1.959,00	1.523,00	24.076,00	5.346,00	4.077,00	44.295,00	3.000 - 60.000 ¹ / 246-75.000 ²
DBO (mg/LO ₂)	944,00	480,00	8.170,00	1.960,00	1.880,00	12.450,00	2.000-30.000 ¹ / 5,90-72.000 ²
DBO/DQO	0,48	0,31	0,34	0,37	0,46	0,28	N.R.
Cromo hexavalente (mg/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.A.	N.A.	N.R.
Cloretos (mg/L)	281,00	154,00	2.504,00	447,00	396,00	3.980,00	200-3.000 ¹
Sódio (mg/L)	145,09	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	200-2.500 ¹
Zinco (mg/L)	0,09	N.A.	0,4	N.A.	N.A.	N.A.	0 ² -1.344 ²
Cobre (mg/L)	N.D.	N.A.	N.D.	N.A.	N.A.	N.A.	0-9,90 ²
Ferro (mg/L)	6,75	N.A.	27,20	N.A.	N.A.	N.A.	50-1.200 ¹ / 0,08-5.500 ²
Magnésio (mg/L)	1,66	N.A.	1,6	N.A.	N.A.	N.A.	50-1.500 ¹
Potássio (mg/L)	736,65	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	200-1.000 ¹
Dureza (mg/L)	46,80	41,50	648,00	62,30	64,20	1.128,00	300-10.000 ¹
Turbidez (NTU)	500,70	204,40	621,20	180,80	253,00	772,00	N.R.
Nitrito (mg/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.R.
Nitrato (mg/L)	4,80	81,60	112,40	N.D.	41,20	472,00	5-40 ¹
Nitrogênio Total (mg/L)	192,30	154,00	1.028,00	457,90	242,10	1.926,00	N.R.
Condutividade (µs/cm)	5.630,00	2.960,00	14.350,00	4.710,00	17.659,00	21.400,00	N.R.
Coliformes Totais NMP/100mL	1,60x10 ⁵	1,40x10 ⁶	1,60x10 ⁶	1,60x10 ⁴	4,50 x10 ³	1,70x10 ⁵	N.R.
Coliformes Fecais NMP/100mL	1,60x10 ⁵	2,80x10 ⁵	3,00x10 ⁵	4,60 x10 ³	4,50 x10 ³	1,70x10 ⁵	N.R.
Contagem de Bact. Heterotróficas UFC/mL	8,00x10 ⁵	2,50x10 ⁵	1,50x10 ⁵	1,50x10 ⁵	8,50x10 ⁵	2,50x10 ⁵	N.R.

N.R. - Não referenciado N.D. - Não detectado N.A. - Não analisado

1-Tchobanoglous (1993)

2- Gomes (1995)

Tabela 4.11 - Análise do lixiviado coletado na saída da lagoa de estabilização

Parâmetros Analisados	Jun. 2004	Jul. 2004	Ago. 2004	Out. 2004	Nov. 2004	Jan. 2005	Faixa Valores p/ Aterro Novo (menos de 2 anos)
pH	8,51	7,70	8,37	9,05	8,79	8,51	4,50-7,50 ¹ / 5,3-8,4 ²
DQO (mg/LO ₂)	1.959,00	1.447,00	13.543,00	2.192,00	1.884,00	5.496,00	3.000 - 60.000 ¹ / 246-75.000 ²
DBO (mg/LO ₂)	550,00	440,00	3.680,00	859,00	498,00	1.480,00	2.000-30.000 ¹ / 5,90-72.000 ²
DBO/DQO	0,28	0,30	0,27	0,39	0,26	0,27	N.R.
Cromo hexavalente (mg/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.A.	N.A.	N.A.	N.R.
Cloretos (mg/L)	278,00	487,00	1.252,00	296,00	246,00	780,00	200-3.000 ¹
Sódio (mg/l)	146,67	N.A	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	200-2.500 ¹
Zinco (mg/l)	0,10	N.A	N.D.	N.A.	N.A.	N.A.	0 ² -1.344 ²
Cobre (mg/l)	0,03	N.A	N.D.	N.A.	N.A.	N.A.	0-9,90 ²
Ferro (mg/l)	7,45	N.A	5,8	N.A.	N.A.	N.A.	50-1.200 ¹ / 0,08-5.500 ²
Magnésio (mg/l)	1,56	N.A	1,6	N.A.	N.A.	N.A.	50-1.500 ¹
Potássio (mg/l)	707,19	N.A	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	200-1.000 ¹
Dureza (mg/L)	51,80	40,30	352,00	52,50	46,30	390,00	300-10.000 ¹
Turbidez (NTU)	377,70	184,4	170,40	102,40	181,20	1.120	N.R.
Nitrito (mg/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.R.
Nitrato (mg/L)	4,60	84,20	77,20	N.D.	20,70	15,60	5-40 ¹
Nitrogênio Total (mg/L)	189,69	151,10	640,00	242,00	183,07	128,00	N.R.
Condutividade (µs/cm)	5.630,00	3.580,00	6.190,00	1.495,00	7.040,00	1.169,00	N.R.
Coliformes Totais NMP/100mL	3,50x10 ³	3,5x10 ⁴	6,80x10 ³	7,90x10 ²	4,50x10 ³	Ausente	N.R.
Coliformes Fecais NMP/100mL	3,50x10 ³	1,10x10 ⁵	1,10x10 ³	7,90x10 ²	2,00x10 ⁴	Ausente	N.R.
Contagem de Bact. Heterotróficas UFC/mL	8,00x10 ⁵	9,50x10 ⁵	1,50x10 ⁵	2,50x10 ⁵	2,50x10 ⁵	5,00x10 ³	N.R.

N.R. - Não referenciado N.D. - Não detectado N.A. - Não analisado

1-Tchobanoglous (1993)

2- Gomes (1995)

4.2 Ensaio de atenuação

4.2.1 Caracterização física do solo

Os resultados da caracterização física da amostra de solo indeformada são demonstrados na Tabela 4.12. O solo é classificado como argila (C) de alta compressibilidade (CH). A granulometria consta de 78,54% de argila, 6,10% de silte, 13,14% de areia fina e 1,01% de areia média. O limite de liquidez encontrado foi de 56% indicando um solo altamente plástico (IP>15).

Tabela 4.12 - Caracterização do solo da amostra indeformada

Amostra Indeformada	Horiz. B
Classificação ‘HRB’	A-7-6
Classificação ‘SUCS’	CH
Umidade Natural (%)	36,85
Argila (%)	78,54
Silte (%)	6,10
Areia Fina (%)	13,14
Areia Média (%)	1,01
Limite de Liquidez (LL)	56,00
Limite de Plasticidade (LP)	29,00
Índice de Plasticidade (IP)	27,00
Peso Específico dos grãos	2,74
Índice de vazios (%)	58,00

4.2.2 Ensaios de permeabilidade

O valor encontrado em ensaio de permeabilidade, em corpo de prova retirado de amostra indeformada, realizado no laboratório de Geotecnia da Faculdade de Engenharia e Arquitetura da FEAR/UPF, em equipamento de coluna, sob uma pressão de 5Psi (34,45kPa = 3,445m.c.a) foi de $2,76.10^{-4}$ cm/s.

4.2.3 Análise físico-químicas do lixiviado

Os ensaios de coluna foram realizados no mês de março de 2005. Foram realizados 3 repetições, com tratamentos diferentes, ou seja em cada um dos ensaios foi percolado lixiviado, por aproximadamente 25h, que foi coletado em datas diferentes. Este lixiviado foi analisado quanto a algumas variáveis físico-químicas que são apresentadas nas Tabelas 4.13, 4.14 e 4.15.

Tabela 4.13.- Análise físico-químicas do lixiviado percolado no dia 16/03/2005 (1º ensaio)

Variáveis Analisadas	Lixiviado de entrada dia 16/03/2005	Lixiviado de saída dia 16/03/2005	Redução/Incremento	%Redução
pH	7,80	7,94	0,14	
DQO (mg/LO ₂)	36.036,00	31.284,00	4.752,00	13,19%
DBO(mg/LO ₂)	14.350,00	10.420,00	3.930,00	27,38%
DBO/BQO	0,40	0,33		
Sódio(mg/L)	5.250,00	3.995,00	1.255,00	23,90%
Potássio(mg/L)	2.620,00	2.620,00	0,00	0,00%
Nitrogênio total(mg/L)	1.208,00	1.202,00	6,00	0,50%
Fósforo total(mg/L)	>6,00	>6,00	0,00	0,00%
Condutividadesae(µs/cm)	29.800,00	26.900,00	2.900,00	9,73%

Tabela 4.14 - Análise físico-químicas do lixiviado percolado no dia 18/03/2005 (2º ensaio)

Variáveis Analisadas	Lixiviado de entrada dia 18/03/2005	Lixiviado de saída dia 18/03/2005	Redução/ Incremento	%Redução
pH	7,97	7,79	0,18	2,25%
DQO (mg/LO ₂)	34.452,00	33.660,00	792,00	2,30%
DBO(mg/LO ₂)	12.060,00	11.450,00	610,00	5,05%
Sódio(mg/l)	5.370,00	5.100,00	270,00	5,02%
DBO/DQO	0,44	0,44		
Potássio(mg/L)	2.620,00	1.310,00	1.310,00	50,00%
Nitrogênio total(mg/L)	1.320,00	1.305,00	15,00	1,14%
Fósforo total(mg/L)	>6,00	>6,00	-	0,00%
Condutividades(μs/cm)	24.800,00	23.300,00	1.500,00	6,05%

Tabela 4.15 – Análise físico-químicas do lixiviado percolado no dia 22/03/2005 (3º ensaio)

Variáveis Analisadas	Lixiviado de entrada dia 22/03/2005	Lixiviado de saída dia 22/03/2005	Redução/ Incremento	%Redução
Ph	7,90	7,92	0,02%	
DQO (mg/LO ₂)	34.848,00	28.512,00	6.336,00	18,19%
DBO(mg/LO ₂)	10.620,00	7.840,00	2.780,00	26,18%
DBO/DQO	0,30	0,28		
Sódio(mg/L)	6.350,00	4.915,00	1.435,00	22,60%
Potássio(mg/L)	3.490,00	1.745,00	1.745,00	50%
Nitrogênio total(mg/L)	1.110,00	1.030,00	80,00	7,20%
Fósforo total(mg/L)	>6,00	>6,00	-	0,00%
Condutividades(μs/cm)	30.400,00	26.700,00	3.700,00	12,17%

As amostras de lixiviado foram coletadas imediatamente após sua saída da massa de resíduos, justificando os altos valores encontrados de DQO (36.036 mg/L O₂ a 34.848 mg/L O₂) e DBO (14.350 mg/L O₂ a 10.620 mg/L O₂). Esses valores indicam, segundo D'Almeida e Vilhena (2000), que o lixiviado está sendo gerado em aterro na fase acetogênica.

As elevadas concentrações de DQO e DBO e a relação DBO/DQO permanecendo entre 0,28 a 0,44 das amostras de lixiviado, fornecem subsídios para que este seja caracterizado como típico de aterros sanitários jovens (TCHOBANOUGLOUS *et al.*, 1993). Além disso, os valores encontrados nas Tabelas 4.13, 4.14 e 4.15 indicam que a DQO foi sempre duas a três vezes superior aos valores da DBO. Este aspecto é típico de aterros de resíduos de sólidos e está relacionado à presença de compostos de carbono de baixa biodegradabilidade (GOMES, 1995). Estes resultados foram também constatados por Oliveira e Jucá (2004), Harmsen (1983) e Melo e Jucá (2003).

Observa-se que as reduções dos valores da DQO e DBO do lixiviado percolado variaram de 2,30% e 5,05%, respectivamente, no dia 16 de março, a 18,19% (DQO) e 26,18% (DBO) no dia 22 de março, indicando a capacidade do solo em atenuar o contaminante.

Os valores de sódio, potássio, nitrogênio total e fósforo total não variaram ou variaram muito pouco, provavelmente devido ao pouco tempo de percolação do lixiviado.

Os valores do pH variaram de 7,79 a 7,97 revelando um líquido predominante alcalino.

A eficiência do solo em atenuar a carga orgânica do lixiviado foi limitada (remoção de DBO de 27,30% a 5,05%, e DQO de 18,19% a 2,30%).

4.2.4 Determinação de metais no solo e lixiviado

O método 3050B da EPA é recomendado para a extração de metais em sedimentos, lodos de esgoto e solos, enquanto o método nitro-perclórico descrito por Tedesco *et al.*(1995,), é amplamente utilizado na determinação do teor de metais pesados de tecidos vegetais e outros materiais orgânicos, bem como efluentes líquidos, geralmente, contendo baixa carga orgânica. Assim, o primeiro método não foi proposto para a extração de metais em lixiviado, enquanto o segundo método é proposto para efluentes líquidos, cujo teor de matéria orgânica é geralmente baixo, condição diferente das amostras do lixiviado analisado. Entretanto, esses métodos foram utilizados como uma tentativa de analisar metais no lixiviado. O uso do primeiro, sendo recomendado para lodos, foi considerado, pois o lixiviado é um material concentrado, contendo alto teor de matéria orgânica e sólidos suspensos. Já o uso do segundo método foi testado, considerando que o lixiviado poderia ser digerido como os efluentes geralmente não analisados.

Quando do uso do método nitro-perclórico, no momento da adição do ácido perclórico, as amostras do lixiviado e do solo onde este foi percolado explodiram, não sendo possível a determinação dos metais por este método. Essa explosão ocorre quando a amostra contém altas concentrações de matéria orgânica (ESCOSTEGUY, 2005¹). Assim, os resultados apresentados do lixiviado, quanto às concentrações de metais, foram obtidos pelo método 3050B da EPA.

A condição redox dos ensaios de lixiviação no equipamento de coluna é predominantemente anaeróbia, ou seja, semelhante às condições de um solo alagado, pois a amostra é saturada com o lixiviado. Isso ocorreu ao se percolar o volume de 2 L de lixiviado, o que corresponde a aproximadamente vinte vezes o volume de vazios (volume de vazios = 0,58) das amostras de solo indeformada. Nessa condição, o volume de ar, principalmente, de

1 Informação verbal, Prof.. Pedro Alexandre V.Escosteguy. Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, UPF.

oxigênio, é mínimo ou nulo, ou seja, é um ambiente anaeróbio. Sabe-se que, em ambiente anaeróbio, a biodegradação dos compostos orgânicos ocorre mesmo havendo ausência de oxigênio, uma vez que outros elementos químicos são utilizados como aceptores de elétrons na atividade respiratória da microbiota anaeróbia do solo (TEIXEIRA e CARDOSO, 1991). À medida que o oxigênio é consumido, os microorganismos do solo utilizam, nesta ordem de redução, outros aceptores de elétrons: nitrato, óxidos mangânicos (Mn^{4+}), óxidos ferrosos (Fe^{2+}) e sulfato (SO_4^{2-}), respectivamente (SOUZA *et al.* apud MEURER, 2004).

Na Tabela 4.16 são apresentadas as concentrações dos metais analisados no solo, antes e após o ensaio de coluna, e o incremento destes metais após o ensaio.

Tabela 4.16 - Concentração de metais no solo antes e após ensaio de coluna

Solo	Zn g/kg ⁻¹	Incremento Zn	Cu g/kg ⁻¹	Incremento Cu	Mn g/kg ⁻¹	Incremento Mn	Fe g/kg ⁻¹	Incremento Fe
Solo natural	43,30		33,33		231,80		636,02	
Solo 16/02/05	75,21	73,69%	30,51	-8,46%	276,94	19,47%	3.221,07	406,44%
Solo 18/02/05	68,54	58,29%	30,51	-8,46%	254,89	9,96%	2.907,66	357,16%
Solo 22/02/05	53,30	23,09%	21,80	-34,59%	269,62	16,31%	2.853,62	348,66%

Pode-se observar que o metal que teve o maior incremento no solo após a percolação do lixiviado foi o ferro (aumento de 406,44% no solo do dia 16/02/05 a 348,66% no solo do dia 22/02/05). Naturalmente, os solos da região, classificados pedologicamente como Latossolo Vermelho distrófico típico, apresentam na composição química do horizonte B uma quantidade de 10,7% de óxido de ferro na forma de hematita (Fe_2O_3) (BRASIL, 1973). O aumento das concentrações de ferro explica-se pela redução dos óxidos férricos (Fe^{+3}) a óxidos ferrosos (Fe^{+2}) com conseqüente aumento da solubilidade do ferro. A semi-reação simplificada de redução do ferro segundo (MEURER, 2004) pode ser descrita da seguinte forma:



A solubilização do zinco e manganês é altamente dependente do pH aumentando cerca de cem vezes para cada decréscimo de uma unidade do pH (LINDSAY, 1972).

Pode-se explicar o maior aumento nas concentrações de zinco do que de manganês devido aos tipos de minerais presentes no solo analisado, como se sabe, os Latossolos apresentam maiores teores de minerais contendo manganês do que zinco (BRASIL, 1973).

As concentrações de cobre encontradas no solo natural foram muito baixas, podendo ser explicadas como materiais da constituição do solo, além de formarem complexos muito estáveis com os compostos orgânicos (PEDROZO e LIMA, 2001). Assim a solubilização do cobre é muito

baixa, o que explicaria as baixas concentrações encontradas nos solos após a percolação do lixiviado. De acordo com Sanches (apud TEIXEIRA e CARDOSO, 1991) as formas de cobre presentes em solos inundados não sofrem reações de oxidação e redução, porém são indiretamente afetadas pelas alterações de pH, redução do ferro e liberação de agentes orgânicos formadores de complexos.

A Figura 4.10 mostra as concentrações de zinco, cobre e manganês antes e após a percolação do lixiviado em equipamento de coluna.

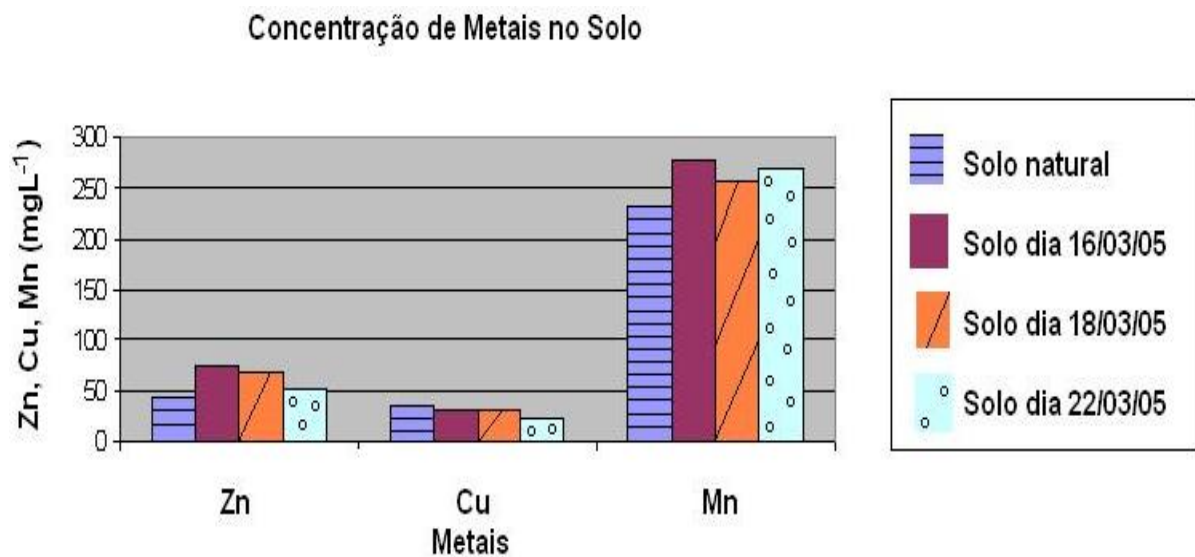


Figura 4.10 - Concentrações de zinco, cobre e manganês no solo antes e após o ensaio de coluna.

Segundo a FEPAM, o estado do Rio Grande do Sul não possui valores orientadores desenvolvidos especificamente para os solos do estado, para concentrações de metais em solos com ações de monitoramento da qualidade e diagnóstico de áreas suspeitas de contaminação (MOHRDIECK, 2005). Ela adota os valores do Relatório de Estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo (CETESB, 2001). Para a determinação das concentrações de metais no solo recomenda o método 3050B da EPA.

Na Tabela 4.17 é apresentado o resultado das médias dos valores encontrados das concentrações dos metais analisados e os respectivos valores sugeridos pela CETESB, para a interpretação de metais nos solos. Deve-se levar em consideração que estes valores de referência correspondem aos “solos limpos”, para o estado de São Paulo. Os valores de intervenção indicam o limite de qualidade, acima do qual existe risco à saúde humana e ao ambiente. Os valores de alerta indicam uma alteração das propriedades funcionais do solo, e

quando excedidos, podem requerer investigações detalhadas e monitoramento. A adoção dos valores orientadores da CETESB baseia-se na metodologia Holandesa.

Pode-se observar que os teores de zinco e cobre das amostras de solo analisadas encontram-se dentro dos padrões estabelecidos pela CETESB (2001).

Tabela 4.17 – Valores médios de concentração de metais encontrados x valores sugeridos - CETESB. 2001.

Metais	Referencia	Alerta	Intervenção Solos agrícolas	Intervenção Solos Residencial	Intervenção Solos Industriais	Valores encontrados (média)
Zinco (mg.kg ⁻¹)	60,00	300,00	500,00	1.000,00	1.500,00	65,80
Cobre (mg.kg ⁻¹)	35,00	60,00	100,00	500,00	700,00	27,60
Manganês (mg.kg ⁻¹)	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	267,00
Ferro (mg.kg ⁻¹)	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	2994,00

N.R.- Valor não referenciado

Não foi possível a determinação dos metais no lixiviado pois os valores ficaram abaixo do limite de detecção do método utilizado.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Conclusões

Nesta investigação, foi possível alcançar os objetivos traçados inicialmente, como o monitoramento das águas subterrâneas e do lixiviado coletado da área de disposição dos resíduos sólidos urbanos, a caracterização física do solo local e a avaliação da capacidade de atenuação do solo desta área.

Conclui-se que:

- os valores de cloreto, sódio, zinco, cobre, nitrito e dureza nos quatro poços de monitoramento atenderam, quando analisados, aos padrões de potabilidade. Porém, a qualidade destas águas está comprometida, devido aos valores de condutividade elétrica, DBO e DQO, o que sugere a contaminação com o lixiviado produzido pelos resíduos sólidos.

-o solo local é altamente plástico, pois apresentou $IP > 15$, a exceção do solo do poço 4, que apresentou valor inferior a esse nas duas últimas camadas investigadas. Os limites de plasticidade do solo de todos os perfis analisados foram superiores a 30%. Esses resultados possibilitam a utilização deste solo como manta de impermeabilização de aterro. Entretanto, o estudo de coluna indica que a eficiência do solo em atenuar a carga orgânica do lixiviado é limitada, além disso, este estudo indicou que, quando uma alta vazão do lixiviado percola neste solo, ocorre a solubilização de metais, principalmente o ferro.

- Os teores de zinco e cobre das amostras de solo analisadas encontraram-se dentro dos padrões estabelecidos em legislação.

5.2 Sugestões para trabalhos futuros

Sugere-se a continuidade deste trabalho, realizando-se ensaios de atenuação de contaminante do lixiviado em equipamento de coluna sob diferentes condições de saturação do solo e durante um período de tempo maior, bem como a determinação do grau de saturação do solo junto à base do aterro com o volume do líquido percolado.

Após estes estudos, sugere-se uma investigação mais detalhada sobre os metais, abrangendo elementos não estudados neste trabalho, como o cádmio, chumbo, níquel, mercúrio e arsênico, pois podem causar diversos danos à saúde, além de uma série de doenças cancerígenas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, Gislaine P. M. *Capacidade de Atenuação do Solo de Fundo da Lagoa Anaeróbia da ETE Araucária*. Defesa de Dissertação de Mestrado em Engenharia-UPF, 2005.

ALVES, Wolney *et al.* **Gerenciamento integrado do lixo municipal**. In: JARDIM, Niza Silva; WELLS, Christopher. *Lixo Municipal: manual de gerenciamento integrado*. São Paulo: IPT/CEMPRE, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10004: Resíduos sólidos – classificação*. Rio de Janeiro, 2004.

_____. *NBR 6459: Solo – determinação do limite de liquidez*. Rio de Janeiro, 1984.

_____. *NBR 10004: resíduos sólidos - classificação*. Rio de Janeiro, 2004.

_____. *NBR 13896: Aterros de resíduos não perigosos – Critérios para projeto, implantação e operação*. Rio de Janeiro, 1997.

_____. *NBR 6508: grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm – determinação da massa específica*. Rio de Janeiro, 1984.

_____. *NBR 7180: Solo – determinação do limite de plasticidade*. Rio de Janeiro, 1984.

_____. *NBR 7181: Solo – análise granulométrica*. Rio de Janeiro, 1984.

_____. *NBR 7183: Solo – determinação do limite e relação de contração*. Rio de Janeiro, 1969.

BARROS, Raphael T. de V. *et al.* *Manual de saneamento e proteção ambiental para os municípios*. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 1995. v. 2.

BEAR, J. *Dynamics of fluids in porous media*. U.S.A: American Elsevier Publishing Company, 1972. 764p.

BERTON, M.F. de Abreu; ANDRADE, J.C. Comparison of methods to evaluate heavy metals in organic wastes. In: *COMMUN soil sci plant anal*. São Paulo; Marcel Dekker, 1996.

BORGES, Andrea Ferreira; CAMPOS, Tácio Mauro Pereira de; NOBRE, Manoel de Melo Maia. *Desenvolvimento de um sistema de permeômetros para ensaios transporte de contaminantes em laboratório*. Revista brasileira de geotécnica, São Paulo, v. 20, n. 3, p. 191-207, dez. 1997.

BRAGA, Benedito *et al.* *Introdução à engenharia ambiental*. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

BRASIL. Levantamento de reconhecimento de solos do estado do Rio Grande do Sul. *Boletim 30*. Brasília: Ministério da Agricultura, 1973.

BRASIL. Portaria n.º 518, de 24 mar. 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2004.

CAPUTO, Homero Pinto. *Mecânica dos solos e suas aplicações: fundamentos*. 6.ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1988.

CETESB. *Relatório de Estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo*. São Paulo: CETESB, 2001

_____. *6420: preservação e manuseio de amostras de água e chorume e relacionados aos parâmetros de análises*. São Paulo: CETESB, 1999.

_____. *Águas Subterrâneas e Poços Tubulares*. São Paulo: CETESB, 1974.

CHARBENEOU, Randall J.; BEDIANT, Philip B.; LOEHR, Raymond C. **Groundwater Remediation**. Pennsylvania, USA: Technomic, 1992.

COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPÉIAS. Proposta diretiva do parlamento europeu e do conselho relativa a pilhas e acumuladores usados. Disponível em <www.qca.ibilce.unesp.br/prevencao/normas-europa-pilhas.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2003.

COSTA, Marcus Antonio Gonçalves; COSTA, Ervandil Correa. **Poluição Ambiental: herança para gerações futuras**. Santa Maria: Orium Editora e Comunicação, 2004.

COSTA, Pedro Oliveira da Silva. Avaliação em laboratório, do transporte de contaminantes no solo do aterro sanitário de Sauípe/BA. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

D'ALMEIDA, Maria Luiza Otero; VILHENA, André. *Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado*. 2.ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000.

EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999.

EPA. **Test methods for Evaluating Solid Waste – SW 846**. Office of solid waste and emergency response. Washington, USA, terceira edição. 1996.

ESCOSTEGUY, Pedro Alexandre Varella. Poluição do solo com metais. In: AZEVEDO, Antonio Carlos de *et al.*(edit.) *Solos e ambiente: I fórum*. Santa Maria: Gráfica Editora Pallotti, 2004. p. 59-78.

FREEZE, R. A.; CHERRY, J. A. *Groundwater*. U.S: Prentice Hall, 1979.

GOMES, L.P. Avaliação da atividade bacteriana anaeróbia celulolítica do chorume originado em sistema de disposição de resíduos sólidos urbanos a céu aberto. 1995. Tese. (Doutorado em engenharia) - Departamento de Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos – USP, São Carlos, 1995.

GOULART, Hosmanny Mauro Coelho *et al.* Apêndice 2: *transporte de contaminantes*, 2003. Disponível em < www.ens.ufsc.br/labs/Livro%20Prosab/apendice02.doc> Acesso em: 06/01/2005.

IBGE, Diretoria de Pesquisas, Departamento de População e Indicadores Sociais, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2000. Disponível em <http://www.cidades.gov.br/SNSA/Cidades_secretaria_saneamento_diagnostico_apresenta%E7%E3o.htm>. Acesso em: 10 dez. 2003.

JAIN, C.K. Metal fractionation study on bed sediments of River Yamuna, Índia. *Water Environmental Research*, n.38, p.569-578, 2004.

JUCÁ, José F.T.; MELO, Vera L.A.; BELTRÃO, Keila G.B.; PAES, Roberta F.C. Sistema de tratamento de chorume proposto para o aterro da Muribeca, Pernambuco, Brasil. 2000. Disponível em <www.grs-ufpe.com.br/v2/asp/grsnews_noticias.asp - 22k> Acesso em: 12/03/2004.

LIMA, Eliana Beatriz Nunes Rondon. Modelagem integrada para gestão da qualidade da água na bacia do Rio Cuiabá. 2001. Tese. (Doutorado em Engenharia Civil) - Programas de Pós-Graduação em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2001.

LIMA, José da Silva *et al.* Contaminação do lençol freático no lixão do município de São Pedro da Aldeia Disponível em http://www.sr2.uerj.br/dcarh/Semic13/Resumos/engenharia_civil.pdf> Acesso em: 11/03/2003

LINDSAY, W.L. Inorganic Phase Equilibria of Micronutrients in Soils. In: MORTVEDT, J.J. *Micronutrients in agriculture*. Madison, Wisconsin USA: Soil Science Society of America, 1972. p. 41-57.

MARCHI, Giuliano. *Interações de ânions orgânicos e inorgânicos com solos de carga variável*. 2001. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, 2001. Disponível em <<http://www.google.com.br/gildoma/interacao.pdf>>. Acesso em: 10 dez. 2003.

MATTEI, Greice; ESCOSTEGUY, Pedro Alexandre Varella. Composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos do aterro São João da Bela Vista. 2004. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Biologia) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2004.

MCBEAN, Edward A.; ROVERS, Frank A., FARQUHAR, Grahame. *Solid Waste Landfill Engineering And Design*. New Jersey: Prentice Hall, 1995.

MELO, Vera L.; JUCÁ, José F.T.; Estudos Geotécnicos e Ambientais para a avaliação do comportamento de aterro de resíduos sólidos urbanos. <http://www.grs-ufpe.com.br/v2/asp/publicacoes.asp>> Acesso em: 10 dez. 2003.

MEURER, Egon José. **Fundamentos de química do solo**. 2. ed. rev. e ampl. Porto Alegre: Gênese, 2004.

MOHRDIECK, Fernando Gustavo. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida de <gm@fepam.rs.gov.br> em 25 abril 2005. Serviço de Resíduos Industriais- SRI/DICOPI-FEPAM.

- MOREIRA, Plínio de Sá; HESS, Sônia Corina. Texto técnico para estudo do edital de coleta, tratamento e destinação final dos resíduos sólidos urbanos domiciliar, comercial e serviços de saúde do município de Campo Grande – MS. Disponível em <http://www.riosvivos.org.br/canal.php?canal=34&mat_id=3396>. Acesso em 4 maio. 2004.
- MUÑOZ, Susana Inês Segura. *Impacto ambiental na área do aterro sanitário e incinerador de resíduos sólidos de Ribeirão Preto, SP: avaliação dos níveis de metais pesados*. 2002. Tese. (Doutorado em Enfermagem) – Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto, São Paulo, 2002.
- NOBRE, Manoel de Melo Maia. *Estudo experimental do transporte de poluentes em solos argilosos compactados*. 1987. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil/PUC-RIO, Rio de Janeiro, 1987. Disponível em: <<http://www.civ.puc-rio.br/internet/posgrad/geotec/teseg089.htm>>. Acesso em: 10 dez. 2003.
- OLIVEIRA, Fernando José Santos; JUCÁ, José Fernando Thomé. Acúmulo de materiais pesados e capacidade de impermeabilização do solo imediatamente abaixo de uma célula de um aterro de resíduos sólidos. *Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental*. [s.l.], v.9, n.3, p.211-217, jul/set. 2004.
- PACHECO, Jailson Rodrigo. *Estudo de certas potencialidades de processos oxidativos avançado para o tratamento de percolado de aterro sanitário*. 2004. Dissertação. (Mestrado em Química Analítica) - Curso de Pós-Graduação em Química, Setor de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.
- PARAGUASSÚ, Antenor Braga; BOFF, Fernando Eduardo; ZUQUETTE, Lázaro Valentim. Estudos laboratoriais de solos lateríticos visando aplicações em liners. *Revista da Sociedade Portuguesa de Geotecnia*, Lisboa, Portugal, n. 94, p. 37-55, mar. 2002.
- PASTORE, Eraldo Luporini; FORTES, Rita Moura. *Caracterização e classificação de solos*. In: OLIVEIRA, Antonio Manoel dos Santos; BRITO, Sérgio Norton Alves de. *Geologia de engenharia*. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. p 197-210.
- PEDROZO, Maria de Fátima Menezes; LIMA, Irene Videira de. **Ecotoxicologia do cobre e seus compostos**. Salvador: Centro de Recursos Ambientais, 2001.
- PINTO, Carlos de Sousa. **Curso básico de mecânica dos solos em 16 aulas**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. p. 51-62.
- PRIM, Elivete Carmen Clemente *et al.* *Aterro Sanitário: estudo dos mecanismos de retenção de líquidos percolados em solos argilosos*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22, 2003, Joinville. Anais... Joinville: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2003. 1 CD-ROM.
- REICHERT, Geraldo Antonio. *A vermicompostagem aplicada ao tratamento de lixiviado de aterro sanitário*. Dissertação. (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1999.
- RHEINHEIMER, Danilo dos Santos *et al.* Solos de contaminação da água. In: AZEVEDO, Antonio Carlos de *et al.*(edit.) *Solos e ambiente: I fórum*. Santa Maria: Gráfica Editora Pallotti, 2004. p. 79-97.

- SCHNEIDER, Ivo André Homrich *et al.* Qualidade das águas em uma antiga área de recebimento de resíduos sólidos urbanos de Passo Fundo, RS, Aterro Invernadinha. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22, 2003, [s.l.]. *Anais...* Porto Alegre: Resumo, 2003.
- SPOSITO, Garrosin. **The chemistry of soils**. New York: Oxford University Press, 1989. p.106-262.
- STRECK, E. V. *et al.* Solos do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: EMPRAPA/RS - UFRGS, 2002.
- TCHOBANOGLIOUS, George; THEISEN, Hilary; VIGIL, Samuel. *Integrated solid waste management: engineering principles and management issues*. Hightstown: Irwin McGraw-Hill, 1993.
- TEDESCO, Marino José *et al.* *Análises de solo, plantas e outros materiais*: boletim técnico n.º 5. 2. ed. rev. e ampl. Porto Alegre: UFRGS, 1995.
- TEIXEIRA, Maria Feliciano Nery; CARDOSO, Antonio. **Modificações das características químicas de solos inundados**. Belém: Ministério da Educação, 1991.
- PHILIPPI JR., Arlindo; ROMÉRO, Marcelo de Andrade; BRUNA, Gilda Collet. **Curso de gestão ambiental**. São Paulo, Manole, 2004.
- TRESSOLDI, Marilda; CONSONI, Ângelo José. Disposição de resíduos. In: OLIVEIRA, Antonio Manoel dos Santos; BRITO, Sérgio Norton Alves de. *Geologia de engenharia*. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. p. 343-360.
- VIEIRA, L. S. Manual da ciência do solo. São Paulo, Ed. Agronômica Ceres, 1975.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)